

Importancia de la variabilidad climática en las pesquerías y biología de la merluza europea *Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758) de la costa Noroccidental Africana



César Gabriel Meiners Mandujano

Tesis Doctoral

2007



INSTITUTO  
ESPAÑOL DE  
OCEANOGRAFÍA

UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE CATALUÑA



Memoria de Tesis Doctoral  
Para optar al título de  
Doctor en Ciencias

**Importancia de la variabilidad climática en las  
pesquerías y biología de la merluza europea  
*Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758) de la  
costa Noroccidental Africana**

Presentada por  
César Gabriel Meiners Mandujano

Dirigida por  
Ana Ramos Martos

Marzo de 2007



**Dra. ANA RAMOS MARTOS**, Investigadora Titular del Instituto Español de Oceanografía,

CERTIFICA QUE:

La memoria de Tesis Doctoral titulada "**Importancia de la variabilidad climática en las pesquerías y biología de la merluza europea *Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758) de la costa Noroccidental Africana**", presentada por **CÉSAR GABRIEL MEINERS MANDUJANO**, ha sido realizada bajo su dirección en el Centro Oceanográfico de Málaga del Instituto Español de Oceanografía.

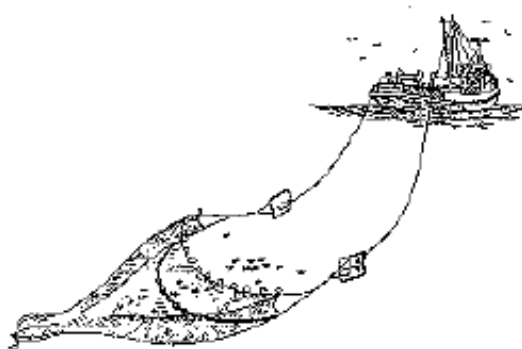
Y para que conste a los efectos oportunos, firmo el presente certificado en Vigo a 19 de marzo de 2007.



Fdo. Dra. Ana Ramos Martos



*Dedicado a una familia de luchadores incansables, mis padres Martha y Rolf, mis hermanos Daniel y Rodrigo, y al pequeño sobrin@ que anuncia con piruetas su llegada.*



*.....para Gloria, compañera de andanzas e inspiración en este largo viaje*



## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin el ofrecimiento inicial, el apoyo incondicional y la dirección de la Dra. Ana Ramos, quien gestionó mi acogida en el Centro Oceanográfico de Málaga y me abrió la puerta para trabajar dentro del programa de las pesquerías africanas del Instituto Español de Oceanografía, aun a pesar de las trabas institucionales. Esta oportunidad me permitió conocer y trabajar con personas excepcionales, entre quienes destaca Lourdes Fernández, quien a través de sus comentarios, aportaciones y apoyo logístico en el derrotero de este trabajo, facilitó la consecución de la meta final. El agradecimiento es extensivo al grupo CECAF de Málaga, donde disfruté del trabajo y amistad con el despacho de las leonas, Ana, Lourdes, Carmen, Tere y Paqui, gracias por la amistad de todas.

A Eduardo Balguerías por el respaldo y amistad desde la jefatura del programa CECAF, así como a los compañeros con quienes compartí excelentes momentos de arduo trabajo y al mismo tiempo de socialización durante las campañas MAROC, Carmiña de Sada, Fran, Caleli, Pepe, Eva, Carlos, Paqui, Malek, Khalid, Jamal, Sadia, Hakim, Hamou, Hicham, Eduardo, Itziar y naturalmente a toda la tripulación del B/O Vizconde de Eza.

El agradecimiento lo hago extensivo al personal, compañeros todos, del CO de Málaga que tuve a bien conocer, y que hicieron de mi estancia en el Centro un verdadero placer: Miguel Bernal, Javi King, Cristina, Jesús gaditano, Pedrito, Maco, Luis y Jose Quintanilla, Salva, las dos Marías, David, Enrique, Luismi, Francina, los Manolos, Laura, Juan Pedro, Lola, Pili, Ana G, Alberto, Ma. Carmen, Ángel, Teo, Jesús M, Luis GS, Juan PR, Juan C., Jorge B, Pili, Joan, Juan ...en fin, una larga lista de personas entrañables que aunque no cito completa, no olvido, a todos muchas gracias.

Charo, gracias por el apoyo moral y la sonrisa que levanta el ánimo a cualquiera cada mañana, y a Ana Hernández un reconocimiento especial como proveedora de buena parte del soporte bibliográfico de este trabajo desde la biblioteca.

A todos nuestros colegas marroquíes, mauritanos, senegaleses y del resto de países costeros de la Comisión de Pesca del Atlántico Centro Oriental, con la esperanza de que esta pequeña aportación abra un nuevo campo de investigación y colaboración en un futuro próximo.

A los compañeros de procedencia diversa con quienes coincidí en las campañas MEDITS y MERSEL, Balbina, Domingo, Pere, Nuria, Eva, Maite, José Luis, María



Campo, Xisco, Juan, Ruy, Eliza, Bene, David, a las tripulaciones del Cornide y del Navarro, y a quien por falta de memoria pueda olvidar.

Ya entrados en gastos, expreso mi reconocimiento a las personas que contribuyeron enormemente a sentirme en España como en casa, en Barcelona, a mi familia de acogida, Palmira, Carlos<sup>†</sup> y Carmiña, y a los viejos y nuevos amigos con quienes compartí un tiempo de vida, Toantihu, Elena, Marga, Jaimito, Rodolfo, Jorge, Jaume, Sabino, Santiago y familia y a todos los 'compas' del doctorado. En Málaga, a Nancy, Miguelito, a la familia Matanza (Paqui, Carlos y Candela), Rocío y Pablo, las Lauras, Marta, Mico, Pedro Pintor y un conjunto enorme de amigas y amigos para los cuales necesitaría un compendio aparte, gracias a todos y mil disculpas por no especificarlos a todos.

Pido perdón si a alguien olvidé en el camino, son muchas las personas, muchos los momentos, sin duda todos importantes en este proceso interminable de aprendizaje.

Es menester decir que este trabajo fue realizado en su totalidad en el Instituto Español de Oceanografía, gracias a la colección de datos pertenecientes a dicho Instituto, recogidos a lo largo de más de 20 años de trabajo y con la participación de un conjunto amplio de colaboradores, muchos de los cuales no tuve el gusto de conocer.

Finalmente, durante la elaboración de ésta tesis, fui beneficiario de una beca para estudios doctorales del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) del gobierno Mexicano (No. 123039) y del apoyo de la *fundación* Meiners-Mandujano.

## Summary

Fish population and fisheries fluctuations are closely linked to climate dynamics through environmental variability that determines the distribution, migration and abundance of fish. Fishery science were largely focused on the great northern hemisphere fisheries, which some of them fluctuate at decadal time scales and show patterns of synchrony with low frequency signals, as reflected by climatic indices such as the North Atlantic Oscillation (NAO). However, there is scarce information about these patterns at lower latitudes like NW African coast, in spite of this area supports large international fisheries. The aim of this work was to analyze how climate variability described by NAO and the physical environment influences the productivity of European hake abundance, growth and recruitment variability.

The European hake is widely distributed in the North Atlantic and their southern distribution limit is located in NW Africa. Historically it has been carried out an important multinational fishery in this area. In order to understand why it is important to test the climatic hypothesis over European hake stock, I presented the background elements in three main discussion lines. In Chapter 1, I compared the biology and population dynamics between European hake of NW Africa and populations from North Atlantic and Mediterranean Sea. In Chapter 2, it is described and analyzed the structure and evolution of European hake fisheries in NW Africa, focused on unexplained variability of stock assessment procedures carried out until now. In Chapter 3, the main climatic and environmental features of NW African coast are described, emphasizing the potential deterministic influence that variability of these features might exert on the biology, population dynamics and fisheries of European hake in this area.

In Chapter 4, catch-based abundance indices of Moroccan and Spanish fisheries were used as the dependent variables in correlation analysis with NAO index. Time series analysis techniques were applied to ICOADS data and satellite data of wind stress and phytoplankton biomass as upwelling proxies to assess their dependence with NAO index. It was found a positive relationship between the NAO and hake abundance. NAO explained 35-45% variability of juveniles with 1-year lag and 45-60% of small and large adults with 2-3-years lag. The NAO index is a proper tool to trace the annual growth of European hake, at least during the first three years of life. Based on this, it is suggested that the growth rate is greater than previous calculus in the area, and it supports the fast growing hypothesis proposed for North Atlantic and Western Mediterranean. The wind stress explained 83% of phytoplankton biomass variability and both of them were positively correlated with NAO index (41-58% explained variability respectively). The hake abundance was positively related

with favorable oceanographic and productive regime associated with positive NAO conditions. The increasing of upwelling events appear to promote increased abundance of hakes mainly during early life stages, probably throughout enhanced productivity conditions.

In Chapter 5, it was tested the relative importance of climate variability on recruitment dynamics estimated from fishery data and scientific Moroccan surveys. The recruitment to the fishery took place during all year with peaks in spring and summer, but the seasonal component was weak. The time series were in synchrony with NAO index of the previous year and showed strong positive correlation. The recruitment success variability explained by NAO was 25 to 82 % depending on time series size. The main NAO effect in recruitment dynamics was the widening-contraction of Recruitment Window. During NAO+ phase several success cohorts were recruited by year, while in NAO- the success cohorts were scarce and weak. The climate signal in recruitment dynamics of European hake was robust, recurrent and persistent independently of fishing effort.

Finally, in Chapter 6, the NAO index was included as a state variable in a Ricker stock-recruitment-environment model, to contrast it with classical Ricker and Beverton & Holt models. The NAO factor enhanced the fitting model and determined the dispersion degree of recruitment at certain stock level, just before of overcompensation effect of Ricker curve. This exercise represents a step forward in order to include the environmental variability induced by climatic system in stock assessment of demersal resources of NW Africa.

## Resumen

El impacto de los cambios de escala climática sobre la producción pesquera mundial es una cuestión relevante científica y económicamente, ya que algunas de las principales pesquerías marinas muestran variaciones temporales en sincronía con oscilaciones climáticas. Por esta razón, en años recientes se ha puesto mayor atención en investigar de qué forma responden los ecosistemas marinos a la variabilidad climática natural, y cómo este conocimiento puede ser incorporado en la gestión de los recursos pesqueros. Sin embargo, dilucidar el impacto del clima sobre las pesquerías no es una tarea sencilla, porque se trata de un proceso holístico de gran escala que interactúa con multiplicidad de factores locales que determinan en última instancia el impacto sobre las poblaciones explotadas.

Por lo tanto, el objetivo principal de este trabajo de tesis fue analizar de forma amplia la importancia relativa de la variabilidad del clima descrita por la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) en la evolución de las pesquerías y la dinámica de población de la merluza europea en la costa Noroccidental Africana. Para entender la necesidad de explorar la hipótesis climática como fuente de variación principal, primero se proporcionan elementos de discusión acerca de los conceptos de referencia que sustentan tal posibilidad, en tres líneas principales. En el CAPÍTULO 1, se analiza comparativamente la biología y dinámica poblacional entre la merluza europea de la costa Noroccidental Africana y las poblaciones de la especie que se distribuyen en el Atlántico norte y Mediterráneo. En el CAPÍTULO 2, se describe y analiza la estructura y evolución de las pesquerías dirigidas a esta especie en el área de estudio, haciendo énfasis en la variabilidad no explicada por las evaluaciones del stock llevadas a cabo hasta el momento. En el CAPÍTULO 3, se presenta una descripción del entorno climático y ambiental de la costa Noroccidental Africana, y se discute acerca del potencial de influencia que la variabilidad de este entorno pudiera tener en la biología, dinámica poblacional y las pesquerías de la merluza europea en esta área geográfica en particular.

Posteriormente, en el CAPÍTULO 4 se estableció que la abundancia de merluza europea está correlacionada significativa y positivamente con el índice NAO. La variabilidad de la abundancia de juveniles es explicada por la NAO en un 35-45% con un año de desfase y entre 45 y 60% la de adultos tempranos y adultos grandes, con 2 y 3 años de desfase respectivamente. El desfase del impacto, permite utilizar el índice NAO como trazador del crecimiento anual de la merluza europea, cuya magnitud fue el doble de la estimada en trabajos anteriores en el área. El proceso que presumiblemente vincula la variabilidad climática descrita por la NAO y la abundancia por grupos de talla de la merluza europea, es la extensión espacial y

temporal de los afloramientos inducidos por viento. El estrés de viento explica el 83% de la variabilidad de la biomasa de fitoplancton y ambos parámetros se correlacionaron positivamente con el índice NAO del mismo año. Es decir, que la abundancia de juveniles está directamente relacionada con un régimen oceanográfico y productivo favorable asociado con fases positivas de la NAO.

Como consecuencia de lo anterior, en el CAPÍTULO 5 se exploró la contribución relativa de la señal climática a la dinámica del reclutamiento de la especie a través de índices derivados de las pesquerías y de campañas científicas. Se determinó que el reclutamiento a la pesquería sucede a lo largo de todo el año, con máximos en primavera y verano, pero con estacionalidad débil. El reclutamiento varía en fase con la NAO del año previo (25-82% de la variabilidad explicada). El mecanismo de respuesta ecológico a las variaciones de la NAO, fue la ampliación-contracción de la Ventana de Reclutamiento (VR). Durante una fase positiva de la NAO, se reclutan varias cohortes en un mismo año, en tanto que durante una fase negativa, el número e intensidad de cohortes reclutadas disminuye sensiblemente. La señal climática en el reclutamiento es robusta, recurrente y persistente independientemente del nivel de esfuerzo de pesca.

Finalmente, en el CAPÍTULO 6 se incorporó el índice NAO como un parámetro ambiental en un modelo stock-reclutamiento, que mejora el ajuste de los datos con respecto a los modelos clásicos. El factor NAO determina la dispersión del reclutamiento a un mismo nivel del stock reproductor, previo a la sobrecompensación de la curva de reclutamiento. Esto representa un paso muy importante hacia la incorporación de la variabilidad ambiental inducida por el sistema climático en la evaluación de los stocks demersales de la costa Noroccidental Africana.

---



---

**ÍNDICE**

<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
<b>ESTRUCTURA DE LA TESIS</b> .....	4
<b>CAPÍTULO 1. La merluza europea, <i>Merluccius merluccius</i> (Linnaeus, 1758) de la costa Noroccidental Africana</b> .....	5
INTRODUCCIÓN .....	7
UBICACIÓN TAXONÓMICA Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA ...	8
BIOLOGÍA E HISTORIA DE VIDA .....	11
Reproducción .....	11
Talla de primera madurez y proporción sexual .....	13
Relaciones talla-peso .....	15
Crecimiento .....	19
Alimentación .....	23
DISCUSIÓN .....	24
<b>CAPÍTULO 2. Características y evolución de las pesquerías de merluza europea (<i>Merluccius merluccius</i> L.) en la costa Noroccidental Africana</b> .....	27
INTRODUCCIÓN .....	29
PESQUERÍAS .....	30
Pesquerías españolas .....	32
<i>Arrastreros de merluza y crustáceos</i> .....	32
<i>Arrastreros de merluza negra (bous)</i> .....	33
<i>Redes de enmalle (volanta)</i> .....	34
<i>Palangreros de fondo</i> .....	34
Pesquerías marroquíes .....	36
<i>Flota costera</i> .....	36
<i>Flota industrial</i> .....	37
Pesquerías portuguesas .....	37
LOS ACUERDOS DE PESCA .....	37
EVOLUCIÓN DE LAS PESQUERÍAS .....	38
Esfuerzos de pesca .....	38
Capturas .....	44
Rendimientos (CPUE) .....	49
Evaluación pesquera .....	52
DISCUSIÓN .....	54

**CAPÍTULO 3. Entorno climático y ambiental de la costa Noroccidental**

<b>Africana</b> .....	57
<b>ENTORNO GEOMORFOLÓGICO</b> .....	59
<b>ENTORNO CLIMÁTICO</b> .....	60
La NAO .....	62
<i>Covariabilidad del océano</i> .....	64
<b>ENTORNO AMBIENTAL</b> .....	69
Oceanografía .....	69
Afloramiento .....	72
Productividad marina .....	77
<b>DISCUSIÓN</b> .....	81

**CAPÍTULO 4. Variabilidad climática inducida por la NAO y la abundancia de la merluza europea (*Merluccius merluccius* L.) en África Noroccidental:**

<b>Efectos y procesos oceanográficos relacionados</b> .....	85
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	87
<b>METODOLOGÍA</b> .....	89
Datos pesqueros .....	89
<i>Distribución de tallas</i> .....	89
<i>Datos de CPUE</i> .....	89
Índice NAO .....	89
Esfuerzo deformador de viento .....	89
Producción primaria de los afloramientos .....	90
Análisis .....	91
<b>RESULTADOS</b> .....	91
Distribución de tallas y CPUE .....	91
Esfuerzo deformador de viento .....	97
Producción primaria .....	103
<b>DISCUSIÓN</b> .....	106

**CAPÍTULO 5. Importancia de la variabilidad climática sobre el éxito de reclutamiento de la merluza europea (*Merluccius merluccius* L.) en África**

<b>Noroccidental</b> .....	115
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	117
<b>METODOLOGÍA</b> .....	120
Índices de reclutamiento .....	122
<i>Datos del arrastre mixto español AE50</i> .....	122
<i>Datos del arrastre costero marroquí</i> .....	123
Índice NAO .....	124
Análisis .....	124

---

RESULTADOS .....	125
Arrastre mixto español (AE50) .....	125
Datos marroquíes .....	134
DISCUSIÓN .....	138
<b>CAPÍTULO 6. Parametrización ambiental de la relación stock-reclutamiento de la merluza europea (<i>Merluccius merluccius</i> L.) de la costa Noroccidental Africana .....</b>	<b>145</b>
INTRODUCCIÓN .....	147
METODOLOGÍA .....	149
Datos de base .....	149
Índice NAO .....	150
Modelos .....	150
RESULTADOS .....	152
DISCUSIÓN .....	155
CONCLUSIONES .....	159
BIBLIOGRAFÍA .....	165





## INTRODUCCIÓN GENERAL

El impacto de las variaciones climáticas en los procesos ecológicos ha sido materia de amplia discusión desde hace un siglo aproximadamente. Después de un período en el cual prevaleció la idea de que los procesos intrínsecos denso-dependientes eran los responsables primarios de la estructura dinámica de los procesos ecológicos, estudios recientes han mostrado que las variaciones climáticas pueden tener un papel determinante de forma directa, o a través de la interacción con factores denso-dependientes de las poblaciones y las comunidades (Hallet *et al.*, 2004).

En años recientes, se ha puesto especial interés en el estudio de los efectos ecológicos que las variaciones climáticas causan en las poblaciones marinas en diferentes escalas temporales, con la intención de incorporar estos conocimientos en el manejo de los recursos naturales. Sin embargo, dilucidar el impacto del clima sobre los procesos ecológicos es una tarea compleja, debido a que el clima no afecta a las poblaciones a través de un solo factor individual, sino a través de una mezcla de factores de las condiciones locales (Stenseth *et al.*, 2003).

El clima influencia de forma determinante al conjunto de procesos ecológicos y, consecuentemente los patrones temporales y espaciales de las poblaciones y la abundancia de las especies. Las respuestas a las fluctuaciones climáticas se reflejan en la productividad de los ecosistemas marinos desde el fitoplancton hasta la dinámica de las poblaciones de peces (Cushing, 1982).

El estudio de la respuesta de los ecosistemas a la variabilidad climática, ofrece una oportunidad extraordinaria de estudiar la dinámica de los ecosistemas marinos a gran escala. Si se identifica un fenómeno climático específico cuantificable, éste puede ser visto como una serie de experimentos naturales a la escala del fenómeno. Esta aproximación facilita el desarrollo de ideas generales acerca de la estructura de los ecosistemas y cómo responden a la variabilidad climática. La Oscilación del Atlántico Norte (NAO) es un fenómeno climático cuantificable útil para desarrollar estas aproximaciones, debido a que es un fenómeno responsable de una proporción importante de la variabilidad del clima del Atlántico Norte y se han desarrollado varios índices para cuantificar esta variabilidad.

La utilización de proxies de las condiciones generales del clima como el índice NAO, reduce la complejidad espacial y la variabilidad temporal de estas condiciones en mediciones simples, lo que equivale a una expresión de las condiciones meteorológicas en conjunto. Con estos índices se puede realizar una

evaluación robusta de los efectos ecológicos de las fluctuaciones climáticas tomando en cuenta el carácter holístico del sistema, por lo menos en un estado inicial (Ottersen *et al.*, 2003).

Además de la reducción de la variabilidad espacial y temporal, la utilización del índice NAO presenta ventajas metodológicas importantes, porque puede simplificar la selección de parámetros meteorológicos en el modelado de los sistemas (Hastie *et al.*, 2001) y mejorar el éxito de la predicción de los efectos ecológicos. Por último, pero no por ello menos importante, los índices climáticos son de disposición pública en la red electrónica mundial a diferencia de los datos de las estaciones meteorológicas locales, que no siempre están disponibles o solo cubren períodos cortos de tiempo (Stenseth *et al.*, 2003).

Una de las limitaciones principales para el estudio de los efectos ecológicos de la variabilidad climática, radica en que existen pocas series temporales ecológicas de extensión suficiente para detectar la influencia de los fenómenos climáticos de gran escala como la NAO.

Sin embargo, debido a la importancia económica de algunas poblaciones de peces del Atlántico Norte, existen series históricas a través de las cuales se ha podido investigar acerca de las posibles relaciones entre variabilidad de las pesquerías y los ecosistemas marinos de las regiones donde se desarrollan. Las series de tiempo de estas investigaciones proveen de una oportunidad única de estudiar las respuestas de las poblaciones con la NAO.

Las variaciones de algunos ecosistemas marinos de plataforma y de las pesquerías más importantes del Atlántico Norte han sido correlacionadas significativamente con la NAO. Estas correlaciones han permitido sugerir hipótesis que explican mecanismos básicos de las respuestas de las poblaciones y los ecosistemas marinos a la variabilidad ambiental inducida por la NAO, pero todavía es una tarea en la cual se están dando los primeros pasos.

El principal problema a resolver en cada caso de estudio, es establecer el vínculo intermedio entre el índice NAO (gran escala) y la meteorología local que determinan el sentido y magnitud aproximada del efecto ecológico de las variaciones climáticas generales (Stenseth *et al.*, 2003).

A pesar de que la costa Noroccidental Africana es una de las cuatro áreas de afloramiento costero más productivas del mundo, que soporta una actividad pesquera multinacional y que se encuentra en el área de influencia inmediata de la

NAO, no se cuenta con información acerca de los efectos que la variabilidad climática inducida por la NAO ha tenido en la dinámica de las poblaciones y comunidades marinas. Especialmente sobre aquellas que son susceptibles de pesca como actividad económicamente importante, entre las que destacan las pesquerías de merluza europea (*Merluccius merluccius* Linnaeus, 1758).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue analizar de forma amplia las relaciones que existen entre la variabilidad climática inducida por la NAO y las pesquerías y la dinámica poblacional de la merluza europea en la costa Noroccidental Africana, así como los procesos clave que determinan el sentido y magnitud de tales relaciones.

Este trabajo de doctorado no sólo supone un avance en el conocimiento de las relaciones que vinculan las variaciones climáticas-ambientales y la abundancia de los recursos pesqueros; sino que debido al ámbito geográfico en el que se desarrolla el estudio, es un enorme paso adelante para suplir las carencias de datos de base de las que adolecen las evaluaciones de los stocks de las especies demersales de las aguas de los países del África Noroccidental.

## ESTRUCTURA DE LA TESIS

Para facilitar el entendimiento de por qué se planteó la hipótesis causa-efecto entre el clima y la dinámica poblacional y las pesquerías de la merluza europea, así como el procedimiento de estudio de estas relaciones, el cuerpo del manuscrito de tesis está compuesto por dos secciones principales.

En la primera sección se presentan los elementos descriptivos y conceptuales que sirven de marco de referencia para abordar el análisis de las relaciones entre la variabilidad climática-ambiental y la merluza europea.

- **CAPÍTULO 1:** Descripción comparativa de la biología y dinámica poblacional entre la merluza europea de la costa Noroccidental Africana y las poblaciones de la especie que se distribuyen en el Atlántico Norte y Mediterráneo
- **CAPÍTULO 2:** Descripción de la estructura y evolución de las pesquerías de merluza europea en el área de estudio, donde se enfatiza que las tendencias descritas sugieren la existencia de fuentes importantes de variación no consideradas hasta el momento en las evaluaciones del stock.
- **CAPÍTULO 3:** Descripción funcional del entorno climático-ambiental de la costa Noroccidental Africana, destacando la importancia de la región desde el punto de vista oceanográfico y productivo, y la relevancia potencial que la variabilidad climática descrita por la NAO tiene en estos procesos.

En la segunda sección se presentan el análisis y los resultados de las relaciones entre las variables consideradas como fundamentales en el escenario entre la variabilidad del clima inducida por la NAO y la merluza europea.

- **CAPÍTULO 4:** Se establece el tipo de relación que existe entre la NAO y la abundancia de las pesquerías de merluza europea, así como el papel clave que desempeña la dinámica de los afloramientos inducidos por viento como vínculo principal entre la NAO y sus efectos ecológicos.
- **CAPÍTULO 5:** Se probó la contribución relativa de la variabilidad inducida por la NAO al reclutamiento a la pesquería, mediante el análisis y discusión de la hipótesis de que la NAO se relaciona proporcionalmente con la extensión de la Ventana de Reclutamiento de la merluza europea.
- **CAPÍTULO 6:** Dada la relación de la NAO con las pesquerías y la productividad del sistema, se analiza la viabilidad de la incorporación del índice NAO en un modelo stock-reclutamiento, como primera aproximación para ser considerada en futuras evaluaciones del recurso.

# CAPÍTULO 1

---

La merluza europea, *Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758) de la costa Noroccidental Africana



## INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta una revisión y discusión comparativa de las características distintivas y de los parámetros biológicos de la merluza europea que se distribuye en África Noroccidental, respecto de las poblaciones del Atlántico Noreste y del Mediterráneo.

Para llevar a cabo estas comparaciones, se actualizaron y complementaron algunos de estos descriptores, en base a las estimaciones realizadas durante la década de los ochenta y principios de los noventa, después de que el Instituto Español de Oceanografía (IEO) iniciara el seguimiento de las pesquerías españolas de merluza en el área CPACO (Comisión de Pesca del Atlántico Centro Oriental), en agosto de 1981.

Las estimaciones complementarias provienen de dos fuentes diferentes: (1) Datos biológicos de la Red de Información y Muestreo (**RIM**) del IEO en el Puerto de Málaga, basados en muestreos mensuales de las merluzas capturadas por la flota española que faenó al arrastre en Marruecos durante 1989, 1990 y 1991. El número de individuos muestreados fue de 2969, 1049 y 2305, respectivamente. En los tres años, la cobertura del muestreo fue de enero a diciembre, excepto el mes de febrero que correspondió al paro biológico estipulado en los acuerdos de pesca que rigieron la actividad. (2) Resultados de las tres campañas **MAROC** realizadas a bordo del B/O Vizconde de Eza, durante noviembre-diciembre de 2004, 2005 y 2006. En estas campañas se cubrió la totalidad de la costa Atlántica de Marruecos y el Sahara, en un intervalo de profundidad de 500-2000 m, durante 2004 y 2005, y de 200-2000 m de profundidad en 2006. Se muestrearon biológicamente 163, 186 y 306 individuos, respectivamente.

Con este trabajo comparativo, se contribuye al conocimiento de la biología de la merluza europea en su límite meridional de distribución, y se aportan elementos de discusión para contextualizar las diferencias biológicas en función de la distribución geográfica de la especie.



## UBICACIÓN TAXONÓMICA Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

La ubicación sistemática de la merluza europea o merluza blanca, según lo expuesto por Inada (1981) y Cohen *et al.* (1990), es la siguiente:

**SUPERCLASE** GNATHOSTOMATA  
**CLASE** ACTINOPTERYGII  
**SUBCLASE** Neopterygii  
**INFRACLASE** Teleostei  
**SUPRAORDEN** Paracanthopterygii  
**ORDEN** Gadiformes  
**FAMILIA** Merlucciidae  
**SUBFAMILIA** Merlucciinae  
**GÉNERO** *Merluccius*  
**ESPECIE** *Merluccius merluccius* (Linnaeus 1758)

Recientemente se ha propuesto la división de *M. merluccius* en al menos dos subespecies. En el Atlántico Europeo, el Noroeste Africano y el Mediterráneo Suroccidental se distribuiría *Merluccius merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758), en tanto que *Merluccius merluccius smiridus* Rafinesque, 1810 ocuparía el Mediterráneo Noroccidental (Lloris *et al.*, 2003).

Las merluzas ocupan un amplio espectro de hábitats, son especialmente abundantes en frentes oceánicos de alta variabilidad, en las regiones de afloramiento de alta producción asociados a las corrientes de frontera oriental de los océanos del mundo, y no es extraño que dos especies coincidan en una misma área.

La especie *Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758) se distribuye ampliamente en el Atlántico Oriental, desde las costas Europeas de Noruega e Islandia en el norte, hasta Mauritania (21°N), su límite meridional en la costa Noroccidental de África (Inada, 1981). También se distribuye en el Mediterráneo y a lo largo de la costa sur del mar Negro (Fig. 1.1). En la costa Noroccidental Africana, al sur de Cabo Cantin (33°N), el área de distribución de *M. merluccius* se solapa con el de la merluza senegalesa (*Merluccius senegalensis* Cadenat, 1950) y con la merluza de Benguela (*Merluccius polli* Cadenat, 1950) al sur de los 20° N (Ramos & Fernández, 1995); e incluso hasta los 25° N (observaciones de campaña MAROC-0611), latitudes a las cuales estas especies tienen su límite norte de distribución (Fig. 1.2).

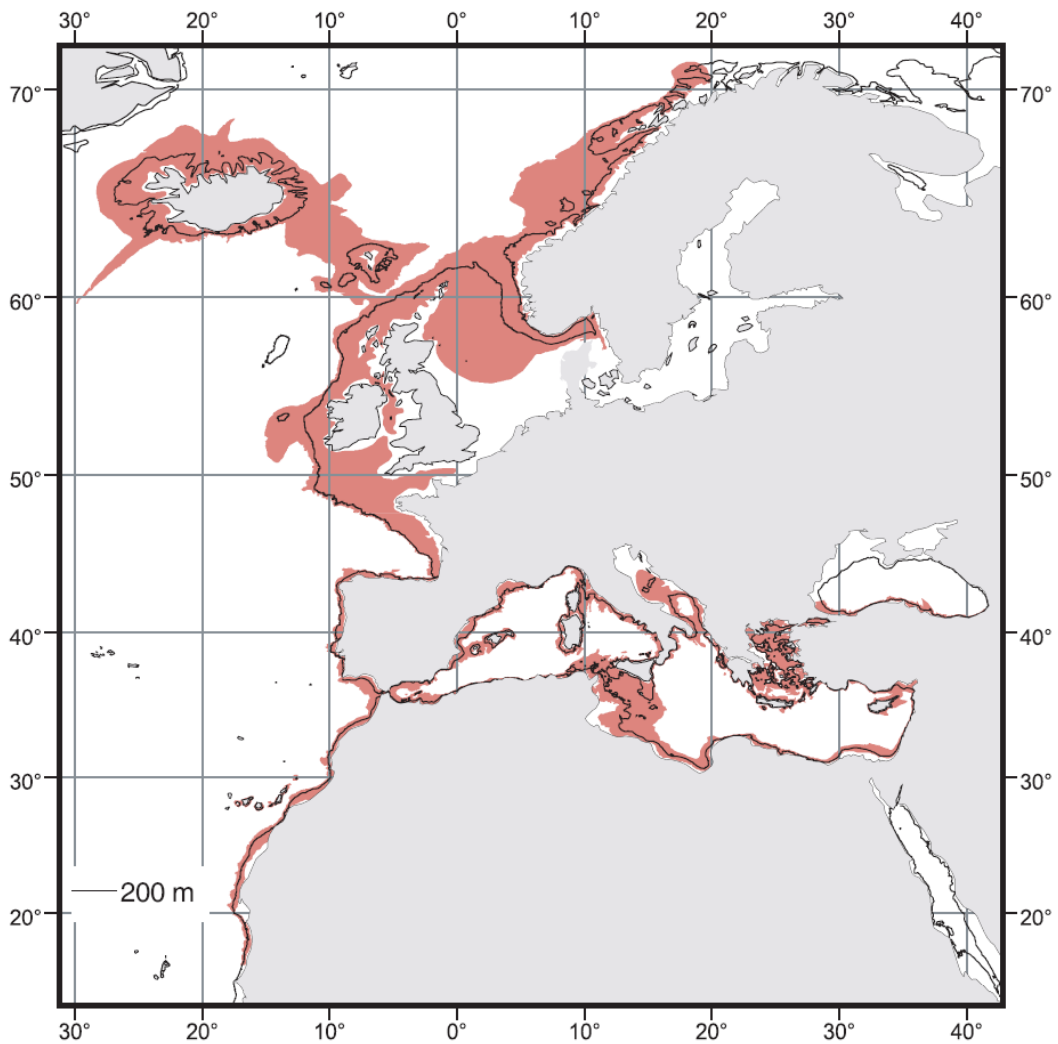


Figura 1.1. Distribución geográfica de *Merluccius merluccius* (ilustración tomada de Lloris *et al.*, 2003).

*M. merluccius* se distribuye entre 70 y 370 m, pero puede encontrarse en intervalos más amplios de profundidad, desde aguas costeras (30 m) hasta 1000 m. Exceptuando la plataforma costera, donde habitan principalmente los juveniles, en África Noroccidental las mayores abundancias de *M. merluccius* se encuentran entre 400 y 750 m de profundidad (Fig. 1.3). Para las tres especies de merluzas de África Noroccidental existe segregación batimétrica de tallas, de forma que los individuos más grandes predominan a mayores profundidades (Turner & El Ouairi, 1986; Caverivière *et al.*, 1986; López-Abellán & Ariz, 1993), aunque no quedan totalmente excluidas las clases de talla pequeñas a estos fondos (Turner & El Ouairi, 1986), tal y como se ha registrado también en las campañas MAROC 2004, 2005 y 2006 (Fig. 1.4).

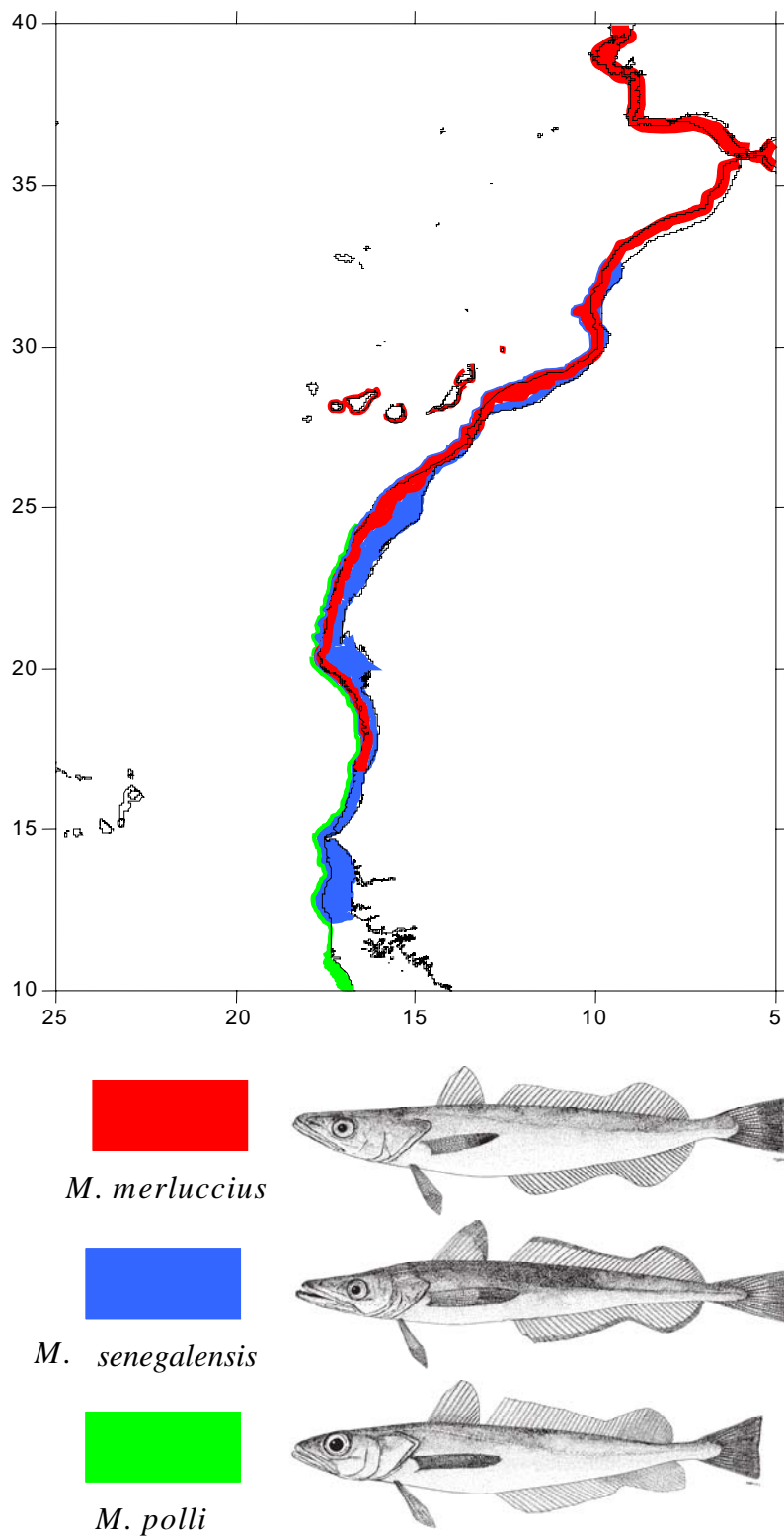


Figura 1.2. Distribución compartida de *Merluccius merluccius*, *Merluccius senegalensis* y *Merluccius polli* en África Noroccidental. (Ilustración modificada de Ramos & Fernández, 1995 y Lloris et al., 2003).

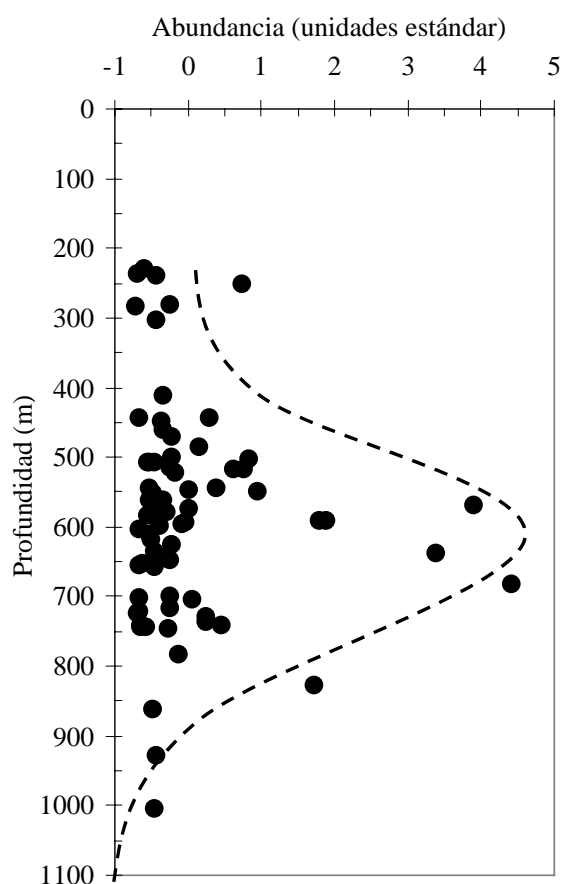


Fig. 1.3. Distribución batimétrica de la abundancia estándar (media = 0; Desviación Estándar = 1) de *M. merluccius* obtenidas en las campañas MAROC en el Atlántico marroquí y el Sahara durante noviembre de 2004, 2005 y 2006 (IEO-INRH, datos sin publicar).

## BIOLOGÍA E HISTORIA DE VIDA

### Reproducción

La estrategia reproductora de la merluza es una combinación entre un amplio período de puesta, liberación de huevos en fases sucesivas y una alta fecundidad, lo cual permite la generación de varias cohortes anuales. De esta forma, aunque la mortalidad de las larvas de algunas cohortes sea elevada, existe alguna oportunidad de que la mortalidad de una o más cohortes sea lo suficientemente baja como para producir un reclutamiento exitoso (Papaconstantinou & Stergiou, 1995), gracias a la existencia de condiciones oceanográficas favorables y a la disponibilidad suficiente de alimento en períodos diferentes. Esto es, gracias a una ampliación temporal de la ventana ambiental de reclutamiento (Oliver & Massutí, 1995).

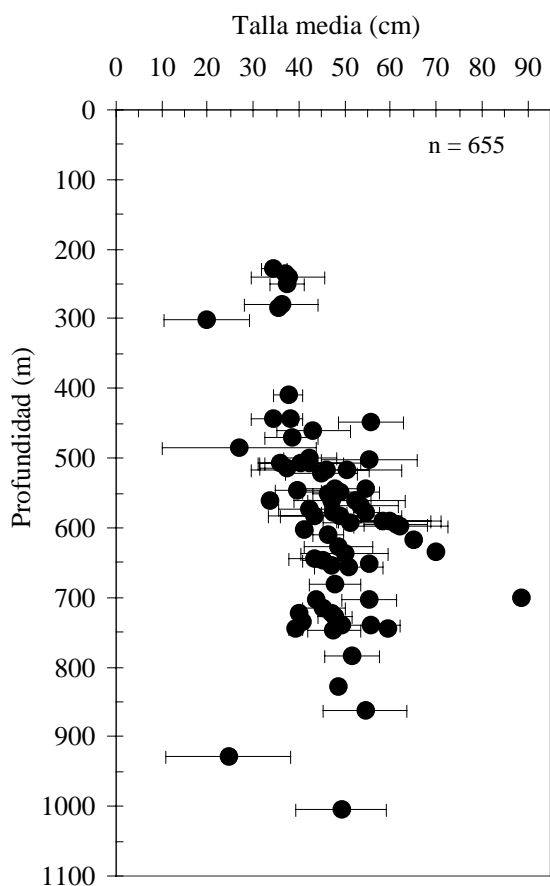


Fig. 1.4. Distribución batimétrica de la talla media ( $\pm$  DE) de *M. merluccius* estimada de las campañas MAROC durante noviembre de 2004, 2005 y 2006.

