

BFT\_SYMP/023

**ANALYSIS OF THE JUVENILE BLUEFIN TUNA (*Thunnus thynnus*) POPULATION OF THE NORTHEASTERN ATLANTIC BETWEEN 1949-1960.**

Deleted: I

By

José L. Cort<sup>(+)</sup>, Pablo Abaunza<sup>(+)</sup> & Gregorio De Metrio<sup>(\*)</sup>

<sup>(+)</sup> IEO, Santander, Spain

<sup>(\*)</sup> University of Bari (Italy)

[jose.cort@st.ieo.es](mailto:jose.cort@st.ieo.es)

[pablo.abaunza@st.ieo.es](mailto:pablo.abaunza@st.ieo.es)

[g.demetrio@veterinaria.uniba.it](mailto:g.demetrio@veterinaria.uniba.it)

## **ABSTRACT**

The results of an analysis of the juvenile bluefin tuna population of the Atlantic part of the fisheries of Morocco, Portugal and the Bay of Biscay between 1949 and 1960 are presented. This analysis has required the estimation of catches at age made by these fisheries.

The results reveal that under different scenarios the high fishing mortality exerted on the juvenile fish groups (< 5 years) in the period studied may have been one of the reasons for the decline of the northeastern Atlantic fisheries of spawners which took place years later, from 1963.

With the aim of validating the hypotheses underlying the analysis carried out the paper concludes with a presentation of the current advances in the knowledge of the biology of *Thunnus thynnus* in the Mediterranean Sea.

## **INTRODUCTION**

Up until shortly before the middle of the twentieth century, the most important bluefin tuna catches in the eastern part of the Atlantic Ocean and Mediterranean Sea were solely made by traps, but from that time onwards other fishing systems began to come into use, such as purse seine, longline and baitboat. The bonanza of very high catches was short-lived because in 1963 (Fromentin & Powers, 2005) the catches of the spawning bluefin tuna fisheries of the eastern Atlantic suffered a sharp decline (the traditional trap fisheries of the Strait of Gibraltar and purse seine in the North of Europe and coasts of Norway), such that the traps never again recovered the levels they had recorded in the first half of the last century, and the North Sea and Norwegian coastal fisheries disappeared entirely at the beginning of the eighties, and have since failed to recover (Nøttestad & Graham, 2004).

The scientific community has had a great interest in clarifying these facts in recent years. In the present study an attempt is made to find out whether the fishing mortality exerted on juveniles (< 35 kg; i.e. < 5 years) in the Atlantic fisheries from the end of the forties may have had any influence on the decline in adult bluefin tuna fishing that occurred a few years later. To this end, an analysis has been made of the juvenile bluefin tuna population using data from juvenile fisheries: Morocco (Atlantic part), Portugal and Spain (Bay of Biscay). The hypotheses that underlie this analysis are based on scientific data which, in addition, are used to reveal the latest advances in knowledge of the biology of bluefin tuna in the Mediterranean.

## MATERIAL AND MÉTHODS

Most of the catch data (Spain, Portugal and Morocco) consulted come from the ICCAT database. The remainder are data prepared for this study (Cort, 1990).

The information corresponding to the age composition of the catch of the juvenile fisheries of Morocco (Atlantic part) and Portugal were obtained from Dao & Bessineton (1974); and those of the Bay of Biscay fishery from Cort, *op. cit.* and Cort & Nøttestad (2007). This information was used to build a demographic table of catches that are assumed to represent the catch of juvenile bluefin tunas in these fisheries between 1949 and 1960. The table will be used as a vector of catches for our analysis.

The juvenile tuna groups studied are those of 1 to 4 years, taking into account that bluefin tuna reach full sexual maturity at five years of age (Corriero *et al.*, 2005).

Some data and population parameters used in the analysis were taken from the publications of ICCAT, developed in the bluefin tuna assessment sessions (ICCAT, 2005).

The method used to make the simulation was virtual population analysis or analysis of cohorts, whose aim was to estimate the abundance of one cohort and the mortality arising during the period of exploitation using the catch at age data and other additional information independent of the fishery (Mohn & Cook, 1993).

The virtual population analysis can provide a good estimate of the recruitment and fishing mortality of cohorts that have passed through the fishery, provided they have been strongly exploited (Lassen & Meddley, 2001). Traditionally, the analysis of cohorts is applied by using a back-calculation algorithm since estimates of abundance and of fishing mortality become less and less sensitive to the option of the terminal fishing mortality the further back the back-calculation proceeds (Pope, 1972). Nevertheless, it is also possible to start with the earliest age or recruitment and to project forwards through the cohort (Quin II & Deriso, 1999). In the present study we used the forward projection, since we are interested in projecting the population beginning from some possible recruitment scenarios. To solve the catch equation the Symbolic Math Toolbox (version 3.1) was used with Matlab<sup>®</sup>, which allows the resolution of algebraic

equations by searching for the possibility of an analytical solution, or if not, by numerical methods.

The analysis was made starting from the first age group, which we shall consider to be the initial abundance of the cohort.

The value for natural mortality ( $M = 0.14$ ) is that applied during the bluefin tuna assessment sessions of the Scientific Committee of ICCAT, SCRS.

### **Elements to consider in the population analysis.**

The analysis performed takes into account the following aspects:

1. The study is centred on a part of the eastern bluefin tuna stock in the North Atlantic and Mediterranean, and so we consider one of the basic criteria to be that the spawning area of the eastern stock is in the Mediterranean. In the bibliography, Rooker *et al.*, 2007 compile the studies that cite the presence of larvae in different areas of the Mediterranean. On account of this, the analysis has been made under two different scenarios:

Case 1. Considering the mean annual recruitment of the fishes of one year for the period 1970-2000 to be 2.5 million individuals (ICCAT, 2005).

From this information, and given that we are going to refer to a previous period (1949-1960) in which bluefin tuna abundance in the sea is assumed to have been much greater, the selected scenarios of the simulation contemplate mean values of recruited fishes (more than 2.5 million), which we have calculated arbitrarily in: three, four and five million individuals per year, which implies that in some years up to ten million of these fishes may have been recruited in the Mediterranean.

Case 2. Considering the mean annual recruitment of the fishes of one year to be half of that of the previous case. Let's see why:

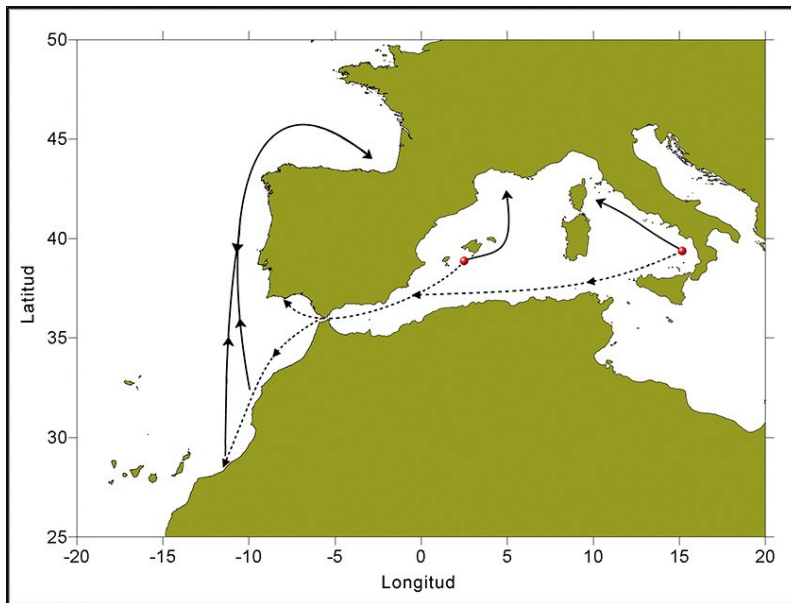
If we take into account the latest advances in the knowledge of the structure of the bluefin tuna population in the Mediterranean, the focus is different, first of all, because from the results of the electronic tagging performed in the last decade (De Metrio *et al.*, 2002; 2004), the possible existence of a local or resident sub-population in the eastern Mediterranean is deduced (De Metrio *et al.*, 2005); and secondly, because from knowledge of the new spawning areas in the eastern Mediterranean

(Karakulak *et al.*, 2004a; 2004b; Oray & Karakulak, 2005), the presence of bluefin tuna larvae is confirmed, as well as the existence of a time lag of one month between spawning in the western and the eastern Mediterranean. In accordance with this new information, we performed a second test analysis in which the western part of the Mediterranean was independent of the eastern, for which we considered the number of recruits to be half of the 2.5 million bluefin tunas estimated for the entire Mediterranean. In this case, the simulation scenarios selected contemplated mean values of recruited fishes (over 1 250 000 fishes), which we calculated arbitrarily in: two, three and four million individuals; a lower number than in the first case, since we are only considering the western part of the Mediterranean.

2. As far as we understand this fishery in our times, the abundance of juveniles in the Mediterranean must be greater than that of the eastern Atlantic, and so our reasoning is as follows:

The number of fishes of the same recruitment from one year that set out from the Mediterranean to the Atlantic must be, logically, lower than those that remain there. Accordingly, and from the total number of bluefin tunas that we simulated as recruiting annually in the Mediterranean (three, four and five million individuals in the first case; and two, three and four million in the second), we chose three scenarios of outgoing bluefin tunas heading into the Atlantic: 20 %, 30 % and 40 %, which are the values of the initial abundance (i.e. initial population) in our analysis.

3. Some of the juveniles born at the end of spring in the western Mediterranean go to the juvenile concentration areas in the eastern Atlantic a few months later, where they remain for at least four years until they reach first sexual maturity, at which point they join the groups of the oldest spawners during their spawning migrations towards the Mediterranean (Cort, 1990). The interaction between the western Mediterranean and the eastern Atlantic juveniles fisheries has been well proven by tagging (Rey & Cort, 1986; Cort, 1990; Rodríguez-Marín *et al.*, 2007) and other experiments such as chemical composition and the presence of isotopes in hard parts of bluefin tuna (Rooker *et al.*, 2007). This interaction explains the Mediterranean origin of juveniles caught in the Atlantic fisheries of Morocco, Portugal and the Bay of Biscay, since it is a fraction of those that are recruited annually in the western Mediterranean (see Figure 1).