La puesta tiene lugar a lo largo de todo el año y las hembras realizan cuatro o cinco desoves sucesivos (Sarano, 1983; Pérez & Pereiro, 1985), emitiendo en cada uno de los desoves, un promedio del 20% de los ovocitos. Tras la última emisión, queda en el ovario una población de pequeños ovocitos que degeneran cuando éste vuelve al reposo. La fecundidad se ha estimado entre 2 y 7 millones de ovocitos por hembra (Lloris *et al.*, 2003).

Debido a su amplia distribución geográfica, los períodos de desove de *M. merluccius* son diferentes para cada población presentando un marcado gradiente latitudinal (Cohen *et al.*, 1990). En la costa noroccidental africana *M. merluccius* tiene más de un desove parcial anual, con dos máximos apreciables, uno en invierno y otro en verano (Maurin, 1954; Goñi & Cervantes, 1986; Ramos *et al.*, 1990). Sin embargo, la intensidad de estos picos presenta una alta variación interanual (Ramos *et al.*, 1990; 1996).

Los adultos de *M. merluccius* se concentran para el desove en el borde de la plataforma de Marruecos entre Casablanca y Cabo Yubi, entre 100 y 200 m de profundidad sobre agregaciones de *Dendrophylla* (Maurin, 1954). Hasta el momento, no existen datos acerca de la fecundidad de *M. merluccius* en la costa Noroccidental Africana.

En la mayoría de las especies de merluza, el conocimiento acerca de su desarrollo temprano es escaso y las características críticas de la ecología de huevos y estadíos de larvas son relativamente pobres. Se sabe que los huevos de merluza se desarrollan a la deriva hasta la eclosión y, típicamente, después de 2-3 semanas aproximadamente las pequeñas merluzas son depredadores voraces del plancton (Pitcher & Alheit, 1995).

A diferencia del stock del Atlántico Norte, en la costa Noroccidental de África, no existen datos de distribución espacial y temporal de huevos y larvas. Los juveniles se concentran en áreas costeras, entre Cabo Yubi y Kenitra (García, 1982), coincidiendo parcialmente con las principales áreas de pesca de la flota costera de arrastre marroquí (Poinsard & Villegas, 1975).

### **Talla de primera madurez y proporción sexual**

La talla de primera madurez de los individuos de merluza europea de la costa Noroccidental Africana ha sido estimada entre 26.2 cm y 30.4 cm para los machos y entre 34.6 cm y 43.2 cm para las hembras, dependiendo de la cobertura temporal de las muestras y del intervalo de tallas considerado (Goñi & Cervantes, 1986; Ramos *et al.*, 1990; 1996; FAO, 2006a).

En la figura 1.5. se muestran las estimaciones basadas en datos agrupados de los muestreos biológicos de las capturas del Puerto de Málaga (1989 – 1991) y de las campañas MAROC (2004, 2005 y 2006); con ello se buscó ampliar el intervalo de talla para dar mayor representatividad a las ojivas de madurez. Los machos mostraron una  $L_{50} = 32.48$  cm (intervalo muestreado: 15.0 - 61.7 cm) y las hembras de 46.6 cm (intervalo muestreado: 20.0 - 88.5 cm), ambas tallas ligeramente mayores que las estimadas hasta el momento.

Estas tallas de primera madurez son ligeramente superiores a las estimadas para los individuos de las poblaciones del Mediterráneo occidental: 22.0-32.0 cm para machos y 30.0-39.0 cm para las hembras (Martín, 1989; Oliver, 1991; Sánchez & Martín, 1991; Recasens, 1992), pero ligeramente menores a los intervalos estimados para las

merluzas del Atlántico Noreste: 32.8-39.5 cm para machos y 45.4-58.0 cm para hembras (ICES, 1982; Pérez & Pereiro, 1985; Lucio *et al.*, 2000; Piñeiro & Sainza, 2003).

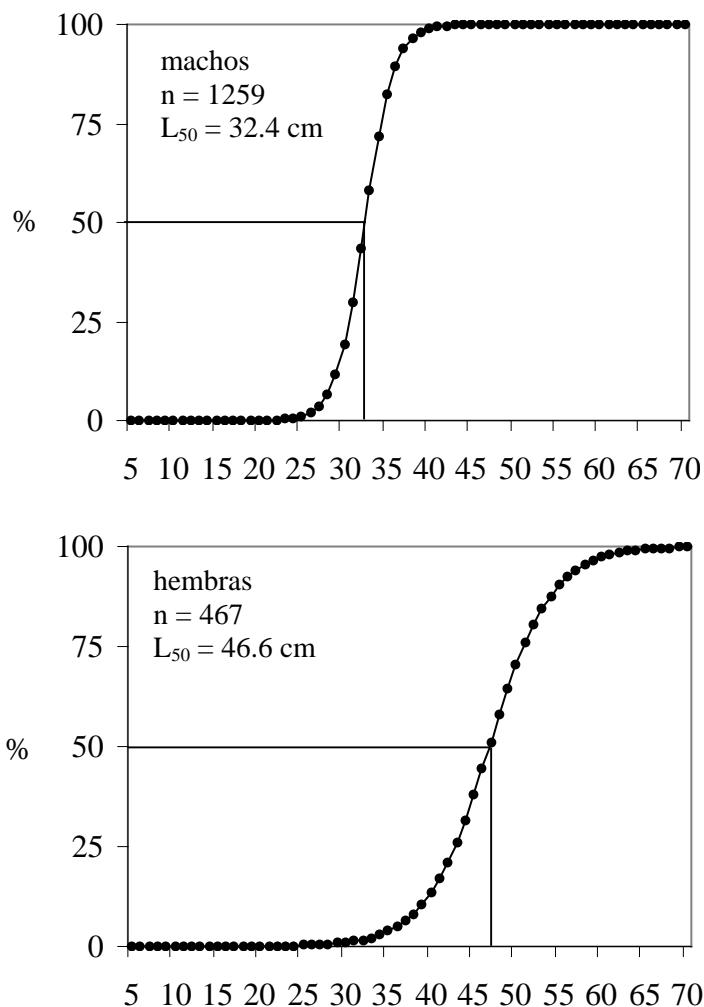


Figura 1.5. Ojivas de madurez para hembras (superior) y machos (inferior) de *M. merluccius* en África Noroccidental. Datos provenientes de muestreos biológicos de los desembarcos de los arrastreros españoles en el puerto de Málaga durante 1989, 1990 y 1991 y de las campañas MAROC- 2004, 2005 y 2006.

Independientemente de su zona de distribución, en la merluza europea, la proporción de sexos es favorable a los machos en tallas pequeñas y se invierte a favor de las hembras conforme se incrementa la talla. La diferencia en África Noroccidental estriba, en que al igual que con la talla de primera madurez, el cambio en la proporción de sexos ocurre a tallas menores que en el Atlántico Noreste. Esto es, aproximadamente a los 40 cm (Fig. 1.6) como media, mínimo 35 cm y máximo 45 cm

en África Noroccidental (Goñi & Cervantes, 1986; Ramos *et al.*, 1990), en comparación con el intervalo de 45-50 cm en el Atlántico Noreste (Pérez & Pereiro, 1981; 1985).

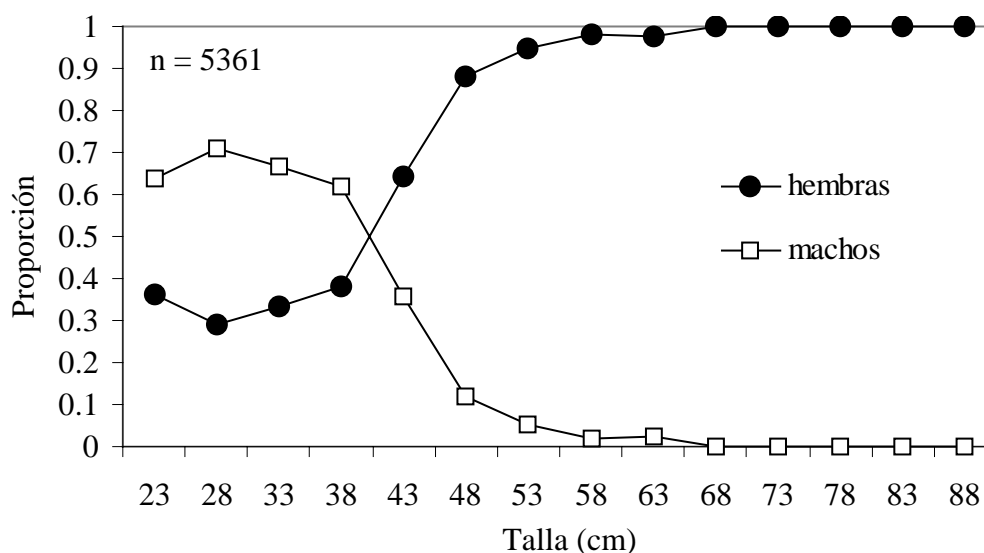


Figura 1.6. Proporción de sexos por clase de talla (ancho de clase 5 cm) de la merluza europea en África Noroccidental. Datos provenientes de muestreos biológicos de los desembarcos de los arrastreros españoles en el puerto de Málaga durante 1989, 1990 y 1991 y de las campañas MAROC 2004, 2005 y 2006.

### Relaciones talla-peso

El crecimiento relativo de la merluza europea es de tipo alométrico positivo, es decir que el incremento de peso es proporcionalmente mayor que el incremento de longitud. En la figura 1.7 se muestran las curvas del ajuste potencial  $W = a \cdot L^b$  por sexos, entre la talla en cm ( $L$ ) y los pesos, vivo ( $W_v$ ) y eviscerado ( $W_e$ ), ambos en gramos. También se presentan las ecuaciones del factor de conversión entre los pesos eviscerados y vivos por sexos y sexos combinados (Tab. 1.1). Todos ellos se han estimado en base a los datos de los muestreos de las capturas realizadas en Marruecos en 1989, 1990 y 1991 y de las campañas MAROC- 2004, 2005 y 2006, que cubrieron la totalidad de la costa Atlántica de Marruecos y el Sahara.

Las curvas de la relación  $L-W_v$  por sexos, son idénticas hasta los 40-45 cm, talla a partir de la cual las hembras ganan en general ligeramente más peso que los machos, previsiblemente por la contribución de los ovarios en desarrollo al peso total. No obstante, hay que tener en cuenta que tan solo el 1% de los machos muestreados para elaborar las relaciones  $L-W$  supera los 45 cm, de forma que la inclinación final de la curva de estos puede sufrir variaciones. En contraste, la relación  $L-W_e$  no difiere



significativamente entre sexos, lo que pone de manifiesto que a una misma talla, el crecimiento somático entre hembras y machos es igual (Fig. 1.8).

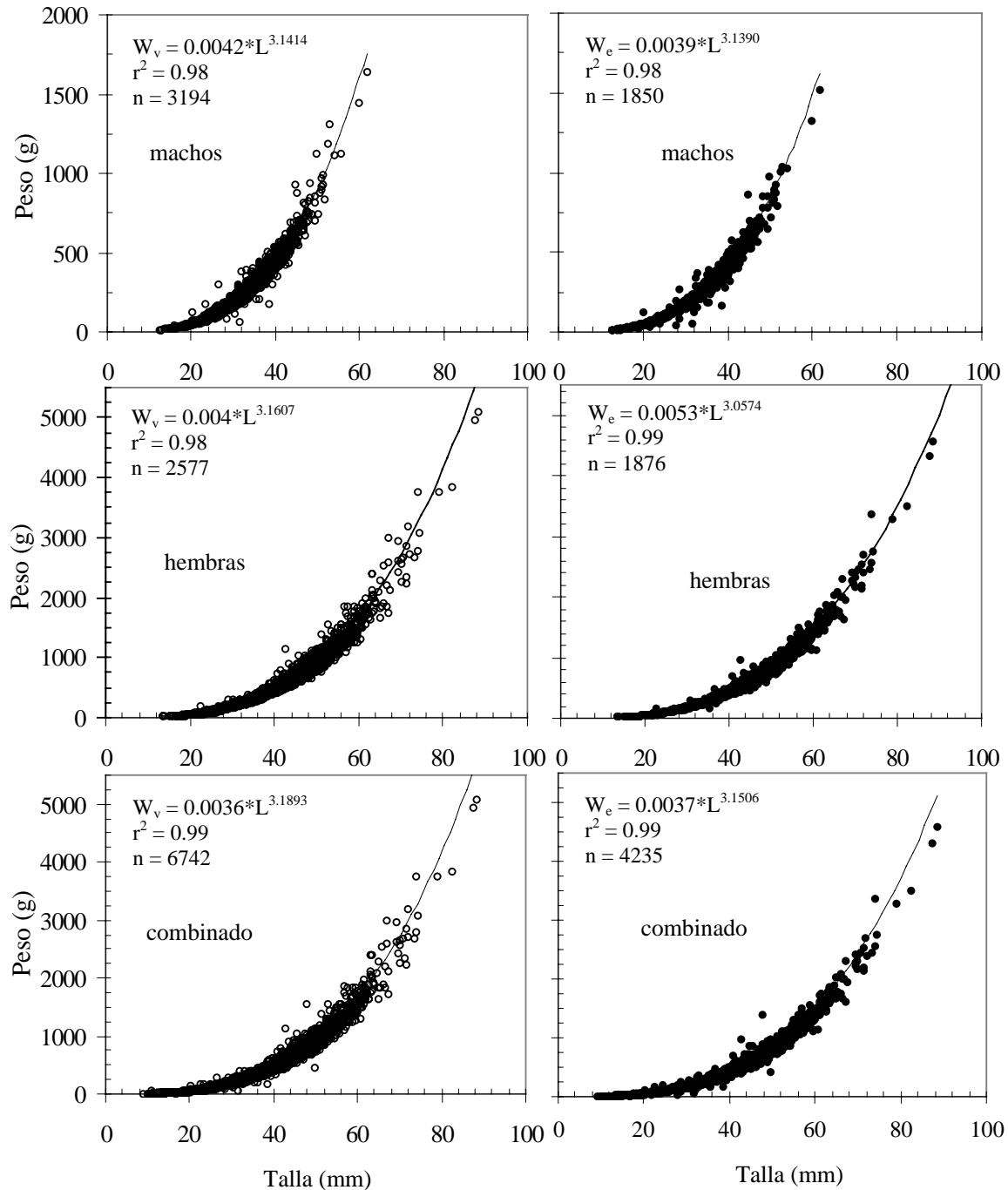


Figura 1.7. Relaciones talla L (cm) – peso W (g) vivo (columna izquierda) y eviscerado (columna derecha) de *M. merluccius* en África Noroccidental para hembras (superior), machos (intermedio) y combinados (machos + hembras + indeterminados) (inferior).

Tabla 1.1. Factores de conversión entre los pesos eviscerado  $W_e$  y  $W_v$  por sexos de la merluza europea capturada en Marruecos y Sahara.

	Función del Factor de conversión	Error Estándar	n	r <sup>2</sup> (%)	Intervalo de talla (cm)
<b>Machos</b>	$W_v = 1.0816 * W_e - 0.2827$	0.00197	1850	99.0	12.6 – 61.7
<b>Hembras</b>	$W_v = 1.1347 * W_e - 8.6386$	0.00276	1875	98.9	13.5 – 88.5
<b>Sexos combinados</b>	$W_v = 1.1297 * W_e - 8.2719$	0.001103	4235	99.1	9.0 – 61.7

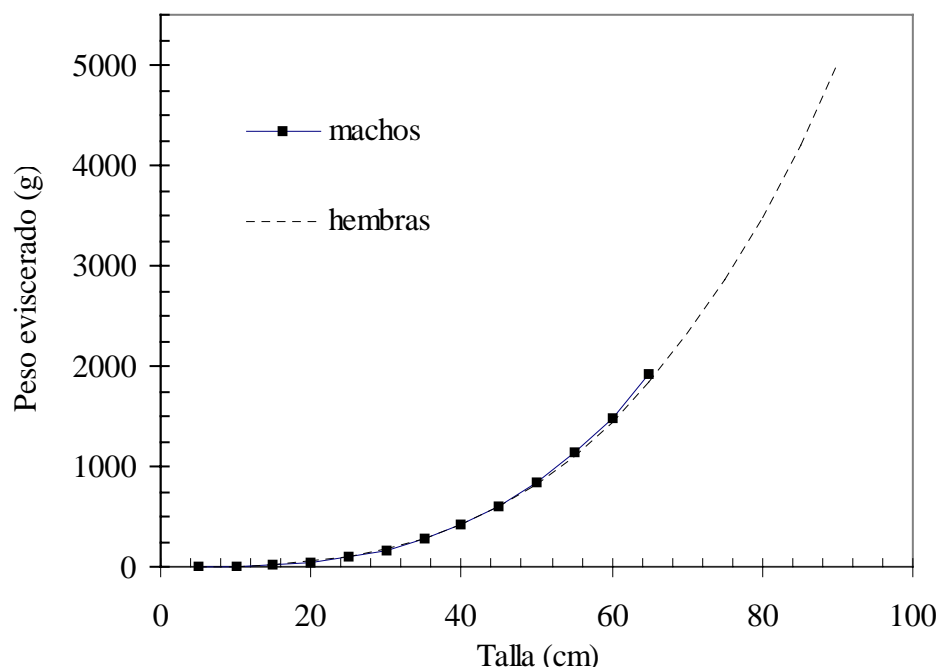


Figura 1.8. Comparación de las ecuaciones de las relaciones talla – peso eviscerado de machos  $W = 0.0053 * L^{3.0574}$  y hembras  $W = 0.0039 * L^{3.1390}$ . Ecuaciones presentadas en la figura 1.7.

Comparando las relaciones de  $L-W_v$  combinadas (machos + hembras + indeterminados) de las merluzas capturadas en otras zonas del Atlántico Noreste, se observan algunas diferencias. Las curvas de todas las áreas no difieren entre sí hasta los 35 – 40 cm. A partir de esta talla, las merluzas del África Noroccidental ganan más peso que las merluzas capturadas en las zona Sur del ICES y del Golfo de Vizcaya (Fig. 1.9), coincidiendo además con la talla a la cual el 100% de los machos y aproximadamente el 50% de las hembras alcanzan la madurez sexual.

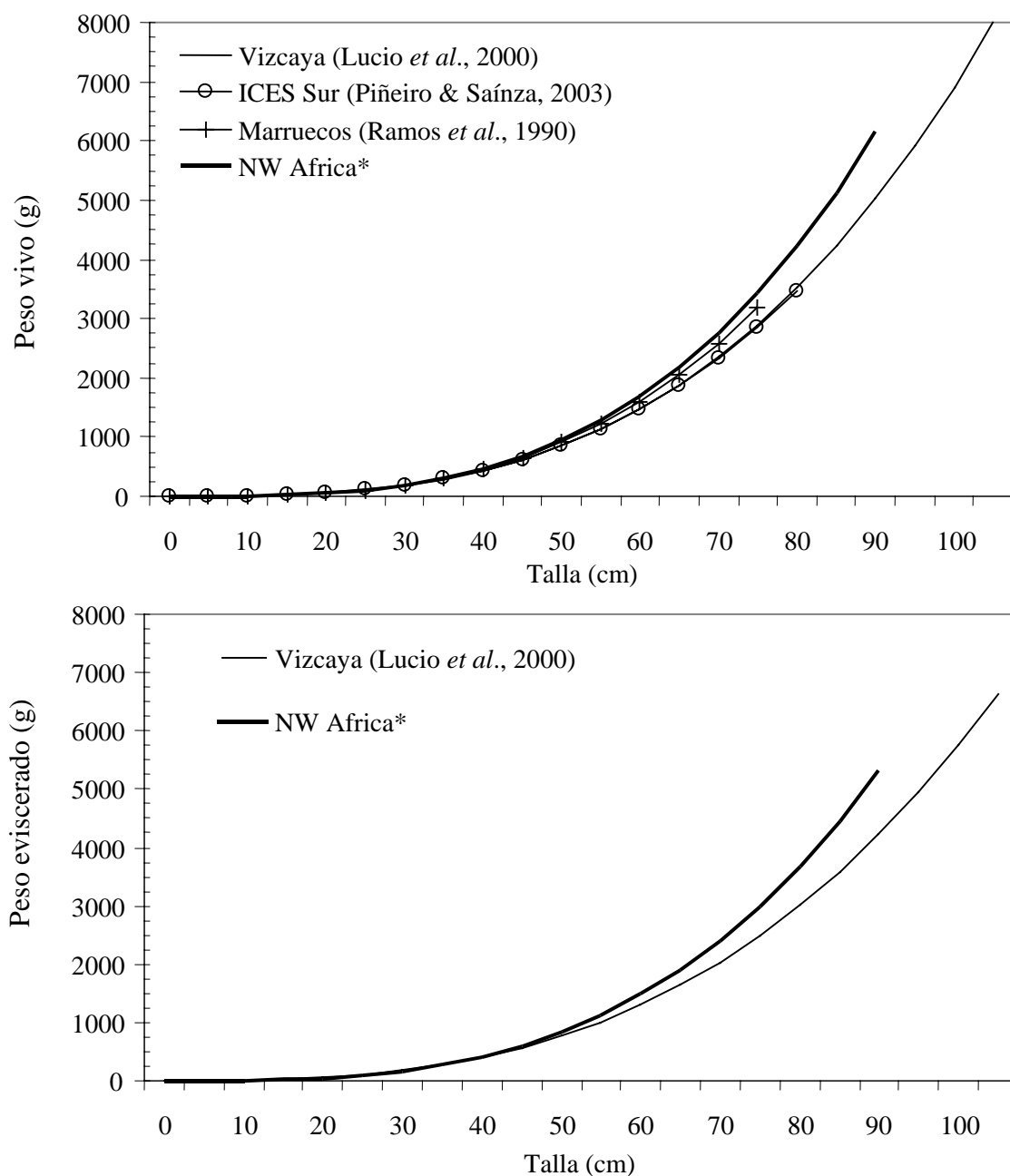


Figura 1.9. Comparativo de la relación talla (cm) – peso vivo (g) de *M. merluccius* de diferentes zonas del Atlántico Oriental. \* Curva presentada en la Figura 1.7.

Al igual que en el resto de las áreas de distribución de *M. merluccius*, en África Noroccidental las hembras alcanzan mayores tallas que los machos, observándose una segregación clara de tallas por sexos (Fig. 1.10). En los registros de las capturas de arrastre de 1989, 1990 y 1991 y de las campañas MAROC analizados, los individuos de mayor talla fueron un macho de 61.7 cm, pescado a 568 m de profundidad en 2004, y una hembra de 88.5 cm, capturada a 700 m en 2006; no

obstante existen registros de captura de individuos de hasta 103 cm, previsiblemente hembras, pescados en 1997 por la flota española de volanta (FAO, 2006a).

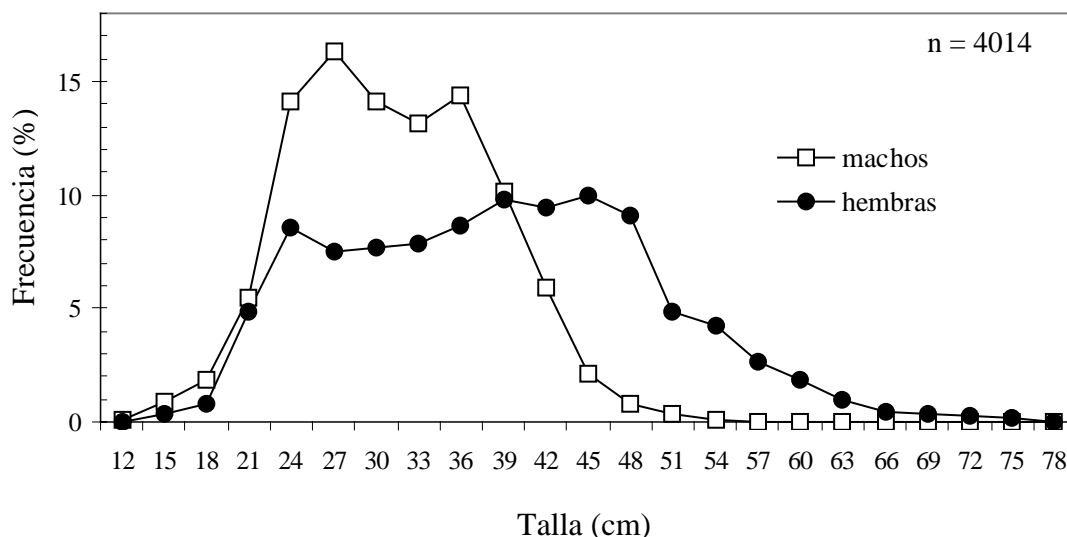


Figura 1.10. Distribución de frecuencias de tallas (%) por sexo de la captura de *M. merluccius* de África Noroccidental muestreada en el puerto de Málaga en 1989, 1990 y 1991, y en las campañas MAROC- 2004, 2005 y 2006.

## Crecimiento

El crecimiento es uno de los aspectos biológicos más sensibles y problemáticos en el estudio de la merluza europea en cualquiera de sus zonas de distribución, debido a la importancia que tiene para la evaluación y ordenación de las pesquerías.

A pesar de que existe una extensa literatura acerca del estudio del crecimiento de la merluza europea en la mayor parte de las áreas donde se distribuye, y que se han llevado a cabo diversos intercambios y Grupos de trabajo *ad hoc* para mejorar la precisión de la estimación de edad de los stocks del área ICES (Piñeiro, 2000; Piñeiro *et al.*, 2000; ICES, 2003; Piñeiro & Sainza, 2002; 2004;) actualmente no existe un método de determinación de la edad internacionalmente aceptado y validado basado en las estructuras duras de *M. merluccius*. La estructura de los anillos de los otolitos es difícil de interpretar, ya que factores tales como la definición del núcleo del otolito, la formación de anillos anuales e intermedios y la extensión del período de puesta, contribuyen a las discrepancias que existen entre los diferentes lectores. Como consecuencia de esto, las descripciones del crecimiento de la merluza europea varían dependiendo del área de captura y de la interpretación de los anillos de los otolitos (Casey & Pereiro, 1995).

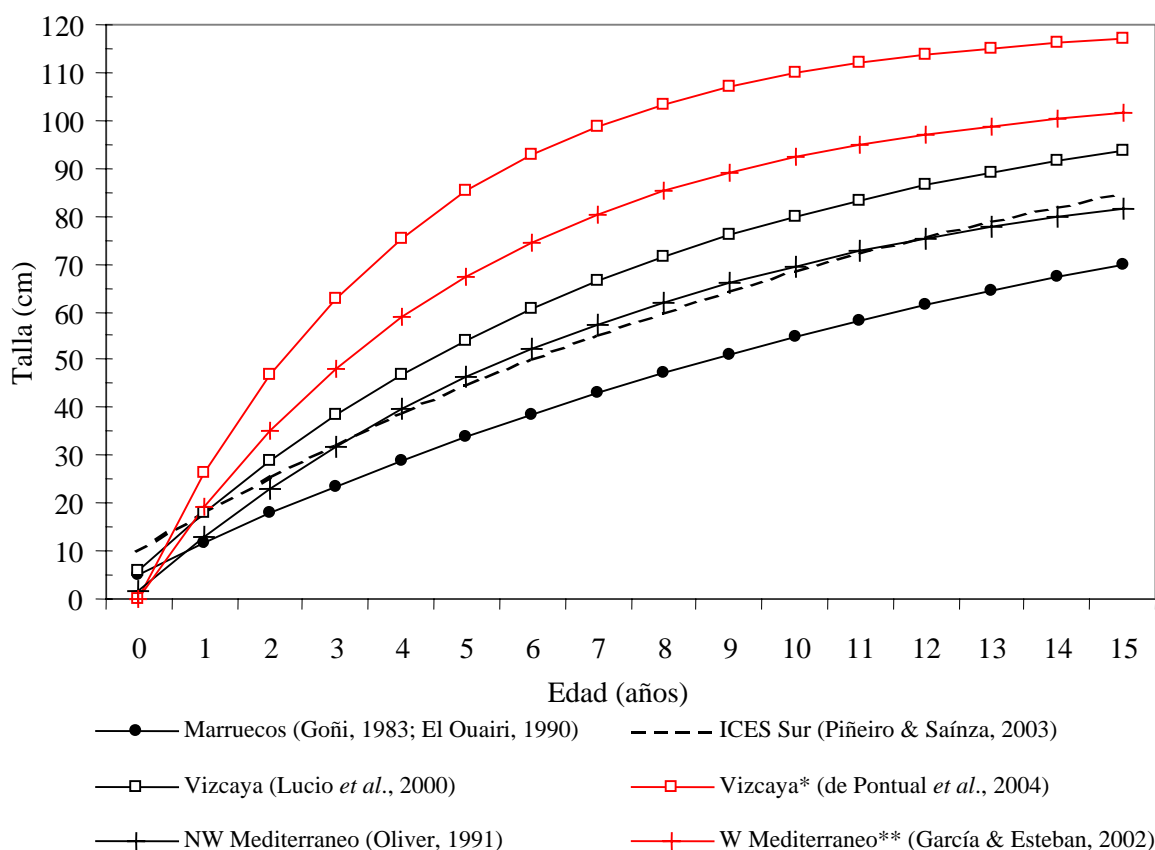
El grado de incertidumbre es tal, que durante el grupo de trabajo ICES de determinación de la edad de la merluza de 2004, se recomendó la suspensión de la elaboración de claves talla-edad (ALK) mediante la lectura de otolitos, hasta no contar con resultados que validaran la metodología.

En África Noroccidental, se han llevado a cabo estudios de crecimiento de *M. merluccius* en las costas marroquíes mediante la lectura de escamas (Belloc, 1923), de la sección longitudinal de otolitos (Maurin, 1954; AtlantNIRO, 1978; Rami, 1979) y de secciones transversales de los mismos (Goñi, 1983; El Ouairi, 1990).

Goñi (1983) estableció la primera clave talla-edad para *M. merluccius* de acuerdo con la técnica de Nichy (1977) (GFCM, 1982). En este estudio analizó la formación estacional del borde de los otolitos mediante retrocálculo de tallas medias por edad y parámetros de crecimiento para cada sexo y por sexos combinados. Menciona como problema principal la determinación del primer anillo de invierno, el cual debe ser distinguido de falsos anillos relacionados con eventos que suceden en los primeros estadios de desarrollo. El Ouairi (1990) obtuvo resultados prácticamente idénticos.

Sin embargo, existen evidencias recientes acerca de que el crecimiento de *M. merluccius* ha sido, en general subestimado. Por un lado, García-Rodríguez & Esteban (2002) propusieron una hipótesis de crecimiento rápido en el Mediterráneo occidental, mediante el contraste entre estimaciones por lectura de otolitos y progresión de tallas. Posteriormente, de Pontual *et al.* (2004) presentaron resultados preliminares de un estudio piloto de captura, marcado y recaptura de *M. merluccius* en el norte del golfo de Vizcaya (zona ICES). En este estudio, determinaron que la tasa de crecimiento en ejemplares de entre 13-58 cm ( $21.10 \pm 0.91$  cm año<sup>-1</sup>) es casi el doble de lo estimado hasta ahora por lectura de otolitos en la misma zona. Esta nueva estimación, coincide con análisis preliminares de la microestructura de otolitos, presumiblemente correspondiente a la formación de anillos diarios en juveniles del grupo de edad cero en aguas Atlánticas españolas (Piñeiro *et al.*, 2004).

En la figura 1.11 se observan las diferencias entre las curvas de crecimiento estimadas en diferentes zonas de distribución de *M. merluccius* hasta antes de considerar subestimado el crecimiento, y las nuevas proyecciones de crecimiento. Independientemente de cual sea el crecimiento real de la especie, la comparación entre las curvas de crecimiento, pone de manifiesto un gradiente latitudinal de la amplitud del crecimiento, mayor en las merluzas del Atlántico Noreste, seguidas por las de ICES Sur (aguas Atlánticas de la península Ibérica), el Mediterráneo occidental, y finalmente las del Noroeste Africano.



	Marruecos (Goñi, 1983)	Marruecos (El Ouairi, 1990)	ICES Sur	Golfo Vizcaya	NW Mediterráneo	Golfo Vizcaya*	W Mediterráneo**
$L_{\infty}$	110.0	95.1	120.5	110.0	94.7	120.0	106.8
$k$	0.064	0.078	0.075	0.124	0.131	0.247	0.200
$t_0$	-0.760	-0.810	-1.175	-0.452	-0.122	0.000	0.003

Figura 1.11 Curvas y parámetros de crecimiento de la merluza europea, en diferentes zonas de distribución de la especie. Las líneas en negro corresponden a estimaciones por lectura de otolitos. Las líneas rojas representan la hipótesis “crecimiento rápido”, a través de \*experimentos de marcado y recaptura; \*\*por progresión modal de tallas.

Las diferencias entre las tallas a la misma edad relativa varían en función del tiempo, pero tienden a estabilizarse después del tercer año (Fig. 1.12). Como promedio, las merluzas del Noroeste Africano son un 32%, un 25% y un 20% más pequeñas que las merluzas de la misma edad del golfo de Vizcaya, del área ICES Sur (aguas Atlánticas de la península Ibérica) y que las del Mediterráneo Noroccidental, respectivamente.

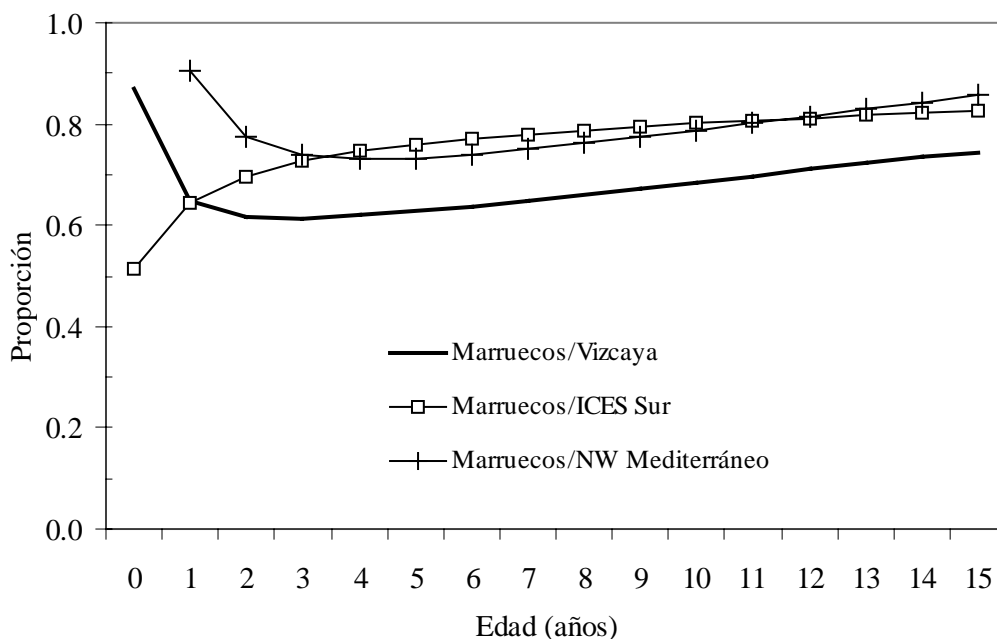


Figura 1.12. Representación de la proporcionalidad de las tallas entre las curvas de crecimiento estimadas por lectura de otolitos de Marruecos (Goñi, 1983; El Ouairi, 1990) con respecto de las del golfo de Vizcaya (Lucio *et al.*, 2000), ICES Sur (Piñeiro & Saínza, 2003) y Mediterráneo Noroccidental (Oliver, 1991).

De la curva de crecimiento de von Bertalanffy  $L_t = L_\infty (1 - e^{-k(t - t_0)})$  derivada de la lectura de otolitos, se deduce que en África Noroccidental, los machos de *M. merluccius* alcanzarían la madurez a los 3-4 años de edad (26.0-32.4 cm), en tanto que las hembras lo harían a los 5-7 años (34.6-46.6 cm). De acuerdo con las curvas estimadas con la misma metodología, Lucio *et al.* (2000) estimaron que, en el golfo de Vizcaya, la edad de primera madurez de los machos de *M. merluccius* es 3.9 años y de las hembras 5.0 años. De igual forma, se deduce que en el Mediterráneo occidental, los machos maduran entre 2-3 años y las hembras entre 3 y 5 años.

Pero si se toman en cuenta las curvas de crecimiento rápido (García & Esteban, 2002; de Pontual *et al.*, 2004), la edad de primera madurez se reduciría en casi exactamente a la mitad. Los machos madurarían antes de terminar el año y medio de vida, en tanto que las hembras lo harían a los 2.5 años.

De confirmarse estas tendencias, es previsible que el crecimiento basado en lectura de otolitos de la merluza europea en África Noroccidental, tenga un sesgo proporcional al de las poblaciones del Noreste y del Mediterráneo.

En la Figura 1.13 se observa el resultado de un ajuste teórico de la curva de crecimiento de *M. merluccius* en África Noroccidental. Este ajuste se obtuvo multiplicando la proporción que representa la talla de *M. merluccius* a la misma edad relativa en Marruecos, respecto a la del golfo de Vizcaya y el Mediterráneo occidental (Fig. 1.12), y multiplicándola por la curva de crecimiento rápido para las mismas zonas. Bajo esta estimación teórica, los machos madurarían entre 1.5 y 2.5 años, en tanto que las hembras lo harían entre 2.5 y 4 años.

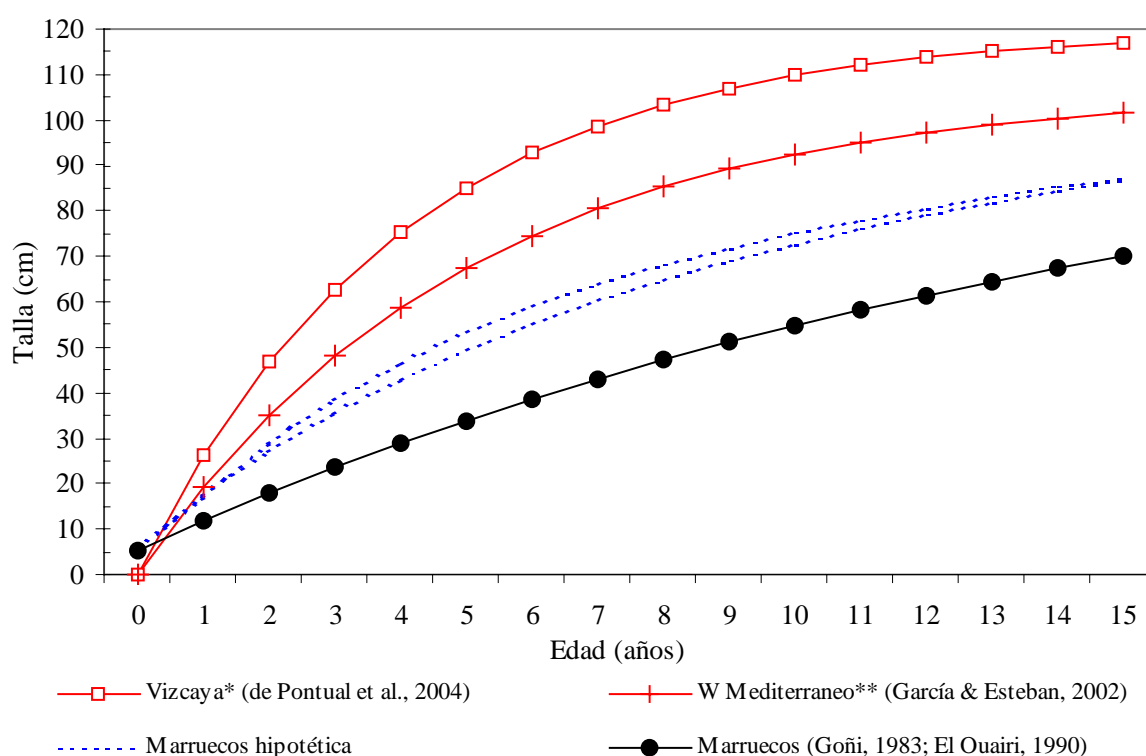


Figura 1.13 Comparativa de las curvas de crecimiento rápido (líneas rojas) para el golfo de Vizcaya (de Pontual *et al.*, 2004) y el Mediterráneo Noroccidental (García-Rodríguez & Esteban, 2002), respecto de una estimación hipotética de crecimiento rápido en Marruecos (líneas azules) y la curva de crecimiento en Marruecos (línea negra) estimada por lectura de otolitos (Goñi, 1983; El Ouairi, 1990).

## Alimentación

Las merluzas son organismos demersales, aunque pueden alimentarse de pelágicos de movimientos rápidos a los que acechan en la columna de agua durante migraciones verticales nocturnas, además de las presas bentónicas o relacionadas con el sustrato (Pitcher & Alheit, 1995).



La composición de la dieta de las merluzas es dependiente de la talla. Las larvas se alimentan de copépodos, los juveniles prefieren crustáceos (copépodos y eufáusidos) y los adultos son principalmente ictiófagos, pero también se alimentan de cefalópodos o eufáusidos. Uno de los componentes principales de la dieta de los adultos lo constituyen otras merluzas, lo que indica la existencia de canibalismo (Hickling, 1927; Papaconstantinou & Caragitsou, 1987; Oliver & Massutí, 1995)

Existe poca información acerca de la dieta y hábitos alimenticios de *M. merluccius* en las costas africanas; en general la dieta está compuesta por crustáceos, cefalópodos y principalmente por peces (Maurin, 1954); Entre ellos destacan *Trachurus trachurus* Linnaeus, 1758, *Micromesistius poutassou* Risso, 1826, *Cepola macrophthalma* y *Engraulis encrasicolus* Linnaeus, 1758. (Ramos & Fernández, 1995). En base a los datos obtenidos en las campañas MAROC (IEO-INRH, datos no publicados), las merluzas de las costas de África también consumirían *Diaphus dumerili* Bleeker, 1856, *Helicolenus dactylopterus* Delaroche, 1809, *Chauliodus sloani* Bloch & Schneider, 1801, *Avocettina infans* Günther, 1878, *Sardina pilchardus* Walbaum, 1792, *Scomber spp.* y juveniles de *Lepidopus caudatus* Euphrasen, 1788 y *Aphanopus carbo* Lowe, 1839.

## DISCUSIÓN

En términos generales, la merluza europea que se captura en África Noroccidental presenta las mismas características poblacionales que sus congéneres de otras áreas: (1) Aumento de talla conforme se incrementa la profundidad, sin que esto signifique que las tallas pequeñas queden completamente excluidas de zonas profundas. (2) Una clara segregación de tallas por sexos, en la que las hembras alcanzan tallas mayores que los machos, hasta 27 cm más, de acuerdo con los datos disponibles, representando el 100% de la captura a partir de los 65 cm. (3) La talla de primera madurez de los machos es menor y posiblemente la alcanzan en un lapso de tiempo menor que las hembras, ya que las diferencias de las curvas de crecimiento somático entre machos y hembras se observan inmediatamente después de iniciado el proceso de maduración.

Sin embargo, el hecho de constituir el África Noroccidental el límite meridional de la distribución mundial de la especie, le confiere características que las diferencian de las poblaciones de otros lugares: (1) Independientemente de la velocidad real del crecimiento de la merluza europea, se observa un gradiente Norte – Sur en su amplitud. Para una misma edad, las merluzas del Atlántico Norte son más grandes, seguidas por las del Mediterráneo Occidental y finalmente por las de África Noroccidental. (2) En las costas africanas, la merluza europea alcanza las máximas

abundancias en peso entre 500 y 850 m, a mayor profundidad que en el Mediterráneo, donde se producen entre 100 y 400 m (Orsi-Relini *et al.*, 2002) y que en el Atlántico Nororiental, donde los máximos se localizan en el borde de la plataforma (Casey & Pereiro, 1995). (3) La talla de primera madurez, el cambio en la proporción de sexos y las relaciones talla-peso son indicadores sensibles que ejemplifican estas diferencias latitudinales. Estos eventos ocurren también a tallas menores de las estimadas para las poblaciones del Norte, pero no difieren en tiempo. Es decir, si se consideran las curvas de crecimiento calculadas con el mismo método, independientemente del crecimiento real, la talla de primera madurez, el cambio de la proporción de sexos a favor de las hembras y la consiguiente desviación de la relación talla - peso combinada, ocurren en las merluzas de África Noroccidental aproximadamente a la misma edad relativa que en las poblaciones del Norte y del Mediterráneo.

Observando las tendencias de las curvas de crecimiento, es posible que la de Marruecos sea una curva subestimada en la misma proporción que las de las otras áreas por el método de cálculo; pero adicionalmente, al contrastar las tendencias con las otras curvas se observa que el coeficiente  $k$  es sensiblemente más pequeño de lo que proporcionalmente se pudiera esperar. Esto es entendible, si tomamos en cuenta que esta estimación se hizo a principios de los años ochenta y que las estimaciones posteriores no han estado sujetas a revisiones periódicas, en comparación con el número y frecuencia de las llevadas a cabo en el área ICES y el Mediterráneo.

El aspecto más sensible y problemático actualmente en el estudio de la biología de la merluza europea en todas las zonas donde se distribuye, es la validación del crecimiento. Este es un factor clave en los métodos de evaluación basados en la estructura de edades utilizados para la ordenación de las pesquerías de *M. merluccius*. Por ejemplo, mediante la introducción de los parámetros de crecimiento rápido determinados por de Pontual *et al.* (2004) en simulaciones de impacto sobre el stock explotado en el golfo de Vizcaya, se concluye que las tendencias generales no son muy diferentes a las hasta ahora descritas, sin embargo, el stock sería más sensible a los cambios de la presión pesquera (Bertignac, 2004).

Este es un paso muy importante hacia la comprensión de la dinámica de los stocks de merluza europea, porque explicaría, por lo menos en parte, la capacidad de resistencia que históricamente han mostrado los stocks sometidos a fuertes presiones de pesca. También, nos pone en antecedente en cuanto al tiempo de respuesta poblacional a los cambios ambientales “repentinos” en los ecosistemas en donde habitan, ya sean estos, sistemas de afloramiento de alta variabilidad, como el de la

Corriente de Canarias, o sean sistemas de cuencas semicerradas como el Mediterráneo.

Esta preocupación acerca de la verosimilitud del crecimiento es extensible al caso de la merluza europea en la costa Noroccidental Africana, debido a que durante las últimas décadas la pesca ha estado dirigida a la totalidad del espectro de tallas, pero con especial atención al segmento más joven de la población, tema que será abordado con mayor detalle en el siguiente capítulo.

Finalmente, a pesar de los escasos datos acerca de la composición y hábitos alimenticios de la merluza europea de esta área, su amplia distribución e importancia pesquera en relación a otras especies, evidencian la plasticidad alimentaria y capacidad de adaptación a los recursos disponibles que ha de poseer esta especie para prevalecer con éxito en áreas tan distintas como el Atlántico Norte, el Mediterráneo Oriental y la costa Noroccidental Africana.

## CAPÍTULO 2

---

Características y evolución de las pesquerías de merluza europea (*Merluccius merluccius* L.) en la costa Noroccidental Africana.



## INTRODUCCIÓN

El género *Merluccius* engloba a uno de los grupos de especies demersales más explotados en el mundo, con capturas anuales aproximadas de un millón y medio de toneladas. Desde el punto de vista económico, constituyen las pesquerías más importantes en Argentina (60% de todas sus pesquerías), Uruguay, Namibia, el norte de Perú y la costa oeste de Estados Unidos desde Washington a California. En cuanto a otras regiones, la merluza es una de las especies demersales más importantes en Europa occidental (Casey & Pereiro, 1995) y en Sudáfrica (Payne & Punt, 1995); aun cuando en otras áreas tienen un papel menos relevante, están sometidas a fuertes presiones de pesca (Pitcher & Alheit, 1995).

Los stocks de merluza están considerados como moderadamente sobrexplotados y algunos fuertemente sobrexplotados. A pesar de esto y a que las merluzas habitan en frentes oceánicos de alta variabilidad ambiental y las capturas tienen oscilaciones periódicas, las pesquerías no han mostrado colapsos a lo largo de su historia (Pitcher & Alheit, 1995).

Esta probada resistencia a la sobreexplotación es tal vez la característica más importante de las pesquerías de merluza que han permitido mantener rendimientos comercialmente aceptables con elevadas capturas de individuos inmaduros, aumentos acelerados de la presión de pesca y la potencia de las flotas; aunado al hecho de que las perturbaciones ambientales de gran escala (por ejemplo ENSO) sobre la variabilidad intra o interanual del reclutamiento de las poblaciones de merluza, no parecen estar sujetas a la misma volatilidad (Pitcher & Alheit, 1995) que ha sido documentada en las pesquerías de clupeidos pelágicos (Sánchez *et al.*, 2000; Ñiquen *et al.*, 2000; Klyashtorin, 2001).

Entre los años 1982 y 2000 las capturas del género *Merluccius* en el Atlántico han variado entre 700000 t y 1240000 t; de estas capturas aproximadamente el 10% correspondió a la merluza europea, *M. merluccius* (entre 71000 t y 130000 t).

Del total de la captura de *M. merluccius* el 8% (2300 - 12000 t) se pescó en la costa noroccidental africana, principalmente en Marruecos y el Sahara (FAO, 2003). Este porcentaje es comparativamente alto, si se toma en cuenta que estas zonas representan poco más del 2% del área total de distribución y pesca de *M. merluccius* en el mundo (Océano Atlántico, mar Mediterráneo y mar Negro).

No obstante la escala y la importancia comercial de las pesquerías de merluzas en general, y de *M. merluccius* en particular, varios aspectos de su biología, dinámica de

población y estado de explotación no han sido totalmente comprendidos (Jones, 1974; Pitcher & Alheit, 1995; Papaconstantinou & Stergiou, 1995; Oliver & Massutí, 1995), aun a pesar de que son objeto de explotación desde el siglo XVIII (Hickling, 1927, 1930, 1933, 1935) y que sus pesquerías han sido tecnificadas e industrializadas aceleradamente después de la Segunda Guerra Mundial, a partir de años cincuenta (Casey & Pereiro, 1995).

Por esto es necesario profundizar en el conocimiento de la ecología y la dinámica de las pesquerías de merluza, sobre todo poniendo especial atención en los elementos que podrían estar implicados en la resistencia y elasticidad de las mismas.

En este capítulo se presenta una revisión de la estructura, los componentes principales, las características distintivas y la evolución de las pesquerías que incidieron sobre el recurso merluza europea en la costa Atlántica de Marruecos y el Sahara Occidental.

## PESQUERÍAS

La costa atlántica de Marruecos y el Sahara pertenecen a la parte norte del área de pesca 34 de FAO (34.1.1 y 34.1.3 respectivamente) de la Comisión de Pesquerías del Atlántico Centro Oriental (CPACO). La composición multinacional del área y el ejercicio del esfuerzo de pesca, tanto por flotas nacionales como foráneas con más de un tipo y arte de pesca, configuran un panorama complejo para la descripción detallada, el análisis y la evaluación para una gestión adecuada.

Debido a la proximidad geográfica y a la pobreza de las aguas de las Islas Canarias, desde principios del siglo XX, los pescadores españoles y portugueses han explotado los recursos pesqueros de la costa Atlántica de África. Las embarcaciones canarias explotaron los recursos del banco Sahariano (21° - 28°N), en tanto que las andaluzas pescaron a lo largo de la costa de Marruecos (entre 28°N y 36°N) (Cervantes & Goñi, 1985; Ramos & Fernández, 1995; Sobrino, 1998; Guénette *et al.*, 2001).

En la década de los sesenta se inició la explotación pesquera industrial con la introducción de modernos barcos arrastreros. España y los países del este europeo (URSS, Polonia, Rumania y RDA) fueron los más importantes en la pesca en aguas atlánticas marroquíes y del Sahara. Antes de la declaración del Mar Territorial de Marruecos (1973) y la Zona Económica Exclusiva-ZEE (1981) la pesca se realizaba sin mayor reglamentación (Cervantes *et al.*, 1992).

Las flotas españolas que faenaron en aguas marroquíes se rigieron, desde el establecimiento de las ZEE, por las medidas de regulación de los acuerdos de pesca bilaterales firmados entre España y Marruecos en 1979, 1981 y 1983 (Balguerías, 1993), y desde 1986, año en el que España se incorporó a la Comunidad Económica Europea (CEE) y transfirió las competencias en materia pesquera a Bruselas, por los convenios de pesca firmados entre este organismo y Marruecos (Anón., 1988, 1992, 1997).

En el período intermedio entre la declaración del Mar Territorial y la ZEE, ocurrió un hecho geopolítico destacable, que fue la anexión de facto del Sahara Occidental por parte de Marruecos (1976). Con esto, Marruecos extendió un 80% el litoral bajo su administración, ocupando la zona donde se encuentra el núcleo permanente del afloramiento Noroccidental Africano (ver Capítulo 3).

Este hecho marcó el principio del crecimiento y expansión de la actividad pesquera marroquí. En 1981, Marruecos adjudicó a la pesca el grado de sector económico clave, creando para ello el Ministerio de Pesca. A partir de entonces se amplió la infraestructura portuaria hacia el Sahara. Entre 1973 y 1986, la flota industrial marroquí realizó las descargas de sus capturas enteramente en puertos foráneos, principalmente en Las Palmas (Canarias) y en menor proporción en puertos portugueses, en Abidján (Costa de Marfil) y Dakar (Senegal). En 1978, dos terceras partes de la flota estaba basada en Agadir (Marruecos) y Tantan (Sahara) (Baddy & Guénette, 2001).

Con posterioridad a la declaración de las ZEE se introdujeron restricciones progresivas a las flotas extranjeras (Ramos *et al.*, 2000). A finales del año 1999 los buques comunitarios, entre otros los españoles, cesaron de faenar en el caladero marroquí.

Las pesquerías dirigidas a la captura de merluzas, entre otras especies demersales, presentan un panorama complejo, debido a la variedad de flotas nacionales y extranjeras que incidieron sobre ellas y al carácter artesanal y/o multiespecífico de las mismas.

La merluza europea y la merluza senegalesa fueron explotadas en el caladero bajo administración marroquí, hasta 1999, por una flota nacional de arrastre costero y por diversas flotas extranjeras pertenecientes a Portugal y a España de arrastre, palangre y enmalle (Ramos *et al.*, 2000).

La descripción y análisis detallados de estas pesquerías durante la vigencia de los acuerdos se encuentran contenidos en los informes técnicos del Instituto Español de



Oceanografía (Cervantes *et al.*, 1992; Ramos & Fernández, 1994; Fernández *et al.*, 1998) y en los informes de los grupos de trabajo del área CPACO (FAO, 1990; 1997; 2006a; 2006b).

### **Pesquerías españolas**

La merluza europea fue capturada por arrastreros y por flotas artesanales españolas con redes de enmalle y palangres. Además de estas pesquerías dirigidas, la merluza europea era capturada como especie acompañante por arrastreros congeladores marisqueros y cefalopoderos, y por otras flotas de redes de enmalle. Las embarcaciones estaban basadas principalmente en los puertos andaluces de Huelva, Cádiz, Puerto de Santa María, en la costa del Atlántico, y en Algeciras y Málaga, en el Mediterráneo (Ramos & Fernández, 1995; Ramos *et al.*, 2000), y en menor medida en puertos gallegos.

#### ***Arrastreros de merluza y crustáceos***

Esta pesquería fue desarrollada por una flota de arrastreros al fresco que utilizaron malla de 40 mm en el copo hasta agosto de 1984, y malla de 50 mm entre esta fecha (Cervantes *et al.*, 1992) y el final de los acuerdos en noviembre de 1999.

Fue una pesquería de carácter multiespecífico, en la cual la gamba blanca (*Parapenaeus longirostris* Lucas, 1846) formaba parte importante de las descargas, alrededor del 40%, seguida por la merluza europea con aproximadamente el 25%. El resto de los desembarcos estuvo compuesto por otras especies de peces, entre los que destacaron la bacaladilla, *Micromesistius poutassou* Risso, 1827, algunos espáridos, como el besugo, *Pagellus acarne* Risso, 1827 y el cachucho (*Dentex* spp.); el jurel (*Trachurus* spp.), el rape (*Lophius* spp.) y el salmonete (*Mullus barbatus* Linnaeus, 1758); crustáceos como el carabinero (*Plesiopenaeus edwardsianus* Jonson, 1868), alistado (*Aristeus varidens* Holthuis, 1952), cigala (*Nephrops norvegicus* Linnaeus, 1758) y moruno (*Aristeomorpha foliacea* Risso, 1827); y cefalópodos como el pulpo (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797), el choco (*Sepia officinalis* Linnaeus, 1758) y el calamar (*Loligo vulgarisvulgaris* Lamarck, 1798) (Ramos *et al.*, 2000).

El radio de acción de los arrastreros al fresco era limitado, porque dependían exclusivamente del hielo para el mantenimiento a bordo de las capturas. Así, las mareas de pesca se prolongaban entre 7 y 9 días, y faenaban exclusivamente en aguas marroquíes, entre 35°30' a 28°44', entre 100 y 700 m de profundidad (Cervantes & Goñi, 1985).

Los caladeros más frecuentados se encontraban entre Larache y Kenitra, situados entre los 35° 30'N y los 34° 00'N, en donde se ejercía el 85% del esfuerzo anual (Ramos & Fernández, 1994). Los mayores rendimientos de merluza europea de esta flota se registraban en Marzo, relacionados con la época de puesta. (Ramos *et al.*, 2000).

Las embarcaciones eran de 83 TRB, 305 CV y 19 m de eslora. El efectivo de embarcaciones de esta flota experimentó una reducción progresiva pero sostenida del 70% de su número, en el marco de los acuerdos de pesca, de 384 unidades en 1979 a 107 en 1990 (Ramos *et al.*, 2000).

A partir de 1986, una parte de la flota de arrastre al fresco basada en Huelva, modificaron sus bodegas para convertirse en arrastreros congeladores (Cervantes *et al.*, 1992). Esta flota congeladora desarrolló una pesquería marisquera totalmente especializada, en la que los crustáceos constituyeron entre el 90 y el 97%, es decir la practica totalidad de los desembarcos (Ramos & Fernández, 1994; Ramos *et al.*, 2000).

Los puertos base de la flota de arrastre al fresco fueron Punta Umbría, Almería y Málaga (Ramos & Fernández, 1994). Los principales puertos de descarga pertenecieron también a la región andaluza, con Huelva, Cádiz y Puerto de Santa María, en la costa atlántica, y Algeciras, Málaga y Almería, en la mediterránea. El puerto de Algeciras fue el mayor receptor de las descargas, superando las 2500 toneladas anuales (Ramos *et al.*, 2000).

#### ***Arrastreros de merluza negra (bous)***

Esta flota está altamente especializada en la pesca de merluza, que constituye el 85% de los desembarcos totales y de las que se obtienen rendimientos superiores a 2 toneladas por día de pesca, especialmente de merluza senegalesa (*Merluccius senegalensis*) y en menor medida merluza europea. Esta flota contaba con los barcos de mayor tamaño y potencia de los que se dedicaban a pescar merluza en el Noroccidente Africano (36 m de eslora; 1090 CV y 32 TRB). Las áreas de pesca se extendían a lo largo de la costa marroquí (30-36°N) (Cervantes & Goñi 1985), Mauritania y Senegal, pescando entre 200 y 700 m (Ramos & Fernández, 1995) y realizando mareas de 25 días de duración aproximadamente (Ramos & Fernández, 1992).

Desde la exclusión de las flotas internacionales en 1999 hasta hoy día, esta flota sigue pescando merluza, fundamentalmente la merluza de Benguela, en Mauritania y Senegal bajo acuerdos con aquellos países.

Hasta 1990 existía también la flota merlucera de arrastre denominada “tríos”, en la cual dos embarcaciones arrastraban el arte en tanto que la tercera era usada como transporte de la captura al fresco a Cádiz. La merluza europea representaba más del 50% de su captura (Ramos & Fernández, 1995).

### ***Redes de enmalle (volanta)***

La “volanta” es un arte de pesca de enmalle de forma rectangular, compuesto por varios paños de redes unidas (90-100 mm de luz de malla) que se cala al fondo. Las dimensiones de las volantas dependían del número de paños de que se componían. Este número podía oscilar entre 50 y 200, lo que equivalía a redes de entre 2.5 y 10 kilómetros (Ramos *et al.*, 2000).

Las características de las embarcaciones dedicadas a esta pesquería variaron a lo largo de los acuerdos de pesca, desde los 73 TRB, 293 CV y 20 m de eslora en 1982, hasta 45 TRB, 218 CV y 17 m de eslora al final de los acuerdos (Cervantes y Goñi, 1985; Ramos *et al.*, 2000). Faenaron entre los 35°N y 25°N, entre 200 y 400 m de profundidad (Cervantes *et al.*, 1992).

La volanta, fue una pesquería dirigida a las merluzas. Durante todo el año tenían como especie objetivo a la merluza europea, obteniendo las mayores capturas y rendimientos a finales de primavera y verano, entre mayo y septiembre, con un segundo pico en enero y febrero. La merluza senegalesa se capturaba principalmente entre septiembre y diciembre. Después de que Marruecos prohibiera utilizar las redes de monofilamento, la flota las sustituyó por las de multifilamento de nylon artificial (Fernández *et al.*, 1998).

Los volanteros tuvieron su base principalmente en el puerto gallego de La Guardia; no obstante, gran parte de sus descargas se realizaron en Algeciras (Ramos *et al.*, 2000). La duración de las mareas dependía de la distancia a los caladeros de pesca; era de 7 a 8 días en las mareas realizadas en la zona norte, en tanto que las realizadas al sur del paralelo 33° llegaban a durar hasta 14 (Fernández *et al.*, 1998).

### ***Palangreros de fondo***

Los palangreros que faenaron en aguas marroquíes y del Sahara, y que actualmente continúan faenando en el caladero mauritano, desarrollan una pesquería al fresco dirigida a las merluzas y a la palometa (*Brama brama* Bonnaterre, 1788). La pesquería se inició a finales de la década de los años 70, como consecuencia del descenso de los rendimientos en los caladeros más septentrionales (Ramos *et al.*, 2000).

La pesquería fue exclusivamente de palangre de fondo, con dos modalidades de calamento determinadas por la distancia del aparejo al fondo, dependiendo de si se dirigía a la captura de merluzas o de palometa. El aparejo tipo constaba aproximadamente de 100 palangres (1100 anzuelos), calados normalmente en una sola línea, excepto en zonas donde se tenían que sortear curvas batimétricas, en las cuales se calaban dos líneas (Ramos *et al.*, 2000).

En el caso del palangre dirigido a la merluza, la pesca se realizaba a profundidades comprendidas entre 430 m y 520 m; se calaban entre 20 y 120 aparejos (de 2000 a 14000 anzuelos) que equivalían a longitudes de línea de 3 a 14 millas náuticas. Se utilizaba sardina como carnada. La operación completa de calado, recogida y preparación del aparejo duraba una jornada (Ramos *et al.*, 1999).

La flota estuvo constituida por embarcaciones de mayor porte que las de la volanta (Ramos & Fernández, 1994). Sus características medias, tonelaje, potencia y eslora, llegaron a ser de 82 TRB, 353 CV y 22 m a finales de los acuerdos. La base principal fue el puerto coruñés de Santa Eugenia de Riveira, con algunas unidades de La Guardia, y otras basadas en los puertos de Algeciras, Ceuta, Las Palmas y Santa Cruz de Tenerife. El puerto de descarga más importante fue el de Algeciras, con cerca de un tercio del volumen total de las descargas de esta flota; el resto de las descargas se hacían en los puertos gallegos de Vigo, A Coruña y Riveira (Ramos *et al.*, 2000), y a finales de los noventa en Cádiz (Ramos & Fernández, datos no publicados).

La flota de palangre faenó en toda la costa de Marruecos y el Sahara. Durante los años 80, pescaron casi exclusivamente en los caladeros situados alrededor del paralelo 34° N (Cervantes & Goñi, 1985; Ramos & Fernández, 1994), extendiendo progresivamente su radio de acción hacia las costas del Sahara, alcanzando la frontera con Mauritania. Como en el caso de la pesquería de volanta, las descargas de merluzas estuvieron sujetas a la contribución estacional de la merluza senegalesa durante el otoño e invierno (Ramos *et al.*, 2000).

Fue una pesquería dirigida, en la que más del 60% de los desembarcos correspondieron a las capturas de merluzas. Durante la década de los 80 la flota se centró en la captura de merluza europea, procedentes de los caladeros más septentrionales. A partir de 1990 la merluza senegalesa comenzó a ganar importancia relativa en las capturas, como consecuencia del desplazamiento meridional de parte de la flota (Ramos & Fernández, 1994). El hecho anterior produjo una alta variabilidad en la proporción anual de las especies, constituyendo la merluza europea entre el 57%, en 1993, y el 14%, en 1997, y la merluza senegalesa entre el 5%, en 1990, y el 29%, en 1997 (Ramos *et al.*, 2000).

## **Pesquerías marroquíes**

Por su parte, Marruecos ha desarrollado progresivamente sus potenciales pesqueros, contando actualmente con dos flotas que desarrollan pesquerías dirigidas a las merluzas y crustáceos: la flota costera, constituida principalmente por arrastreros al fresco y la flota industrial marisquera de arrastreros congeladores (Ramos *et al.*, 2000).

### ***Flota costera***

El componente principal de esta flota, lo constituyen los arrastreros al fresco. Son embarcaciones de entre 120 y 450 CV (MPM, 1990), con tripulación de 10 a 15 personas, y red de 25 mm de malla en el copo. Operan diariamente, dejando el puerto durante la madrugada y regresando por la tarde. Algunos pueden permanecer en el mar más de una semana cuando visitan caladeros distantes de sus puertos base. Durante cada marea, los barcos llevan a cabo dos arrastres de entre 3 y 5 horas de duración, dependiendo de la abundancia de peces. El número de arrastreros costeros se triplicó de 104 en 1960 a 314 barcos en 1992. Sin embargo, su número se mantuvo bastante bajo entre 1960 y 1975, fluctuando entre 104 y 116 unidades (Baddy & Guénette, 2001).

Sumados a los arrastreros al fresco, existen dos modalidades más integradas en la flota costera marroquí, que incidieron alternativa y marginalmente sobre la merluza europea y los crustáceos. La primera, una flota artesanal al palangre de fondo que era especialmente activa durante la época de puesta (El Ouairi, 1990; FAO, 1997), y estaba compuesta por embarcaciones menores, de entre 8 y 10 m de eslora, potencia media de 50 CV y 5 TRB. El tamaño de esta flota ha sido muy variable, estaba compuesta por 1448 y 1638 unidades durante 1981-1983, se redujo a la mitad en 1984 (756 unidades), y nuevamente experimentó un crecimiento a partir de ese año alcanzando las 920 unidades en 1988 (Baddy & Guénette, 2001).

La segunda flota corresponde a embarcaciones mixtas, de tipo polivalente a las cuales se autorizaba para la utilización de dos modalidades de pesca, cuya alternancia dependía de la disponibilidad de recursos pelágicos o demersales dentro de sus zonas de pesca. Esta variante mixta estaba justificada por la variabilidad estacional e interanual de la abundancia de especies objetivo, que dificultaba la viabilidad económica de la flota bajo una única modalidad de pesca. Estas embarcaciones alternaban redes de arrastre y de cerco (arrastreros-sardineros) o bien redes de cerco y palangre de fondo. La primera combinación creció de 48 unidades en 1976 a 517 en 1988. En tanto que la segunda no se inició hasta 1984 (36 unidades) y casi se duplicó en 1988 (56 unidades) (Baddy & Guénette, 2001).

### ***Flota industrial***

Cerca del 85% de la flota industrial marroquí está compuesta por arrastreros de fondo que capturan cefalópodos y especies demersales en el Sahara. Son embarcaciones de 30 m de eslora de promedio, 750-2000 CV, 200 - 900 TRB, equipadas con cámaras congeladoras. La duración de las mareas varía entre 25 días y tres meses. Esta flota fue creciendo en número conforme se restringió el acceso a las flotas foráneas. (Baddy & Guénette, 2001). El resto de los arrastreros se especializaron en la captura de gamba blanca (Poinsard, 1992) y otras especies demersales, siendo barcos de menor potencia y autonomía (550-850 CV y 140-250 TRB) (FAO, 1997; Baddy & Guénette, 2001; Atmani, 2003).

### **Pesquerías portuguesas**

La pesquería portuguesa de merluzas fue llevada a cabo por una flotilla polivalente, fundamentalmente de palangre y red de enmalle. Las capturas de merluza europea y senegalesa que realizó esta flotilla fueron incidentales, no más del 7% de los desembarcos anuales procedentes de toda la región de CPACO (FAO, 1997). La flota dirigió su actividad a la captura del sable, *Lepidopus caudatus*, el burro, *Plectorhynchus mediterraneus*, los espáridos (*Pagellus acarne*, *Sparus* spp. y *Dentex* spp.) y otras especies de peces.

## **LOS ACUERDOS DE PESCA**

Las medidas de regulación contempladas en los acuerdos de pesca, por las cuales se rigió la actividad de las flotas foráneas en Marruecos y el Sahara, estuvieron sujetas a cambios en el tiempo, conforme se renovaron los acuerdos.

En general, la medida más importante fue la limitación del esfuerzo de pesca, fuese ésta inicial o gradual durante el período de vigencia del acuerdo. Esta regulación se llevó a cabo mediante la adjudicación de un tonelaje y un número de unidades máximo para cada una de las modalidades y zona de pesca. Al mismo tiempo, se establecieron cánones trimestrales o anuales, a cargo de los armadores, para cada una de las categorías. Para la modalidad de arrastre, los cánones dependieron del tonelaje de las embarcaciones (Ramos *et al.*, 2000).

A través de los acuerdos se regularon los límites de las zonas de pesca, la época de paro de las flotas, los porcentajes de capturas accesorias y, en algunos casos, las características de los artes. Para algunas flotas, se estableció también el requisito de realizar los desembarcos en puertos marroquíes, facultativos u obligatorios, en función de la flota. Y complementariamente, se estableció la obligatoriedad del embarque de pescadores y de observadores marroquíes, la realización de

inspecciones a bordo, de visitas técnicas y controles de observadores en tierra. (Ramos *et al.*, 2000).

En las tablas 2.1 y 2.2 se presenta la síntesis de las medidas de las distintas especificaciones contenidas en los sucesivos acuerdos de pesca bilaterales y comunitarios que regularon las tres pesquerías entre 1983 y 1999.

## EVOLUCIÓN DE LAS PESQUERÍAS

### Esfuerzos de pesca

De todas las modalidades que tuvieron a la merluza europea como una de sus especies objetivo, la de arrastre al fresco aglutinó la mayor cantidad de unidades, tanto españolas como marroquíes. En conjunto, entre 1979 y 1996, se dedicaron a esta pesquería entre 350 y 568 unidades. Hasta 1985 la flota española fue superior en número de barcos, adquiriendo posteriormente el dominio Marruecos. Esta disminución, como ya se dijo anteriormente, fue producto de la reducción sostenida del esfuerzo estipulada en los acuerdos de pesca y en menor medida de la conversión a congeladores de parte de la flota. De forma que para 1996, la flota española representó únicamente el 18% del total de los arrastreros al fresco. Las flotas artesanales de volanta y palangre, nunca excedieron las 60 embarcaciones por flota, con promedio de 35 (Fig. 2.1).

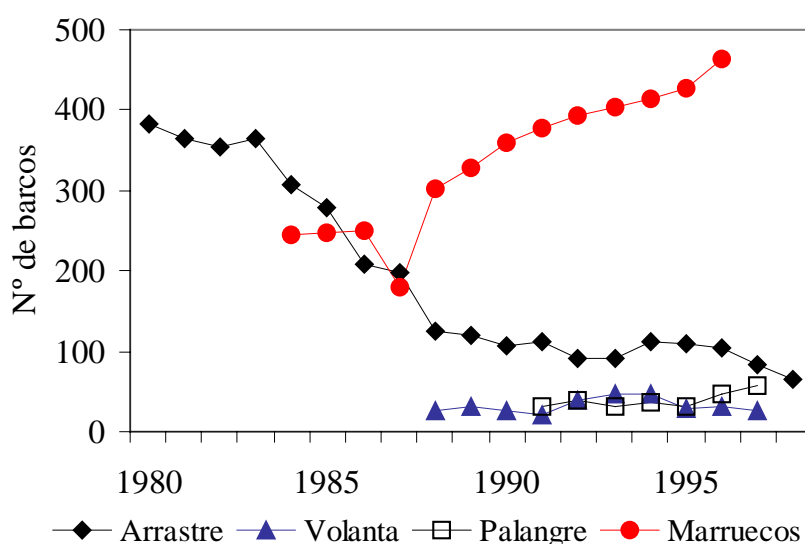


Fig.2.1. Evolución del número de barcos de las diferentes flotas que pescaron merluza europea durante los acuerdos de pesca con Marruecos.

Tabla 2.1. Principales medidas de regulación de la pesquería de arrastre de merluza y gamba contemplados en los acuerdos de pesca. Tomado de Ramos *et al.* (2000).

Acuerdo de Pesca	Período validez	Modalidad	Zona de Pesca	TRB inicial	TRB final	Límite de zona	Millas a costa	Malla (mm)	% capturas	Paro	Fuente	
España Marruecos	Agosto 1983 julio 1987	Arrastre mixto	Atlántico N	32 500	19 500	28°44'N	12	40-50	>30% camarones		Anón. (1983)	
			Mediterráneo					3				40
1° CEE Marruecos	Marzo 1988 febrero 1992	Arrastre mixto	Atlántico N	15 436	15 436	30°40'N	3	12	>30% camarones	Febrero	Anón. (1988)	
			Mediterráneo	763	763			60	<30% camarones			
			Atl.+Medit.	2301				40				
2° CEE Marruecos	Mayo 1992 abril 1995	Arrastre marisquero	Atlántico N	9 174	2 301			12	>30% camarones	Enero febrero	Anón. (1992)	
			Mediterráneo	1 826	1 826			3	50			<30% merluzas
		Arrastre no marisquero	Atlántico N	5 421	5421			12	60	>30% camarones		Enero febrero
			Mediterráneo	1 079	1079			3	55	<30% camarones		
3° CEE Marruecos	Noviembre 1995 noviembre 1999	Arrastre marisquero	Atlántico N	11 200	8 200	28°44'N		12	50	Enero febrero	Anón. (1997b)	
			Mediterráneo	13%				3	50			



Tabla 2.2. Principales medidas de regulación de la pesquería de volanta (enmalle) y palangre contemplados en los acuerdos de pesca. Tomado de Ramos *et al.* (2000).

Acuerdo de Pesca	Período validez	Zona de Pesca	TRB inicial	TRB final	Límite de zona	Millas a costa	Capturas accesorias	Paro	Fuente
España Marruecos	Agosto 1983 julio 1987	Atlántico Norte	7 554	4 513	28°44'N	6 (palangre)	-		Anón. (1983)
		Atlántico Norte	4 743	4 743	30°40'N (límite sur)	6 (palangre) 12(enmalle)			
1° CEE Marruecos	Marzo 1988 febrero 1992	Atlántico Sur	1 500	1 500	30°40'N (límite norte)		-	-	Anón. (1988)
		Mediterráneo	193	193					
		Atl.N.+Medit.	114	114	30°40N (límite sur)				
2° CEE Marruecos	Mayo 1992 abril 1995	Atlántico	10 044			3	0% crustáceos	15 marzo- 15 mayo	Anón. (1992)
		Mediterráneo	356			12			
3° CEE Marruecos	Noviembre 1995 noviembre 1999	Atlántico N	11 350	9 270	28°44'N	12	0% crustáceos	15 marzo- 15 mayo	Anón. (1997b)
		Mediterráneo	250			3			

A pesar de la dominancia en número de la flota marroquí, éstas fueron embarcaciones de menor tonelaje (52 TRB de promedio) comparadas con los arrastreros españoles (74 TRB de promedio). Los volanteros tuvieron un tonelaje de 53 TRB, y los palangreros fueron los de mayor tonelaje con 77 TRB (Fig.2.2).

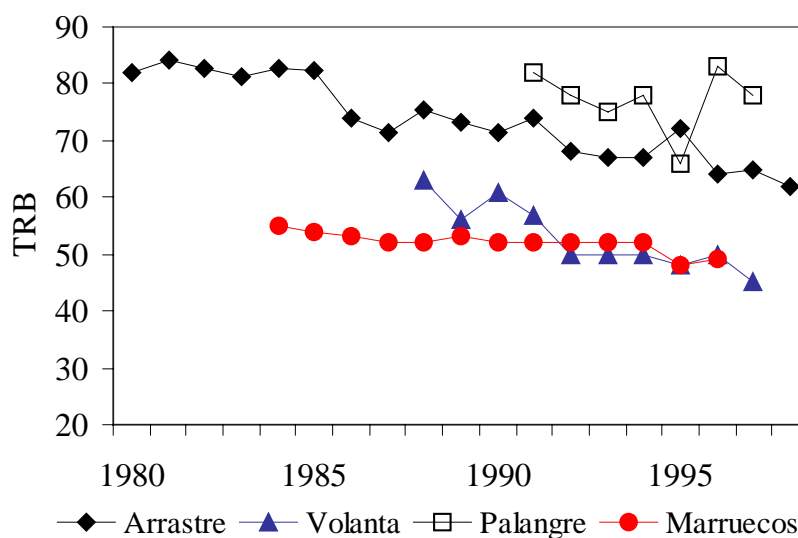


Figura 2.2. Evolución del tonelaje promedio (TRB) de las flotas que pescaron merluza europea durante los acuerdos de pesca con Marruecos.

Estas diferencias en número de unidades de cada una de las modalidades de pesca tuvieron su expresión más clara en las tendencias del esfuerzo (Fig. 2.3). Previo al establecimiento de la Red de Información y Muestreo del IEO en 1981, los datos del esfuerzo de pesca (días de pesca) de la flota española, son aproximados y es muy probable que hayan sido subestimados; por esta razón se aprecia un salto entre 1980 y 1981 en los datos de esfuerzo. A partir de entonces, el esfuerzo de los arrastreros españoles fue proporcional al número de barcos dedicados a la pesca, dominando el escenario en la década de los ochenta, para dar paso al incremento de la flota costera marroquí en los años noventa. Hay que hacer notar que dada la heterogeneidad de las características de las embarcaciones marroquíes, su esfuerzo de pesca estuvo corregido por la potencia (día de pesca \* CV/1000).

Los esfuerzos de la volanta y el palangre evolucionaron de forma similar entre ellos, tanto en la tendencia como en la magnitud. Hasta 1991, en conjunto representaron entre 5 y el 20% del esfuerzo total de las flotas españolas que pescaron merluza europea; a partir de 1992 su contribución relativa fue aumentando, hasta representar el 57% del esfuerzo total de las flotas españolas

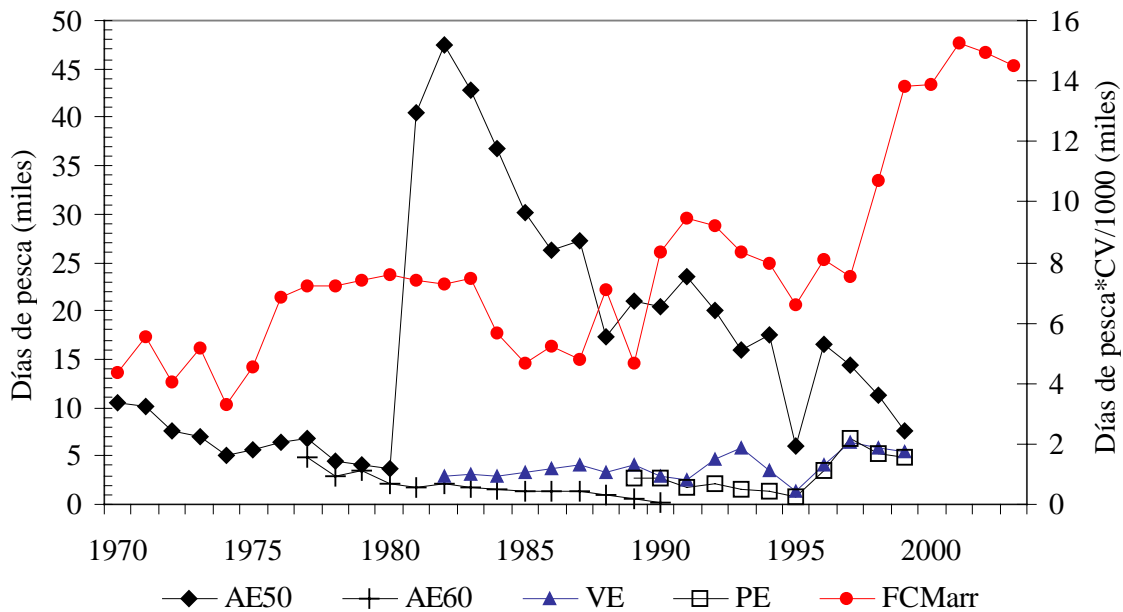


Figura 2.3 Evolución temporal de los esfuerzos de pesca ejercidos por las flotas españolas de arrastre 40 –50 mm de malla (AE50), arrastre de 60 mm de malla (AE60), volanta (VE), palangre (PE) y por los arrastreros de la flota costera marroquí (FCMarr). El esfuerzo de FCMarr está corregido por la potencia.

Las diferencias de los esfuerzos de pesca, también fueron apreciables en la distribución geográfica de los mismos (Fig. 2.4). Según datos de 1991 (Ramos & Fernández, 1994), los arrastreros al fresco españoles pescaron casi exclusivamente en la parte norte de Marruecos, ejerciendo el 87% del esfuerzo en los caladeros frente a Arcila, Larache y Kenitra, y menos del 10.% del esfuerzo al sur de Rabat (33°30'N).

La flota de volanta también faenó fundamentalmente en el norte, pero la distribución porcentual del esfuerzo fue más homogénea, dedicando hasta un 12% del esfuerzo al sur de Cabo Ghir (30°N). En tanto que la flota de palangre fue la que mayor dispersión geográfica del esfuerzo de pesca desarrolló, distribuyéndolo homogéneamente en el norte entre Arcila (35°N) y Cabo Ghir (30°N), y ejerciendo hasta 25% del mismo en la región del Sahara hasta Cabo Blanco (21°N).

No se cuenta con información específica de la distribución geográfica de los esfuerzos de pesca de la flota marroquí, pero se conoce de manera general las áreas más frecuentadas. Éstas están determinadas por la cercanía a los puertos de Casablanca y Agadir, que son la base de la flota (Fig. 2.5).