**FIGURE 1.** Migratory pattern of juvenile bluefin tuna born in the western Mediterranean (adapted from Rey & Cort, 1986).

To sum up, according to this migratory pattern, with the estimated number of fishes from one year recruited and some population parameters (e.g. natural mortality) previously calculated by the scientific committee of ICCAT (SCRS), we ran two tests in which different scenarios were considered representing the outward migration of juvenile tunas through the Strait of Gibraltar during the period 1949-1960, years before the decline of the adult fisheries that occurred in 1963. This simulation has the following aims:

- To find the quantity of juvenile bluefin tunas that could survive the four years of fishing in the Atlantic fisheries before reaching the adult age and starting its first spawning migrations towards the Mediterranean, thus forming part of the population accessible to the spawner fisheries, and

- To find out whether the fishing mortality exerted on these groups might have been one of the causes of the later decline in the spawning bluefin tuna Atlantic fisheries from 1963.

4. One characteristic that we did not consider in our analysis was the mixing rate of young fishes that cross the ocean from either side to the other; an aspect that has been amply researched by conventional tagging (Mather III *et al.*, 1967; Cort, 1990; Rodríguez-Marín *et al.* 2007) and by the chemical composition in hard parts (Rooker *et al.*, 2006). In our opinion, given the difficulty of making a correct evaluation of the mixing rates, it is preferable to leave this matter out and to consider the number of young tunas in the eastern Atlantic that migrate towards the west to be compensated by those that migrate from the western Atlantic to East Atlantic waters.

## RESULTS

### Catches at age

The estimation of the juvenile bluefin tuna catch between 1949 and 1960 reaches 55 154 t <sup>(1)</sup>, which is equivalent to a total of 6.5 million individuals (550 355 fishes caught annually). The fisheries where these catches were taken were Morocco (Atlantic part), Portugal and the Bay of Biscay (see Table 1).

(1) The data of the catches of Morocco and Portugal used are incomplete, and so the quantity of juveniles caught may be even greater.

Age	Bay of Biscay	Morocco	Portugal	TOTAL
1	25 885	188 750	71 750	286 385
2	209 519		6 857	216 376
3	36 581			36 581
4	11 013			11 013
				550 355

**Table 1.** Estimation of the juvenile bluefin tuna catch in the Eastern Atlantic fisheries (explanation in Appendix 1).

The description of these fisheries by Dao & Bessineton (1974) reveals that 91% of the age 1 individuals were caught in the fisheries of Morocco and Portugal, and so 97 % of the age 2 fishes and all remaining fishes of ages 3 and 4 were caught in the Bay of Biscay. We will use these catches at age as a vector of catches in the population analysis, the results of which we will now describe.

## POPULATION ANALYSIS. Case 1

Before looking at the end results of the analysis, we will perform a test in which one of the cases contemplated is shown in detail. It is the case in which 1200 000 juvenile fishes are recruited from the western Mediterranean to the northeastern Atlantic.

Fishes recruited: 1 200 000			
Step 1	$N_1 = 1200\ 000$	$C_1 = 286\ 385$	$F_1 = 0.2942$
Step 2	$N_1 = 777\ 339$	$C_2 = 216\ 376$	$F_2 = 0.3525$
Step 3	$N_2 = 475\ 029$	$C_3 = 36\ 581$	$F_3 = 0.0860$
Step 4	$N_3 = 378\ 940$	$C_4 = 11\ 013$	$F_4 = 0.0316$
	$N_4 = 319\ 187$		

**Table 2.-** Results of the juvenile bluefin tuna population analysis. Example considering that 1200 000 fishes were recruited from the western Mediterranean to the northeastern Atlantic.

Our analysis, which aims to determine the number of bluefin tunas that survive to the end of a four-year exploitation period, starts out with the first age group of 1200 000 individuals as the ‘initial population’, in this case  $N_i$  (Table 2). The catch of 386 385 individuals at one year of age ( $C_1$ ) constitutes the first extraction from the ‘initial population’; and this catch represents a fishing mortality of 0.2942. From this statistic, the estimation of the final population at the end of the interval  $i$  ( $N_{i+1}$ ) = 777 339 fishes. The process, which is repeated over and over again, leads us to the last step, which gives us the number of survivors at the end of the period considered in our test (= 319 187), which would be the fishes now ready to join the spawning population after having spent the first four years of life subjected to fishing exploitation in the northeastern Atlantic sector.

In accordance with this description, the result of the analysis for all the scenarios considered is presented in Table 3.

<b>Scenario 1</b>		<b>20 % outgoing</b>		<b>Final population</b>	<b>Mortality (%)</b>	<b>Survival (%)</b>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
<b>Recruitment</b>	<b>Initial population</b>							
3000 000	600 000	-	-	-	-	-	-	-
4000 000	800 000	91 846	89	11	0.48	0.76		
5000 000	1000 000	205 317	80	20	0.36	0.48		
<b>Scenario 2</b>		<b>30 % outgoing</b>		<b>Final population</b>	<b>Mortality (%)</b>	<b>Survival (%)</b>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
<b>Recruitment</b>	<b>Initial population</b>							
3000 000	900 000	148 501	83	17	0.41	0.59		
4000 000	1200 000	319 187	73	27	0.29	0.35		
5000 000	1500 000	490 233	67	33	0.23	0.25		
<b>Scenario 3</b>		<b>40 % outgoing</b>		<b>Final population</b>	<b>Mortality (%)</b>	<b>Survival (%)</b>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
<b>Recruitment</b>	<b>Initial population</b>							
3000 000	1200 000	319 187	73	27	0.29	0.35		
4000 000	1600 000	547 170	66	34	0.21	0.23		
5000 000	2000 000	775 597	61	39	0.17	0.17		

**Table 3.** Results of the analysis of the juvenile bluefin tuna population.  
(See text for explanation).

Between the first case of scenario 1 and the last of scenario 3, different situations arise which we will go on to analyze, but one of them is impossible: the one in which 600 000 fishes are recruited from the Mediterranean (in this case the catch and mortality together surpass the number of fishes recruited); while in the remaining scenarios we see the following:

When the number of fishes recruited to form the ‘initial population’ is between 800 000 and 2000 000 fishes, the survival values varied between 11 % and 39 %, the equivalent of values of total mortality of 89 % and 61 %. The highest values of fishing mortality appear in age groups 1 and 2, i.e., fishes between 4 and 15 kg, which are still immature.

Survival, and as a result fishing mortality (considering M to be constant), varied as a function of the number of fishes making up the ‘initial population’ and which we have selected for each scenario; in any case, the high values of fishing mortality in ages 1 and 2, far above the value estimated for natural mortality, reveal a great influence of the human activity on a juvenile population that was destined to sustain the fisheries of spawners in the eastern Atlantic.

But one of the aims of the present study is to provide an explanation for what occurred in 1963, when the adult fisheries (traps, and North Sea and coasts of Norway) fell off sharply. Table 4 shows the age groups of bluefin tunas that should have been present in both fisheries in 1963, indicating in dark blue those that traditionally formed the most important catches in both fisheries; i.e. the fishes between 5 and > 15 years (50 - >400 kg), according to the description of the trap fisheries (Rodríguez-Roda, 1964) and from the north of Europe (Hamre & Tiews, 1964).

Year, 1963
Fishes of age 16 (1947 Cohort)
Fishes of age 15 (1948 Cohort)
Fishes of age 14 (1949 Cohort)
Fishes of age 13 (1950 Cohort)
Fishes of age 12 (1951 Cohort)
Fishes of age 11 (1952 Cohort)
Fishes of age 10 (1953 Cohort)
Fishes of age 9 (1954 Cohort)
Fishes of age 8 (1955 Cohort)
Fishes of age 7 (1956 Cohort)
Fishes of age 6 (1957 Cohort)
Fishes of age 5 (1958 Cohort)

**Table 4.** See text for explanation

To this end, Table 5 shows how the cohorts from 1947 to 1958 passed through the juvenile fisheries of Morocco (Atlantic part), Portugal and Bay of Biscay between 1949 and 1960.

Year/Age	1	2	3	4
1949	1948	1947	1946	1945
1950	1949	1948	1947	1946
1951	1950	1949	1948	1947
1952	1951	1950	1949	1948
1953	1952	1951	1950	1949
1954	1953	1952	1951	1950
1955	1954	1953	1952	1951
1956	1955	1954	1953	1952
1957	1956	1955	1954	1953
1958	1957	1956	1955	1954
1959	1958	1957	1956	1955
1960	1959	1958	1957	1956

**Table 5.** Passage of different cohorts through the

fisheries of juveniles of the northeastern Atlantic.  
(See text for explanation)

The results of the population analysis show that the passage of these cohorts through the juvenile fisheries between 1949 and 1960 may have negatively affected the incorporation of new generations of young fishes to the future stock of spawners, and may therefore have caused the decline in the spawner fisheries of the northeastern Atlantic some years later. From 1970, when the catch of juveniles by purse seine nets began in the Mediterranean, the problem worsened.

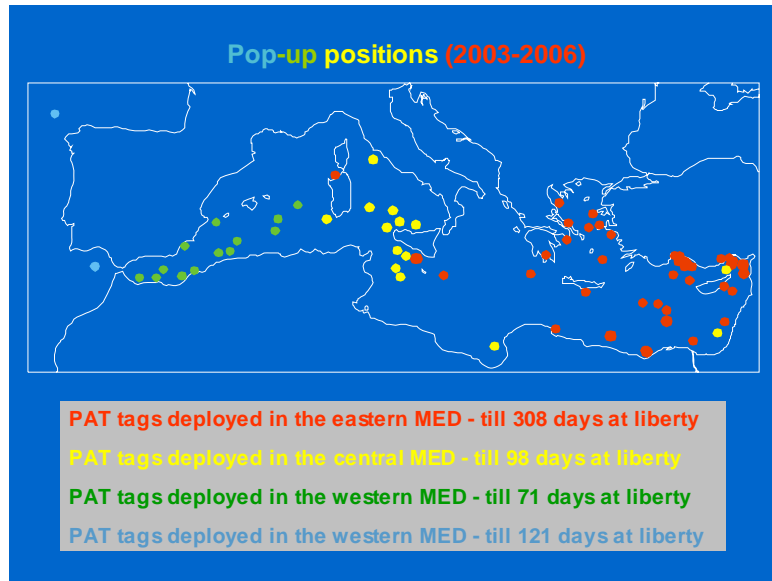
In addition to the information provided by the analysis of cohorts, it must also be considered that, according to estimations made for the present study, from the middle of the twentieth century to the present day, twenty one million juveniles (less than 30 kg) have been caught in the fisheries of the northeastern Atlantic, a very high figure that may have contributed to the decline in the spawning bluefin tuna Atlantic fisheries.

We consider it to be of interest to test the hypotheses underlying the analysis we have made using the knowledge now available on the biology of the bluefin tuna, which we shall now look at.

## **HOW THE HYPOTHESES CONSIDERED IN THE ANALYSIS FIT WITH THE ACTUAL KNOWLEDGE OF *Thunnus thynnus*. Case 2.**

Earlier we stated that: “Some of the juveniles born at the end of spring in the western Mediterranean go to the juvenile concentration areas in the eastern Atlantic a few months later, where they remain for at least four years until they reach first sexual maturity ... This interaction explains the Mediterranean origin of juveniles caught in the Atlantic fisheries of Morocco, Portugal and the Bay of Biscay ...” This statement, which is based on scientific data (Rey & Cort, 1986; Cort, 1990; Rodríguez-Marín *et al.*, 2007; Rooker *et al.*, 2007), means that, on one hand, the existence of a certain independence of the juvenile bluefin tuna of the western from those of the eastern Mediterranean, as there is no evidence of any exchange of this group of fishes between both parts to justify that the bluefin tuna juveniles of the eastern sector also join the Atlantic areas of concentration.

With the aim of providing support for this hypothesis, the following figure shows the results of the latest electronic tagging experiments, carried out on adult fishes in the Mediterranean Sea (De Metrio *et al.*, 2002; 2004 & 2005; see Figure 2).



**FIGURE 2.** Pop-up locations of the satellite tags deployed in the Mediterranean Sea.

These results express what has come to be known as the existence of ‘resident populations’ on one side or the other of the Mediterranean Sea (De Metrio, in press), a term used to refer to the fact that most of the fishes subjected to pop-up electronic tagging remained on the same side of the Mediterranean as where they had been tagged. In support of this hypothesis are the results of electronic tagging provided by Block *et al.* (2005), which present evidence that the geographical limit reached by the tunas coming to the Mediterranean from the Atlantic for spawning is the central Mediterranean. None of them go beyond this hypothetical line.

Karakulak *et al.* (2004a; 2004b); Oray & Karakulak (2005) describe the presence of bluefin tuna larvae in the eastern Mediterranean and the difference of over a month between the peak period of spawning in the eastern Mediterranean (May, Levantine sea), and the western Mediterranean (June, Balearic Sea and Tyrrhenean Sea).

These latest advances, which help to understand better the structure of the bluefin tuna population in the Mediterranean, go some way towards providing arguments for the second hypothesis of our analysis, since they

seem to point to the independence of the bluefin tunas in the two parts of the Mediterranean, at least in the adults.

This new scenario leads us to a new test with other starting figures due to the following: we said that the annual recruitment of bluefin tunas of one year in the period 1970-2004 had averaged around 2.5 million fishes. If this quantity corresponds to the total of fishes of that age recruiting in the Mediterranean, under a new scenario in which we consider two units in the Mediterranean, the number of fishes recruited in one year, only for the western Mediterranean, will be, let's say half of that: 1250 000.

The results of the analysis, following the same criteria as in the test, maintaining the same vector of catches, the same scenarios of outgoing bluefin tunas to the Atlantic (20 %, 30 % and 40 %), but reducing the cases of recruitment assumed to two, three and four million fishes in one year, are as follows (see Table 6):

<b>Scenario 1</b>	<b>20 % outgoing</b>					
<b>Recruitment</b>	<b>Initial population</b>	<b>Final population</b>	<b>Mortality (%)</b>	<b>Survival (%)</b>	<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>
2000 000	400 000	-	-	-	-	-
3000 000	600 000	-	-	-	-	-
4000 000	800 000	91 846	89	11	0.48	0.76
<b>Scenario 2</b>	<b>30 % outgoing</b>					
<b>Recruitment</b>	<b>Initial population</b>	<b>Final population</b>	<b>Mortality (%)</b>	<b>Survival (%)</b>	<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>
2000 000	600 000	-	-	-	-	-
3000 000	900 000	148 501	83	17	0.41	0.59
4000 000	1200 000	319 187	73	27	0.29	0.35
<b>Scenario 3</b>	<b>40 % outgoing</b>					
<b>Recruitment</b>	<b>Initial population</b>	<b>Final population</b>	<b>Mortality (%)</b>	<b>Survival (%)</b>	<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>
2000 000	800 000	91 846	89	11	0.48	0.76
3000 000	1200 000	319 187	73	27	0.29	0.35
4000 000	1600 000	547 170	66	34	0.21	0.23

**Table 6.** Results of the analysis of the juvenile bluefin tuna population. (See text for explanation)

In this case, the number of fishes recruited making up the 'initial population' varied between 800 000 and 1200 000 fishes, the values of survival varied between 11 % and 34 %, the equivalent to values of total

mortality of 89 % and 66 %. Under these new conditions, the values of F obtained are higher than in the previous case, as a lower number of recruits has been considered.

In either of the two scenarios studied, very high values of F are found in ages 1 and 2, which would confirm that juvenile catches of the magnitude considered may have given rise to the limited recruitment, from juvenile ages to spawning stocks, and may therefore be one of the reasons behind the decline in the spawner fisheries (Atlantic traps and Northern European fisheries) which took place a few years later, from 1963.

## CONCLUSIONS

The results of the analysis show that, under different scenarios, the high fishing mortality exerted on the juvenile fish groups (< 5 years) during the years studied, may have contributed to the decline in the northeastern Atlantic spawner fisheries that occurred from 1963.

## BIBLIOGRAPHY

Block, B. A., Teo, S. L. H., Walli, A., Boustany, A., Stokesbury, M. J. W., Farwell, C. J., Weng, K. C., Dewar, H. & Williams, T. D., 2005. Electronic tagging and population structure of Atlantic bluefin tuna. *Nature*, 434: 1121–1127.

Corriero, A., Kakakulak, S., Santamaría, N., Deflorio, M., Spedicato, D., Addis, P., Fenech-Farrugia, A., Vassallo-Agius, R., de la Serna, J. M., Oray, I., Cau, A. & De Metrio, G., 2005. Size and age at sexual maturity of female bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L. 1758) from the Mediterranean Sea. *J. Appl. Ichthyol.*, 21. 483-486.

Cort, J. L., 1990. Biología y pesca del atún rojo, *Thunnus thynnus*, del mar Cantábrico. Publicaciones especiales, IEO, 4, 272 pp.

Cort, J. L. & Nøttestad, L., 2007. Fisheries of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) spawners in the Northeast Atlantic. *ICCAT, Colec. Doc. Cient.*, Vol. 60, No. 4, 1328-1344.

Dao, J. C. y Bessineton, C., 1974. Quelques donnees sur l'exploitation du thon rouge (*Thunnus thynnus*) dans l'Atlantique Nord. *ICCAT, Colec. Doc. Cient.*, 2, 225-231.

De Metrio, G., Arnold, G.P., Block B.A., de la Serna, J.M., Deflorio M., Cataldo, M., Yannopoulos, C., Megalofonou, P., Beeper, S., Farwell, C. & Seitz, A. 2002. Behaviour of post-spawning Atlantic Bluefin Tuna tagged with pop-up satellite tags in the Mediterranean and eastern Atlantic. *ICCAT, Col. Vol. Sci. Pap.*, 54 (2), 415-424.

De Metrio, G., Oray I., Arnold, G.P., Lutcavage, M., Deflorio, M., Cort, J. L., Karakulak, S., Anbar, N. & Ultanur, M. 2004. Joint Turkish-Italian research in the Eastern Mediterranean: bluefin tuna tagging with pop-up satellite tags. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 56 (3), 1163-1167.

De Metrio, G., Arnold, G.P., de la Serna J. M., Block, B. A., Megalofonou, P., Lutcavage, M., Oray, I. & Deflorio, M. 2005. Movements of bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.) tagged in the Mediterranean Sea with pop-up satellite tags. *ICCAT, Col. Vol. Sci. Pap*, 58 (4), 1337-1340.

Fromentin, J. M. & Powers, J., 2005. Atlantic bluefin tuna: population dynamics, ecology, fisheries and management. *Fish. Fish.*, 6, 281-306.

Hamre, J. y Tiews K., 1964. Report of the Bluefin Tuna Working Group. On the Size composition of Tuna Catches from 1956-1962. Ed. Arni Fredriksson. *ICES Statistical News Letters* No. 20. 43 pp.

ICCAT, 2005. Atún rojo Atlántico. Informe *ICCAT* 2004-2005 (I).

Karakulak, S., Oray, I., Corriero, A., Aprea, A., Spedicato, D., Zubani, D., Santamaria, N. & De Metrio, G., 2004a. First information on the reproductive biology of the bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the Eastern Mediterranean. *ICCAT, Col. Vol. Sci. Pap.*, 56, 1158-1162.

Karakulak, S., Oray, I., Corriero, A., Deflorio, M., Santamaria, N., Desantis, S. & De Metrio, G. 2004b. Evidence of a spawning area for the bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the Eastern Mediterranean. *J. Appl. Ichthyol.*, 20, 318-320.