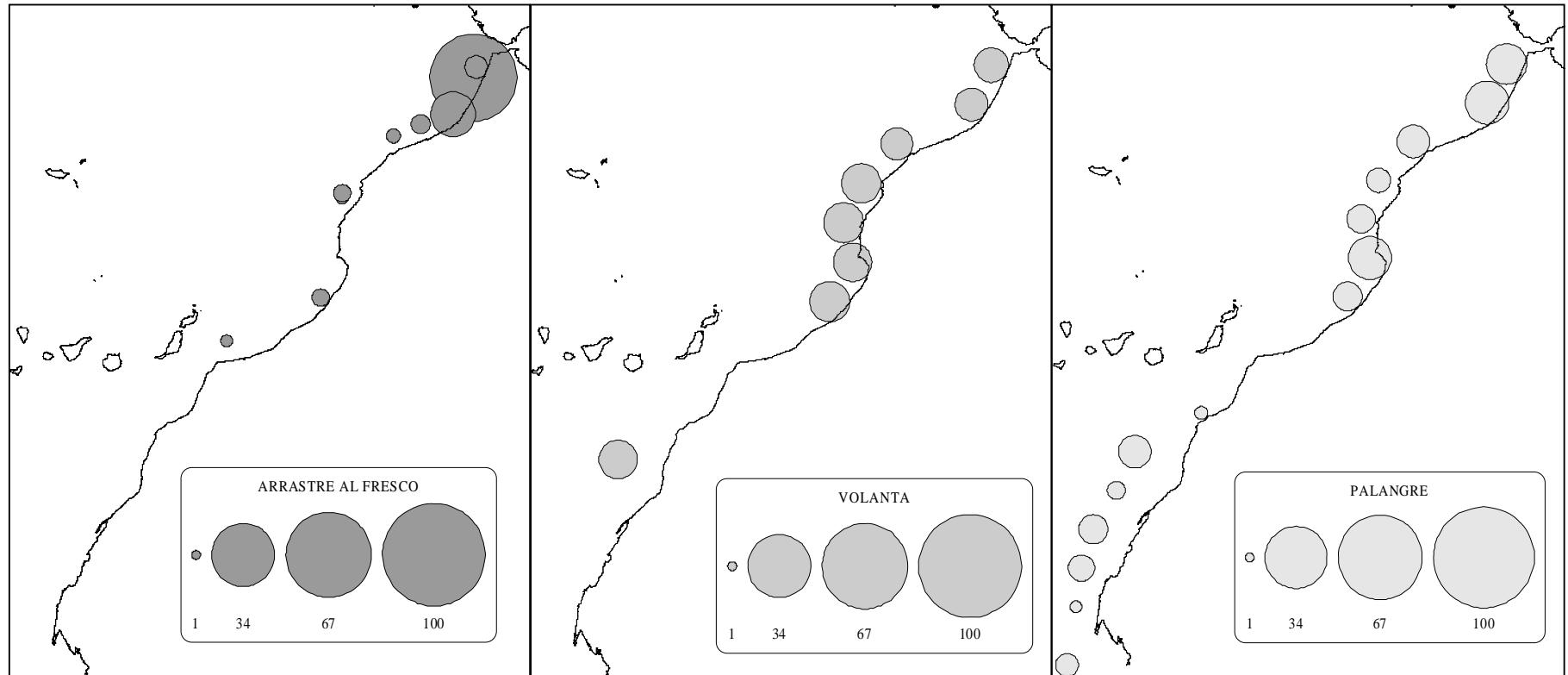


Figura 2.4. Distribución porcentual del esfuerzo de pesca ejercido por las flotas españolas de arrastre, volanta y palangre que pescaron merluza europea durante el año 1991. Datos tomados de Ramos & Fernández (1994).

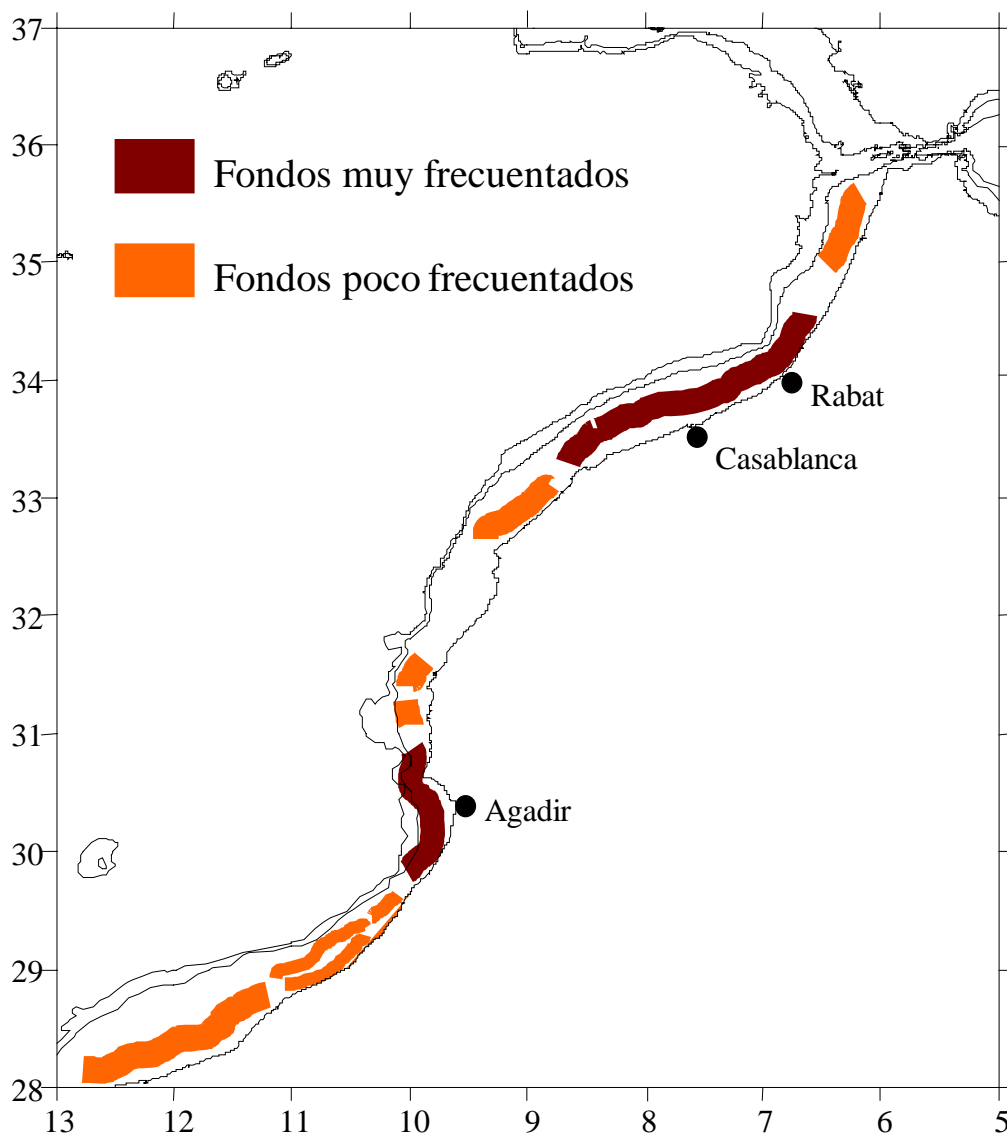


Figura 2.5 Distribución geográfica general de las áreas de pesca utilizadas por los arrastreros de la flota costera marroquí. Ilustración basada en FAO (1990) y complementado con FAO (2006b).

### Capturas

Entre 1970 y 2002, las descargas totales de las principales flotas que incidieron sobre la merluza europea (españolas, marroquí y portuguesa), oscilaron entre 2594 y 13375 toneladas (años 2000 y 1992 respectivamente) (Fig. 2.6). Hasta 1997, las capturas totales habían mostrado variaciones interanuales, pero nunca habían bajado de las 5500 toneladas. La sensible disminución de los desembarcos durante 1997, 1998 y 1999, precipitaron en parte, la negativa de Marruecos a la renovación de los acuerdos de pesca.

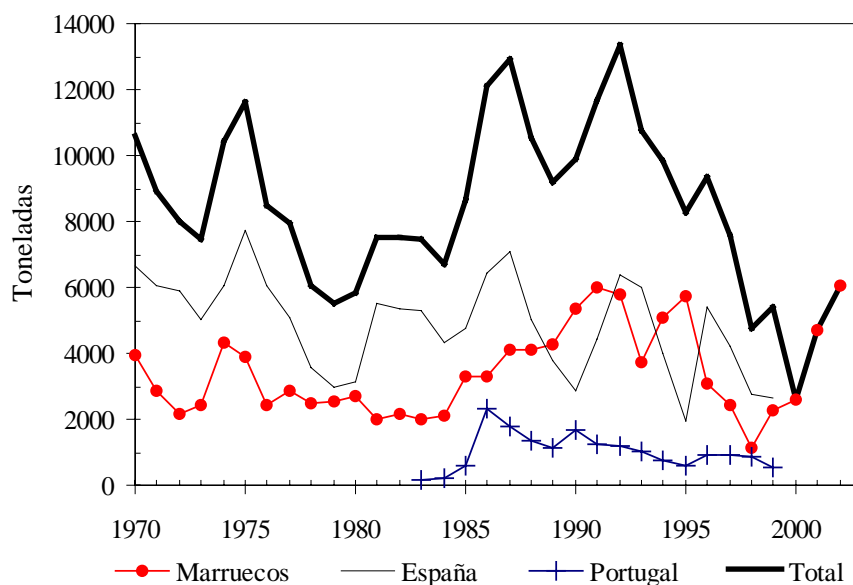


Figura 2.6. Evolución anual de los desembarcos totales y por países de merluza europea capturada en aguas Atlánticas administradas por Marruecos.

Independientemente de la magnitud de las variaciones interanuales de las descargas, en la misma figura se observan dentro de la serie variaciones de baja frecuencia, del orden de 8 a 10 años. Durante 1970 – 1985, las capturas marroquíes representaron el 35% del total y las españolas el 65%. A partir de 1986 los porcentajes relativos entre Marruecos y España fueron similares, 45% como promedio por país, correspondiendo el resto de la captura a la flota portuguesa (Fig. 2.7).

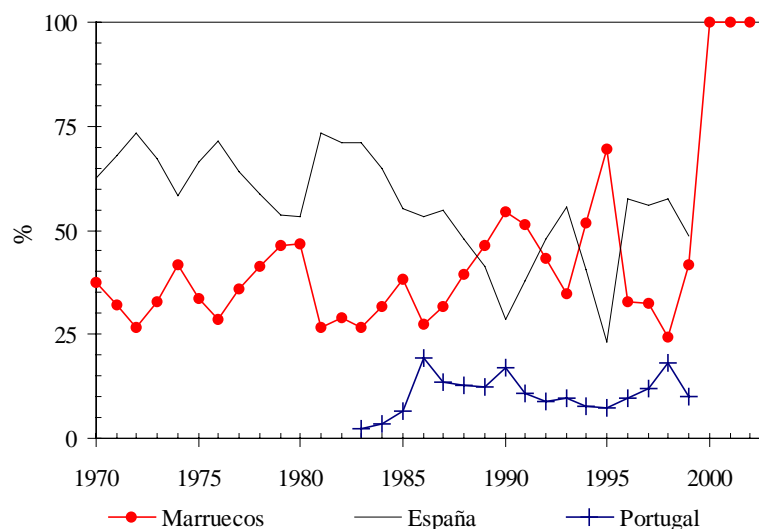


Figura 2.7. Evolución de la contribución porcentual anual por países al total de los desembarcos de merluza europea.

Al analizar las capturas por modalidad de pesca (Fig. 2.8), se observa que los arrastreros españoles con malla de 60 mm y los marroquíes dominaron durante la década de los 70 con descargas promedio de 3000 toneladas cada una, seguidos por el arrastre español de 40-50 mm con 1400 toneladas; no obstante al igual que en el caso de las estimaciones del esfuerzo, estas cifras tienen que tomarse con precaución porque son estimaciones aproximadas y probablemente las capturas españolas están subestimadas. Durante el inicio de la década de los 80, el arrastre español de 40-50 mm fue la modalidad que registró mayores descargas (cerca de 3000 toneladas promedio), seguida muy de cerca por las marroquíes (2800 toneladas promedio), en tanto que los arrastreros de 60 mm, disminuyeron sensiblemente su actividad, con la consiguiente reducción de las capturas.

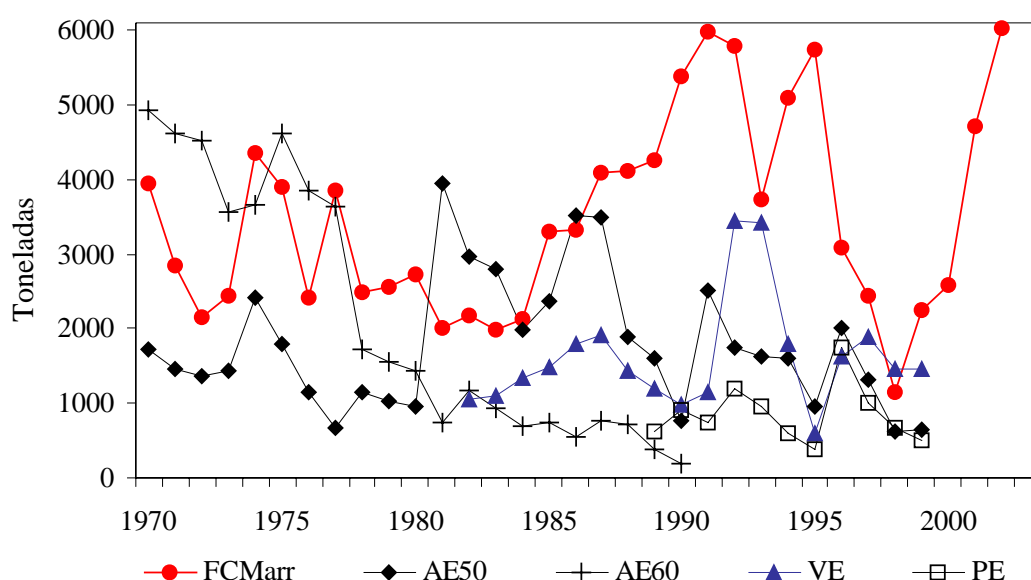


Figura 2.8. Evolución anual de los desembarcos de merluza europea de las flotas españolas de arrastre de 40 –50 mm de malla (AE50), arrastre de 60 mm de malla (AE60), volanta (VE), palangre (PE) y por los arrastreros de la flota costera marroquí (FCMarr).

A partir de 1986, la flota marroquí fue responsable por mucho de las mayores capturas de merluza europea, alcanzando el máximo de la serie, durante la vigencia de los acuerdos de pesca, en 1991 con 5900 toneladas; este período fue seguido de un fuerte descenso, a partir de 1996 hasta la finalización del acuerdo en 1999, con un mínimo de 1160 toneladas en 1998. Por su parte, la disminución sostenida del esfuerzo de pesca de los arrastreros españoles se reflejó en una fuerte disminución de sus capturas, con un promedio de 1700 toneladas hasta la finalización del acuerdo. Una vez concluido el acuerdo de pesca, la flota marroquí nuevamente experimentó

un incremento sostenido de las capturas, hasta alcanzar nuevo máximo de 6000 toneladas en 2002.

Las capturas de merluza europea de la volanta y el palangre, oscilaron entre 600 y 1900 toneladas, a partir de 1982 y 1989 respectivamente. Sin embargo, es importante destacar que la volanta registró máximos de 3400 toneladas durante 1992 y 1993, superando por primera vez y en una relación dos a uno a las capturas del arrastre español y siendo casi iguales a las capturas marroquíes de 1993, incluso superándolas durante la caída que sufrieron en 1998.

En términos porcentuales (Fig. 2.9), durante la década de los 80 las flotas de arrastre fueron responsables de la captura del 85% del total de merluza europea descargada, 40% correspondió a la flota marroquí, 34% al arrastre español de 40-50 mm y 12% al de 60 mm. En la década de los 90, este porcentaje se ubicó en 68%, pero la importancia relativa de la flota marroquí se incrementó hasta el 50%, mientras que la del arrastre español se redujo al 19%; este porcentaje fue hecho exclusivamente por la flota de 40-50 mm, debido a la desaparición de la flota de 60 mm. Durante este período, la contribución de la volanta y el palangre alcanzó el 34% de promedio, llegando a representar el 55% de las capturas totales en 1998.

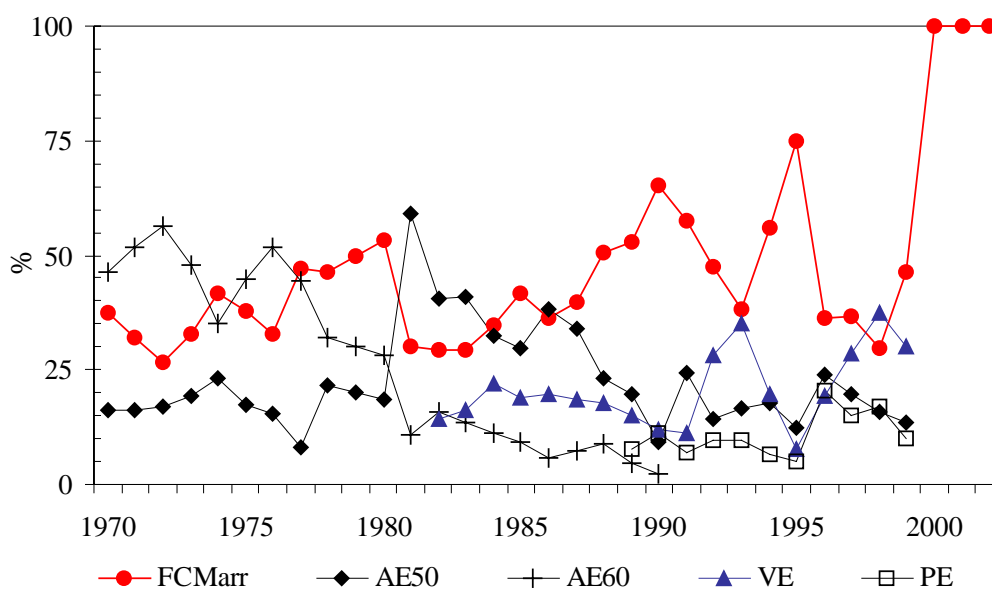


Figura 2.9. Contribución porcentual anual al total de los desembarcos de merluza europea de las flotas españolas de arrastre de 40 -50 mm de malla (AE50), arrastre de 60 mm de malla (AE60), volanta (VE), palangre (PE) y por los arrastreros de la flota costera marroquí (FCMarr).



La importancia de las capturas en peso de la volanta y palangre, a pesar de ser flotas sensiblemente más pequeñas que las de arrastre en cuanto al número de barcos (Fig. 2.1), se debe a que incidieron exclusivamente sobre el segmento adulto de la población de la merluza europea, en tanto que las flotas de arrastre lo hicieron fundamentalmente sobre la fracción juvenil del stock (El Ouairi, 1990, FAO, 1991; Poinard, 1992).

Es decir, de acuerdo con la figura 2.10, la moda de las distribuciones de tallas de las merluzas capturadas por el palangre fue de 42-46 cm y la de la volanta en 46-52 cm. En ambas modalidades de pesca, el 99% de los individuos superó la talla de primera madurez de los machos, y el 77% y 83% estuvieron por encima de la talla de primera madurez de las hembras estimadas para el Noroeste Africano (ver capítulo 1). La moda de las distribuciones de tallas de las capturas de la flota costera marroquí fue de 18 cm y la del arrastre español de 16-20 cm. Solo el 4% y el 7% de las capturas de estas flotas superaron la talla de primera madurez de los machos y únicamente el 1% de las merluzas capturadas por la flota española superó la talla de primera madurez de las hembras.

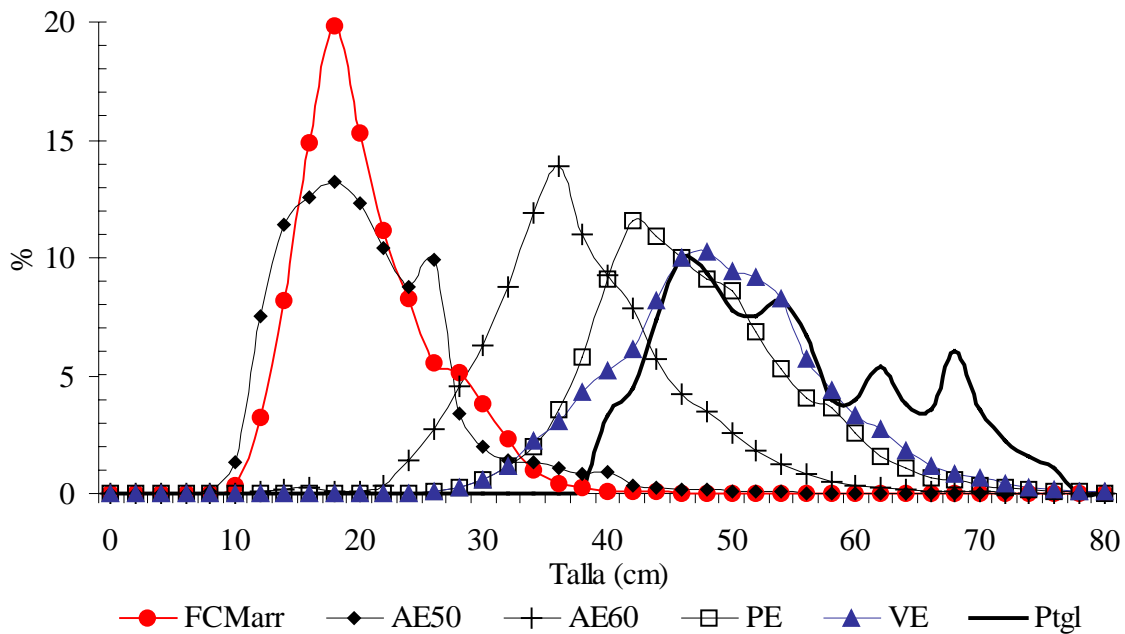


Figura 2.10. Distribución de tallas de la captura de merluza europea de las flotas españolas de arrastre de 40-50 mm de malla (AE50), arrastre de 60 mm de malla (AE60), volanta (VE), palangre (PE) y flota de arrastre costera marroquí (FCMarr).

No obstante hay que realizar alguna precisión al respecto. La introducción de la malla de 50 mm, en sustitución de la de 40 mm a mediados de 1984, y el desplazamiento del esfuerzo por fuera de las 12 millas náuticas de la costa, produjo a su vez el desplazamiento de la moda en las distribuciones de tallas de la captura de la flota de arrastre española, de 14 cm de moda entre 1982 y 1983, a un espectro más amplio, entre 18 cm y 26 cm (Fig. 2.11). El segmento de la población objetivo de la flota lo constituyeron juveniles y preadultos del stock de merluza europea.

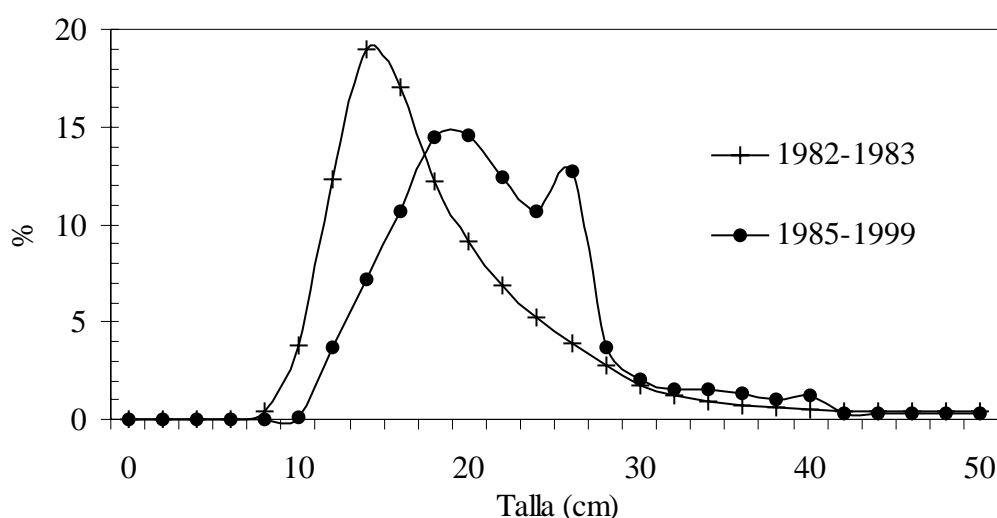


Figura 2.11. Comparación de la distribución de tallas de la captura de merluza europea de la flota española de arrastre cuando utilizó malla de 40 mm (1982-1983) y cuando cambió a malla de 50 mm (1985-1999).

Cada una de las flotas incidió sobre un intervalo de talla bastante definido, pero en conjunto incidieron sobre la totalidad del espectro de tallas de la merluza europea en el Noroeste Africano: La flota marroquí exclusivamente sobre juveniles, los arrastreros españoles sobre juveniles y preadultos, y finalmente las flotas de palangre, volanta y la flota portuguesa, exclusivamente sobre los adultos.

### Rendimientos (CPUE)

Por las mismas razones expuestas en el apartado anterior (diferencia de tallas), los rendimientos medios del palangre y la volanta (428 y 367 kg/dp respectivamente) fueron cuatro veces más altos que los del arrastre (97 kg/dp) durante el período en que se desarrollaron las tres pesquerías. Los máximos rendimientos de las dos primeras flotas (745 y 605 kg/dp) se observaron durante 1992-1993, en tanto que los mínimos (249 y 100 kg/dp, respectivamente) se produjeron durante los últimos tres años del acuerdo de pesca. En el caso del arrastre, los máximos (480 kg/dp) se

observaron durante la década de los 70; no obstante, por las razones expuestas con anterioridad acerca de las estimaciones de los esfuerzos, los valores de estos años deben ser tomados con cautela. De los 80 en adelante la tendencia es más estable, alcanzando el máximo (205 kg/dp) durante la primera mitad de la década de los 90, seguido de un descenso sensible de los rendimientos desde 1996 (56 kg/dp) hasta la finalización de los acuerdos en 1999 (86 kg/dp) (Fig. 2.12).

Los rendimientos de la flota costera marroquí no pueden ser comparados directamente con las demás, debido a las diferencias en las unidades de medida del esfuerzo de pesca. No obstante, fue notorio el aumento de los rendimientos marroquíes desde la mitad de la década de los 80, pasando de 270 kg/(dp\*CV/1000) en 1980, a 903 kg/(dp\*CV/1000) en 1989. A partir de esa fecha, mantuvo rendimientos elevados hasta que, en 1996 comenzó un repentino descenso que llevaría a la pesquería al mínimo de 1998 con 109 kg/(dp\*CV/1000). A partir de la exclusión de las flotas comunitarias con la conclusión del acuerdo de pesca, los rendimientos marroquíes nuevamente experimentaron un fuerte crecimiento, especialmente a partir del año 2001 (Fig. 2.12).

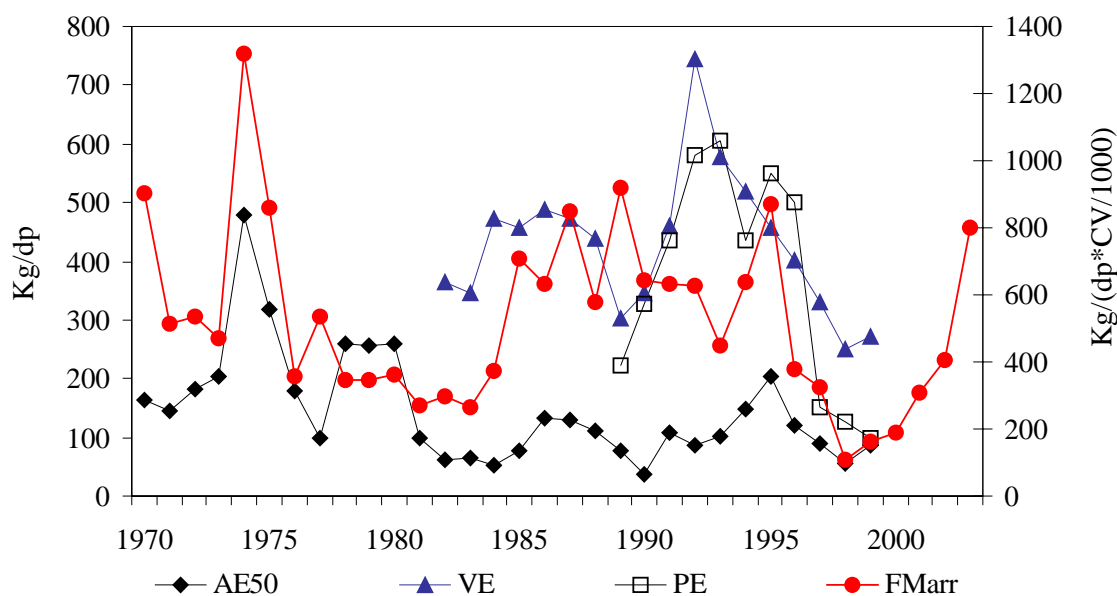


Figura 2.12. Evolución anual de los rendimientos de merluza europea de las flotas españolas de arrastre de 40 –50 mm de malla (AE50), volanta (VE), palangre (PE) y por los arrastreros de la flota costera marroquí (FCMarr). Los rendimientos de FCMarr están corregidos por la potencia (CV) de la flota.

Al igual que sucedió con las capturas, los rendimientos mostraron además de las variaciones interanuales, variaciones de baja frecuencia; en este caso son apreciables ciclos de 8-14 años, dependiendo de la extensión de las series temporales (Fig. 2.13).

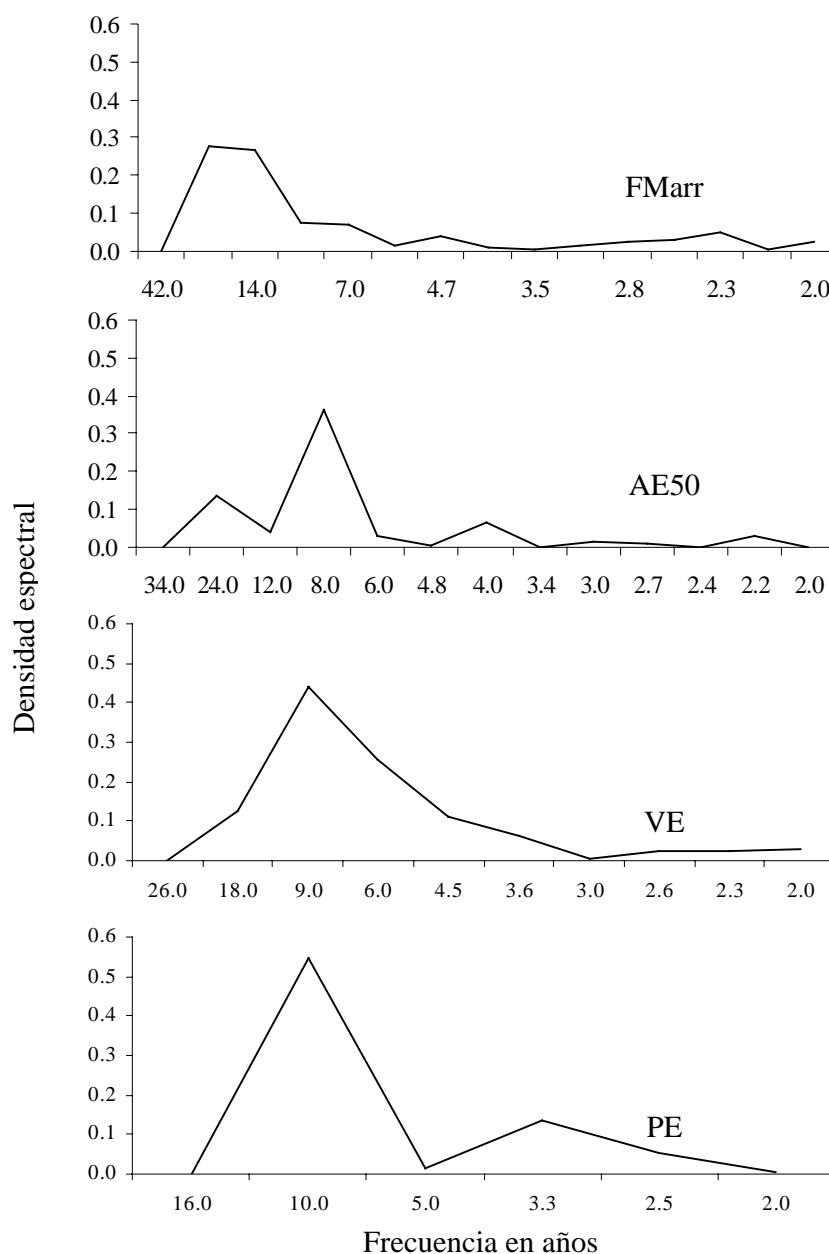


Figura 2.13. Espectros de frecuencias (en años) de los rendimientos de merluza europea de las flotas españolas de arrastre de 40 –50 mm de malla (**AE50**), volanta (**VE**), palangre (**PE**) y los arrastreros de la flota costera marroquí (**FCMarr**). Los cálculos se basaron en la Transformada Discreta de Fourier (DFT) a través del programa estadístico WinIDAMS 1.2 (UNESCO, 2004).

## Evaluación pesquera

Para la evaluación de los stocks de merluza europea, históricamente han sido aplicados diversos métodos. Los más utilizados han sido los métodos de evaluación directa en campañas oceanográficas, y los modelos de producción, basados en los rendimientos (CPUE). No obstante, la determinación del coeficiente de capturabilidad ( $q$ ), en el primero, y la presuposición de estabilidad en el segundo, representan sus principales limitantes metodológicas. También se han utilizado modelos analíticos, como el de rendimiento por recluta ( $Y/R$ ) y el análisis de población virtual (VPA). Sin embargo, en ambos casos, la fiabilidad de los resultados depende de la estimación precisa de la edad (Pitcher & Alheit, 1995), variable sobre la cual existen serias discrepancias (ver capítulo 1).

Las diferencias en las suposiciones de partida para la aplicación de cada método y la incertidumbre metodológica de la determinación de algunos de sus parámetros, dificultan una revisión comparativa de las pesquerías y del estatus de los stocks desde un punto de vista común.

La evaluación de *M. merluccius* en el Noroeste Africano ejemplifica bastante bien la progresión en la utilización de los diferentes métodos a lo largo del tiempo. Se han realizado cinco evaluaciones, cuatro en los grupos de trabajo *ad hoc* del Comité para las Pesquerías del Atlántico Centro-Oriental de la FAO (1978, 1986, 1990, 1997) y uno en el comité de expertos CEE-Marruecos (Anón., 1991; Poinard, 1992). En ellos se han utilizado índices de abundancia obtenidos en campañas (El Ouairi, 1991; Poinard, 1992), modelos de producción basados en datos de capturas y esfuerzos, así como modelos analíticos (Balguerías *et al.*, 1994).

Mediante los índices de abundancia obtenidos en campañas se determinó que la abundancia de *M. merluccius* era mayor en la zona sur, entre Agadir y cabo Sim (30°N – 32°N), donde la explotación pesquera hasta 1991 había sido menos intensa que en el norte (El Ouairi, 1991; Poinard, 1992).

Entre principios de los años setenta y mediados de los noventa se estimó que el stock de merluza europea en aguas marroquíes no había sufrido variaciones importantes en la abundancia, con excepción del período 1973-1976 (FAO, 1997), permitiendo su evaluación mediante modelos de producción equilibrados. Según la evaluación del Grupo de Trabajo de 1997, los niveles de captura en 1996 estaban muy próximos a los rendimientos máximos sostenibles (MSY), con valores conservadores de 9 675 y 9 232 toneladas para niveles de esfuerzos de 17 439 y 17 656 unidades estándares, respectivamente. No obstante, ya en la evaluación de 1978, se habían constatado los

primeros indicios acerca de la sobreexplotación del stock. (FAO, 1978; Ramos & Fernández, 1995).

Los análisis de la estructura de tallas de los desembarcos de las diferentes flotas, evidenciaron una fuerte presión sobre los juveniles de merluza europea (10–30 cm), fundamentalmente a cargo de la flotilla de arrastre costero marroquí (FAO, 1990; 1997), y sobre los reproductores (>40 cm), debido a los volanteros y palangreros españoles durante 1992-1996 (FAO, 1997).

La evaluación por el método de rendimiento por recluta (Y/R), demostró que el stock de merluza europea presentaba un estado avanzado de explotación (FAO, 1997), lo que contrastaba con las previsiones de los modelos globales (Ramos *et al.*, 2000).

Estas discrepancias entre los resultados de las evaluaciones por modelos analíticos y globales, trajeron como consecuencia la adopción de un criterio precautorio en cuanto a las recomendaciones, con un acuerdo general de que para cualquier mejora en la producción del recurso, era necesario excluir de la estrategia de pesca al segmento juvenil de la población y/o aliviar el esfuerzo de pesca global (Anón. 1991; Poinard, 1992; Ramos *et al.*, 2000).

Hasta el momento, en ninguna de las evaluaciones se ha probado la incorporación en los modelos variables ambientales y/o climáticas, a pesar de que estas pesquerías se desarrollan en sistemas de elevada productividad, altamente variables y fuertemente vinculados al sistema atmosférico. No obstante en el último grupo de trabajo en 2004 (FAO, 2006b), se recomendaba la consideración de variables ambientales en un modelo de producción BYODYN, para el cual se creó un campo de variable ambiental específico a la espera de decidir la(s) más adecuada(s).

La inclusión del forzamiento climático-ambiental, podría mejorar la explicación de la variabilidad de las pesquerías, porque representan condicionantes denso-independientes, que ejercen forzamiento sobre la totalidad del sistema y no únicamente sobre el recurso en cuestión. La pertinencia de esta consideración se sustenta en los repentinos saltos de los rendimientos de las flotas de arrastre, a la alza entre 1974-1975 y 1986-1995, y el descenso repentino después de 1996, hasta la finalización de los acuerdos de pesca.

## DISCUSIÓN

La evolución de las pesquerías de merluza europea desarrolladas en las aguas administradas por Marruecos durante el período de vigencia de los acuerdos de pesca, ha estado sujeta a diversas fuentes de variación, las cuales dificultaron enormemente la gestión adecuada.

Por un lado, los cambios de las condiciones de los acuerdos, como fueron la variabilidad del esfuerzo ejercido por las flotas comunitarias, el cambio de estrategias de pesca dentro de una misma modalidad, la baja frecuencia de las reuniones de evaluación científica que permitieran anticipar cambios inmediatos en las pesquerías, y la ausencia de criterios unificados para la recolecta sistemática y uniforme de datos biológicos y estadísticos complementarios de las capturas de todas las flotas.

Por otro lado, las constantes tensiones de las negociaciones de los nuevos acuerdos de pesca, derivadas de la competencia comercial entre las flotas nacionales y comunitarias, impidió la implementación de las medidas precautorias propuestas en los grupos de evaluación (Ramos *et al.*, 2000), que permitieran al menos corregir las tendencias que sugerían el estado avanzado de explotación, cuya manifestación máxima se observó a partir de 1997 y terminó por precipitar el cese de los acuerdos en 1999.

La reducción del esfuerzo pesquero comunitario, era un reclamo natural en beneficio de la flota nacional marroquí; sin embargo, mantener e incrementar ese esfuerzo nacional exclusivamente sobre el segmento juvenil del stock, transfiriendo como compensación momentánea un margen mayor de explotación del segmento reproductor a la flota comunitaria, hacía presagiar un colapso a corto plazo.

Si además, ese incremento de la mortalidad sobre las fases de reclutamiento a la pesquería, coincidía con condiciones ambientales menos favorables de las que pudieran haber prevalecido hasta entonces, era previsible que el colapso fuera casi catastrófico y se observara primero en las tallas menores, esto es, fundamentalmente en las pesquerías marroquíes. Esta hipótesis, será abordada con mayor detenimiento en los capítulos 4, 5 y 6 de este trabajo.

La disminución global del esfuerzo como consecuencia de la exclusión de las flotas comunitarias, fue seguida de un importante incremento de las capturas y los rendimientos de la flota costera marroquí, alcanzando niveles comparables al máximo de 1995. No obstante, el esquema de explotación seguía siendo el mismo. Es decir, el mayor esfuerzo a cargo de la flota costera, estaba dirigido al segmento

juvenil stock, en tanto que el esfuerzo sobre el segmento reproductor, aunque disminuido a priori, se mantuvo mediante la conversión de palangreros comunitarios en palangreros de empresas mixtas en 2001, de cuyos datos de captura y esfuerzo no se tiene información hasta el momento (FAO, 2006b).

El repunte de las capturas y los rendimientos de la flota marroquí estuvo en fase con el período de oscilación de baja frecuencia (8 – 14 años) descritos para los rendimientos de las flotas españolas y marroquí durante la vigencia de los acuerdos de pesca. Éste hecho, sugiere una duda razonable acerca de la idea de considerar a la variabilidad del esfuerzo, como la única responsable en la evolución de las pesquerías, especialmente frente al descenso catastrófico de finales de los 90 y la recuperación de los rendimientos pocos años después de la exclusión de la flota costera.

Para abordar esta duda razonable, es necesario analizar nuevamente las series históricas de las pesquerías desde un punto de vista diferente, en conjunción con la evolución del sistema climático y su posible aportación como fuente de variación e interacción con la actividad pesquera ejercida sobre la merluza europea.

Como parte de este nuevo análisis, es necesario hacer hincapié en las diferentes estructuras de tallas de las capturas de las flotas, así como en sus particularidades operativas y selectivas, que pudieran aportar más elementos de los que en su momento fueron considerados para las evaluaciones previas.

En conjunto, las flotas explotaron el espectro completo de tallas (edades), desde juveniles pequeños (flota costera marroquí), preadultos y adultos pequeños (arrastreros españoles) y adultos grandes (volanta y palangre). Esta situación, suministra información valiosa para investigar retrospectivamente los efectos y/o interacciones de variables ambientales-climáticas sobre el reclutamiento y el stock reproductor sometidos a fuertes presiones de pesca, aun en ausencia de datos complementarios y sistemáticamente recogidos sobre la dinámica de la población merluza europea, como estimaciones del reclutamiento, crecimiento, fecundidad, y la variabilidad interanual de la puesta, por mencionar los más importantes.

Lo expuesto anteriormente permitiría avanzar en la inferencia de los posibles cambios en la estructura de la población bajo diferentes condiciones ambientales y climáticas que expliquen de forma robusta la variabilidad de la población de merluza europea en la costa Noroccidental Africana y sus consecuencias para las pesquerías.





# **CAPÍTULO 3**

---

**Entorno climático y ambiental de la costa  
Noroccidental Africana**



## ENTORNO GEOMORFOLÓGICO

El margen costero Atlántico Africano entre los 35°N y 28°N presenta una plataforma continental de 40 km de anchura promedio, que varía entre 13 km en cabo Ghir hasta aproximadamente 80 km. al sur de los 29°N. En general el borde de la plataforma ocurre entre 110 m y 150 m de profundidad (Fig. 3.1). El fondo de la plataforma continental es plano con una pendiente mar adentro de 0° 1' a 0° 3', sin tomar en cuenta pequeñas áreas con elevaciones locales de 10 m a 30 m (Hinz *et al.*, 1982).

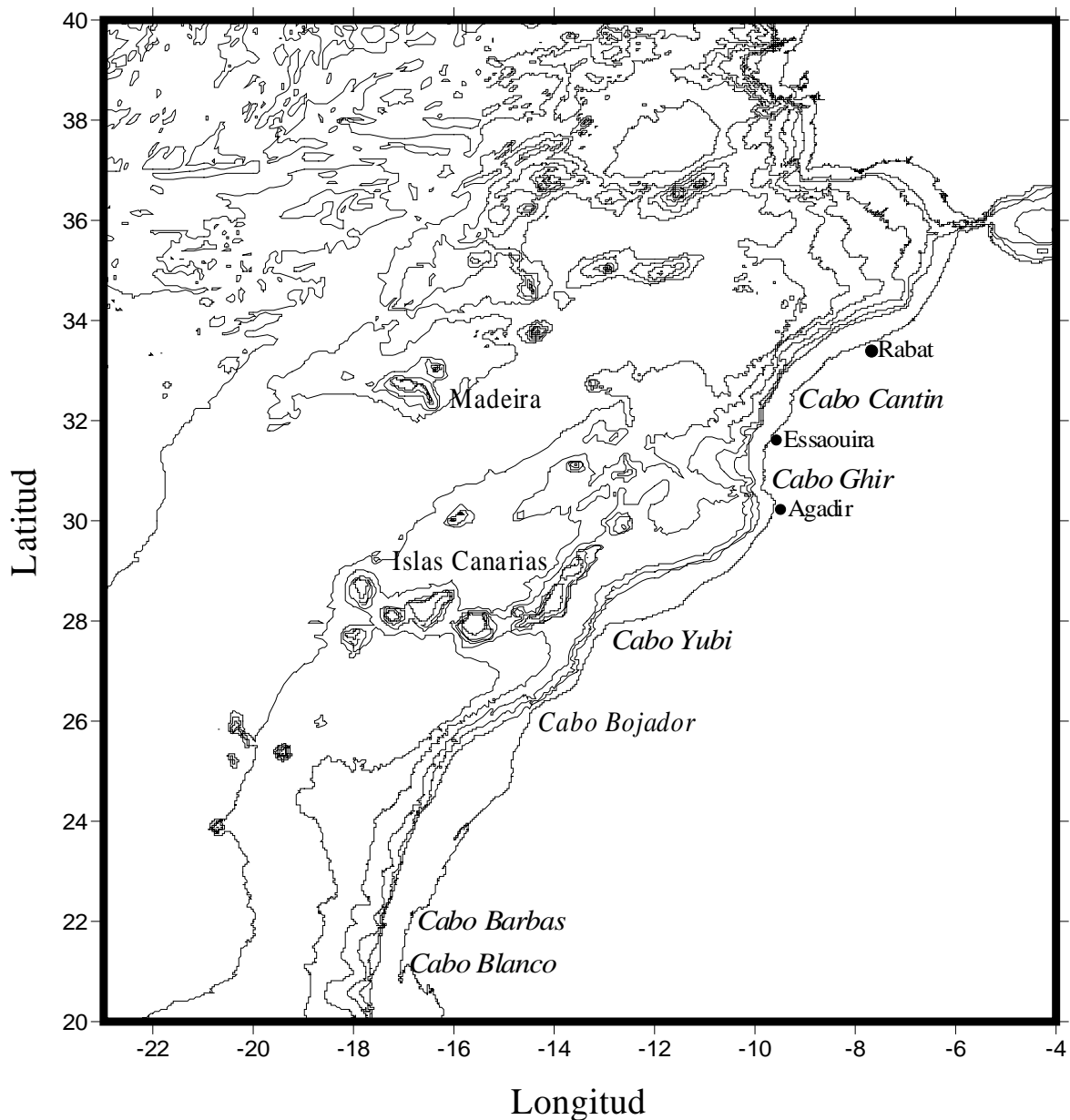


Figura 3.1 Área de estudio

El talud continental se extiende desde el borde superior de la plataforma hasta los 1500 m de profundidad, en el sureste de la isla de Fuerteventura y alrededor de 4000 m en el norte, en Cabo Cantin (32° 30' N). Generalmente el ángulo de inclinación del talud en la costa noroccidental africana varía entre 1° y 3°, pero en la costa marroquí puede alcanzar 5° a 6° de promedio, y en algunos lugares debido al tectonismo reciente puede alcanzar inclinaciones de hasta 40° (Seibold & Hinz, 1976).

Entre Rabat y Essaouira hay numerosos cañones submarinos pequeños y canales transversales al talud; también existen diapiros en la planicie abisal, cerca de la base del talud. Entre Essaouira y Sidi Ifni, domina el sistema de cañones de Agadir, que se originan en la plataforma continental como tributarios individuales que alimentan a un gran cañón submarino que aporta sedimentos a la cuenca de Agadir y a la Planicie Abisal de Madeira (Umbriaco *et al.*, 2003).

La zona de influencia de las Islas Canarias es considerada la parte “activa” (debido al vulcanismo) de todo el margen “pasivo” del noroccidente africano, presenta flujos detríticos y topografía abrupta como consecuencia de la formación de las islas (Schmincke, 1982).

En el Sahara, el margen costero se caracteriza a la altura de cabo Bojador por una plataforma continental estrecha (25 km) en comparación con la parte sur (120 km) a la latitud de Punta Levene (Bravo de Laguna, 1985). El borde de la plataforma se encuentra alrededor de los 110 m (90-150 m), y desde allí se extiende el talud continental hasta los 2700-3300 m de profundidad. A la altura de cabo Bojador, el talud continental varía entre 60 km (norte) a 100 km (sur) de anchura y tiene un perfil convexo, de inclinación moderada (2°) en su parte superior y más pronunciada (4°) en la parte inferior. Este talud inferior presenta pequeños cañones submarinos (von Rad & Wissman, 1982). Los fondos de la plataforma son llanos y uniformes, constituidos por arenas y restos de conchas, conchuelas y arenas conchíferas en distinto grado de descomposición (García-Cabrera, 1968).

## ENTORNO CLIMÁTICO

Para evitar confusiones sobre la dimensión de los procesos que suceden en la atmósfera y sus interacciones con el océano, es importante aclarar que cuando se habla de condiciones meteorológicas, se hace referencia a las fluctuaciones atmosféricas pronunciadas que ocurren en el intervalo de horas a días y que están descritas por la temperatura local, presión de aire, humedad, nubosidad, precipitación y el viento. Y cuando se habla de clima, nos referimos a la descripción de las condiciones meteorológicas prevalecientes, que incluye tanto las condiciones

promedio, como las variaciones y su distribución para alguna localidad o región particular (Stenseth *et al.*, 2003)

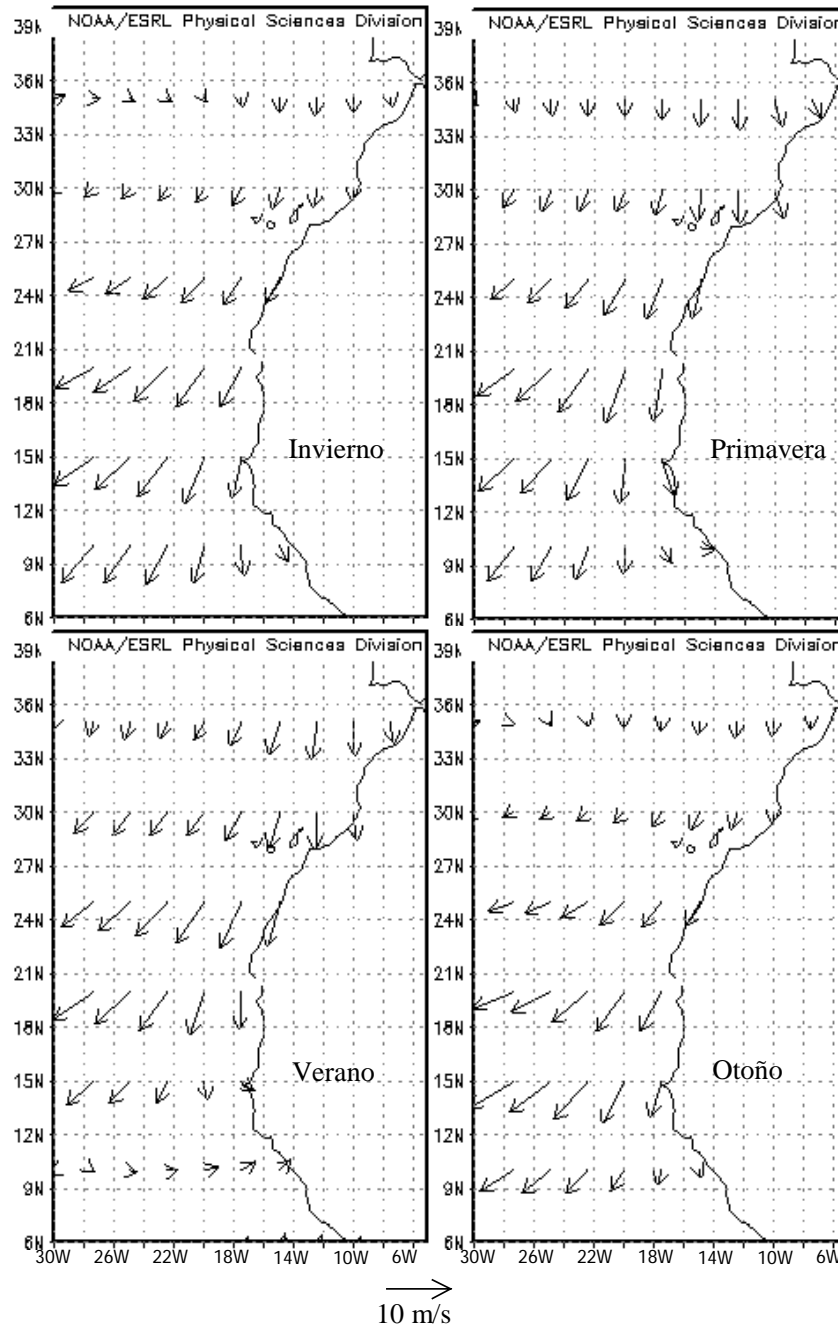


Figura 3.2. Estacionalidad de la intensidad y dirección del campo de vientos predominantes en la costa noroccidental africana. Promedio mensual entre 1968 y 1996. Datos obtenidos del NOAA-CIRES

El sistema de vientos predominantes en el África Noroccidental es del nordeste: los alisios (Fig. 3.2). Las variaciones estacionales de estos vientos son causadas por el cambio meridional del sistema de alta presión subtropical de las Azores (anticiclón de las Azores) y del sistema de baja presión relacionado con la Zona de Convergencia Intertropical. Durante el invierno, el campo de vientos dominantes se localiza entre los 10°N y 25°N, influyendo sobre todo el litoral noroccidental africano, desde los 28°N hacia el sur. Durante el verano, el campo de vientos se sitúa entre los 20°N y 32°N, con alguna persistencia de vientos de componente Norte, al sur de esta latitud. Sin embargo, estos vientos son usualmente débiles y remplazados, en ocasiones, por vientos monzónicos moderados del sur (Mittelstaed, 1982; Kifani, 1991; Freudenthal *et al.*, 2002). A lo largo de las costas de Mauritania y Senegal existe un tercer régimen de vientos que provienen del noreste, distinto de los vientos marinos. Estos vientos continentales son conocidos como Harmattan. Durante el invierno los Harmattan ocasionalmente se extienden sobre el mar transportando aire cálido, seco y sedimentos del Sahara (Mittelstaedt, 1982).

### La NAO

A principios del siglo pasado, Walker (1924) describió por primera vez las diferencias de presión atmosférica invernal entre las Azores e Islandia, fenómeno que interactuaba con la corriente del Golfo, las temperaturas sobre Escandinavia y Groenlandia y la dinámica de los hielos marinos en el Atlántico Norte. Del vaivén térmico invernal entre Groenlandia y el Norte de Europa ya se tenían referencias desde el siglo XVIII (van Loon & Rogers, 1978): Cuando las temperaturas son más bajas de lo normal sobre Groenlandia, son más altas de lo normal en la península escandinava y viceversa. Simultáneamente, se observan fluctuaciones coherentes de la temperatura, pluviosidad y presión atmosférica en Europa central, hacia el sur en África Occidental y al Oeste en Norteamérica. (Marshall *et al.*, 2001.).

Este patrón de variabilidad climática es actualmente conocido como Oscilación del Atlántico Norte (NAO), y se sabe que las fluctuaciones de este fenómeno ejerce influencia en el clima desde Norteamérica a Siberia y del Ártico al ecuador Atlántico (Marshall *et al.*, 2001).

La NAO se refiere a la oscilación de masa atmosférica entre los centros de presión de Islandia (baja) y las Azores (alta) (Walker & Bliss, 1932) y es el patrón de comportamiento atmosférico recurrente más robusto en el Atlántico Norte (Barnston & Livezey 1987). Las fluctuaciones de la NAO ocurren durante todo el año, pero son máximas durante la estación fría (noviembre-abril) cuando la actividad atmosférica es más dinámica (Barnston & Livezey, 1987; Rogers, 1990; Hurrell *et al.*, 2003;

Stenseth *et al.*, 2003). Debido a su naturaleza estocástica, los cambios de fase y amplitud intermensual e interanual de la NAO son difícilmente predecibles hasta el momento (Hurrell *et al.*, 2003).

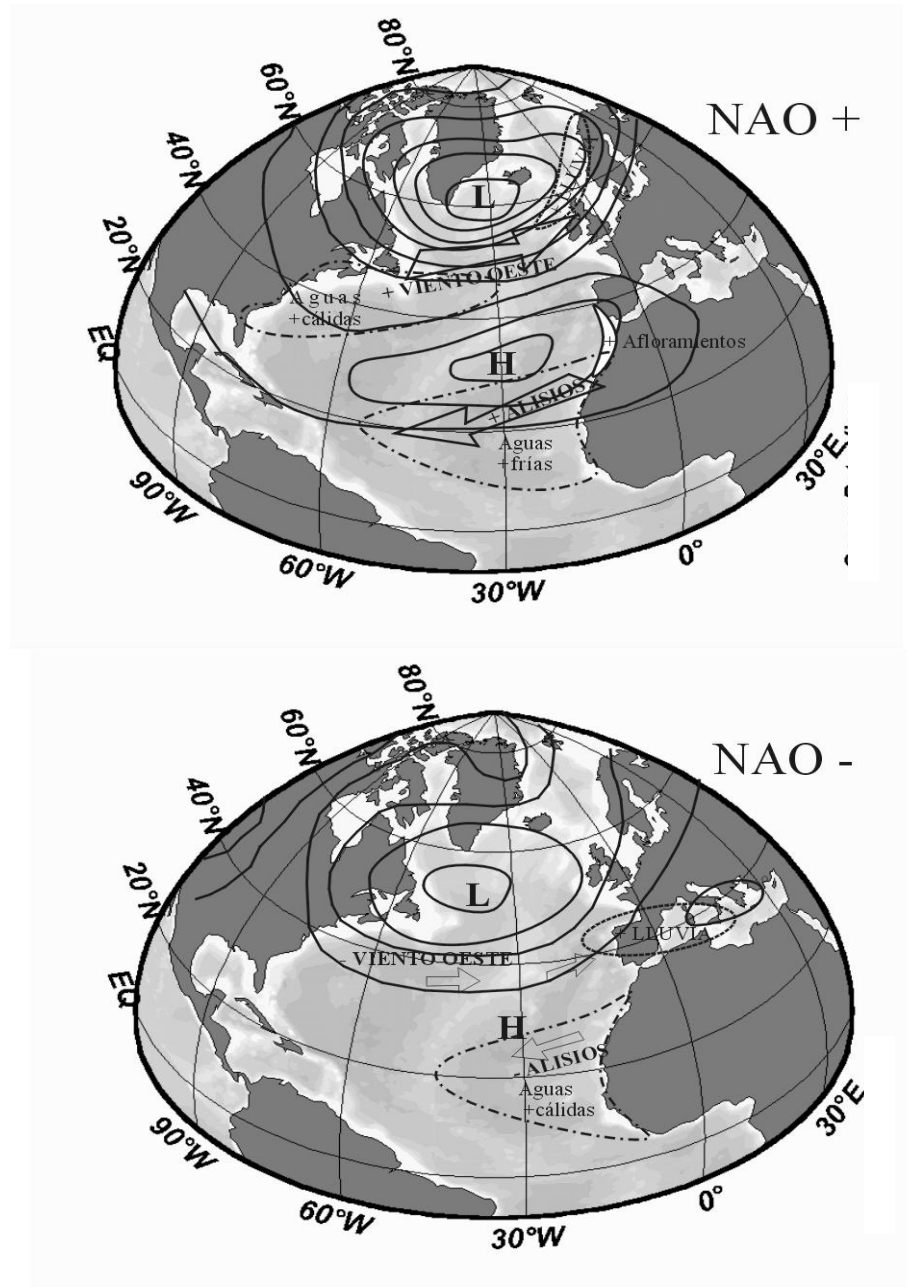


Figura 3.3. Esquema general del Atlántico Norte bajo condiciones NAO+: se intensifican los vientos del oeste y los alisios subtropicales, aumenta el transporte de humedad atmosférica hacia el norte de Europa. Se intensifican afloramientos en la costa Africana y la península Ibérica. Condiciones NAO-: debilitamiento de los campos de viento y aumento de la humedad atmosférica a la península ibérica y Mediterráneo.



Una fase positiva de la NAO (NAO+) corresponde a un período de diferencias de presión acentuadas, lo que produce la intensificación de los vientos del oeste en latitudes medias y de los alisios subtropicales del noreste. Una fase negativa de la NAO (NAO-) corresponde a un período de reducción de la diferencia de las presiones y por tanto al debilitamiento de los vientos dominantes (Fig. 3.3) (Hurrell, 1995; Hurrell & Dickson, 2003; Stenseth *et al.*, 2003).

El índice NAO cuantifica la amplitud de la oscilación y está basado en la diferencia promedio normalizada de la presión atmosférica durante el invierno entre las Azores e Islandia (Rogers, 1984; Hurrell, 1995). Este índice ha tenido variaciones de consideración a lo largo del siglo XX (Fig. 3.4), pero hay tres tendencias apreciables: índice NAO predominantemente positivo antes de 1935, predominantemente negativo desde finales de los años cincuenta hasta principios de los setenta, y nuevamente positivo hasta mediados de los noventa, alcanzando los máximos de todo el siglo XX en este período.

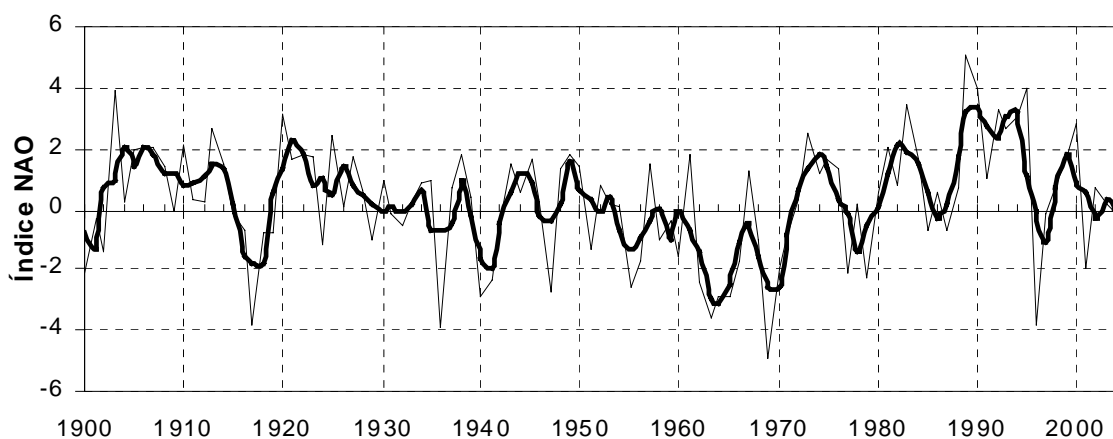


Figura 3.4. Evolución anual del índice NAO durante el siglo XX. Basado en la diferencia normalizada de la presión a nivel del mar entre Lisboa (Portugal) y Reykiavik (Islandia). La línea gruesa representa el índice suavizado por medias móviles de tres años para disminuir el ruido de la serie de tiempo.

### **Covariabilidad del océano**

La alternancia de las fases de la NAO afecta a las propiedades y circulación del océano en dos escalas temporales distintas. Por un lado y de forma casi inmediata, los cambios se expresan a través de la temperatura superficial, profundidad de la capa de mezcla, cantidad de calor en las capas superiores del océano, transporte superficial de Ekman y cobertura de hielos marinos (Hurrell, 1995; Hurrell & van Loon, 1997; Stenseth *et al.*, 2003; Vissbeck *et al.*, 2003). En tanto que el balance geostrófico horizontal de gran escala y la circulación oceánica pueden tardar varios años en ajustarse a los cambios en el forzamiento inducido por la NAO y amplificar

el comportamiento oscilatorio del ajuste por efecto de la retroalimentación del océano a la atmósfera (Czaja, 2003).

La NAO controla o modifica por lo menos tres de los principales parámetros que afectan a la circulación oceánica del Atlántico Norte: intensidad de viento, intercambio de calor aire/océano y evaporación/precipitación. Los cambios en la intensidad del viento llevan consigo la modulación de la transmisión de *momentum* de la atmósfera a la superficie del océano, expresado a través del efecto deformador del viento ( $\tau$ ).

En la Figura 3.5 se observan las diferencias generales del campo invernal de  $\tau$  (noviembre-abril) entre las fases opuestas de la NAO. En los mares nórdicos, el campo de  $\tau$  es ciclónico, con vientos del sur en la costa de Noruega y del norte a lo largo de la costa de Groenlandia. En el mar del Labrador, el campo de  $\tau$  dominante es del Noroeste, representando la rama oriental de la circulación ciclónica que tienen su centro en Groenlandia e Islandia. Los alisios (noreste) y los vientos del oeste en latitudes medias dominan la estructura de gran escala del campo de  $\tau$  (Brauch, 2003). La variabilidad del campo de  $\tau$  se correlaciona significativamente con el índice NAO de invierno en la mayor parte de la cuenca Atlántica (Fig. 3.6).

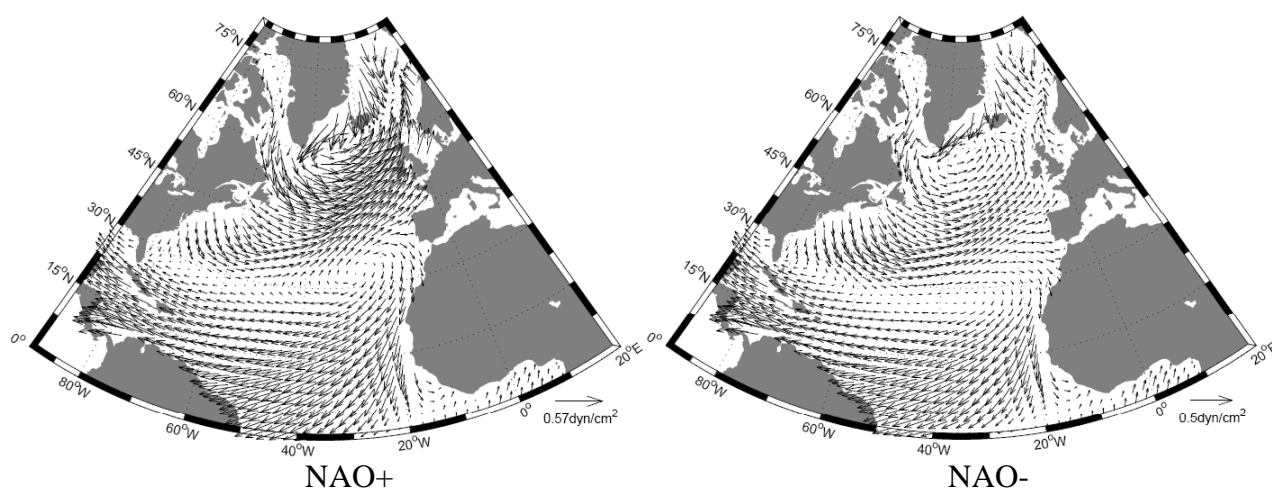


Figura 3.5. Composiciones del campo del efecto deformador del viento ( $\tau$ ) invernal (noviembre-abril) (en  $\text{dyn}/\text{cm}^2$ ) en fases opuestas de la NAO en la cuenca Atlántica. Composiciones elaboradas por Brauch (2003) mediante modelado de circulación general del océano.

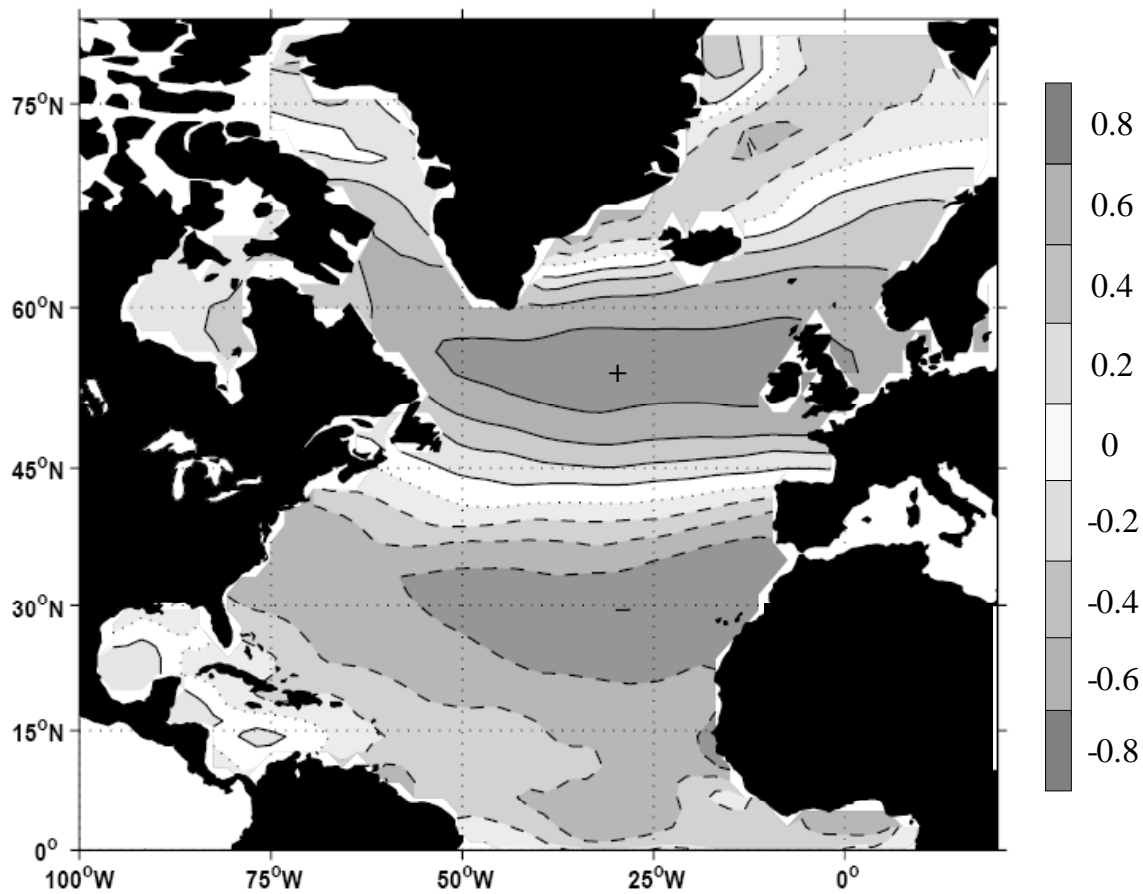


Figure 3.6 Correlación espacial entre el efecto deformador del viento zonal (datos reanalizados del NCEP/NCAR) y el índice NAO. Isolíneas continuas- correlación positiva e isolíneas punteadas- correlación negativa. El signo de la correlación está determinado por la dirección del vector de  $\tau$  (tomado de Visbeck *et al.*, 2003).

Cuando el índice NAO es positivo, el flujo intensificado de viento del oeste a lo largo del Atlántico Norte ocasiona el movimiento de aire marítimo relativamente cálido (y húmedo) sobre la mayor parte de Europa, en tanto que fuertes vientos del Norte sobre Groenlandia y el noreste de Canadá acarrearán aire frío ocasionando el descenso de las temperaturas continental y de la superficie del mar (SST) sobre el Atlántico Noroccidental (Fig. 3.7a,b). En el oeste africano, los vientos anómalamente intensos del nordeste durante la NAO positiva, incrementan los flujos superficiales de calor hacia la atmósfera, enfriando la superficie del mar. También se observan variaciones de temperatura en Norteamérica (calentamiento), asociadas con el flujo anticiclónico alrededor del centro de alta presión del Atlántico subtropical (Hurrell *et al.*, 2003).

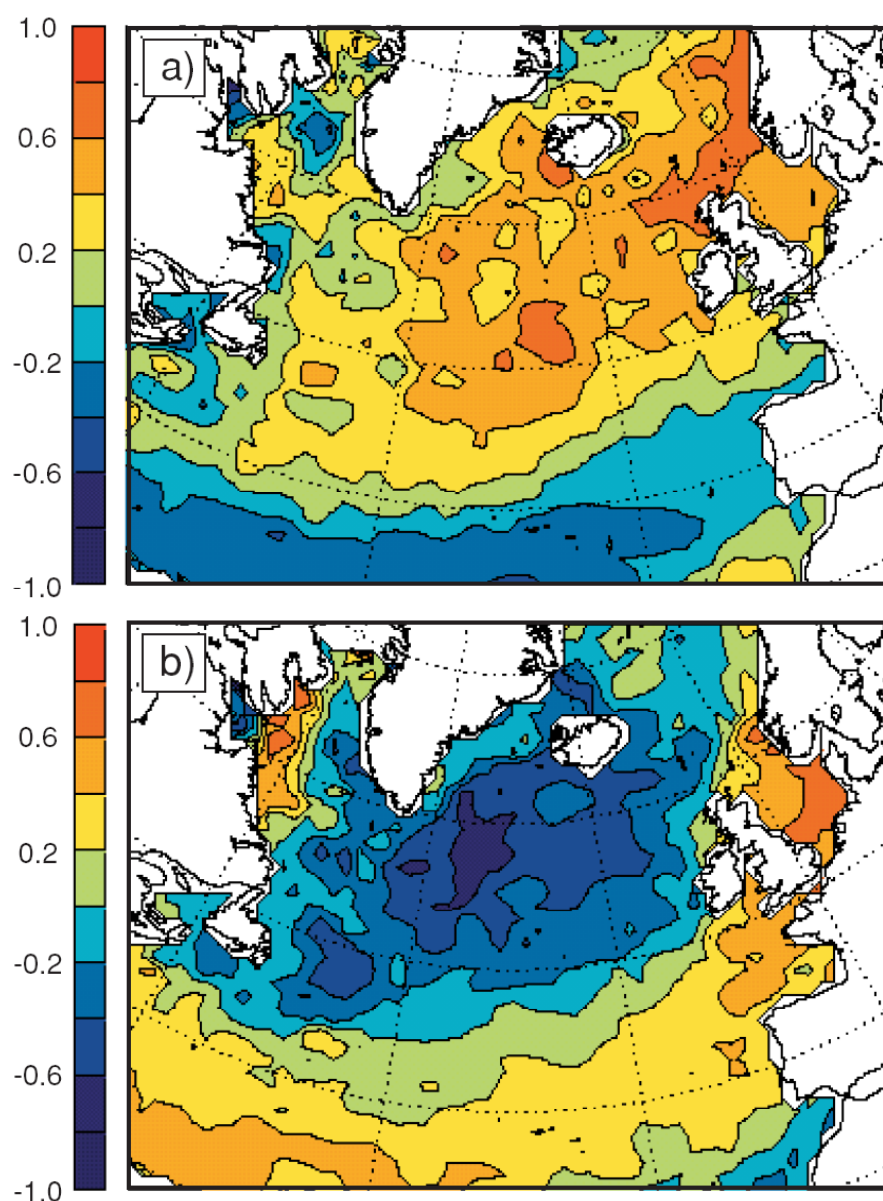


Figura 3.7. Distribución espacial del coeficiente de correlación de Pearson entre el índice NAO y (a) la intensidad del viento (m/s) y (b) la temperatura superficial del mar (°C) para el período 1950 – 1995 (composiciones de Ben Planque, IFREMER tomada de ICES, 2002).

De esta forma las anomalías de SST están controladas en principio por cambios en el viento superficial y en el intercambio atmósfera-océano asociados con las variaciones de la NAO (Fig. 3.8). Los flujos de masas de aire frío y seco en extremo del Ártico canadiense través del mar del Labrador durante la NAO positiva incrementa el flujo mensual océano - atmósfera de calor latente y sensible aproximadamente 200 W m/s comparado con las fases de índices negativos de NAO (Cayan, 1992).

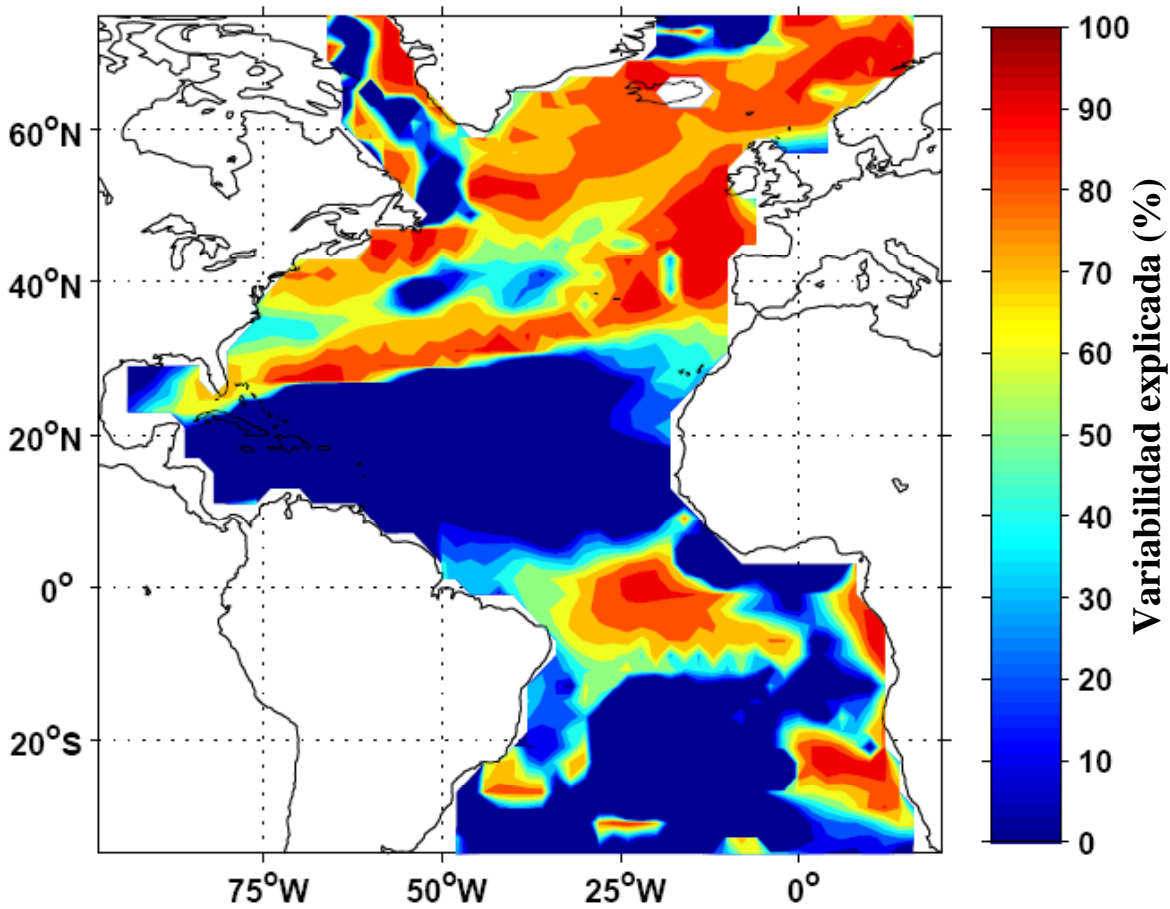


Figura 3.8. Composición de la variabilidad de la temperatura superficial del mar SST explicada por las anomalías del estrés de viento, a través de un modelo de circulación general del océano (Lamont–Ocean–AML Model de resolución de  $2^\circ \times 2^\circ$ ), utilizado para evaluar la respuesta del océano al forzamiento de anomalías de la NAO. El estrés de viento domina la anomalías de SST al norte de  $25^\circ\text{N}$  (tomado de Visbeck *et al.*, 1998).

Las observaciones subsuperficiales del océano muestran de forma más clara la variabilidad climática, porque el efecto del ciclo anual y la variabilidad intermensual en la circulación atmosférica decaen rápidamente con la profundidad. A pesar de que, la disponibilidad histórica de estas medidas es limitada con respecto a las de superficie (Hurrell *et al.*, 2003), también indican fluctuaciones que son coherentes con el índice de baja frecuencia de la NAO a profundidades de 400 m en el Atlántico Norte (Curry & McCartney, 2001).

La respuesta oceánica a la variabilidad de la NAO es apreciable en la distribución e intensidad de la actividad convectiva invernal. La renovación por convección de aguas intermedias y profundas en el mar del Labrador contribuye significativamente a la producción y exportación de Agua Noratlántica Profunda y, por tanto, impacta directamente en la circulación termohalina (Dickson *et al.*, 1996).

La variación en extensión de los hielos marinos polares Atlánticos, entre los mares del Labrador y Groenlandia, también están asociados con los cambios de presión atmosférica a nivel del mar en fase con la NAO (Deser *et al.*, 2000).

## ENTORNO AMBIENTAL

### Oceanografía

La Corriente de la Azores que fluye hacia el este es la corriente principal en el giro subtropical del Atlántico Noreste, con un transporte total aproximado en los primeros 800 m de la columna de agua al pasar por la Cuenca de las Canarias (35°N) de 10 Sv. Al oeste de Madeira, la Corriente de las Azores vira hacia el sur y se divide; la ramificación más oriental alcanza las costas de África convirtiéndose en la Corriente de Canarias, con un transporte aproximado de 3 Sv (Stramma & Siedler, 1988; Klein & Siedler, 1989; Alves & Colin de Verdiere, 1999) (Fig. 3.9).

La Corriente de Canarias, de aproximadamente 1000 km de ancho y velocidad media entre 10 y 13 cm s<sup>-1</sup> fluye hacia el sur paralela a la costa africana. Alrededor de los 20-25°N recircula hacia el oeste alimentando la Corriente Norecuatorial (Wooster *et al.*, 1976; Mittelstaedt, 1991).

El sistema de corrientes a lo largo de la costa noroccidental de África incluye, además de la Corriente de Canarias (superficial), una corriente submarina persistente que fluye hacia el norte, paralela al talud africano, que se hunde (desde 150 m a 20°N, 450 m a 25°N y 950 m a 29°N) y reduce progresivamente su velocidad (12 cm s<sup>-1</sup> entre 150 y 450 m hasta 2.3 cm s<sup>-1</sup> a 950 m) conforme aumenta la latitud (Mittelstaedt, 1982; Knoll *et al.*, 2002). Esta corriente submarina tiene una anchura aproximada de 30-60 km y una extensión vertical de varios centenares de metros (Barton, 1989). Durante los períodos de vientos localmente débiles, la corriente submarina norte puede alcanzar la superficie y extenderse sobre la plataforma continental (Clarke, 1989; Mittelstaedt, 1991; Knoll *et al.*, 2002).