Lassen, H. & Medley, P., 2001. Virtual population analysis. A practical manual for stock assessment. *FAO Fisheries Technical Paper*. No. 400. Rome, FAO, 129 pp.

Mather, F. J. III, Bartlett, M. R. & Beckett, J. S., 1967. Transatlantic migrations of young bluefin tuna. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 24 (9), 1991-1997.

Mohn, R. & Cook, R., 1993. Introduction to Sequential Population Analysis. *NAFO Science Council Study*, No. 17, 110 pp.

Nøttestad, L. & Graham, N., 2004. Preliminary overview of the Norwegian fishery and science on Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). Scientific report from Norway to ICCAT Commission meeting in New Orleans, USA, 15-21 November 2004, 12 pp.

Oray, I. & Karakulak, S., 2005. Further evidence of spawning of bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L., 1758) and the tuna species (*Auxis rochei* Ris., 1810, *Euthynnus alletteratus* Raf., 1810) in the Eastern Mediterranean Sea: preliminary results of TUNALEV larval survey in 2004. *J. Appl. Ichthyol.*, 21, 236-240.

Pope, J.G., 1972. An investigation in the accuracy of the Virtual Population Analysis using cohort analysis. *Res. Bull. Int. Comm. NW Atlantic Fish.* 9, 65-74.

Quinn, T.J., II & Deriso, R.B., 1999. Quantitative Fish Dynamics. Oxford University Press, Oxford. 542 pp.

Rey, J. C. & Cort, J. L., 1986. The tagging of the bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the Mediterranean: history and analysis. *CIESM*, 2 pp.

Rodríguez-Marín, E., Rodríguez-Cabello, C., De la Serna, J. M., Alot, E., Cort, J. L., Macias, D., Ortiz de Urbina, J. M. y Quintans, M., 2007. Bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) conventional tagging carried out by the Spanish Institute of Oceanography (IEO) in 2005 and 2006. Results and analysis including previous tagging activities. *ICCAT, SCRS/2007/036*.

Rodríguez-Roda, J., 1964. Biología del atún, *Thunnus thynnus* (L.), de la costa sudatlántica española. *Inv. Pesq.*, 25, 33-146.

Rooker, J. R., Secor, D. H., De Metrio, G., Rodríguez-Marín, E. & Fenech Farrugia, A., 2006. Evaluation of population structure and mixing rates of Atlantic bluefin tuna from chemical signatures in otoliths. *ICCAT, Col. Vol. Sci. Pa.*, 59 (3), 813-818.

Rooker, J., Alvarado, J., Block, B., Dewar, H., De Metrio, G., Prince, E., Rodríguez-Marín E. & Secor, D., 2007. Life and Stock Structure of Atlantic Bluefin Tuna (*Thunnus thynnus*). *Reviews in Fisheries Science*, 15, 265-310.

## APPENDIX 1

### ESTIMATION OF THE CATCH OF JUVENILES IN THE NORTHEASTERN ATLANTIC BETWEEN 1949-1960/61.

The lack of information (catches at age) from the years 1949-1960 forced us to draw up a demographic table for the period considered based on the information known of these fisheries from numerous published scientific studies.

#### Morocco, Atlantic part

(ICCAT Statistics)

	<b>C (t)</b>
1958 ....	2539
1959 ....	2000
1960 ....	2286
1961 ....	2994
$\Sigma$	<b>9.819 t</b>

1960 is estimated from preceding and following years.

The total quantity (9.819 t) can be extended to the thirteen years of the series, which is equivalent to 755 t/year; for fishes of 4 kg = 188.750 fishes/year.

Dao & Bessineton (ICCAT, 1974) describe this fishery, in which 100 % of fishes are aged 1 year.

#### Portugal

(ICCAT Statistics)

<b>C (t)</b>	<b>C (t)</b>
1948 .... 375	1956 .... 570
1949 .... 375	1957 .... 210
1950 .... 375	1958 .... 165
1951 .... 337	1959 .... 220
1952.... 521	1960 .... 254
1953 .... 674	$\Sigma$ <b>4 308 t</b>
1954 .... 303	
1955 .... 295	

This information is held in the ICCAT data base (consulted in the ICCAT website), in which the catches of Portugal appear by quarter. For the years 1948 and 1949 (not included in the data base) values equal to those of 1950 were taken.

Dao & Bessineton (1974) describe the Portuguese surface fishery in which 80 % of fishes are aged 2 years and 20 % are of age 1.

The mean quantity of tunas caught is 359 t/year, of which:

80 % (Age 1 ) .... 287 t/4 kg ..... 71 750 fishes/year  
 20 % (Age 2) ..... 72 t/10 kg ..... 6 857 “ “

### Bay of Biscay

No data are available of the age distribution in the years 1949-1960, and so we used the information from the last years in which there was the greatest abundance of age 5+ fishes in the Bay of Biscay (years 1971-1973; Cort & Nøttestad, 2007), assuming the age distribution in the catch during the years analyzed to be similar to that found from 1971-1973 .

1971-  
1973

Age	No. of fishes	%	C (in weight)
1	26 513	8	119308.5
2	214 605	64.5	2253352.5
3	37 469	11.3	711911
4	11 280	3.4	417360
		87.2	3501932

The catches in the Bay of Biscay (France and Spain) are:

	t
1949	3100
1950	2879
1951	3843
1952	4602
1953	4134
1954	5501
1955	6561
1956	3403
1957	4040
1958	4033
1959	3601
1960	1352
$\Sigma$	47 049

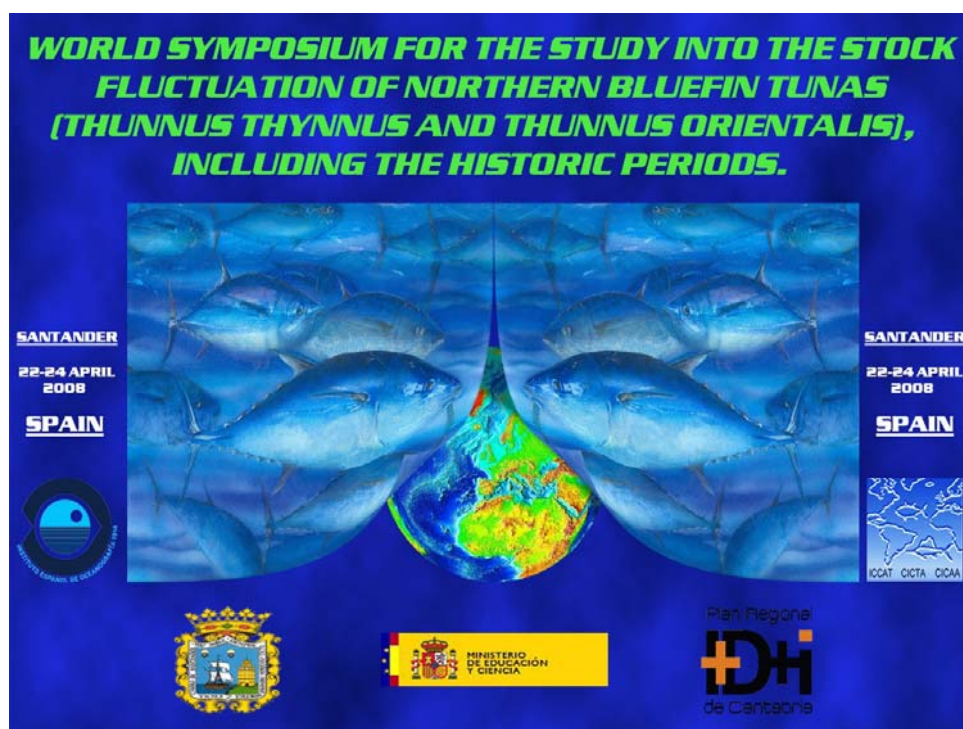
87.2 % of the 47 049 t are juvenile fishes = 41 027 t i.e., over the 12 years, 3 419 t/year are juvenile fishes.

The age distribution of juveniles between 1949-1960 is as follows:

Age	Fishes caught	%
1	25 885	9.1
2	209 519	74.0
3	36 581	12.9
4	11 013	3.9
Total...	282 998	

The final value of juvenile bluefin tunas from the three fisheries is:

	Bay of Biscay	Morocco	Portugal	TOTAL
1	25 885	188 750	71 750	286 385
2	209 519		6 857	216 376
3	36 581			36 581
4	11 013			11 013
				550 355



BFT\_SYMP/023

## ANÁLISIS DE LA POBLACIÓN DE ATÚN ROJO (*Thunnus thynnus*) JUVENIL DEL ATLÁNTICO NORORIENTAL ENTRE 1949-1960.

Por

José L. Cort <sup>(+)</sup>, Pablo Abaunza <sup>(+)</sup> & Gregorio De Metrio <sup>(\*)</sup>

<sup>(+)</sup> IEO, Santander, España

<sup>(\*)</sup> University of Bari (Italy)

[jose.cort@st.ieo.es](mailto:jose.cort@st.ieo.es)

[pablo.abaunza@st.ieo.es](mailto:pablo.abaunza@st.ieo.es)

[g.demetrio@veterinaria.uniba.it](mailto:g.demetrio@veterinaria.uniba.it)

## RESUMEN

Se presentan los resultados de un análisis de la población de atún rojo juvenil de las pesquerías de Marruecos, parte atlántica; Portugal y golfo de Vizcaya entre 1949 y 1960. Para ello, ha sido necesario estimar las capturas por edad llevadas a cabo en esas pesquerías.

Los resultados demuestran que, bajo distintos escenarios, la alta mortalidad por pesca ejercida sobre los grupos de peces juveniles (< de 5 años) en los años estudiados, pudo ser una de las causas del declive de las pesquerías de reproductores del Atlántico nororiental que tuvo lugar años después, a partir del año 1963.

Con el fin de admitir las hipótesis que subyacen el análisis realizado, el trabajo concluye con una presentación de los avances actuales sobre la biología de *Thunnus thynnus* en el mar Mediterráneo.

## INTRODUCCION

Hasta poco antes de la mitad del siglo XX las capturas más importantes de atún rojo, en la parte oriental del océano Atlántico y mar Mediterráneo, se llevaban a cabo únicamente con almadrabas, pero fue a partir de entonces cuando comenzaron a emplearse otros sistemas de pesca como la red de cerco, el palangre y la caña con cebo vivo. La situación de bonanza, con muy importantes capturas, duró pocos años porque después, en 1963 (Fromentin & Powers, 2005), se produjo un brusco descenso de las capturas en las pesquerías de atún rojo reproductor del Atlántico oriental (pesquerías tradicionales de almadraba del estrecho de Gibraltar y de cerco del norte de Europa y costas de Noruega), de manera que las almadrabas nunca más volvieron a alcanzar los niveles que se habían registrado durante la primera mitad del siglo pasado, y las pesquerías del mar del Norte y costas de Noruega desaparecieron por completo a principios de los años 80, no habiéndose vuelto a recuperar desde entonces (Nøttestad & Graham, 2004).

El esclarecimiento de estos hechos ha sido motivo de interés dentro de la comunidad científica en los últimos años. En el presente estudio se trata de averiguar si la mortalidad por pesca ejercida sobre ejemplares juveniles (< 35 kg; es decir, < 5 años) llevada a cabo en las pesquerías atlánticas desde finales de los años 1940, pudo haber influido en el declive de la pesca de atunes rojos adultos sucedido pocos años después. Para ello, se ha hecho un análisis de la población de atún rojo juvenil utilizando datos de las

pesquerías de juveniles: Marruecos (parte atlántica), Portugal y España (golfo de Vizcaya). Las hipótesis que subyacen dicho análisis se basan en datos científicos que tratan de contrastarse, además, con los últimos avances en el conocimiento de la biología del atún rojo en el Mediterráneo.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

La mayor parte de los datos de capturas (España, Portugal y Marruecos) consultados proceden de la base de datos de ICCAT; los restantes son datos de elaboración propia (Cort, 1990).

La información correspondiente a la composición de edades de la captura de las pesquerías de juveniles de Marruecos (parte atlántica) y Portugal se han obtenido de Dao & Bessineton (1974); los de la pesquería del golfo de Vizcaya de Cort, *op. cit.* y Cort & Nøttestad (2007). Con esta información se ha construido una tabla demográfica de capturas que supuestamente representa la captura de atunes rojos juveniles capturados en las citadas pesquerías entre 1949 y 1960. Dicha tabla será utilizada como vector de capturas de nuestro análisis.

Los grupos de atunes juveniles que se estudian son los de 1 a 4 años, teniendo en cuenta que la madurez sexual plena la alcanza el atún rojo a los cinco años (Corriero *et al.*, 2005).

Algunos datos y parámetros poblacionales utilizados en el análisis se han tomado de las publicaciones de ICCAT pertenecientes a las sesiones de evaluación del atún rojo (ICCAT, 2005).

El método utilizado para hacer la simulación es el análisis de la población virtual o análisis de cohortes, que tiene por objeto estimar la abundancia de una cohorte y la mortalidad que se produce durante el período de explotación al cual está sometida a partir de los datos de captura por edad y otras informaciones adicionales independientes de la pesquería (Mohn & Cook, 1993).

El análisis de población virtual puede proporcionar una buena estima del reclutamiento y de la mortalidad por pesca de las cohortes que han pasado por la pesquería, siempre y cuando éstas hayan sido fuertemente explotadas (Lassen & Meddley, 2001). Tradicionalmente, el análisis de cohortes se aplica usando un algoritmo “back-calculation”, ya que las estimas de la abundancia y de la mortalidad por pesca se hacen cada vez menos sensibles a la opción de la mortalidad por pesca terminal según se avanza hacia atrás

en el proceso de “back-calculation” (Pope, 1972). Sin embargo, también es posible empezar con la edad más temprana o reclutamiento y proyectar hacia delante a través de la cohorte (Quin II & Deriso, 1999). En el presente trabajo hemos utilizado la proyección hacia delante, ya que nos interesa proyectar la población a partir de unos posibles escenarios de reclutamiento. Para resolver la ecuación de captura se ha utilizado el Symbolic Math Toolbox (version 3.1) para uso con Matlab<sup>®</sup>, que permite la resolución de ecuaciones algebraicas buscando si es posible la solución analítica o sino mediante métodos numéricos.

El análisis se ha hecho comenzando por el primer grupo de edad, que consideraremos en nuestro estudio como la abundancia inicial de la cohorte.

El valor de la mortalidad natural ( $M = 0.14$ ) es el aplicado durante las sesiones de evaluación del atún rojo en el seno del Comité Científico de la ICCAT, SCRS

### **Elementos a considerar en el análisis de la población.**

El análisis llevado a cabo tiene en cuenta los siguientes aspectos:

1. El estudio se centra en una parte del *stock* oriental del atún rojo del Atlántico Norte y Mediterráneo, por lo cual consideramos uno de los criterios básicos: que el área de reproducción del *stock* oriental se encuentra en el Mediterráneo; Rooker *et al.*, 2007 recogen en la bibliografía los trabajos que citan la presencia de larvas en distintas áreas del Mediterráneo. De acuerdo con esto, se ha hecho el análisis bajo dos distintos escenarios:

Caso 1. Considerando que el reclutamiento medio anual de peces de un año para el período 1970-2000 es de 2.5 millones de ejemplares (ICCAT, 2005). A partir de esta información, y dado que nos vamos a referir a un período anterior (1949-1960), en el cual la abundancia del atún rojo en el mar supuestamente era mucho mayor, los escenarios de la simulación seleccionados contemplan valores medios de peces reclutados (superiores a los 2.5 millones), que hemos calculado arbitrariamente en: tres, cuatro y cinco millones de ejemplares por año, lo cual implica que en algunos años podrían llegar a reclutarse hasta diez millones de estos peces en el Mediterráneo.

Caso 2. Considerando que el reclutamiento medio anual de peces de un año es la mitad que en el caso anterior. Veamos porqué:

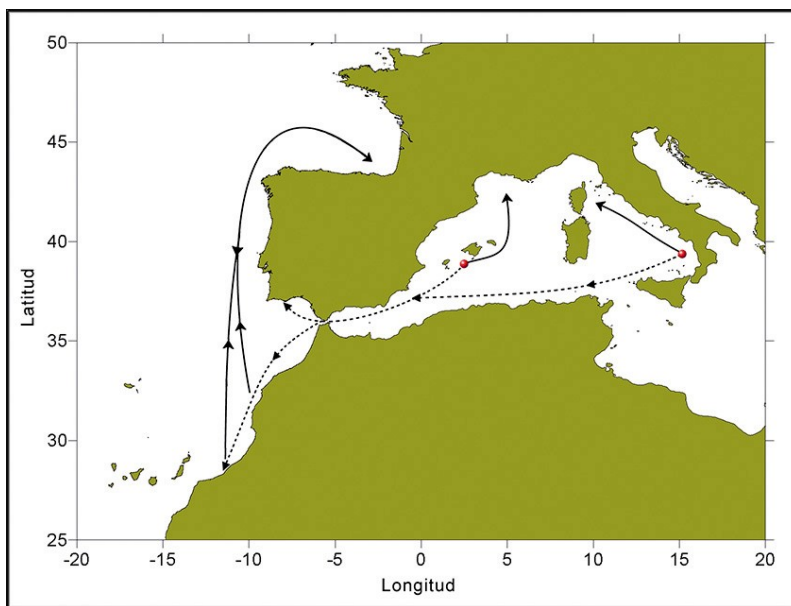
Si tenemos en cuenta los últimos avances en el conocimiento de la estructura de la población de atún rojo del Mediterráneo, el enfoque es distinto, primero, porque de los resultados del marcado electrónico llevado a cabo en la última década (De Metrio *et al.*, 2002; 2004), se deduce la posible existencia de una subpoblación local o residente en el Mediterráneo oriental (De Metrio *et al.*, 2005); y segundo, porque del conocimiento de nuevas zonas de reproducción en el Mediterráneo oriental (Karakulak *et al.*, 2004a; 2004b; Oray & Karakulak, 2005), se confirma la presencia de larvas de atún rojo, y que existe un desfase de un mes entre la puesta en el Mediterráneo occidental y el oriental. De acuerdo con esta nueva información, realizamos un segundo ensayo de análisis en el cual el sector occidental del Mediterráneo es independiente del oriental, por lo que consideramos que el número de reclutas será la mitad de los 2.5 millones de atunes rojos que se habían estimado para todo el Mediterráneo. En este caso, los escenarios de la simulación seleccionados contemplan valores medios de peces reclutados (superiores a 1250 000 peces) que hemos calculado arbitrariamente en: dos, tres y cuatro millones de ejemplares; un número inferior al primer caso, ya que estamos considerando sólo la parte occidental del Mediterráneo.

2. Por lo que sabemos en nuestros días de esta pesquería, partimos del hecho de que la abundancia de juveniles del Mediterráneo tiene que ser mayor que la existente en el Atlántico oriental, por ello nuestro razonamiento es el siguiente:

La cantidad de peces de un año de un mismo reclutamiento que salen desde el Mediterráneo al Atlántico tiene que ser, en lógica, menor que los que permanecen en ese mar. De acuerdo con esto, y a partir del número total de atunes rojos que hemos simulado que se reclutan anualmente en el Mediterráneo (tres, cuatro y cinco millones de ejemplares, en el primer caso; y dos, tres y cuatro millones, en el segundo), hemos elegido tres escenarios de salida de atunes rojos al Atlántico: 20 %, 30 % y 40 %, que serán los valores de la abundancia inicial (“población inicial”) en nuestro análisis.