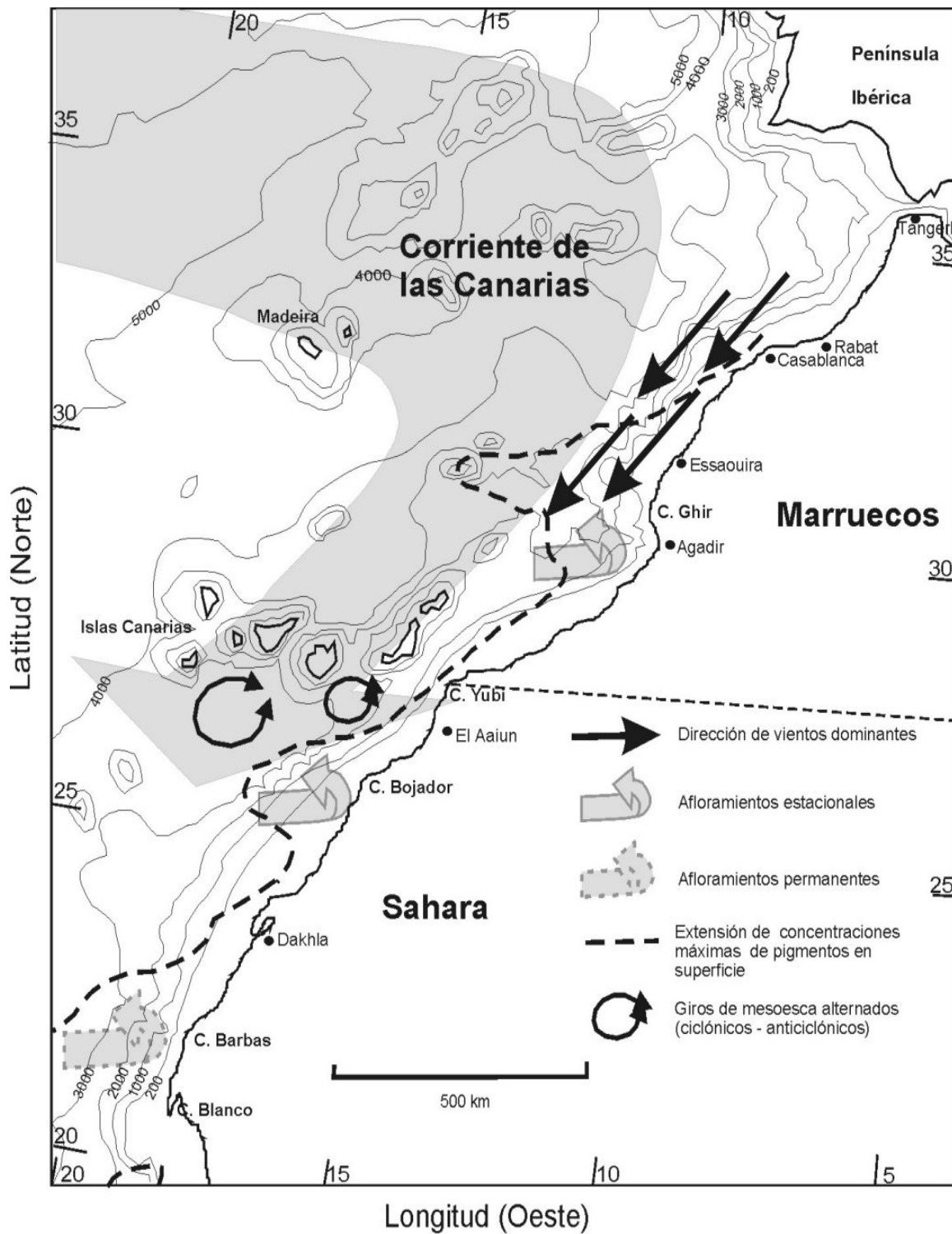


Figura 3.9. Esquema general de los rasgos hidrológicos y geomorfológicos característicos de la costa noroccidental africana (Marruecos y Sahara) (Modificado de Henderiks *et al.*, 2002 y complementado con Mittelstaedt, 1991; Gabric *et al.*, 1993, 1996; Barton *et al.* 1998, 2000).

Las masas de agua características de la costa noroccidental de África son (Fig. 3.10): Agua Subtropical-AS (superficial), Agua Central NorAtlántica-ACNA (100-600 m), Agua Mediterránea-AM (1200 m), Agua NorAtlántica Profunda-ANAP (por debajo de 2000 m); en algunos casos en la parte norte de las Islas Canarias se observa la influencia del Agua Antártica Intermedia-AAAI (500-1000 m) que deriva hacia el talud continental por efecto de la corriente submarina que fluye hacia el norte (Mittelstaedt, 1991; Knoll *et al.*, 2002) y del Agua Central SurAtlántica, por debajo de 800 m, al sur de los 30°N (Umbriaco *et al.*, 2003). Todas las masas de agua están bien oxigenadas (Freudenthal *et al.*, 2002).

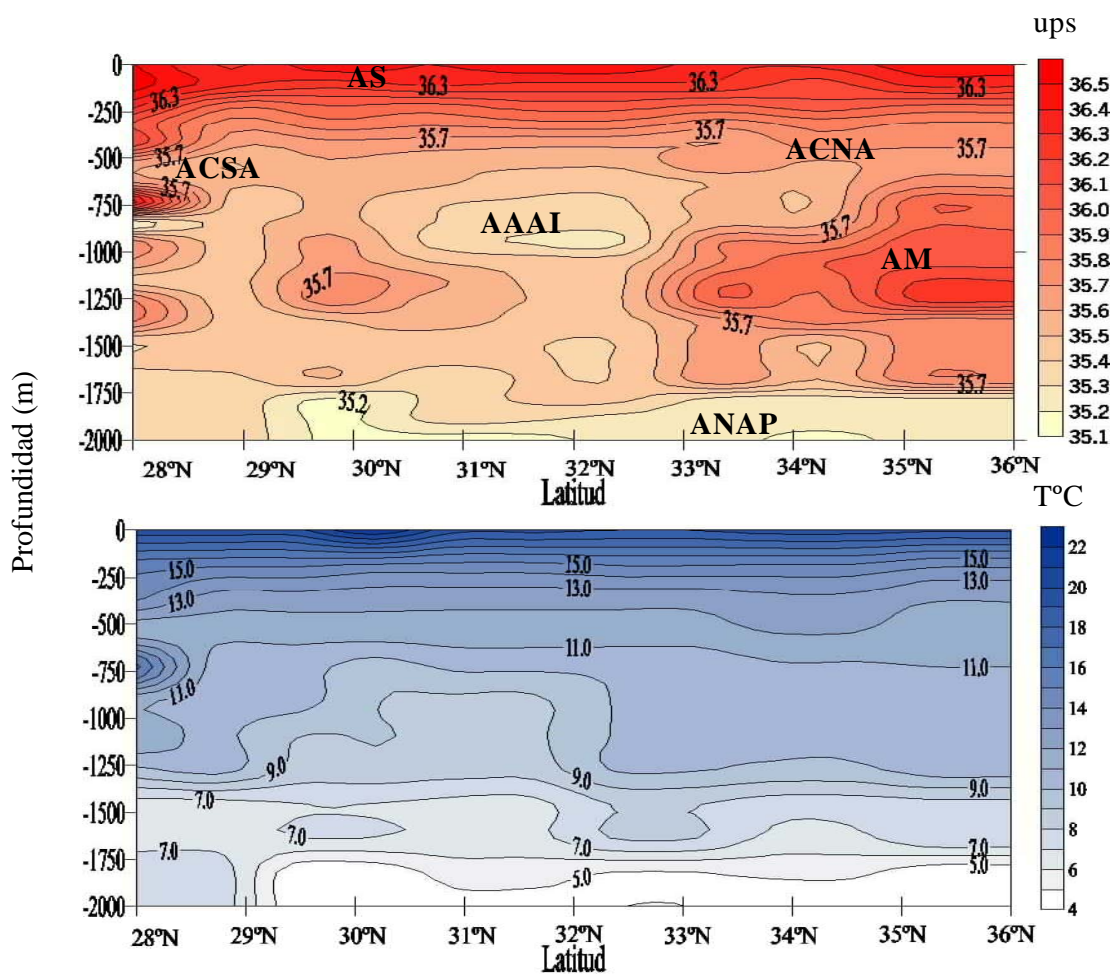


Figura 3.10. Perfiles generales de salinidad (arriba) y temperatura (abajo) del margen Atlántico de Marruecos. Se indica la ubicación aproximada de las masas de agua principales. AS-Agua Subtropical; ACNA-Agua Central NorAtlántica; AM-Agua Mediterránea; ACSA-Agua Central SurAtlántica; AAI-Agua Antártica Intermedia; ANAP-Agua NorAtlántica Profunda (Datos recopilados de la *World Ocean Database 2005*, desde la página electrónica [www.nodc.noaa.gov](http://www.nodc.noaa.gov)).



## Afloramiento

La costa Atlántica de Marruecos y Sahara forma parte del sistema noroccidental del afloramiento africano (o Sistema de la Corriente de Canarias), el cual es uno de los cuatro mayores sistemas de afloramiento inducidos por viento de los océanos del mundo. Es una unidad hidroclimática variable, que responde al desplazamiento estacional norte-sur del campo de vientos dominantes (del NE, entre 5 y 9 m s<sup>-1</sup>; Kifani & Gohin, 1992), variando por tanto los puntos de afloramiento a lo largo de la costa (Wooster *et al.*, 1976; Speth *et al.*, 1978; Belvèze, 1983).

Al sur de los 20°N los afloramientos ocurren durante el invierno y la primavera. Entre los 20°N y 25°N ocurren a lo largo del año, con intensidades máximas durante primavera y otoño. Al norte de los 25°N se presentan durante el verano y el otoño, siendo especialmente intensos alrededor de los 30°N. La duración de las estaciones de afloramiento se incrementa latitudinalmente desde un mes alrededor de los 10°N (en febrero), a seis meses alrededor de los 15°N (de noviembre a mayo), y a doce meses entre los 20°N y 25°N (Nehring *et al.*, 1974).

Al norte de los 25°N, la duración de la estación de afloramientos decrece con la latitud. Además de las variaciones estacionales, existen variaciones temporales a gran escala de la intensidad de los afloramientos debido a cambios en las condiciones del viento durante determinados años (Sedykh, 1978; Belvèze, 1983).

Las aguas de los afloramientos de la costa noroccidental africana provienen de fuentes distintas (Fig. 3.11). Al sur de Cabo Blanco (21°N), las aguas costeras están constituidas predominantemente por ACSA (rica en nutrientes y baja salinidad) que aflora a la superficie desde 100-200 m de profundidad. En tanto que al norte de Cabo Blanco, las aguas afloradas pertenecen a la masa de ACNA (menos rica en nutrientes y más salada) proveniente de 200-300 m de profundidad; ambas masas de agua son originalmente del tipo subsuperficial. Las dos regiones de afloramiento de las diferentes masas de agua, están separadas por un área de transición distintiva alrededor de la latitud de Cabo Blanco (Fraga, 1974) que corresponde a un marcado frente termohalino con un contraste de temperatura y salinidad mayor de 3°C y 1 ups (Elmoussaoui *et al.*, 2003).

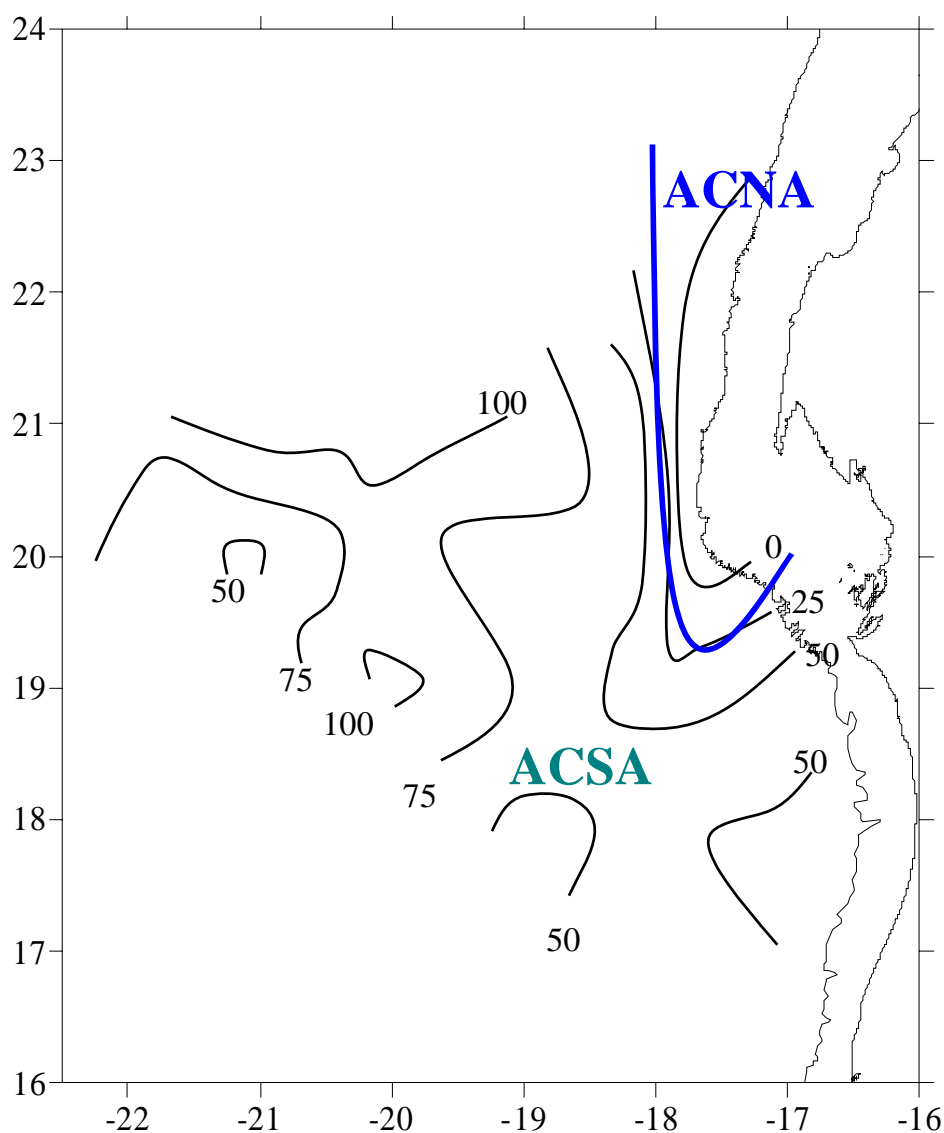


Figura 3.11. Profundidad (m) de la isoterma de 18°C como indicador de afloramiento y esquematización de la zona frontal en cuanto al origen de las aguas de afloramiento a la latitud de Cabo Blanco (20-21°N). Tomada de Manríquez & Fraga (1982).

Los eventos de afloramiento se desarrollan en forma de banda costera de aproximadamente 50 km de ancho, principalmente sobre la plataforma (van Camp *et al.*, 1991) (Fig. 3.12) y ocurren en pulsos de 5 a 10 días de duración con un desfase respecto a las variaciones del período típico de los vientos locales, de algunas horas en los movimientos de las capas superiores de la plataforma y de un día en la columna de agua completa (Badan Dagon, 1980). La influencia de los eventos de afloramiento costero sobre la región oligotrófica del giro subtropical Atlántico Noreste alcanza por lo menos 700 km mar adentro (Neuer *et al.*, 2002).

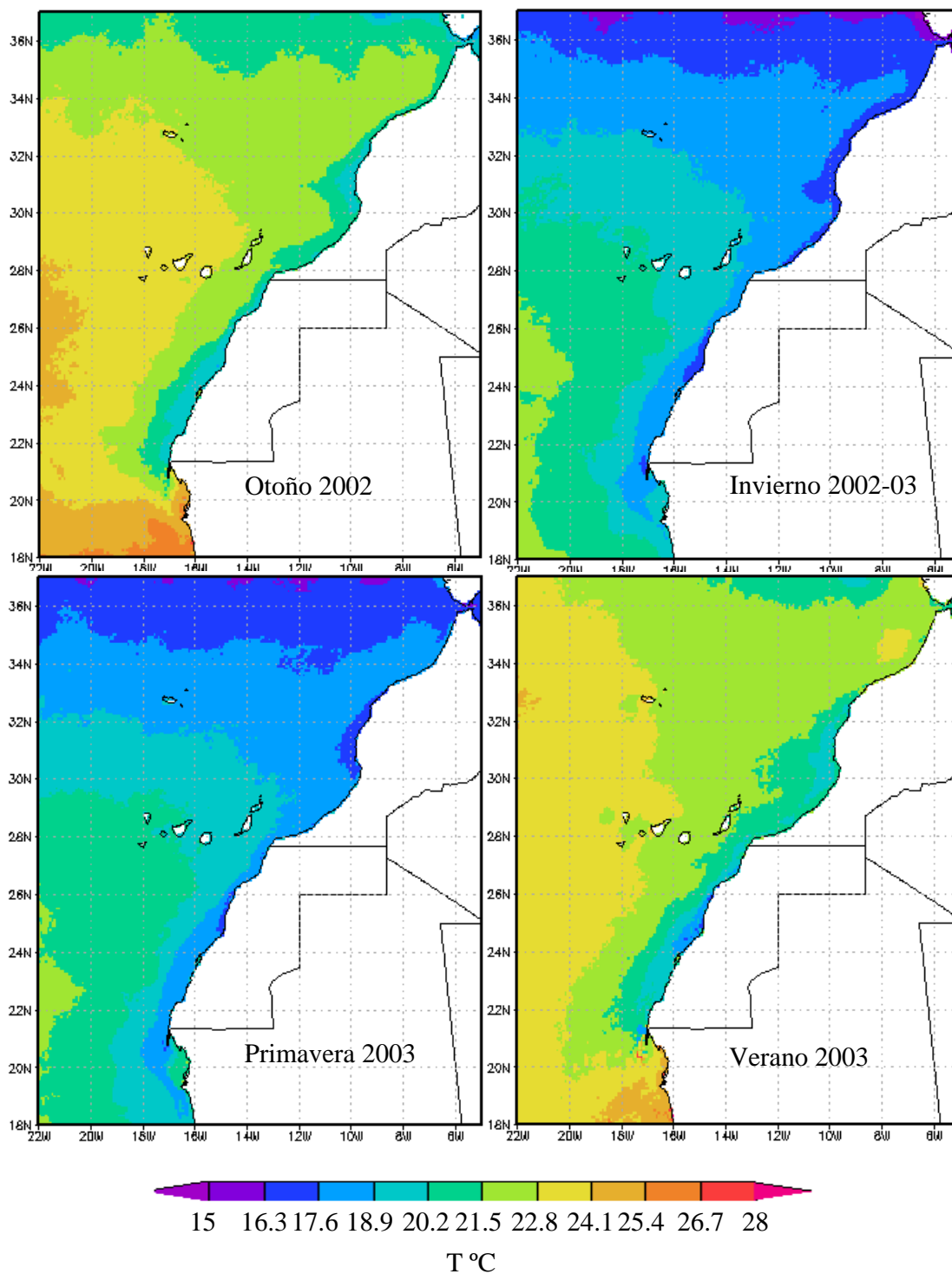


Figura 3.12. Composiciones estacionales de la temperatura superficial del mar SST en la costa Noroccidental Africana durante 2002 – 2003, donde se aprecian aguas frías afloradas a lo largo de la costa, principalmente en Cabo Ghir (30-32° N) y Cabo Blanco (21° N). Imágenes obtenidas mediante “GES-DISC Interactive Online Visualization and Analysis Infrastructure (Giovanni) - NASA's Goddard Earth Sciences. Data and Information Services Center (DISC).”

La interacción de la Corriente de Canarias, los eventos de afloramiento costero y las características morfológicas de la costa y la plataforma continental, favorecen el desarrollo de estructuras importantes desde el punto de vista oceanográfico. Por un lado, la formación de meandros que transportan aguas costeras frías y ricas en nutrientes en forma de filamentos hacia la región del giro subtropical del Atlántico Noreste (Johnson & Stevens, 2000); y por otro lado, la formación de giros de mesoescala por forzamiento batimétrico debido a la presencia de las Islas Canarias en la ruta de la Corriente de Canarias (Hernández-Guerra *et al.*, 1993; Arístegui *et al.*, 1994, 1997; Barton *et al.*, 1998; Pacheco & Hernández-Guerra, 1999; Barton *et al.*, 2000).

Los filamentos son estructuras que se forman como consecuencia de la presencia de cabos en la costa africana que obstaculizan los vientos locales y la circulación costera, causando un flujo adicional divergente que ocasiona afloramientos más pronunciados por sotavento de los cabos; se localizan principalmente en Cabo Ghir (31°N), Cabo Yubi (28°N), Cabo Bojador (26°N) y Cabo Blanco (21°N) (Mittelstaedt, 1982; Barton *et al.*, 2000; Hernández-Guerra *et al.*, 2002; Barton *et al.*, 2004) (Fig. 3.13) con un flujo conjunto de salida de la plataforma estimado de 6-9 Sv (Barton *et al.*, 2004).

El oeste de Cabo Ghir es una de las áreas de formación de filamentos más importantes de la costa marroquí por tratarse de un fenómeno semipermanente. Es particularmente intenso en verano y otoño y se extiende varios cientos de kilómetros mar adentro (van Camp *et al.*, 1991; Nykjaer & van Camp, 1994; Hagen *et al.*, 1996; Hernández-Guerra & Nykjaer, 1997; Barton *et al.*, 1998). Al oeste de Cabo Blanco, se presenta un filamento "gigante", persistente durante todo el año, con períodos de mayor intensidad en primavera, principios del verano y otoño. Este filamento puede extenderse entre 450 y 600 km mar adentro (Gabric *et al.*, 1993).

Los sistemas de giros ciclónicos y anticiclónicos de mesoescala (~50 km de diámetro), que se forman en la región, interactúan con los filamentos desprendidos de los cabos que son la vía principal de reciclamiento de las capas de aguas superiores a lo largo de la plataforma continental, y determinan la retención de parcelas de agua dentro del sistema de afloramiento o su dispersión hacia océano abierto (Barton *et al.*, 2004).

Las variaciones en la extensión del área principal del afloramiento Noroccidental Africano están controladas por la amplitud de la zona de influencia de los vientos alisios. El área de la superficie del océano bajo influencia de aguas frías, tomando la temperatura como medida de la intensidad del afloramiento, muestra máximos en invierno y principios de primavera, en tanto que los mínimos se presentan durante el verano. En mar abierto, la variabilidad interanual de la temperatura superficial del

mar SST es explicada en un 50% por la NAO. No obstante, esta relación no permanece consistente para el desarrollo local de afloramientos costeros (Helmke, 2003).

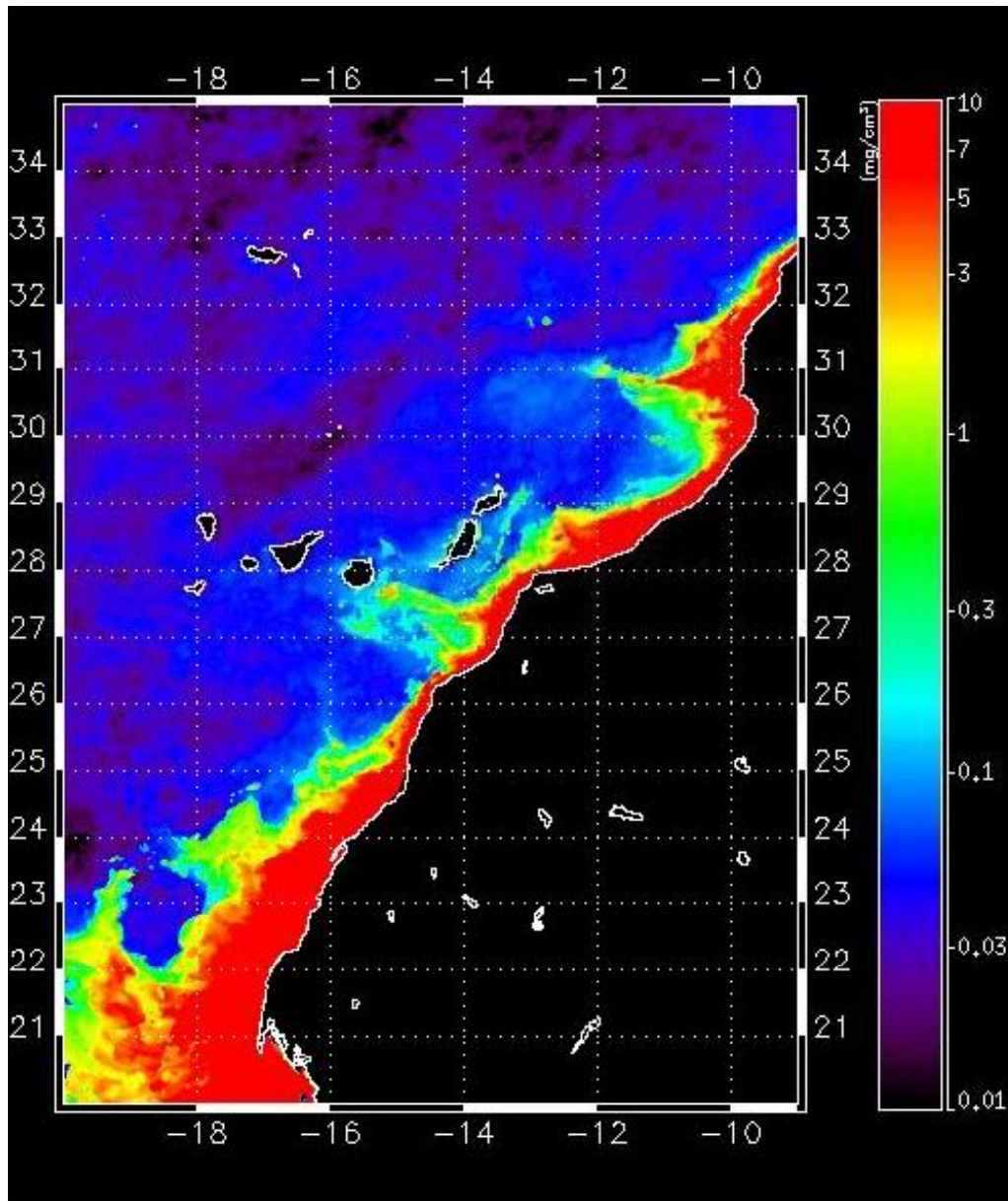


Figura 3.13. Composición media de imágenes diurnas de satélite (SEAWIFS) de clorofila en superficie en la costa Noroccidental Africana durante octubre de 2002. Se aprecian los filamentos de Cabo Ghir (30°N), Cabo Yubi (28°N), Cabo Bojador (27°N) y Cabo Blanco (21°N). Imágenes preparadas y proporcionadas para este trabajo por la Estación Espacial de Maspalomas. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA).

## Productividad marina

En general, los máximos de producción son controlados por la estacionalidad de los procesos hidroclimáticos de gran escala (Fung *et al.*, 2000; Abrantes *et al.*, 2002) y acentuados por procesos de mesoescala (Basterretxea & Arístegui, 2000). Tanto en los filamentos como en la zona de afloramiento costero se registran altas concentraciones de pigmentos que indican productividad importante (van Camp *et al.*, 1991; Davenport *et al.*, 1999; Nave *et al.*, 2001; Freudenthal *et al.*, 2001) (Fig. 3.14).

Además de aguas frías ricas en nutrientes (Gabric *et al.*, 1996), los filamentos y los giros de mesoescala de la costa Noroccidental Africana, exportan fitoplancton típicamente costero, que incrementa, por lo menos en parte, la producción en mar abierto (Chavez *et al.*, 1991; Barton 1998; Lange *et al.*, 1998; Romero *et al.*, 1999, 2002; Abrantes *et al.*, 2002; Arístegui *et al.*, en prensa).

La concentración de nutrientes sirve para diferenciar la procedencia de las aguas de afloramiento:  $\text{PO}_4 > 1 \text{ mmol m}^{-3}$  (ACSA), al sur de los  $20^\circ\text{N}$ , y  $\text{PO}_4 < 0.05 \text{ mmol m}^{-3}$  (ACNA), al norte de los  $25^\circ\text{N}$ . A pesar del pobre suministro de nutrientes, en comparación con el Pacífico (Kearns & Carr 2003), los sistemas de Corrientes de Frontera Oriental en el Atlántico (Canarias y Benguela) soportan proporcionalmente una mayor concentración de fitoplancton (relación  $6 \text{ mg Chl (mmol PO}_4)^{-1}$ ) en comparación con los sistemas de Perú y California ( $3 \text{ mg Chl (mmol PO}_4)^{-1}$ ). Las diferencias en la eficiencia y utilización de los nutrientes posiblemente se deben a la disponibilidad de hierro (Fe) y otras partículas transportadas por flujos eólicos provenientes de las regiones del Sahara y el Sahel (Ratmeyer *et al.*, 1999; Fung *et al.*, 2000; Abrantes *et al.*, 2002), en combinación con la retención física provocada por los giros de mesoescala y/o las diferencias en la estructura de las comunidades planctónicas (Arístegui *et al.*, 2001; Carr & Kearns, 2003).

La concentración de fitoplancton al norte de los  $30^\circ\text{N}$  es menor de  $3.2 \text{ mg Chl m}^{-3}$ . Los máximos locales se presentan en verano y otoño, a  $28^\circ\text{N}$ , y en invierno y primavera ( $>10 \text{ mg Chl m}^{-3}$ ) entre  $15^\circ$  y  $20^\circ\text{N}$ . Los picos máximos de producción primaria ocurren en verano entre  $42^\circ$  y  $20^\circ\text{N}$  y generalmente en primavera al sur de los  $20^\circ\text{N}$ . A partir de los  $33^\circ\text{N}$  la productividad se incrementa hacia el sur de  $\sim 2 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  hasta  $\sim 5.6 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  a los  $20^\circ\text{N}$ ; desde cabo Blanco se mantiene uniforme hasta la latitud de  $9^\circ\text{N}$  en el golfo de Guinea (Carr & Kearns, 2003).

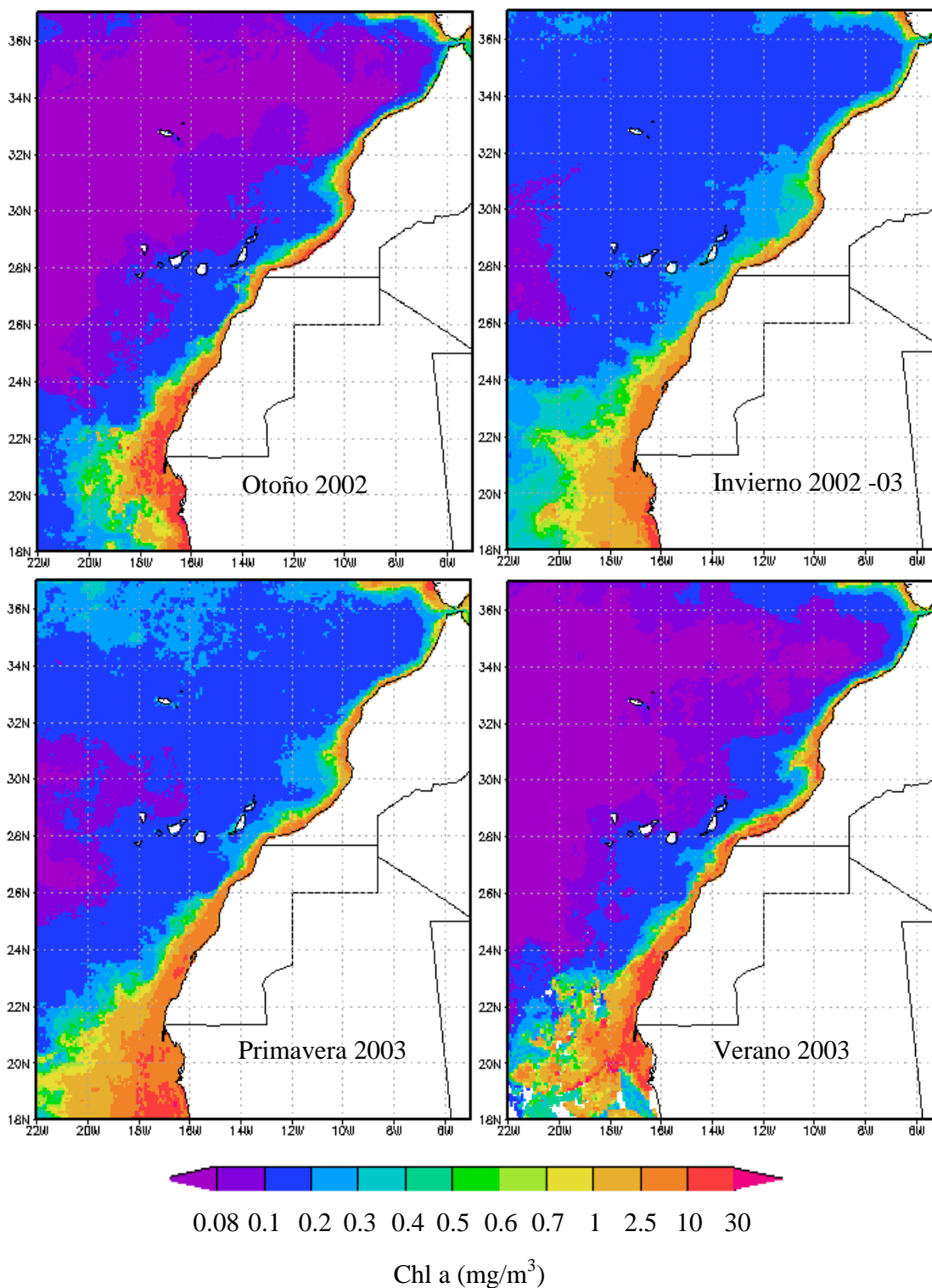


Figura 3.14. Composiciones estacionales de clorofila a en superficie en la costa Noroccidental Africana durante 2002-2003. Imágenes obtenidas mediante “GES-DISC Interactive Online Visualization and Analysis Infrastructure (Giovanni) - NASA's Goddard Earth Sciences, Data and Information Services Center (DISC).”

El máximo vertical de clorofila se presenta entre 100 y 10 m de acuerdo a la cercanía a la plataforma existiendo una marcada transición en la distribución integrada de clorofila desde mar adentro a la zona costera. La producción integrada promedio en estas áreas oscila desde  $\sim 0.01 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , en las zonas más oligotróficas, hasta más de  $5 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , en las zonas de afloramiento (Basterretxea & Arístegui, 2000).

Entre la costa africana y las Islas Canarias, las aguas epipelágicas (0-200 m) de la zona de transición costera se caracterizan por concentraciones medias integradas de Carbono Orgánico Particulado (COP) ( $0.8 \pm 0.4 \text{ mol C m}^{-2}$ ) y Carbono Orgánico Disuelto (COD) ( $17 \pm \text{mol C m}^{-2}$ ) y por tasas de respiración comunitaria elevadas ( $R > 100 \text{ mmol C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), más altas que las aguas del giro subtropical Atlántico Noreste o las zonas de afloramiento. La zona del giro subtropical del Atlántico Noreste y la zona de transición costera son regiones heterotróficas durante la mayor parte del año y especialmente durante el verano (Arístegui *et al.*, 2003). Las poblaciones de peces contribuyen principalmente a la regeneración de fosfatos y urea, en tanto que el amonio es regenerado tanto por el zooplancton como por los peces (Arístegui *et al.*, 2001).

En cuanto a la composición faunística, alrededor de los  $29^\circ\text{N}$ , los cocolitoforidos dominan la comunidad fitoplanctónica a lo largo del año, con variaciones verticales estacionales influenciados por los filamentos del afloramiento en zonas cercanas a la costa. Durante eventos fuertes de afloramiento-producción las diatomeas contribuyen significativamente al total. Mar adentro todos los grupos experimentan máximos a finales del invierno-principio de primavera. Los taxa dominantes en las regiones más importantes durante los eventos episódicos de afloramiento son *Chaetoceros* y *Globigerina bulloides* (Abrantes *et al.*, 2002). En la parte oceánica, la abundancia de diatomeas decrece, dominando el género *Nitzschia* y las diatomeas de aguas continentales, principalmente del género *Aulacoseira*, transportadas por los vientos provenientes del Sahara (Nave *et al.*, 2001).

A la latitud de Cabo Blanco ( $21^\circ\text{N}$ ) dominan las diatomeas neríticas, tales como *Thalassionema nitzschioides* var. *nitzschioides*, *Chaetoceros* y *Cyclotella litoralis*. También ocurren diatomeas pelágicas (*Nitzschia bicapitata*, *N. interruptestriata*, *T. nitzschioides* var. *Parva* y *Fragilariopsis diliolus*) y altos flujos de silicoflagelados, principalmente *Dictyocha messanensis*, debidos al transporte hacia la costa de las aguas oceánicas, generalmente durante el invierno (Romero *et al.*, 2002).

La abundancia y distribución horizontal de los componentes del plancton parecen estar estrechamente relacionada, en esta área, con las estructuras oceanográficas de mesoescala (Hernández-León, 1991a, 1991b, 1998; Arístegui *et al.*, 1997; Rodríguez *et*



*al.*, 1999; Hernández-León *et al.*, 2001; Yebra *et al.*, 2001); el desarrollo de las poblaciones de los copépodos *Scolecithrix danae* y *Scottocalanus sp.*, aumenta gracias a la advección y retención de aguas, frías y enriquecidas en clorofila, hacia mar adentro (Yebra *et al.*, 2001).

*Scolecithrix danae* presenta máximos de abundancia en la periferia de las aguas afloradas en los giros anticiclónicos. *Scottocalanus sp.* solo se encuentra en las aguas de los afloramientos, tanto en la parte costera como en el filamento que se extiende hacia aguas oceánicas. El crecimiento máximo se presenta, para ambas especies, en la zona frontal entre los giros ciclónicos y anticiclónicos (Yebra *et al.*, 2001).

Entre las Islas Canarias y la costa africana, la mayor biomasa de mesozooplankton e ictioplankton nerítico se encuentra en la periferia de los giros anticiclónicos convergentes y de los filamentos de los afloramientos que se proyectan mar adentro desde la costa africana. El zooplankton es muy escaso en el núcleo de los giros ciclónicos debido probablemente a los flujos divergentes que provocan (Hernández-León *et al.*, 2001; Rodríguez *et al.*, 2001).

El mesozooplankton se distribuye en esta zona paralelo al flujo de la Corriente de Canarias, siendo la biomasa media (peso seco) de  $\sim 4.5 \text{ mg m}^{-3}$  durante la época invernal (Rodríguez *et al.*, 2001).

Las larvas de sardina son consideradas buenas trazadoras de los movimientos mar adentro de las aguas afloradas, mientras que los giros ciclónicos de mesoescala funcionan como áreas de crecimiento de larvas de especies de peces neríticos (Rodríguez *et al.*, 1999).

La marcada estacionalidad de los afloramientos y el desplazamiento latitudinal del frente marino a lo largo de las costas de Mauritania y Senegal, provocan importantes cambios en la estructura de las comunidades biológicas: en cuestión de semanas, el ecosistema alterna de una fase ecuatorial cálida a una fase subtropical fría y viceversa, lo que provoca dominancia alternada entre comunidades tropicales y templadas. El cambio abrupto provoca importantes migraciones estacionales de los stocks de peces pelágicos menores (Kifani & Gohin, 1992); y de las dos especies de las merluzas *M. senegalensis* y *M. polli* (Villegas & García, 1983) entre Senegal, Mauritania y la región del Sahara.

## DISCUSIÓN

En comparación con los sistemas productivos asociados a las corrientes de California y Humboldt, en el Pacífico, y Benguela, en el Atlántico, el de África Noroccidental, asociado a la Corriente de Canarias, es un sistema poco conocido, a pesar de que sostiene pesquerías de gran escala que constituyen componentes importantes de la economía de los países ribereños: Marruecos, Mauritania y Senegal.

De la información que se ha presentado en este capítulo se desprende que el proceso básico de los afloramientos costeros del Noroccidente Africano es el siguiente: Los vientos alisios (del nordeste), que soplan a lo largo de la costa ocasionan el transporte del agua superficial mar adentro la cual es sustituida en la plataforma costera por aguas subsuperficiales frías y ricas en nutrientes.

Las fluctuaciones en la extensión del área principal de afloramiento está controlado por las del área de influencia de los vientos alisios. El área del océano bajo la influencia de las aguas frías, como medida de la intensidad del afloramiento, muestra amplitud máxima en invierno y se caracteriza por anomalías de densidad de las aguas afloradas.

Aparentemente, este proceso lineal es de carácter netamente dispersivo, exportando aguas frías y ricas en nutrientes hacia mar abierto (oligotrófico). Sin embargo, la estructura sinóptica observada en la zona de transición costera es una combinación de frentes de afloramiento, corrientes y contracorrientes de compensación, meandros y giros de mesoescala, que en conjunto constituyen los rasgos no lineales del sistema que interactúan con el proceso básico del afloramiento y su impacto en el transporte y distribución de las propiedades costeras.

Esta combinación de factores posibilita una alta productividad primaria, característica del sistema, debida al suministro sostenido de nutrientes por la circulación vertical del afloramiento y su retención o recirculación en la superficie por los rasgos de mesoescala.

Ya que la fuente de nutrientes responsable de la productividad es subsuperficial (por debajo de la termoclina), el Noroeste Africano es un sistema de "producción nueva", típico de zonas frías y templadas, pero que en este caso ocupa latitudes subtropicales y tropicales, en lugar de un sistema de "producción reciclada", típico de zonas tropicales oligotróficas (Mann & Lazier, 1991).

La retención del agua aflorada en la zona costera que favorece la productividad primaria, no anula la dispersión superficial, sino que la retarda. De esta forma, en lugar de exportar solamente agua aflorada, el sistema exporta carbono orgánico de la zona costera de alta productividad hacia zonas oligotróficas mar adentro, perceptible en los meandros y filamentos de alta productividad que se extienden hasta 700 km mar adentro. Esto amplía significativamente la superficie de la franja biológicamente favorable para los niveles tróficos superiores.