3. Una parte de los juveniles nacidos a finales de primavera en el Mediterráneo occidental se incorporará pocos meses después a las áreas de concentración de juveniles del Atlántico oriental, en donde permanecerán al menos cuatro años hasta que alcancen la primera madurez sexual,

momento a partir del cual se juntarán con los grupos de reproductores más viejos durante sus migraciones genéticas hacia el Mediterráneo (Cort, 1990). La interacción entre el Mediterráneo occidental y las pesquerías de juveniles Atlántico oriental ha sido ampliamente demostrada por marcado (Rey & Cort, 1986; Cort, 1990; Rodríguez-Marín *et al.*, 2007) y otros experimentos como la composición química y presencia de isótopos en partes óseas del atún rojo (Rooker *et al.*, 2007). Dicha interacción explica el origen mediterráneo de los peces juveniles capturados en las pesquerías atlánticas de Marruecos, Portugal y del golfo de Vizcaya, ya que se trata de una fracción de los que anualmente se reclutan en el Mediterráneo occidental (ver Figura 1).



**FIGURA 1.** Esquema migratorio del atún rojo juvenil nacido en el Mediterráneo occidental (adaptada de Rey & Cort, 1986).

En resumen, de acuerdo con este esquema migratorio, con el número estimado de peces de un año reclutados y algunos parámetros poblacionales (por ejemplo, la mortalidad natural) anteriormente calculados en el seno del comité científico de la ICCAT (SCRS), hemos hecho dos ejercicios en el cual se considerarán distintos escenarios que representen la migración de salida de atunes juveniles a través del estrecho de Gibraltar durante el período 1949-1960, años anteriores al declive de las pesquerías de adultos ocurrido en 1963. Esta simulación tiene por objeto lo siguiente:

-Conocer la cantidad de atunes rojos juveniles que pudieron sobrevivir a los cuatro años de pesca en las pesquerías atlánticas, antes de alcanzar la edad adulta e iniciar sus primeras migraciones genéticas hacia el Mediterráneo formando parte de la población que será accesible a las pesquerías de reproductores, y

-Saber si la mortalidad por pesca ejercida sobre esos grupos pudo haber sido una de las causas del futuro declive de las pesquerías atlánticas de atunes rojos reproductores a partir del año 1963.

4. Una característica que no consideramos en nuestro análisis es la cantidad de peces jóvenes que cruzan el océano en uno y otro sentido; aspecto éste que ha sido ampliamente demostrado por marcado convencional (Mather III *et al.*, 1967; Cort, 1990; Rodríguez-Marín *et al.* 2007) y por la composición química en partes óseas (Rooker *et al.*, 2006). Opinamos que, dada la dificultad que supone una correcta evaluación de los índices de mezcla, es recomendable omitir esta cuestión y considerar que el número de atunes jóvenes del Atlántico oriental que emigran hacia el oeste queda compensado con los que emigran desde el Atlántico occidental hasta las aguas del Atlántico este.

## **RESULTADOS**

### **Capturas por edad**

La estimación de la captura de atunes rojos juveniles llevada a cabo entre 1949 y 1960 alcanza las 55 154 t <sup>(1)</sup>, lo que equivale a un total de 6.5 millones de ejemplares (550 355 peces capturados anualmente); las pesquerías en donde se practicaron las capturas son: Marruecos (parte atlántica), Portugal y golfo de Vizcaya (ver Tabla 1).

(1) Los datos de las capturas de Marruecos y Portugal que hemos manejado son incompletos, por lo que la cantidad de juveniles capturados podría ser aún mayor.

Edad	G. de Vizcaya	Marruecos	Portugal	TOTAL
1	25 885	188 750	71 750	286 385
2	209 519		6 857	216 376
3	36 581			36 581
4	11 013			11 013
				550 355

**Tabla 1.** Estimación de la captura de atún rojo juvenil en las pesquerías del Atlántico oriental (explicación en Anexo 1).

De acuerdo con la descripción de estas pesquerías de Dao & Bessineton (1974), se desprende que el 91 % de los ejemplares de edad 1 fueron capturados en las pesquerías de Marruecos y Portugal, por lo que el 97 % de los peces de edad 2 y todos los restantes de edades 3 y 4 lo fueron en el golfo de Vizcaya. Utilizaremos estas capturas por edad como vector de capturas en el análisis de la población que hemos llevado a cabo, cuyos resultados veremos a continuación.

### **Análisis de la población. Caso 1**

Antes de ver los resultados finales del análisis hacemos un ejercicio en el que se muestra con detalle uno de los casos contemplados en el mismo; se trata del caso en el cual se reclutan 1200 000 de peces juveniles desde el Mediterráneo occidental al Atlántico nororiental.

<b>Peces reclutados: 1200 000</b>			
<b>Paso 1</b>	<b><math>N_1 = 1200\ 000</math></b>	<b><math>C_1 = 286\ 385</math></b>	<b><math>F_1 = 0.2942</math></b>
<b>Paso 2</b>	<b><math>N_1 = 777\ 339</math></b>	<b><math>C_2 = 216\ 376</math></b>	<b><math>F_2 = 0.3525</math></b>
<b>Paso 3</b>	<b><math>N_2 = 475\ 029</math></b>	<b><math>C_3 = 36\ 581</math></b>	<b><math>F_3 = 0.0860</math></b>
<b>Paso 4</b>	<b><math>N_3 = 378\ 940</math></b>	<b><math>C_4 = 11\ 013</math></b>	<b><math>F_4 = 0.0316</math></b>
	<b><math>N_4 = 319\ 187</math></b>		

**Tabla 2.-** Resultados del análisis de la población del atún rojo juvenil. Ejemplo considerando que se reclutan 1200 000 peces desde el Mediterráneo occidental al Atlántico nororiental.

Nuestro análisis, que tiene por objeto determinar el número de atunes rojos supervivientes al final de un período de explotación de cuatro años, se hace comenzando por el primer grupo de edad siendo 1200 000 “la población inicial”, en este caso  $N_i$  (Tabla 2). La captura de 386 385 ejemplares de un año de edad ( $C_1$ ) constituye la primera extracción de la “población inicial”; dicha captura ocasiona una mortalidad por pesca de 0. 2942. A partir de este dato, la estimación de la población al final del intervalo  $i$  ( $N_{i+1}$ ) = 777 339 peces. El proceso, que continúa de forma iterativa, nos lleva al último paso el cual nos proporciona el número de supervivientes al final del período considerado en nuestro ejercicio (= 319 187), que son los peces que ya estarían en condiciones de incorporarse a la población reproductora después de haber pasado los cuatro primeros años de vida sometidos a explotación pesquera en el sector Atlántico nororiental.

De acuerdo con esta descripción, el resultado del análisis para todos los escenarios considerados se presenta en la Tabla 3.

<b>Escenario 1</b>		<b>20 % de salida</b>	<b>Población final</b>	<b>Mortalidad (%)</b>	<b>Supervivencia (%)</b>	<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>
<b>Reclutamiento</b>	<b>Población inicial</b>						
3000 000	600 000	-	-	-	-	-	-
4000 000	800 000	91 846	89	11	0.48	0.76	
5000 000	1000 000	205 317	80	20	0.36	0.48	
<b>Escenario 2</b>		<b>30 % de salida</b>	<b>Población final</b>	<b>Mortalidad (%)</b>	<b>Supervivencia (%)</b>	<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>
<b>Reclutamiento</b>	<b>Población inicial</b>						
3000 000	900 000	148 501	83	17	0.41	0.59	
4000 000	1200 000	319 187	73	27	0.29	0.35	
5000 000	1500 000	490 233	67	33	0.23	0.25	
<b>Escenario 3</b>		<b>40 % de salida</b>	<b>Población final</b>	<b>Mortalidad (%)</b>	<b>Supervivencia (%)</b>	<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>
<b>Reclutamiento</b>	<b>Población inicial</b>						
3000 000	1200 000	319 187	73	27	0.29	0.35	
4000 000	1600 000	547 170	66	34	0.21	0.23	
5000 000	2000 000	775 597	61	39	0.17	0.17	

**Tabla 3.** Resultados del análisis de la población de atún rojo juvenil.  
(Explicación en el texto)

Entre el primer caso del escenario 1 y el último del escenario 3 se dan distintas situaciones que analizaremos, pero una de ellas es imposible: aquella en que se reclutan 600 000 peces procedentes del Mediterráneo (en

este caso la captura y la mortalidad juntas superan el número de peces reclutados); en los restantes escenarios observamos lo siguiente:

Cuando el número de peces reclutados que componen la “población inicial” oscila entre 800 000 y 2000 000 peces, los valores de supervivencia varían entre un 11 % y un 39 %, equivalente a valores de mortalidad total del 89 % y 61 %. Los valores de mortalidad por pesca más elevados se producen sobre los grupos de edad 1 y 2, es decir, peces entre 4 y 15 kg, todavía inmaduros.

La supervivencia, y en consecuencia la mortalidad por pesca (considerando que M es constante), varía en función del número de peces que componen la “población inicial” y que hemos seleccionado para cada escenario; en cualquier caso, los altos valores de la mortalidad por pesca en las edades 1 y 2, muy superiores al valor estimado para la mortalidad natural, delatan una gran influencia de la actividad humana sobre una población juvenil que estaba destinada a sostener a las pesquerías de reproductores en el Atlántico oriental.

Pero uno de los objetivos del presente estudio es dar una explicación a lo que sucedió en el año 1963, cuando de repente descendieron bruscamente las pesquerías de adultos (almadrabas, y mar del Norte y costas de Noruega). En la Tabla 4 se expresan los grupos de edad de atunes rojos que deberían haber estado presentes en ambas pesquerías en el año 1963, señalando en azul oscuro aquellos que tradicionalmente componían las capturas más importantes en ambas pesquerías; es decir, los peces entre 5 y > 15 años (50 - >400 kg), según la descripción de las pesquerías de las almadrabas (Rodríguez-Roda, 1964) y del norte de Europa (Hamre & Tiews, 1964).