El incremento sensible de la productividad primaria, repercute directamente y en lapsos cortos de tiempo en los niveles tróficos superiores, porque en sistemas de afloramiento en general, las cadenas alimenticias son más cortas y la transmisión energética entre niveles tróficos es más eficiente que en ecosistemas de cadenas largas. Por ejemplo, las larvas de pelágicos menores, como la sardina (*Sardina pilchardus*), se alimentan en las inmediaciones de los afloramientos directamente del fitoplancton, mientras que los adultos se nutren de diatomeas grandes y de zooplancton.

Esta situación convierte a los peces pelágicos menores en intermediarios masivos de la alta productividad del afloramiento, en base a los cuales se desarrolla la pesquería más importante en cuanto al volumen de capturas de la zona. De igual forma, las larvas y juveniles de la merluza europea se benefician de la producción de zooplancton que sigue al pico de productividad primaria, estableciendo una relación de dependencia de las condiciones productivas del afloramiento importante.

De forma similar, los individuos de merluza europea de tallas mayores se benefician de estas cadenas tróficas cortas, porque se alimentan de los consumidores inmediatos de fitoplancton y zooplancton como la *Sardina pilchardus*, *Engraulis encrasicolus*, *Diaphus dumerili*, *Trachurus trachurus*, *Micromesistius poutassou*, de otros piscívoros como *Helicolenus dactylopterus* y *Scomber spp.* y de zoobentos (crustáceos y cefalópodos), cuya abundancia depende de la productividad del sistema.

En términos generales, los patrones latitudinales y estacionales de la biomasa y la producción primaria en los sistemas de afloramiento del mundo, están más altamente correlacionados con los componentes de la circulación de gran escala que con variables estrictamente locales (Carr & Kearns, 2003).

Hasta hace pocos años, la mayor parte de los esfuerzos en la investigación acerca de la importancia del sistema climático en la modulación de las variaciones interanuales y decadales de la productividad marina, se concentraron casi exclusivamente en el Atlántico Norte. No obstante, la magnitud y el efecto de la variabilidad climática

descrita por la NAO sobre la circulación atmosférica y su interacción con el océano, es de escala hemisférica. Ha sido recientemente cuando se ha prestado atención a los procesos que median entre los cambios globales del clima y la escala regional del sistema de afloramiento Noroccidental Africano.

Desde el punto de vista hidroclimático, el afloramiento asociado al sistema de la Corriente de Canarias es considerado como una única unidad productiva. Sin embargo, es un sistema que se extiende a lo largo de 1800 km lineales de plataforma costera, y que ocupa latitudinalmente desde el norte de Maruecos hasta Senegal. Por esta razón la variabilidad inducida por la NAO tiene un impacto en el sistema que presenta diferencias latitudinales.

La asociación de los patrones espaciales de transmisión de *momentum* ( $\tau$ ) (Fig. 3.6) y del flujo de calor (Fig. 3.7b) con la NAO, dimensiona la importancia potencial del impacto de la variabilidad climática sobre el sistema productivo.

La NAO afecta significativamente la dinámica de la Corriente de Canarias; entre los 18°N y los 30°N, se observa una correlación inversa entre la NAO y la SST (Fig. 3.7a), de modo que cuanto más positivo es el índice NAO, mayores son las anomalía negativa de la SST (más fría). Esto se debe a la intensificación de los alisios a lo largo del Atlántico subtropical que favorece el desarrollo e intensificación del afloramiento (Fig. 3.8). La situación inversa ocurre durante el relajamiento de la oscilación meridional (NAO-).

La NAO puede llegar a explicar hasta el 50% de la variabilidad de la SST en el mar abierto subtropical adyacente al afloramiento, pero al mismo tiempo la relación es incierta cuando es evaluada localmente en algunos núcleos del mismo.

También se sospecha que existen teleconexiones entre las cuencas del Pacífico y del Atlántico mediante un puente atmosférico, que ocasiona que pronunciados eventos de El Niño (ENSO) interfieran con la señal y el efecto de la NAO sobre la intensidad del afloramiento entre los 10°N y 26°N (Roy & Reason, 2001; Helmke, 2003).

Estas primeras aproximaciones acerca de la importancia del clima sobre el sistema productivo Noroccidental Africano sugiere varias interrogantes en cuanto a la variabilidad temporal y espacial de las relaciones descritas. Por ello es esencial analizar en un contexto más amplio las posibles relaciones causales entre la variabilidad del clima, el sistema productivo y el impacto que estos cambios tienen en niveles tróficos superiores.

Para llevar a cabo estos análisis, se ha contado con fuentes de datos de disposición pública y cobertura global de series temporales de descriptores del clima como la NAO, de variables atmosféricas ( $\tau$ ) y oceanográficas (SST, Productividad Primaria), provenientes de sondeos satelitales o de modelos de asimilación de datos *in situ* de campos de presión. También se ha contado con series temporales de datos biológicos procedentes de las pesquerías masivas de merluza europea que se desarrollaron en esta área. Este análisis se abordará en detalle en el siguiente capítulo.

## **CAPÍTULO 4**

---

**Variabilidad climática inducida por la NAO y la abundancia de la merluza europea (*Merluccius merluccius* L.) en África Noroccidental: Efectos y procesos oceanográficos relacionados.**



## INTRODUCCIÓN

El impacto de los cambios climáticos de gran escala en la producción pesquera oceánica es una cuestión relevante desde un punto de vista científico y económico, debido a que las principales pesquerías dirigidas a los peces en el Atlántico y el Pacífico presentan variaciones en fase con las oscilaciones climáticas (Klyashtorin, 1998).

Sin embargo, el impacto del clima sobre las pesquerías varía en función del caso de que se trate, porque los procesos que median en esta relación pueden diferir entre las pesquerías de una misma especie desarrolladas en regiones geográficas diferentes.

Un aspecto importante de la variabilidad interanual de los ecosistemas marinos es la amplitud con la cual están relacionadas las fluctuaciones ambientales. Mientras que los procesos de pequeña escala controlan los detalles de la interacción océano-atmósfera, los fenómenos de gran escala controlan la variación espacio-temporal media del intercambio de calor, momentum y vapor de agua (Namias & Cayan, 1981).

La señal dominante de la variabilidad interanual en la circulación atmosférica del norte y centro de Europa y el Norte de África es la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) (Barnston & Livezey 1987, Kushnir, 1994, Hurrell 1995). El índice NAO, diferencia en la anomalía atmosférica entre los centros de alta y bajas presiones de las Azores e Islandia respectivamente, ha sido relacionada con varios factores climáticos a lo largo de la región del Atlántico Norte, que incluye la intensidad y dirección de los vientos dominantes y las temperaturas de la alta atmósfera y de la superficie del mar (Fromentin & Planque 1996, Dickson 1997, 1999).

La NAO es el único patrón atmosférico robusto durante todo el año. Es más pronunciado en amplitud y cobertura de área en invierno, la estación que presenta mayores gradientes de presión y variabilidad interanual (Moses *et al.*, 1987, Barnston & Livezey, 1987; Rogers, 1990, Cayan, 1992). Contribuye en más de un tercio a la variabilidad total de la presión a nivel del mar (Marshall & Kushnir, 1997).

En términos generales, la variabilidad climática y la pesca son los dos factores más importantes que regulan el tamaño de las poblaciones marinas explotadas (Dippner & Ottersen, 2001).

Por lo tanto, el objetivo principal de esta parte del trabajo consistió en establecer la relación entre la variabilidad climática descrita por la NAO y los rendimientos de las



pesquerías comerciales de la merluza europea (*M. merluccius*), así como explicar de qué forma los factores hidroclimáticos locales forzados por la NAO afectan la variabilidad de los rendimientos de las pesquerías en la costa Noroccidental Africana.

Estos objetivos fueron abordados bajo un marco conceptual de causa – efecto, que permite entender los procesos que controlaron las variaciones de los rendimientos de merluza europea y que puede simplificarse de la siguiente forma:

- 1) Las anomalías de gran escala del esfuerzo deformador del viento alteran el balance friccional en la superficie del océano y causan una respuesta inmediata de la circulación inducida por viento, presumiblemente en fase con las anomalías de la NAO (Vissbeck *et al.*, 2003).
- 2) El transporte de Ekman, es proporcional a la anomalía del esfuerzo deformador del viento y se ajusta en escalas temporales reducidas (de horas a días) (Bakun, 1973; Vissbeck *et al.*, 2003).
- 3) El incremento del transporte de Ekman generado por el aumento de los afloramientos, afecta a la turbulencia y al enriquecimiento de las capas superficiales del océano que determinan la calidad y cantidad de alimento disponible para los niveles tróficos superiores, así como los procesos de dispersión-retención de huevos y larvas de peces (e. g. Bailey, 1981; Parrish *et al.*, 1981; Belvèze & Erzini, 1983; Sinclair *et al.*, 1985a, 1985b; Dickson *et al.*, 1988; Wyatt & Pérez-Gándaras, 1988; Mann & Lazier, 1991; Barnes *et al.*, 1992; Guisande *et al.*, 2001).
- 4) El impacto ecológico de estos cambios puede ser detectado a través de las fluctuaciones de los rendimientos de las pesquerías de merluza europea (*M. merluccius*), debido a que se cuentan entre las pesquerías masivas más importantes de la costa Noroccidental Africana y son ejercidas sobre la totalidad del espectro de tallas.

## METODOLOGÍA

### Datos pesqueros

La fuente de las series de datos de las pesquerías de merluza europea utilizados están contenidos en los informes de los grupos de trabajo de evaluación del área CPACO (FAO, 1997; 2006b).

### *Distribución de tallas*

Las distribuciones de talla de las capturas de merluza europea de las flotas españolas y marroquí se exploraron gráficamente para determinar las diferencias en cuanto al segmento de la población sobre el que incidieron y con ello tomar decisiones acerca de cómo abordar el análisis con respecto a la variabilidad climática.

### *Datos de CPUE*

Se utilizaron datos de captura por unidad de esfuerzo **CPUE** de las siguientes flotas y modalidades de pesca: flota costera marroquí **FMarr** (1973 – 2003), flotas españolas de arrastre **AE50** (40 - 50 mm de luz de malla: 1970 - 1999), volanta **VE** (1980 y 1999) y palangre **PE** (1982 – 1999) que faenaron en África Noroccidental. No se tomaron en cuenta los datos del arrastre español de 60 mm de luz de malla, denominadas también tríos (Ramos & Fernández, 1993), debido a que se dejó de faenar bajo esta modalidad en 1990 (Ramos *et al.*, 2000). La diferencia en la extensión de las series temporales se debió a la diferencia en períodos de actividad y vigencia de los acuerdos y variantes de la actividad: el año 1999 fue el último año de acuerdo de pesca entre la UE y Marruecos.

### Índice NAO

Se utilizó la serie temporal del índice NAO de invierno (diciembre a marzo) basada en la diferencia de la presión a nivel del mar entre Lisboa, en Portugal, y Stykkisholmur/Reykjavik, en Islandia (Hurrell, 1995). Esta serie temporal se obtuvo de la página electrónica <http://www.cdg.ucar.edu/cas/climind/nao/> y fue suavizada por medias móviles de tres años para eliminar el ruido.

### Esfuerzo deformador de viento

Debido a que la costa Noroccidental Africana presenta una orientación Noreste – Suroeste, la componente  $v$  (norte – sur) del esfuerzo deformador del viento  $\tau_y$  (1) de los alisios, es responsable del transporte de agua superficial hacia mar adentro (Este – Oeste) o transporte de Ekman  $Q_x$  (2). La magnitud de  $Q_x$  es un indicador de la

cantidad de agua subsuperficial aflorada hacia las capas superficiales (Mann & Lazier, 1991) y por tanto de la entrada de aguas ricas en nutrientes a la zona eufótica. Las ecuaciones que definen  $\tau_y$  y  $Q_x$  fueron las siguientes:

$$(1) \quad \tau_y = \rho_a C_d v (u^2 + v^2)^{1/2}$$

Donde  $\tau_y$  es el esfuerzo deformador del viento sobre la superficie del mar ( $m^2 s^{-2}$ );  $\rho_a$  es la densidad del aire ( $kg m^{-3}$ );  $C_d$  es el coeficiente de arrastre de viento;  $u$  y  $v$  son los componentes x e y del vector del viento geostrófico ( $m s^{-1}$ ).

$$(2) \quad Q_x = -\tau_y / f\rho$$

$$(3) \quad f = 2\Omega \sin\phi$$

Donde  $Q_x$  representa el transporte de Ekman por metro de costa hacia el oeste ( $m^3 s^{-1}$ );  $f$  el factor de Coriolis,  $\Omega$  es la velocidad angular de rotación terrestre,  $\phi$  es la latitud en grados y  $\rho$  la densidad del agua ( $1025 kg m^3$ ).

Para explorar y visualizar la variabilidad espacio - temporal de las condiciones que favorecieron la ocurrencia de afloramientos inducidos por viento de 1960 a 2004, se construyeron mapas anuales de contorno de  $\tau_y$ , entre los  $36^\circ$  y  $21^\circ N$  de latitud (interpolados  $1^\circ \times 1^\circ$ ). El período de tiempo seleccionado correspondió a la totalidad de la serie temporal de disposición pública.

Para evaluar la relación de las condiciones precursoras de afloramiento y la NAO, se construyó una serie mensual de  $\tau_y$ , promedio entre los  $36^\circ$  y  $21^\circ N$  de latitud y los  $6^\circ$  y  $20^\circ W$  de longitud. Tanto los datos mensuales de  $\tau_y$  como las composiciones de mapas se obtuvieron del NOAA-CIRES Climate Diagnostic Center, Boulder, Colorado, desde su página electrónica <http://cdc.noaa.gov/>.

### **Producción primaria de los afloramientos**

Para visualizar la variabilidad espacio - temporal de la expresión productiva de los afloramientos inducidos por viento, se obtuvieron las composiciones anuales de la biomasa de fitoplancton a través de la concentración mensual de clorofila a [**Chl a**] entre los  $36^\circ$  y  $21^\circ N$  de latitud. Estos datos son considerados de alta resolución (9 km de retícula) y están a disposición pública en formato electrónico a través de "GES-DISC Interactive Online Visualization and Analysis Infrastructure (Giovanni) - NASA's Goddard Earth Sciences. Data and Information Services Center (DISC)". Pero únicamente existen datos disponibles a partir de septiembre de 1997.

De aquí en adelante nos referiremos a la biomasa de fitoplancton como producción primaria, aun cuando no sea el termino exacto, se adopta como un aproximación de las tendencias de la cantidad de alimento potencialmente disponible para los niveles tróficos superiores, que son objetivo principal de este trabajo.

Para evaluar la variabilidad temporal de la producción primaria y su posible relación con las condiciones precursoras de los afloramientos ( $\tau_y$ ) y con la NAO, se construyó una serie anualizada de los valores de [Chl a] de 1997 a 2005, se utilizó para ello la serie mensual de [Chl a] promedio dentro del área definida en las imágenes de las composiciones anuales mencionadas en el párrafo anterior.

### **Análisis**

Se construyeron gráficos exploratorios de las relaciones entre los rendimientos de las diferentes flotas y el índice NAO con diferentes desfases temporales, y en los casos adecuados se establecieron correlaciones lineales entre ellas.

Para aislar las posibles señales relacionadas con la NAO, de 1960 a 2005, y con la producción marina, de 1997 y 2005, se extrajeron las componentes principales **CP** de la serie mensual de  $\tau_y$ , mediante una rutina SSA (Singular Spectral Analysis) se utilizó el programa CATERPILLAR 1.0 (Caterpillar group, 1997). Finalmente se exploró la posible dependencia lineal de la producción marina debida a la NAO.

## **RESULTADOS**

### **Distribución de tallas y CPUE**

Las flotas analizadas se dividieron en tres grupos de acuerdo con espectro de talla de merluza europea sobre el cual incidieron. El primer grupo estuvo formado por la **AE50** y **FMarr** que capturaron merluzas de un intervalo de talla comprendido entre 10 y 50 cm LT y con una moda de 18 cm LT; el segundo grupo correspondió al **PE** con un intervalo de talla de 30 a 68 cm LT y moda de 42 cm LT; y el tercer grupo correspondió a la **VE** con un intervalo de talla de 30 a 72 cm y moda de 48-50 cm LT (Fig. 4.1).

A pesar de que las flotas AE50 y FMarr incidieron sobre el mismo espectro de tallas, los datos de ambas se analizaron por separado debido a que: (1) las unidades de medida de la CPUE son diferentes: kg/dp (dp: día de pesca) y kg/dp\*cv (cv: potencia de la flota en caballos de vapor) respectivamente y (2) el esfuerzo ejercido por AE50

mostró una alta variabilidad en el tiempo debido a la evolución de las condiciones de los acuerdos de pesca.

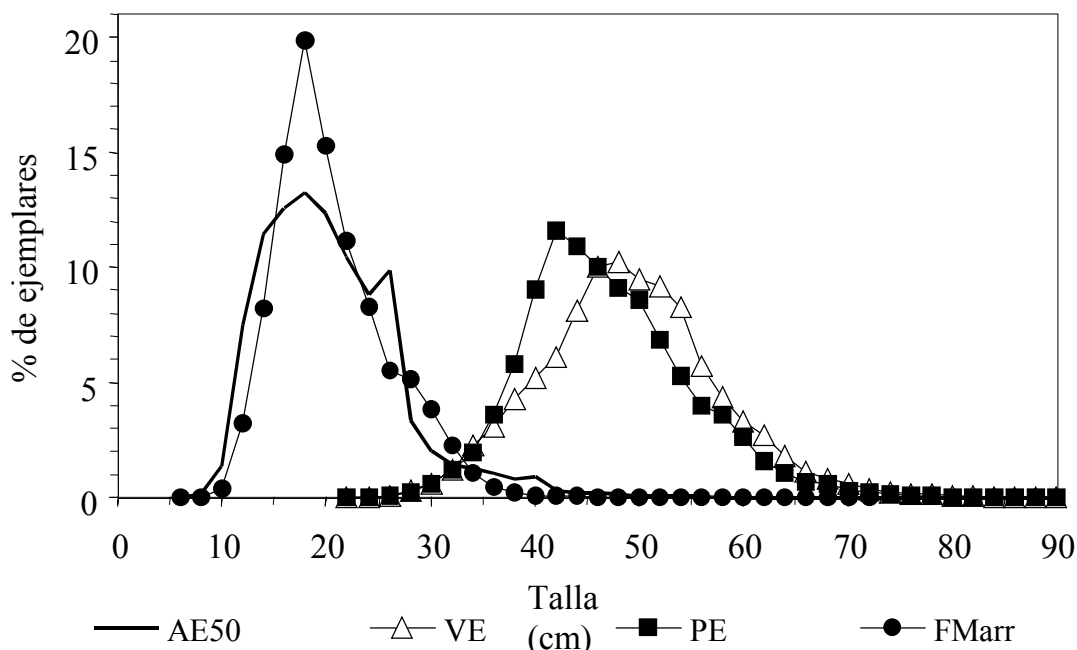


Figure 4.1. Distribución porcentual de las frecuencias de tallas de la captura de *M. merluccius* obtenidas por las flotas de Marruecos (FMarr) y España, que pescaron en la costa Atlántica de Marruecos durante los acuerdos de pesca hasta 1999: arrastreros de 40-50 mm de malla (AE50); palangreros (PE) y Volanta (VE).

Estas diferencias del esfuerzo de pesca fueron de entre cinco (1981 a 1988) y dos veces superiores (1990 y 1999) al ejercido inicialmente entre 1970 y 1980 (Fig. 4.2a). Es importante resaltar que los datos de esfuerzo previos al establecimiento de la RIM (1981) provienen de estimaciones indirectas.

Las series de captura y CPUE de AE50 mostraron sincronía entre ellas (Fig. 4.2b), sin embargo la alta variabilidad del esfuerzo restringió la posibilidad de que la CPUE fuera directamente utilizada como indicador de la abundancia en los análisis de comparación con la NAO.

Para aislar de la serie de CPUEs la fuente de variación debida al origen y variabilidad del esfuerzo de pesca, se estandarizaron las CPUEs del período previo al establecimiento de la RIM (1970 –1980), con respecto al nivel de los esfuerzo obtenidos detalladamente después de su establecimiento. Así se definió una serie de CPUEs de AE50 ajustada para ser comparada con la serie climática de la NAO.

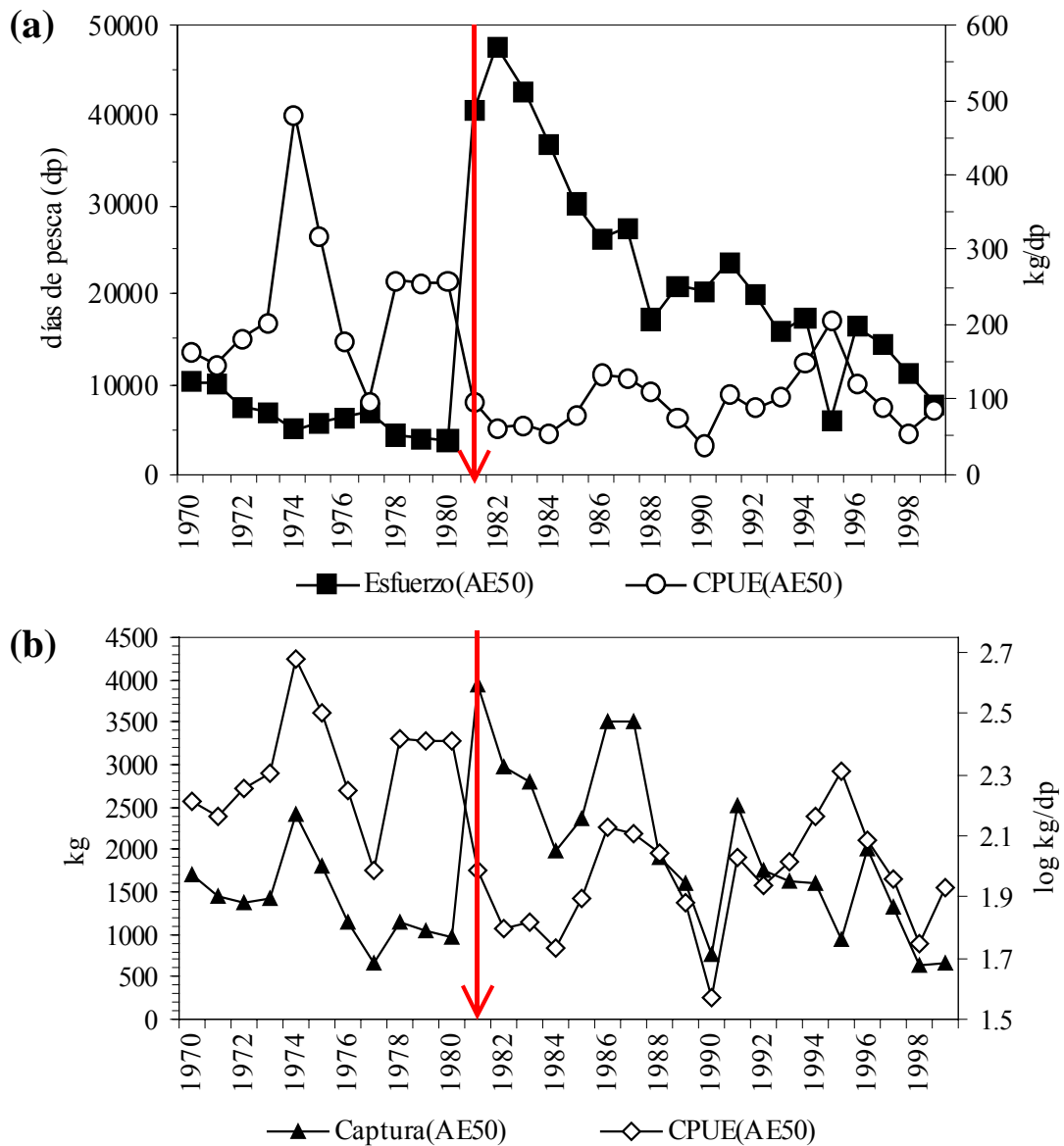


Figura 4.2. Series temporales comparativas entre: (a) esfuerzo de pesca y CPUE, (b) capturas y CPUE de la flota de arrastre española (AE50) entre 1970 y 1999. La flecha roja indica el inicio del funcionamiento de la Red de Información y Muestreo del IEO.

Esta serie de CPUEs ajustada mostró una relación positiva significativa con la NAO del año previo  $t-1$  ( $r = 0.46$ ;  $F_{1, 28} = 7.760$ ;  $p = 0.0094$ ) (Fig. 4.3), lo que significa que en torno a un 22% de la variabilidad de la CPUE ajustada es explicada por la NAO. Sin embargo, la fuerza de la correlación debe tomarse con cautela debido a la estandarización arbitraria de las CPUEs.

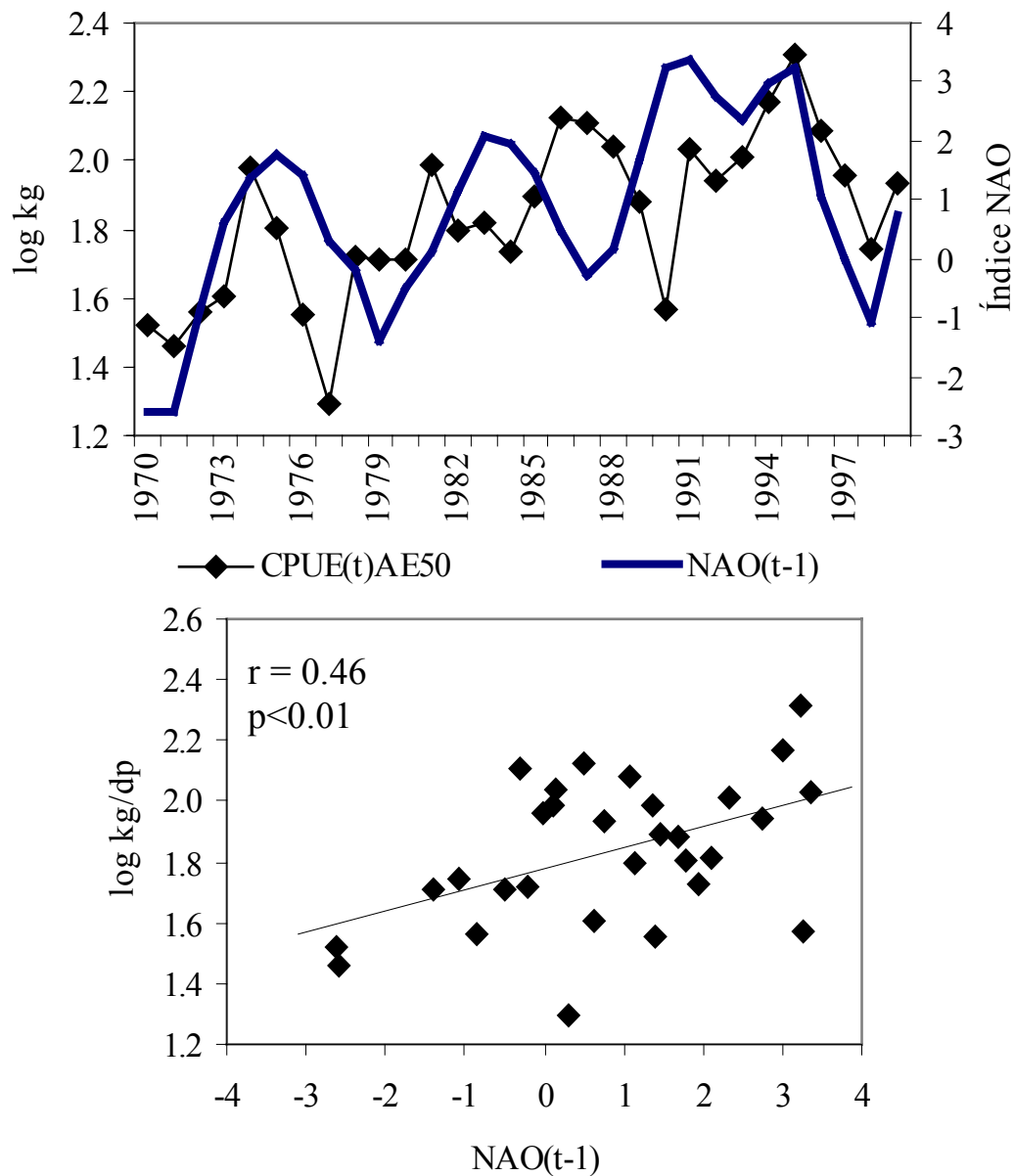


Figura 4.3. Ajuste de la serie de los CPUEs de *M. merluccius* del arrastre español AE50 al tiempo  $t$  y al índice NAO del año previo ( $t-1$ ) (superior). Dependencia lineal de los rendimientos de AE50 y el índice NAO ( $t-1$ ) de 1970 a 1999 (inferior). La serie de CPUE entre 1970 y 1980 está estandarizada al nivel de esfuerzo disponible a partir del establecimiento de la RIM en 1981.

La serie temporal de los rendimientos de FMarr mostró sincronía y una correlación positiva significativa con el índice NAO( $t-1$ ); esta correlación varía de acuerdo a la longitud de la serie, entre 1973 y 2003 ( $r = 0.58$ ;  $F_{1,27} = 14.213$ ;  $p = 0.0008$ ) y entre 1985 y 2003 ( $r = 0.66$ ;  $F_{1,15} = 12.009$   $p = 0.0034$ ), explicando entre un 35% y un 45% de la variabilidad debida a la NAO( $t-1$ ), respectivamente (Fig. 4.4)

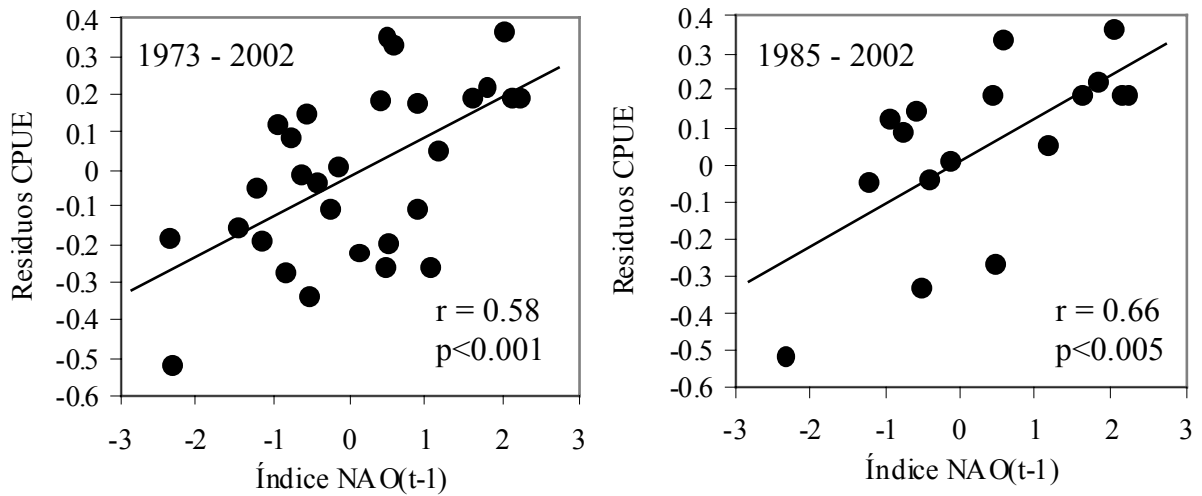
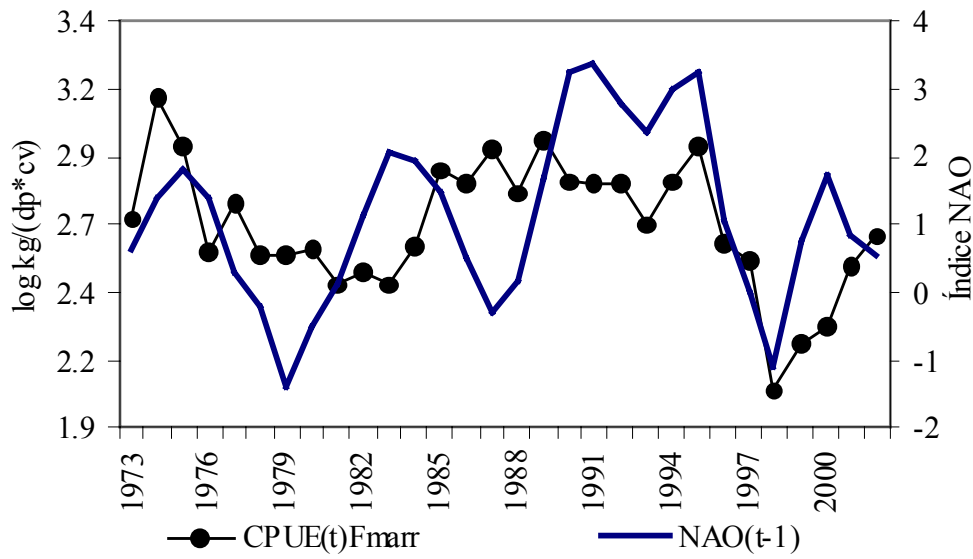


Figura 4.4. Ajuste de los rendimientos de *M. merluccius* de la flota costera marroquí **F**Marr al tiempo t y al índice NAO del año previo (t-1) (superior). Dependencia lineal de los rendimientos de FMarr del índice NAO(t-1) de 1973 a 2002 (inferior izquierdo) y entre 1985 y 2002 (inferior derecho).

La serie temporal de los rendimientos de PE mostró sincronía y una correlación positiva significativa ( $r = 0.76$ ;  $F_{1, 16} = 23.034$ ;  $p = 0.0001$ ) con el índice NAO de dos años previos a la captura  $NAO(t-2)$  entre 1982 y 1999, lo cual explicó un 59% de la variabilidad de la CPUE debido a la  $NAO(t-2)$ . (Fig. 4.5).



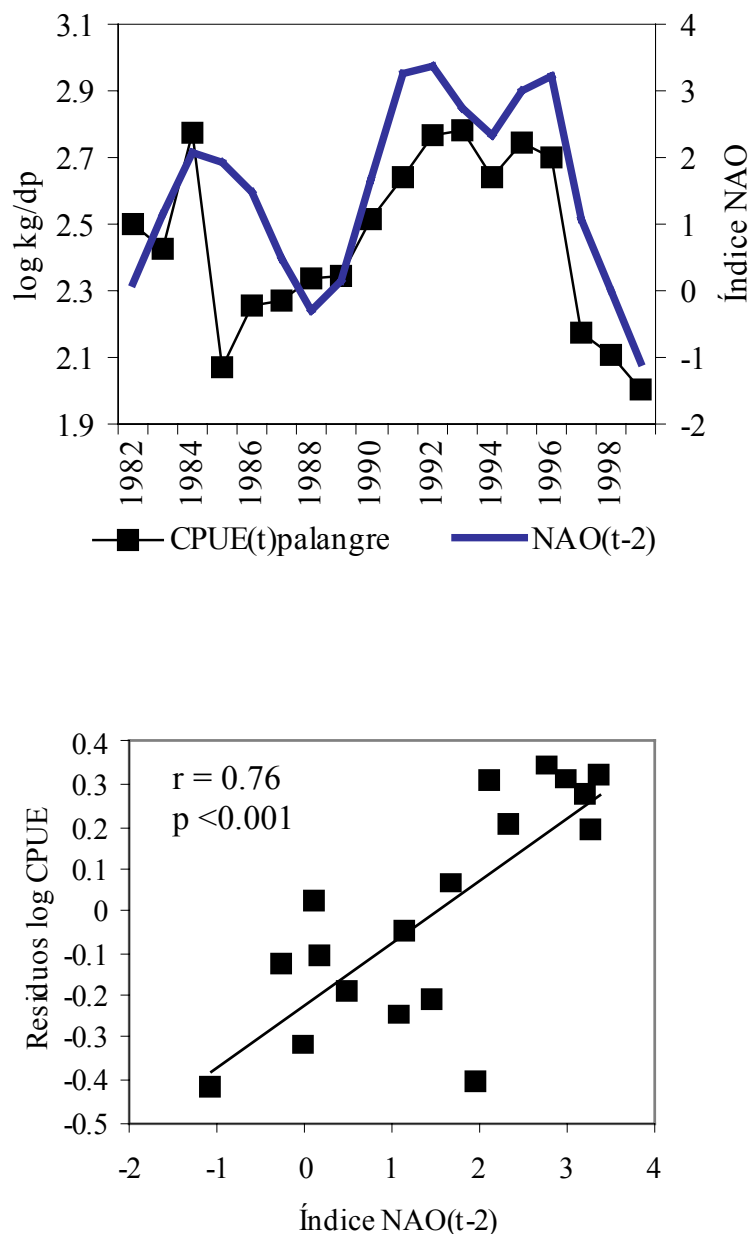


Figura 4.5. Ajuste de los rendimientos de *M. merluccius* del palangre español PE al tiempo  $t$  y al índice NAO del año previo ( $t-2$ ) (superior). Dependencia lineal de los rendimientos de PE del índice NAO( $t-2$ ) de 1982 a 1999 (inferior).

La serie temporal de rendimientos de la VE también mostró sincronía y correlación positiva significativa con el índice NAO de dos años previos a la captura NAO( $t-2$ ) ( $r = 0.78$ ;  $F_{1, 18} = 27.913$ ;  $p = 0.00005$ ), pero también mostró correlación significativa con el índice NAO de tres años previos a la captura, NAO( $t-3$ ) ( $r = 0.67$ ;  $F_{1, 18} = 14.796$ ;  $p = 0.0011$ ) durante el período 1980-1999, explicando entre un 60 y un 45% de la variabilidad, respectivamente. (Fig. 4.6).

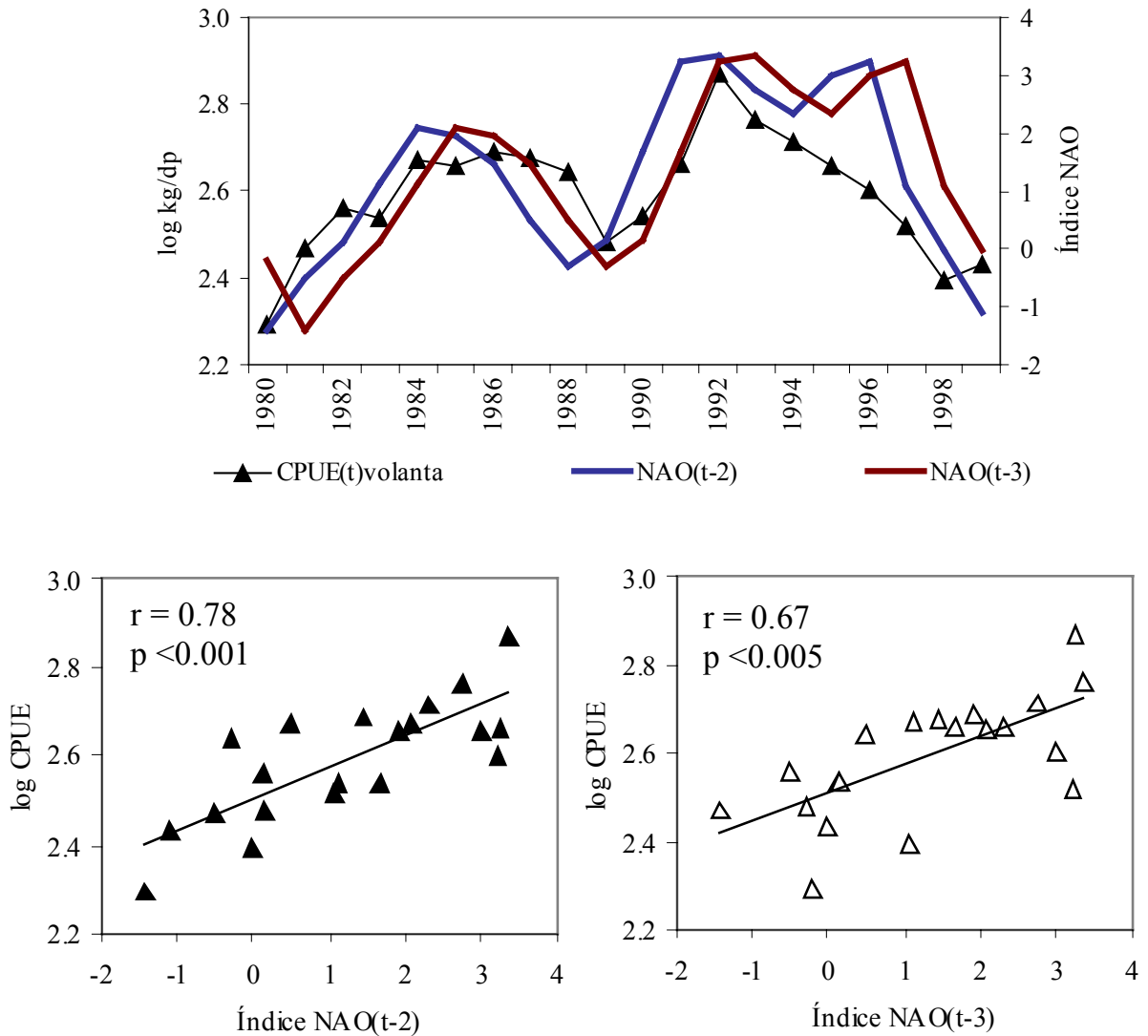


Figura 4.6. Ajuste de los rendimientos de *M. merluccius* de la volanta española VE al tiempo (t) y al índice NAO al tiempo (t-2) y (t-3) (superior). Dependencia lineal de los rendimientos de la VE del índice NAO de (t-2) (inferior izquierda) y (t-3) (inferior derecha) de 1980 a 1999.