Año, 1963
Peces de 16 años (Cohorte de 1947)
Peces de 15 años (Cohorte de 1948)
Peces de 14 años (Cohorte de 1949)
Peces de 13 años (Cohorte de 1950)
Peces de 12 años (Cohorte de 1951)
Peces de 11 años (Cohorte de 1952)
Peces de 10 años (Cohorte de 1953)
Peces de 9 años (Cohorte de 1954)
Peces de 8 años (Cohorte de 1955)
Peces de 7 años (Cohorte de 1956)
Peces de 6 años (Cohorte de 1957)
Peces de 5 años (Cohorte de 1958)

**Tabla 4.** Explicación en el texto

Para ello, hemos expuesto en la Tabla 5 cómo fueron pasando por las pesquerías de peces juveniles de Marruecos (parte atlántica), Portugal y golfo de Vizcaya, las cohortes de 1947 a 1958 entre los años 1949 y 1960.

Año/Edad	1	2	3	4
1949	1948	1947	1946	1945
1950	1949	1948	1947	1946
1951	1950	1949	1948	1947
1952	1951	1950	1949	1948
1953	1952	1951	1950	1949
1954	1953	1952	1951	1950
1955	1954	1953	1952	1951
1956	1955	1954	1953	1952
1957	1956	1955	1954	1953
1958	1957	1956	1955	1954
1959	1958	1957	1956	1955
1960	1959	1958	1957	1956

**Tabla 5.** Paso de distintas cohortes por las pesquerías de juveniles del Atlántico nororiental. (Explicación en el texto)

Los resultados del análisis de la población muestran que el paso de dichas cohortes por las pesquerías de juveniles, entre 1949 y 1960, pudo influir negativamente en la incorporación de nuevas generaciones de peces jóvenes al futuro *stock* de reproductores, y por tanto ser la causa del descenso de las pesquerías de reproductores del Atlántico nororiental pocos años después. A partir de 1970, cuando se inició la captura de juveniles con red de cerco en el Mediterráneo, el problema se agravó.

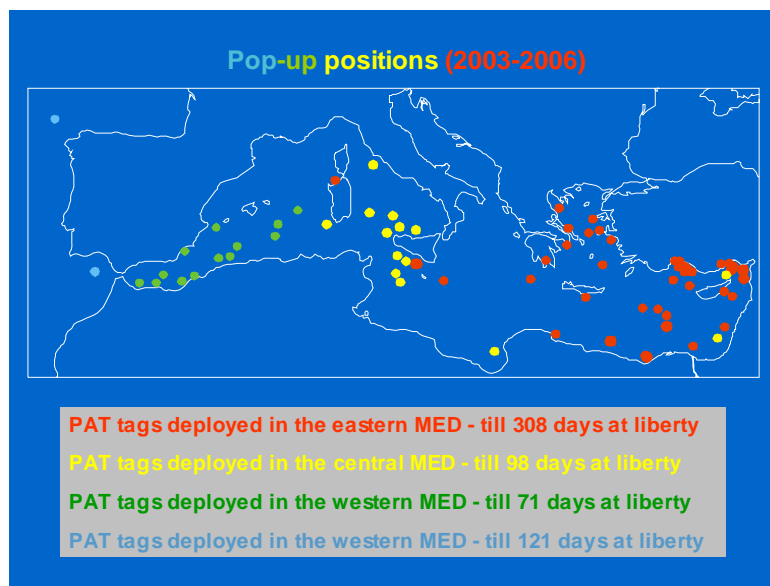
Además de la información que nos proporciona el análisis de cohortes que hemos realizado, hay que considerar que, según estimaciones hechas para el presente estudio, desde mediados del siglo XX hasta nuestros días, se han capturado en las pesquerías del Atlántico nororiental veintiún millones de ejemplares juveniles (de menos de 30 kg), una cifra muy elevada que puede haber contribuido al declive de las pesquerías atlánticas de atunes rojos reproductores.

Creemos de interés contrastar las hipótesis que subyacen el análisis que hemos realizado con los conocimientos que tenemos hoy en día sobre la biología del atún rojo, que veremos a continuación.

## CÓMO SE AJUSTAN LAS HIPÓTESIS CONSIDERADAS EN EL ANÁLISIS CON LOS CONOCIMIENTOS ACTUALES DE *Thunnus thynnus*. Caso 2.

Decíamos anteriormente: “Una parte de los juveniles nacidos a finales de primavera en el Mediterráneo occidental se incorporará pocos meses después a las áreas de concentración de juveniles del Atlántico oriental, en donde permanecerán al menos cuatro años hasta que alcancen la primera madurez sexual ... dicha interacción explica el origen mediterráneo de los peces juveniles capturados en las pesquerías atlánticas de Marruecos, Portugal y del golfo de Vizcaya...” Esta afirmación, que se basa en datos científicos (Rey & Cort, 1986; Cort, 1990; Rodríguez-Marín *et al.*, 2007; Rooker *et al.*, 2007), implica, por otra parte, la existencia de una cierta desconexión entre el atún rojo juvenil del Mediterráneo occidental y el oriental, pues no hay evidencia de intercambio de este grupo de peces entre ambas partes que justifique que los atunes rojos juveniles del sector oriental se incorporen también a las zonas de concentración atlánticas.

Con el fin de dar consistencia a esta hipótesis, se representan a continuación los resultados de los últimos experimentos de marcado electrónico, llevados a cabo con peces adultos en el mar Mediterráneo (De Metrio *et al.*, 2002; 2004 & 2005; ver la Figura 2).



**FIGURA 2.** Lugares de marcado de marcas satélite, *Pop-up*, en el Mediterráneo.

Estos resultados expresan lo que ha dado por llamarse existencia de “poblaciones residentes” a uno y otro lado del Mediterráneo (De Metrio, en prensa), término utilizado para dar testimonio de que la mayor parte de los peces sometidos a estudio con marcas electrónicas *pop-up* permanecieron en el lado del Mediterráneo en el cual fueron marcados. Una prueba que apoya esta hipótesis son los resultados del marcado electrónico aportados por Block *et al.* (2005), en los cuales se evidencia que el límite geográfico alcanzado por los atunes que vienen desde el Atlántico a reproducirse al Mediterráneo, es el Mediterráneo central; ninguno traspasó esa hipotética línea.

Por otra parte, Karakulak *et al* (2004a; 2004b); Oray & Karakulak (2005), muestran la presencia de larvas de atún rojo en el Mediterráneo oriental y que existe una diferencia de más de un mes entre el período de reproducción más alto en el Mediterráneo oriental (mayo, mar de Levante), y del Mediterráneo occidental (junio, mar de Baleares y mar Tirreno).

Estos últimos avances, que nos ayudan a comprender mejor la estructura de la población del atún rojo en el Mediterráneo, dan, en cierto modo, argumentos a la segunda hipótesis de partida de nuestro análisis, ya que parece evidenciarse una desconexión del atún rojo entre ambas partes del Mediterráneo, al menos en peces adultos.

Este nuevo escenario implica hacer un nuevo ensayo con otras cifras de partida por lo siguiente: decíamos que el reclutamiento del atún rojo de un año durante el período 1970-2004 había sido de 2.5 millones de peces de un año, por término medio; si esta cantidad corresponde al total de peces de esa edad que se reclutan en el Mediterráneo, bajo un nuevo escenario en que consideramos dos unidades en el Mediterráneo, la cifra de peces de un año reclutados, sólo para el Mediterráneo occidental, será, digamos, la mitad: 1250 000.

Los resultados del análisis, siguiendo los mismos criterios que en el ejercicio, a saber: manteniendo el vector de capturas, los mismos escenarios de salida de atunes rojos al Atlántico (20 %, 30 % y 40 %), pero reduciendo los casos supuestos de reclutamiento a dos, tres y cuatro millones de peces de un año, son como sigue (ver Tabla 6):

<b>Escenario 1</b>	<b>20 % de salida</b>	<b>Población final</b>	<b>Mortalidad (%)</b>	<b>Supervivencia (%)</b>	<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>
<b>Reclutamiento</b>	<b>Población inicial</b>					
2000 000	400 000	-	-	-	-	-
3000 000	600 000	-	-	-	-	-
4000 000	800 000	91 846	89	11	0.48	0.76
<b>Escenario 2</b>						
	<b>30 % de salida</b>	<b>Población final</b>	<b>Mortalidad (%)</b>	<b>Supervivencia (%)</b>	<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>
<b>Reclutamiento</b>	<b>Población inicial</b>					
2000 000	600 000	-	-	-	-	-
3000 000	900 000	148 501	83	17	0.41	0.59
4000 000	1200 000	319 187	73	27	0.29	0.35
<b>Escenario 3</b>						
	<b>40 % de salida</b>	<b>Población final</b>	<b>Mortalidad (%)</b>	<b>Supervivencia (%)</b>	<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>
<b>Reclutamiento</b>	<b>Población inicial</b>					
2000 000	800 000	91 846	89	11	0.48	0.76
3000 000	1200 000	319 187	73	27	0.29	0.35
4000 000	1600 000	547 170	66	34	0.21	0.23

**Tabla 6.** Resultados del análisis de la población de atún rojo juvenil.  
(Explicación en el texto)

En este caso, el número de peces reclutados que componen la “población inicial” oscila entre 800 000 y 1200 000 peces, los valores de supervivencia varían entre un 11 % y un 34 %, equivalente a valores de mortalidad total del 89 % y 66 %. En estas nuevas condiciones, los valores de F obtenidos son más elevados que en el caso anterior, al haber considerado un menor número de reclutas.

En cualquiera de los dos escenarios estudiados se encuentran valores de F muy elevados en las edades 1 y 2, lo cual confirmaría que unas capturas de juveniles de la magnitud que hemos considerado podrían haber dado lugar al limitado reclutamiento, desde las edades juveniles a los *stocks* de reproductores, y por lo tanto ser una de las causas que causas del declive de las pesquerías de reproductores (almadrabas atlánticas y pesquerías del norte de Europa) que tuvo lugar pocos años después, a partir del año 1963.

## CONCLUSIONES

Los resultados del análisis demuestran que, bajo distintos escenarios, la alta mortalidad por pesca ejercida sobre los grupos de peces juveniles (< de 5 años) durante los años estudiados, pudo contribuir al declive de las pesquerías de reproductores del Atlántico nororiental que tuvo lugar a partir del año 1963.

## BIBLIOGRAFIA

Block, B. A., Teo, S. L. H., Walli, A., Boustany, A., Stokesbury, M. J. W., Farwell, C. J., Weng, K. C., Dewar, H. & Williams, T. D., 2005. Electronic tagging and population structure of Atlantic bluefin tuna. *Nature*, 434: 1121–1127.

Corriero, A., Kakakulak, S., Santamaría, N., Deflorio, M., Spedicato, D., Addis, P., Fenech-Farrugia, A., Vassallo-Agius, R., de la Serna, J. M., Oray, I., Cau, A. & De Metrio, G., 2005. Size and age at sexual maturity of femelle bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L. 1758) from the Mediterranean Sea. *J. Appl. Ichthyol.*, 21. 483-486.

Cort, J. L., 1990. Biología y pesca del atún rojo, *Thunnus thynnus*, del mar Cantábrico. Publicaciones especiales, IEO, 4, 272 pp.

Cort, J. L. & Nøttestad, L., 2007. Fisheries of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) spawners in the Northeast Atlantic. *ICCAT, Colec. Doc. Cient.*, Vol. 60, No. 4, 1328-1344.

Dao, J. C. y Bessineton, C., 1974. Quelques donnees sur l'exploitation du thon rouge (*Thunnus thynnus*) dans l'Atlantique Nord. *ICCAT, Colec. Doc. Cient.*, 2, 225-231.

De Metrio, G., Arnold, G.P., Block B.A., de la Serna, J.M., Deflorio M., Cataldo, M., Yannopoulos, C., Megalofonou, P., Beeper, S., Farwell, C. & Seitz, A. 2002. Behaviour of post-spawning Atlantic Bluefin Tuna tagged with pop-up satellite tags in the Mediterranean and eastern Atlantic. *ICCAT, Col. Vol. Sci. Pap.*, 54 (2), 415-424.

De Metrio, G., Oray I., Arnold, G.P., Lutcavage, M., Deflorio, M., Cort, J. L., Karakulak, S., Anbar, N. & Ultanur, M. 2004. Joint Turkish-Italian research in the Eastern Mediterranean: bluefin tuna tagging with pop-up satellite tags. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 56 (3), 1163-1167.

De Metrio, G., Arnold, G.P., de la Serna J. M., Block, B. A., Megalofonou, P., Lutcavage, M., Oray, I. & Deflorio, M. 2005. Movements of bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.) tagged in the Mediterranean Sea with pop-up satellite tags. *ICCAT, Col. Vol. Sci. Pap.*, 58 (4), 1337-1340.

Fromentin, J. M. & Powers, J., 2005. Atlantic bluefin tuna: population dynamics, ecology, fisheries and management. *Fish. Fish.*, 6, 281-306.

Hamre, J. y Tiews K., 1964. Report of the Bluefin Tuna Working Group. On the Size composition of Tuna Catches from 1956-1962. Ed. Arni Fredriksson. *ICES Statistical News Letters* No. 20. 43 pp.

ICCAT, 2005. Atún rojo Atlántico. Informe *ICCAT* 2004-2005 (I).

Karakulak, S., Oray, I., Corriero, A., Aprea, A., Spedicato, D., Zubani, D., Santamaria, N. & De Metrio, G., 2004a. First information on the reproductive biology of the bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the Eastern Mediterranean. *ICCAT, Col. Vol. Sci. Pap.*, 56, 1158-1162.

Karakulak, S., Oray, I., Corriero, A., Deflorio, M., Santamaria, N., Desantis, S. & De Metrio, G. 2004b. Evidence of a spawning area for the bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the Eastern Mediterranean. *J. Appl. Ichthyol.*, 20, 318-320.

Lassen, H. & Medley, P., 2001. Virtual population analysis. A practical manual for stock assessment. *FAO Fisheries Technical Paper*. No. 400. Rome, FAO, 129 pp.

Mather, F. J. III, Bartlett, M. R. & Beckett, J. S., 1967. Transatlantic migrations of young bluefin tuna. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 24 (9), 1991-1997.

Mohn, R. & Cook, R., 1993. Introduction to Sequential Population Analysis. *NAFO Science Council Study*, No. 17, 110 pp.

Nøttestad, L. & Graham, N., 2004. Preliminary overview of the Norwegian fishery and science on Atlantic bluefin Tuna (*Thunnus thynnus*). Scientific report from Norway to ICCAT Commission meeting in New Orleans, USA, 15-21 November 2004, 12 pp.

Oray, I. & Karakulak, S., 2005. Further evidence of spawning of bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L., 1758) and the tuna species (*Auxis rochei* Ris.,

1810, *Euthynnus alletteratus* Raf., 1810) in the Eastern Mediterranean Sea: preliminary results of TUNALEV larval survey in 2004. *J. Appl. Ichthyol.*, 21, 236-240.

Pope, J.G., 1972. An investigation in the accuracy of the Virtual Population Analysis using cohort analysis. *Res. Bull. Int. Comm. NW Atlantic Fish.* 9, 65-74.

Quinn, T.J., II & Deriso, R.B., 1999. Quantitative Fish Dynamics. Oxford University Press, Oxford. 542 pp.

Rey, J. C. & Cort, J. L., 1986. The tagging of the bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the Mediterranean: history and analysis. *CIESM*, 2 pp.

Rodríguez-Marín, E., Rodríguez-Cabello, C., De la Serna, J. M., Alot, E., Cort, J. L., Macias, D., Ortiz de Urbina, J. M. y Quintans, M., 2007. Bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) conventional tagging carried out by the Spanish Institute of Oceanography (IEO) in 2005 and 2006. Results and analysis including previous tagging activities. *ICCAT, SCRS/2007/036*.

Rodríguez-Roda, J., 1964. Biología del atún, *Thunnus thynnus* (L.), de la costa sudatlántica española. *Inv. Pesq.*, 25, 33-146.

Rooker, J. R., Secor, D. H., De Metrio, G., Rodríguez-Marín, E. & Fenech Farrugia, A., 2006. Evaluation of population structure and mixing rates of Atlantic bluefin tuna from chemical signatures in otoliths. *ICCAT, Col. Vol. Sci. Pa.*, 59 (3), 813-818.

Rooker, J., Alvarado, J., Block, B., Dewar, H., De Metrio, G., Prince, E., Rodríguez-Marín E. & Secor, D., 2007. Life and Stock Structure of Atlantic Bluefin Tuna (*Thunnus thynnus*). *Reviews in Fisheries Science*, 15, 265-310.

## ANEXO 1

### ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE JUVENILES EN EL ATLÁNTICO NORORIENTAL, ENTRE 1949-1960/61.

La falta de información (capturas por edad) de los años 1949-1960, nos ha obligado a elaborar una tabla demográfica del período contemplado basada en la información que conocemos de estas pesquerías que se encuentra publicada en numerosos trabajos científicos.

#### Marruecos, parte atlántica

(Estadísticas, ICCAT)

	<b>C (t)</b>
1958 ....	2539
1959 ....	2000
1960 ....	2286
1961 ....	2994
$\Sigma$	<b>9.819 t</b>

El año 1960 esta estimado a partir de los años precedentes y posteriores. La cantidad total (9.819 t) se hace extensible a los trece años de la serie, lo que equivale a 755 t/año; para peces de 4 kg = 188.750 peces/año.

Dao & Bessineton (ICCAT, 1974) describen esta pesquería en la que el 100 % de los peces son de 1 año.

#### Portugal

(Estadísticas, ICCAT)

	<b>C (t)</b>		<b>C (t)</b>
1948 ....	375	1956 ....	570
1949 ....	375	1957 ....	210
1950 ....	375	1958 ....	165
1951 ....	337	1959 ....	220
1952....	521	1960 ....	254
1953 ....	674	$\Sigma$	<b>4 308 t</b>
1954 ....	303		
1955 ....	295		

Esta información está contenida en la base de datos de la ICCAT (consultados en la página *web* de ICCAT), en la que aparecen las capturas de Portugal por cuatrimestres. Para los años 1948 y 1949 (no incluidos en la base de datos) se tomaron valores iguales a 1950.

Por otra parte, Dao & Bessineton (1974) describen la pesquería de superficie de Portugal en la que el 80 % de los peces son de 2 años y el 20 % de 1 año.

La cantidad media de atunes capturados es de 359 t/año de los cuales:

80 % (Edad 1) .... 287 t/4 kg ..... 71 750 peces/año  
 20 % (Edad 2) ..... 72 t/10 kg ..... 6 857 “ “

## Golfo de Vizcaya

No tenemos ningún dato de la distribución de edades en los años 1949-1960, por lo que utilizamos la información disponible de los últimos años en que hubo más abundancia de peces 5+ en el golfo de Vizcaya (años 1971-1973; Cort & Nøttestad, 2007), asumiendo que la distribución de edades en la captura durante los años del análisis era similar a la de esos años.

1971-  
1973

Age	N. de peces	%	C (en peso)
1	26 513	8	119308.5
2	214 605	64.5	2253352.5
3	37 469	11.3	711911
4	11 280	3.4	417360
		87.2	3501932

Las capturas en el golfo de Vizcaya (Francia y España) son:

	t
1949	3100
1950	2879
1951	3843
1952	4602
1953	4134
1954	5501
1955	6561
1956	3403
1957	4040
1958	4033
1959	3601
1960	1352
$\Sigma$	47 049

El 87.2 % de las 47 049 t son peces juveniles = 41 027 t; es decir, en los 12 años, son 3 419 t/año de peces juveniles.

La distribución de edades de juveniles entre 1949-1960 es la siguiente:

Edad	Peces capturados	%
1	25 885	9.1
2	209 519	74.0
3	36 581	12.9
4	11 013	3.9
Total...	282 998	

El valor final de los atunes rojos juveniles de las tres pesquerías es:

	G. de Vizcaya	Marruecos	Portugal	TOTAL
1	25 885	188 750	71 750	286 385
2	209 519		6 857	216 376
3	36 581			36 581
4	11 013			11 013
				550 355