### Esfuerzo deformador de viento

Durante los períodos de pronunciada condición negativa de la NAO (NAO-) entre 1960-1971 y 1996-1997 (Fig. 4.7), el área sometida a  $\tau_y \geq -40 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$  (signo negativo indica la dirección del vector Norte-Sur) fue el 26% menos extensa que en los años de pronunciada condición positiva (NAO+) entre 1972-1976; 1980-1986 y principalmente 1990-1995. Durante la fase NAO-, la franja permanente de condiciones favorables para la generación de afloramientos costeros se extendió hasta aproximadamente los 30°N. En contrapartida, durante la NAO+, el núcleo

favorable para generación de afloramientos inducidos por viento se ensancha hacia el oeste y se extiende hacia el norte más allá de los 36°N, especialmente durante los años 1991, 1992, 1994, 1998 y 1999 (Fig. 4.8).

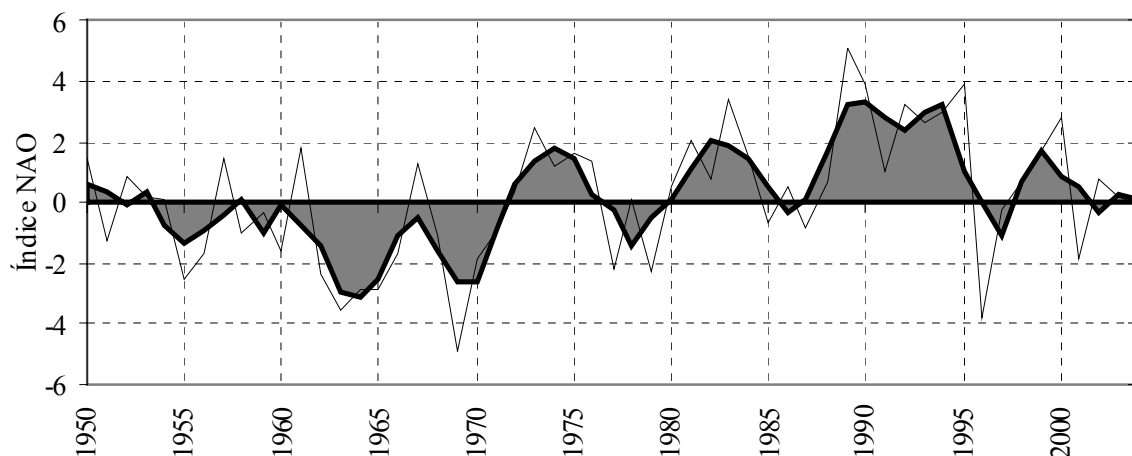


Figura 4.7.- Evolución anual del índice NAO de invierno entre 1950 y 2005 (línea delgada). La línea gruesa representa el índice suavizado por medias móviles (tres años) para reducir el ruido de la serie. El área sombreada indica la predominancia del tipo de fase NAO (predominantemente negativa o positiva)

La extracción de las componentes principales (CP) de la serie mensual de  $\tau_y$  dio como resultado que las dos primeras CP explicaron la mayor parte (66.97%) de la variabilidad de la serie original. La CP1 que representa una componente de oscilación anual (12 meses) con un máximo a mitad de año, fue responsable del 38.86% de la serie original. La CP2, por otra parte, tuvo una oscilación variable de mayor frecuencia (hasta bimodal en 12 meses) y fue responsable del 28.11% de la variabilidad de la serie original (Fig. 4.9).

Durante la fase NAO- (1960-1973; 1977-1980; 1996-1997), el máximo anual de  $\tau_y$  tuvo lugar predominantemente entre junio y agosto, en tanto que en años de pronunciada NAO+ (1974-1976; 1981-1984; 1989-1995) el máximo de CP1 de  $\tau_y$  se anticipó un par de meses, lo cual extendió el período de  $\tau_y$  favorable a abril-mayo y agosto-septiembre, y a todo el año en 1993-1994 y 1998-1999. Adicionalmente, durante los períodos de NAO+ más intensa (1981-1984; 1989-1995 y 1998-2000), la periodicidad de las oscilaciones anuales de la CP1 fue menos marcada, con valores de  $\tau_y$  por encima de la media general o muy cercanos a ella (Fig. 4.9).

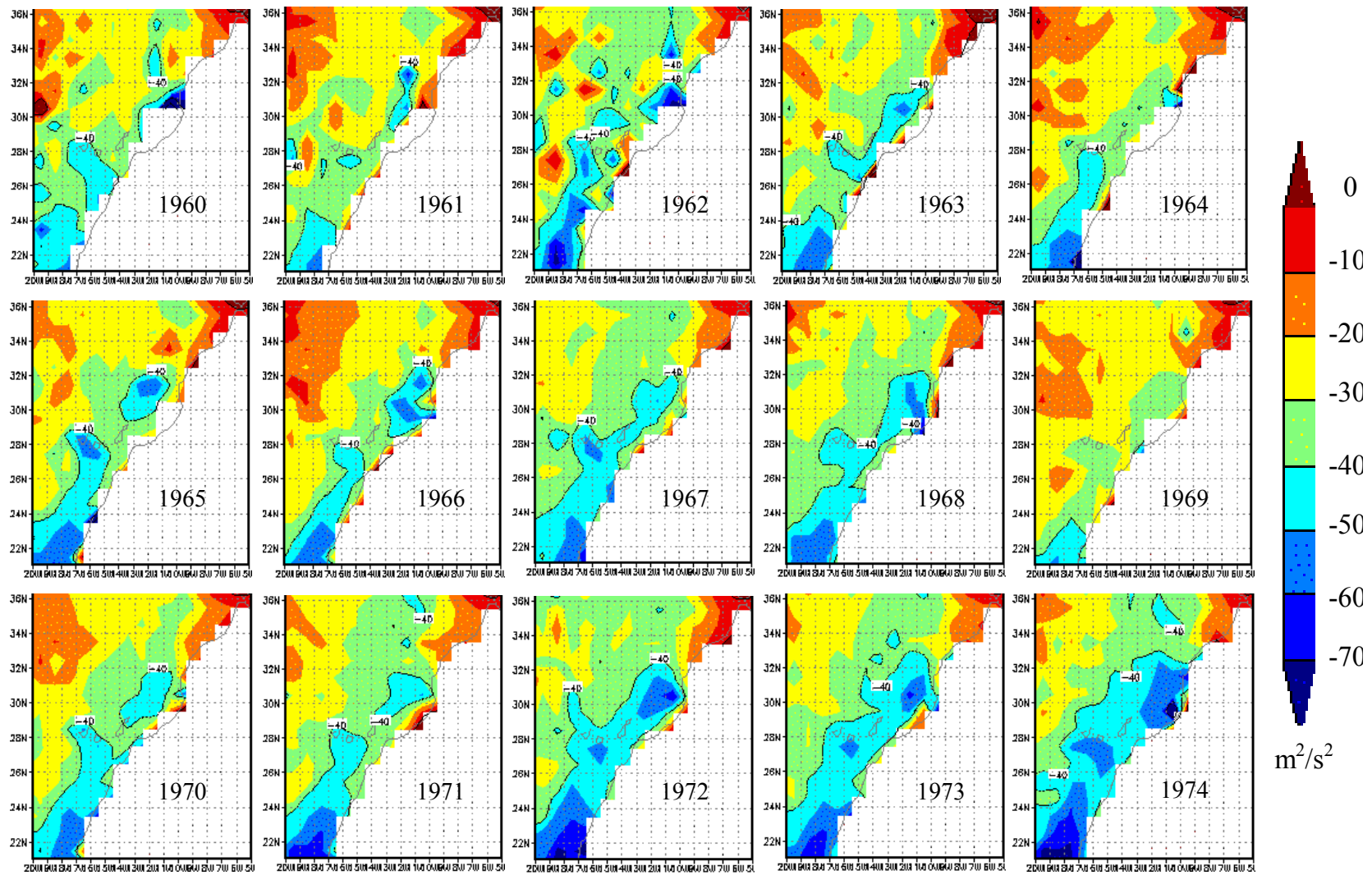


Figura 4.8.

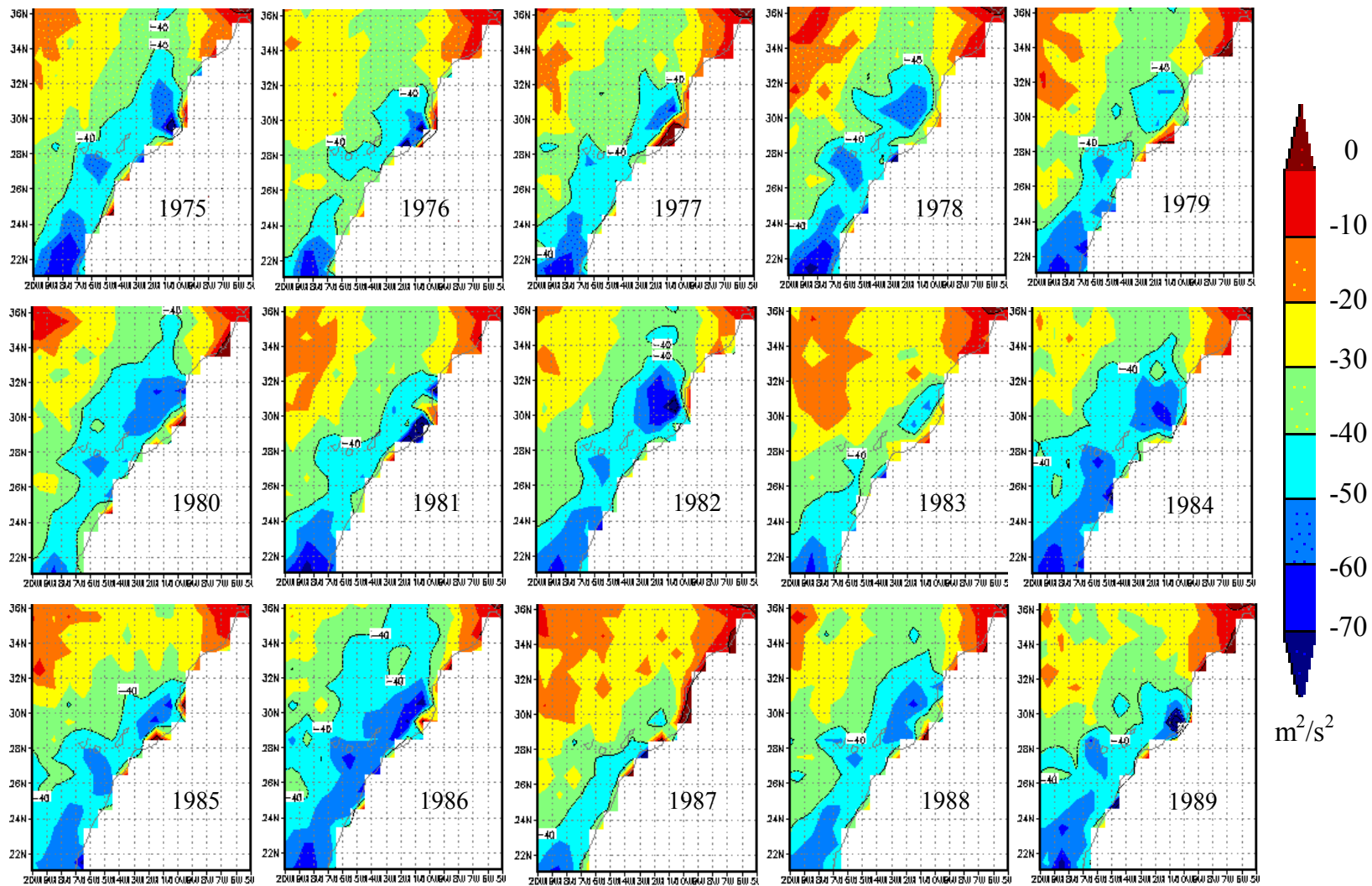


Figura 4.8. (continuación)

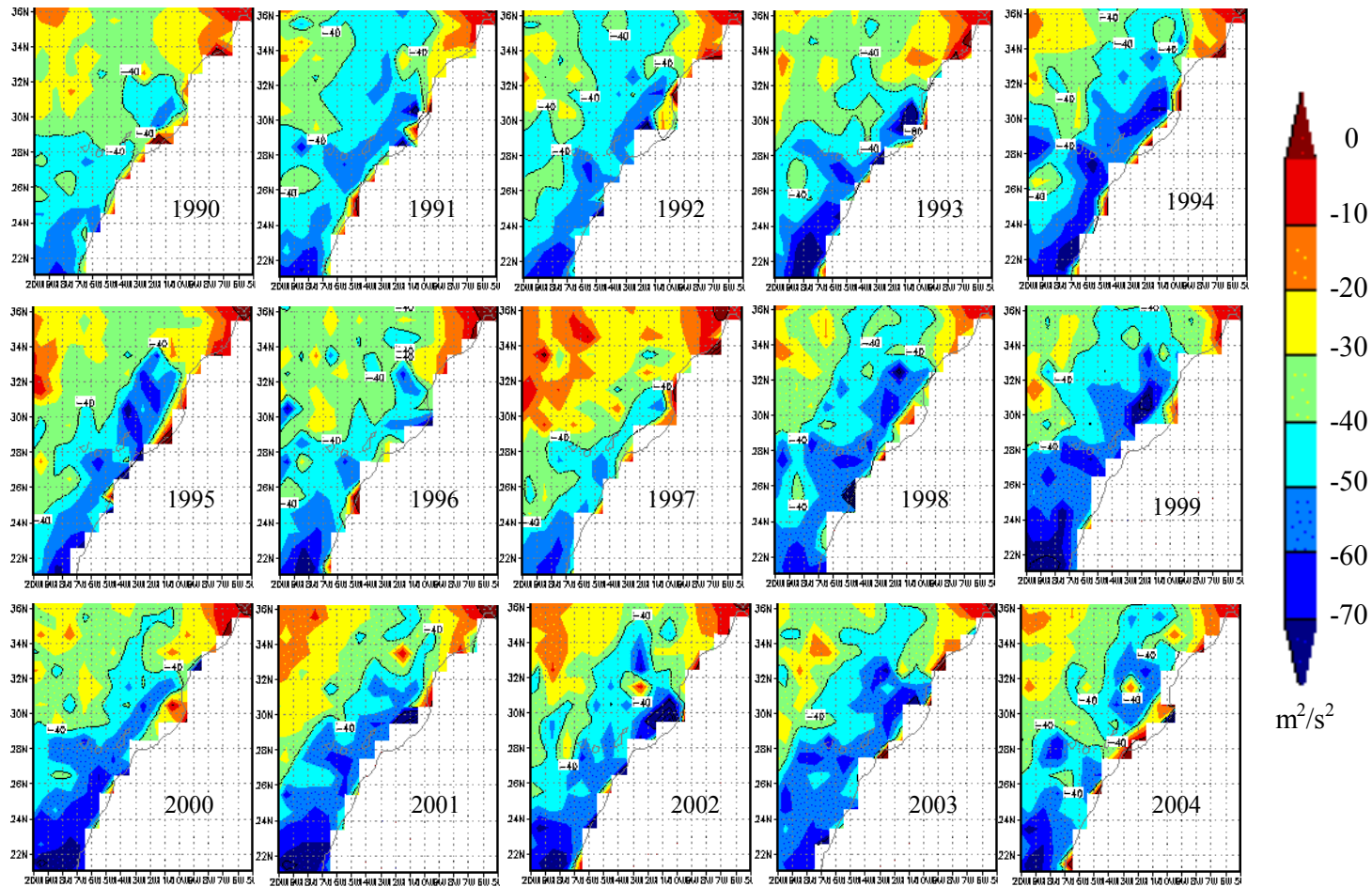


Figura 4.8. (continuación) Composiciones anuales de intensidad y cobertura de la componente v del efecto deformador de viento:  $\tau_y$  ( $m^2 \cdot s^{-2}$ ) entre  $36^\circ$  y  $21^\circ N$  de latitud como precursor de los eventos de afloramiento inducidos por viento entre 1960 y 2004. El signo negativo indica el sentido Norte-Sur del vector. Imágenes proporcionadas por NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center, Boulder, Colorado, desde su página electrónica <http://www.cdc.noaa.gov/>.

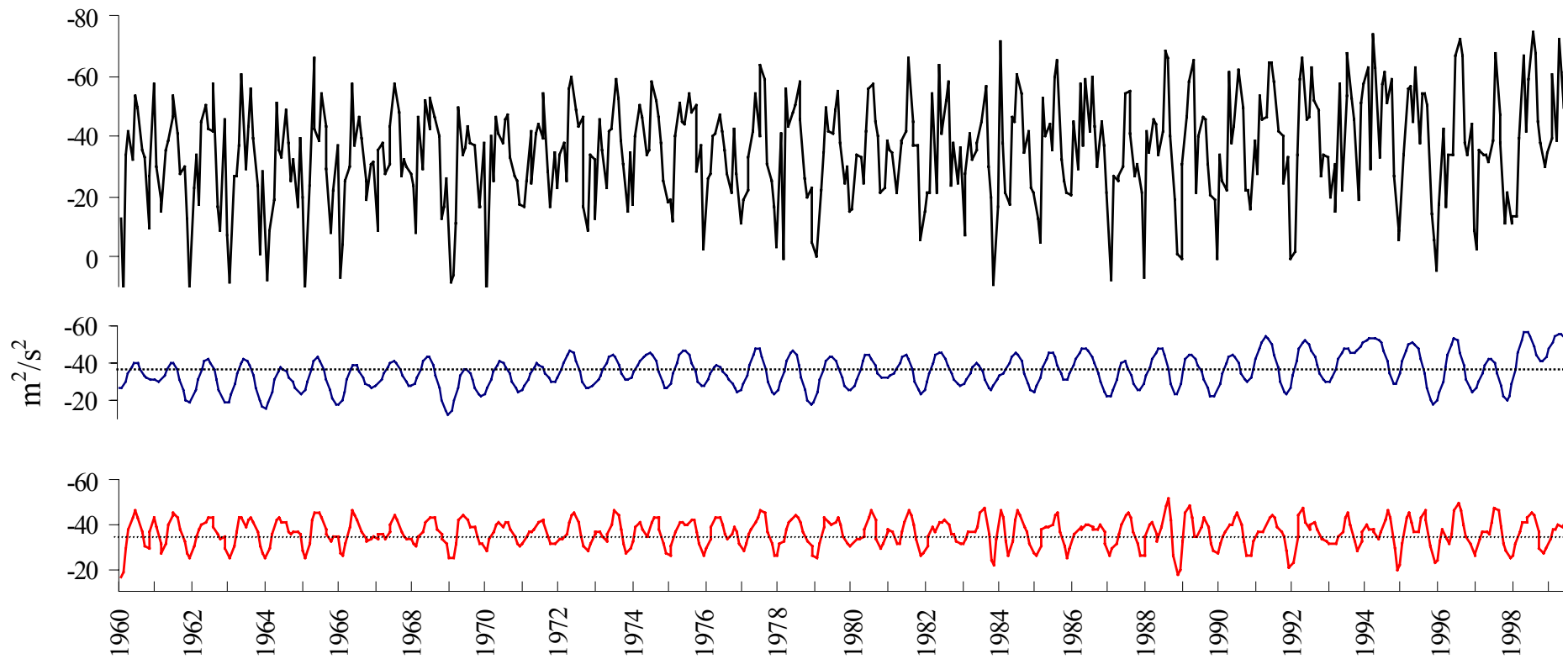


Figura 4.9. Serie temporal del promedio mensual de la componente v del efecto deformador de viento:  $\tau_y$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ ) entre los  $36^\circ$ - $21^\circ$  de latitud N y  $6^\circ$ - $20^\circ$  de longitud W (superior en negro). Componentes Principales (CP) de la serie original de  $\tau_y$ : CP1 (intermedia azul) y CP2 (inferior en rojo) que explican respectivamente el 38.86% y el 28.11% de la variabilidad de la serie (66.97% en conjunto). La línea punteada es el promedio del total de cada serie. Datos obtenidos del NOAA-CIRES Climate Diagnostic Center (<http://www.cdc.noaa.gov/>)

La CP1 de  $\tau_y$  agrupada anualmente estuvo en sincronía y correlacionada positivamente con la NAO ( $r = 0.64$ ;  $F_{1,43} = 30.211$ ;  $p = 0.000001$ ) entre 1960 y 2005, lo cual significa que la NAO explicó el 41% de la variabilidad de la CP1 de  $\tau_y$  (Fig. 4.10).

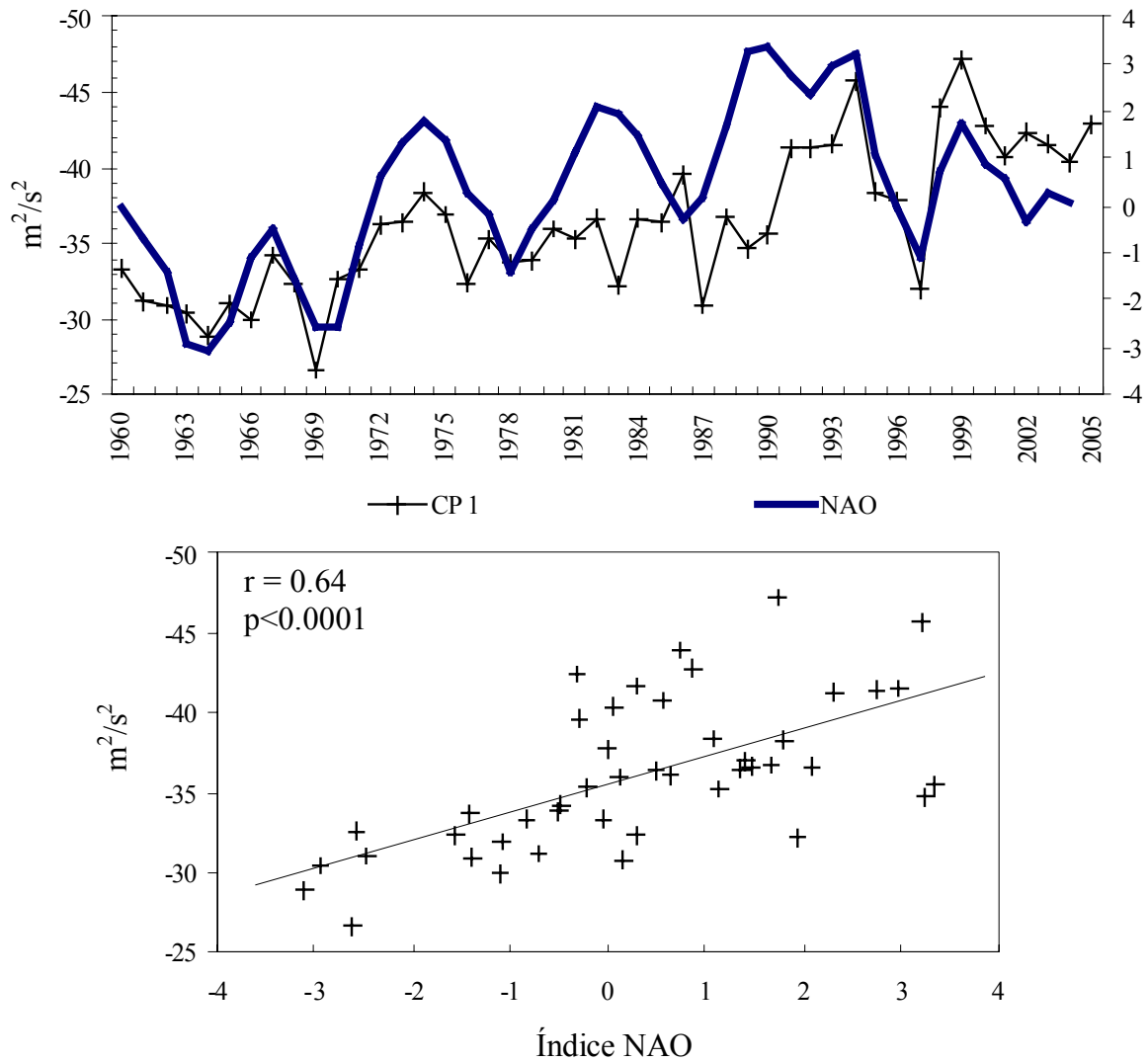


Figura 4.10. Ajuste entre la serie mensual de la CP1 de la componente  $v$  del efecto deformador de viento  $\tau_y$  ( $m^2 \cdot s^{-2}$ ) agrupada anualmente y el índice NAO (superior). Dependencia lineal de la CP1 de  $\tau_y$  y el índice NAO entre 1960 y 2005 (inferior).

### Producción primaria

Como se puede apreciar en la Figura 4.11, la producción marina en la zona norte de la costa Noroccidental Africana se extiende en forma de cinturones a lo largo de la plataforma costera, con filamentos que se propagan mar adentro a la altura de cabo



Ghir (30–31°N), entre Cabo Yubi y Cabo Bojador (29°–27°N) y principalmente en la zona comprendida entre Dakhla y Cabo Blanco (24°–21°N).

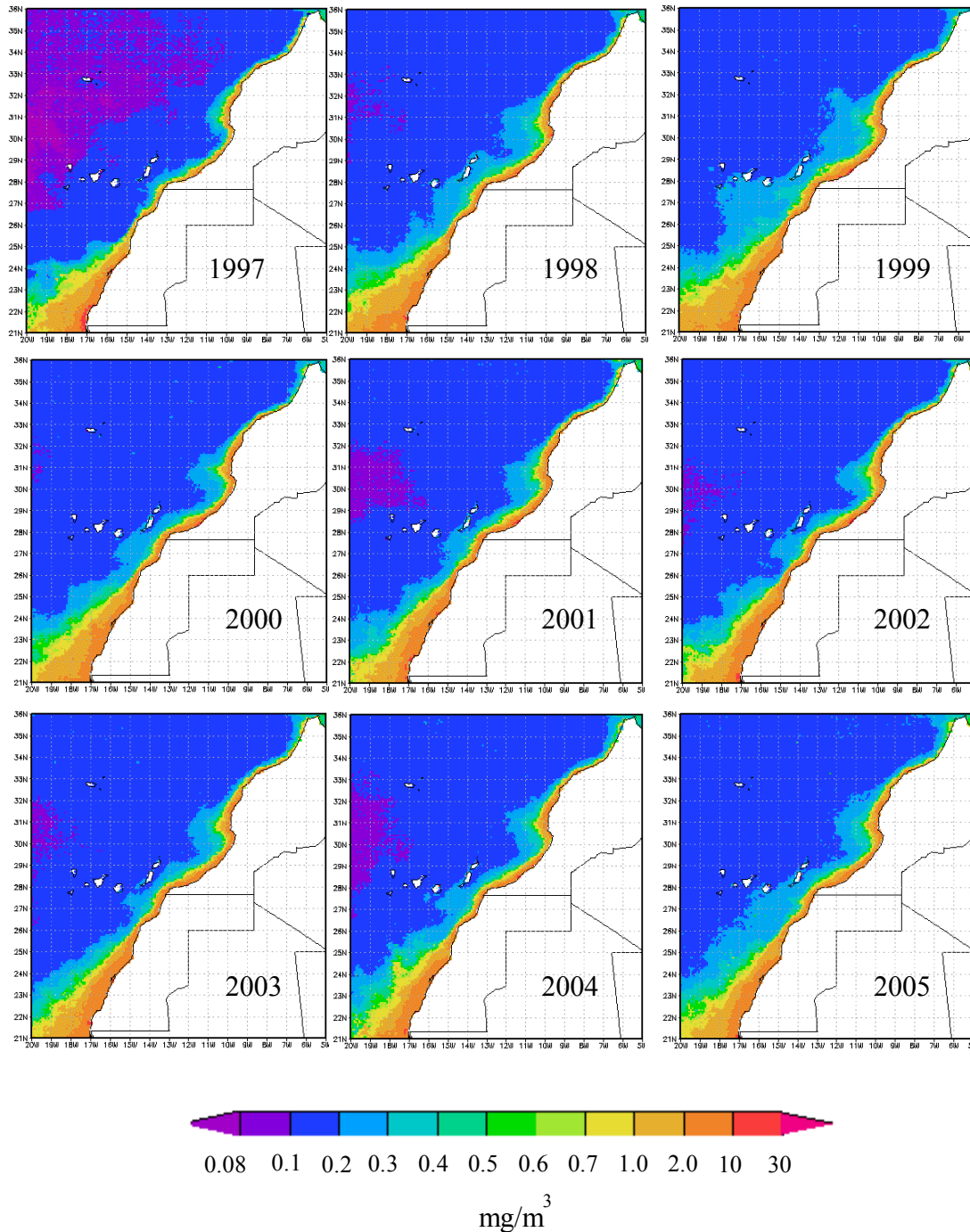


Figura 4.11. Composiciones anuales de la concentración superficial de Clorofila a [Chl a] ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) entre los 36° y 21° de latitud N. Imágenes obtenidas mediante “GES-DISC Interactive Online Visualization and Analysis Infrastructure (Giovanni) - NASA's Goddard Earth Sciences. Data and Information Services Center (DISC).”

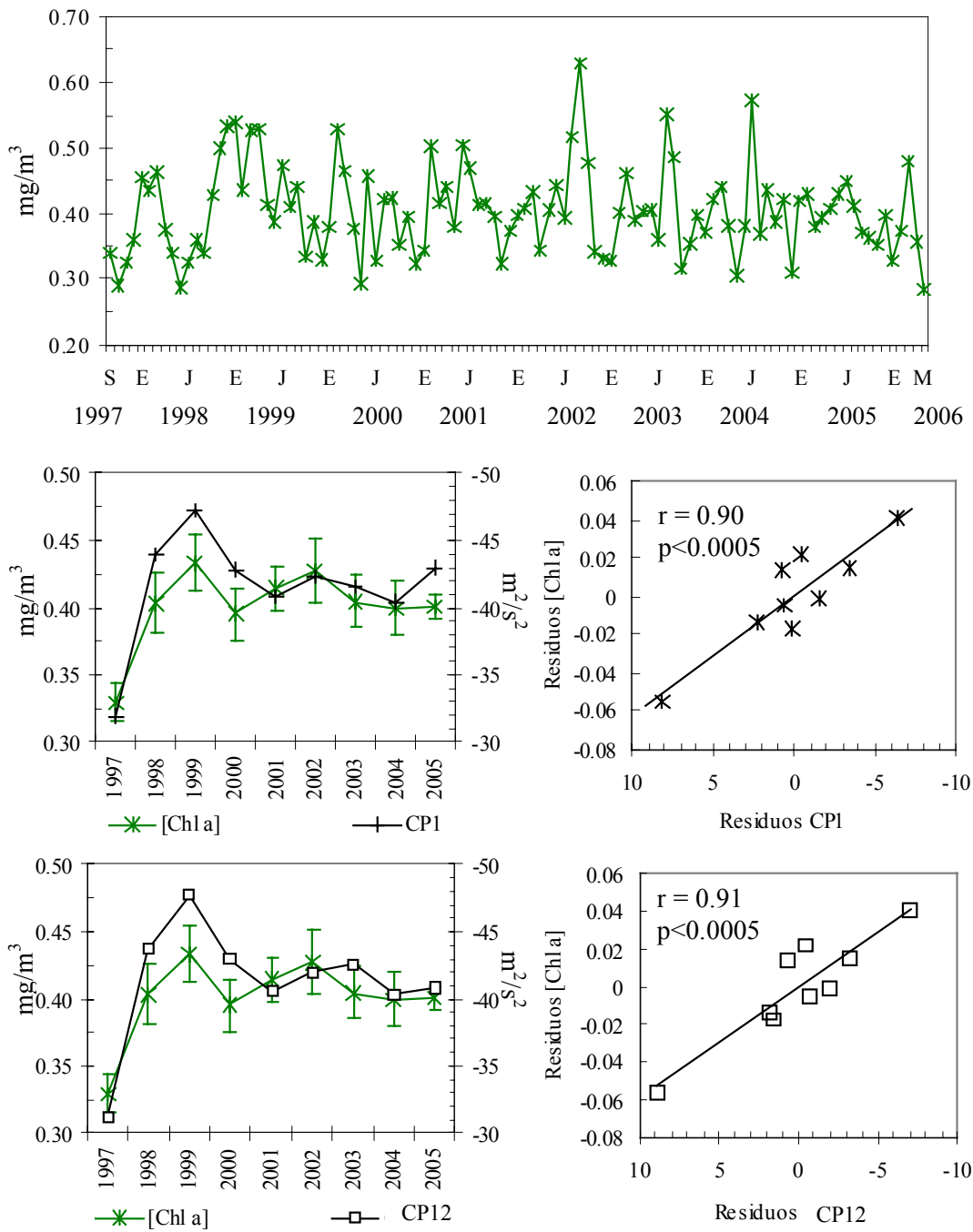


Figura 4.12. Concentración mensual promedio de Clorofila [Chl a] entre los 36° a 21°N (superior). Ajuste anual entre CP1 y CP12 de la componente  $v$  del efecto deformador de viento  $\tau_v$  y [Chl a] entre 36° y 21°N (izquierda centro e inferior). Dependencia lineal de [Chl a] con respecto a CP1 y CP12 de  $\tau_v$  entre 1997 y 2005 (derecha centro e inferior). Datos de [Chl a] obtenidos mediante "GES-DISC Interactive Online Visualization and Analysis Infrastructure (Giovanni) - NASA's Goddard Earth Sciences. Data and Information Services Center (DISC)."

El intervalo de variación de la [Chl a] mensual en el área fue 0.28 - 0.63 mg/m<sup>3</sup> (media = 0.40; DE = 0.067) entre septiembre de 1997 y mayo de 2006. La periodicidad y la extensión temporal de los máximos de [Chl a] fueron variables; entre 1998 y 2001 ocurrieron durante el invierno y la primavera, en tanto que de 2002 a 2005 los máximos de [Chl a] fueron más intensos en primavera – verano (Fig. 4.12).

La [Chl a] mensual agrupada anualmente, mostró una correlación positiva y altamente significativa, tanto con la primera componente principal **CP1** ( $r = 0.90$ ;  $F_{1,7} = 198.199$ ;  $p = 0.000002$ ), como con la combinación entre la primera y segunda componentes principales **CP12** de  $\tau_y$  ( $r = 0.91$ ;  $F_{1,7} = 34.030$ ;  $p = 0.0006$ ), que explicaron respectivamente el 81% y 83% de la variabilidad de la [Chl a] (Fig. 4.12).

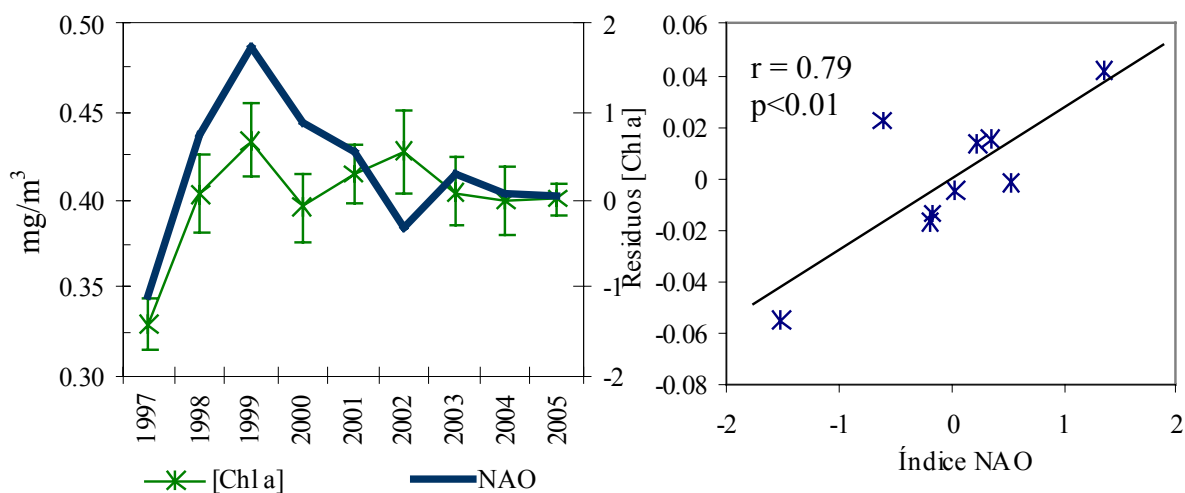


Figura 4.13. Ajuste entre la concentración mensual anualizada de Clorofila [Chl a] y el índice NAO entre los 36° a 21°N (izquierda). Dependencia lineal de [Chl a] con respecto al índice NAO entre 1997 y 2005 (derecha).

Finalmente, al igual que con  $\tau_y$ , la [Chl a] también estuvo en sincronía y correlacionada positivamente ( $r = 0.79$ ;  $F_{1,7} = 11.910$ ;  $p = 0.0106$ ) con la NAO, la cual explicó un 58% de la variabilidad de la [Chl a] entre 1997 y 2005 (Fig. 4.13).

## DISCUSIÓN

En este trabajo se han obtenido tres resultados importantes relacionados entre sí. En primer término, una relación directa entre la NAO y las variaciones de la abundancia de la merluza europea en años subsecuentes; en segundo lugar se ha demostrado que la dinámica de las condiciones precursoras de los afloramientos inducidos por viento ( $\tau_y$ ) en la parte norte del África Noroccidental, dependen en proporción importante

de la NAO; en tercer lugar se ha puesto de manifiesto una estrecha relación y proporcionalidad en el mismo año entre  $\tau_y$ , la NAO y la producción primaria.

A continuación se discute sobre el significado de estos resultados y sobre las causas de la supuesta relación entre ellos. El efecto de la NAO se observó, durante el año inmediatamente posterior, en los rendimientos de merluzas de tallas menores (juveniles principalmente) capturadas por FMarr y AE50, y se apreció con un desfase de dos y tres años en los rendimientos de merluza de tallas intermedias y grandes capturadas por las flotas de palangre y volanta. Esto hace suponer que el impacto principal de la NAO se ejerce sobre el proceso de reclutamiento, y que este impacto puede detectarse durante los años siguientes en las tallas mayores.

El desfase temporal del impacto de la NAO en las composiciones de tallas se explica por los movimientos de la migración ontogénica de la merluza europea: los juveniles capturados por FMarr y AE50 habitan principalmente en aguas costeras (Turner & El Ouairi, 1986) y dependen estrechamente de la producción de los afloramientos costeros, debido a lo cual el efecto de la NAO se observó en el año inmediato posterior.

Posteriormente las merluzas se van desplazando a medida que crecen, hacia la plataforma profunda. Debido a ello los cambios en la abundancia de los preadultos y adultos se observaron con dos y tres años de desfase respecto a la NAO, que es el lapso de tiempo después del cual las merluzas se seleccionaron a la pesca por el palangre y la volanta, que es desarrollada por estas flotas en el borde de la plataforma y el talud continental.

La dependencia de los juveniles de merluza de los afloramientos costeros se debe a que en sus etapas más tempranas, las merluzas, que son pelágicas y viven en la columna de agua, se alimentan principalmente de copépodos y eufausiáceos (Hickling, 1927; Papaconstantinou & Caragitsou, 1994; Oliver & Massutí, 1995). Estos grupos son abundantes en la periferia de las aguas afloradas de la costa Atlántica de Marruecos (Yebra *et al.*, 2001), estando su abundancia y distribución horizontal en esta área relacionada con la interacción entre los afloramientos y las estructuras oceanográficas de mesoescala (Hernández-León, 1991a, 1991b; 1998; Arístegui *et al.*, 1997; Rodríguez *et al.*, 1999, 2001; Hernández-León *et al.*, 2001; Yebra *et al.*, 2001).

El hecho de que las variaciones de la captura de juveniles de merluza europea se observen en las pesquerías que inciden sobre las tallas mayores después de cierto tiempo, significa que el reclutamiento es una variable determinante de su dinámica poblacional (Rothschild, 1986; Fogarty, 1993; Myers & Cadigan, 1993). Por ello es

importante entender cuáles son y de qué forma actúan los mecanismos que vinculan las variaciones climáticas de gran escala como la NAO en el reclutamiento local de *M. merluccius*.

La temporalidad y extensión geográfica de los afloramientos constituyen las variables más importantes para explicar la relación entre la NAO y las variaciones de la abundancia de la merluza europea en la costa Noroccidental Africana. Ambas representan el vínculo oceanográfico entre la variabilidad atmosférica descrita por la NAO y el impacto ecológico sobre las poblaciones marinas, en este caso descrito a través de la abundancia de merluza europea.

La importancia de la NAO radica en que es la responsable principal del escenario productivo en la costa Noroccidental Africana. Esta conclusión se sustenta en el encadenamiento de correlaciones entre la NAO y la  $\tau_y$ , lo que significa que la NAO es responsable de la variabilidad de las condiciones precursoras de afloramiento; entre  $\tau_y$  y la [Chl a], que valida la utilización de  $\tau_y$  como indicador fino del resultado productivo de los afloramientos; y finalmente, la correlación significativa entre la NAO y la [Chl a] corrobora numéricamente la relación positiva entre el índice climático de gran escala y la producción en la costa Noroccidental Africana.

La diferencia en el balance anual de las condiciones precursoras de afloramientos a favor del período NAO+, no se debe a un aumento de la intensidad de  $\tau_y$  en los puntos más conspicuos (ej. Cabo Ghir y Cabo Bojador) durante la estación de afloramientos (junio-octubre), sino a la ampliación hacia el norte de  $\tau_y$  durante una ventana temporal mayor, entre febrero y octubre (máximos de abril a septiembre) y durante todo el año en 1993-1994 y 1998-1999.

De acuerdo con Bakun (1996), los hábitats reproductivos favorables para peces dependientes de sistemas de afloramiento están determinados por: (1) Procesos de enriquecimiento (afloramientos, mezcla, etc.), (2) Procesos de concentración (convergencia, formación de frentes, estabilidad de la columna de agua) y (3) Procesos de retención (mantenimiento de los miembros de una población en áreas apropiadas durante su desarrollo).

En la costa Noroccidental Africana, las variaciones de las condiciones precursoras de afloramiento, su expresión productiva y la interacción que desarrollan con las estructuras oceanográficas de mesoescala, como filamentos y giros, están directamente relacionadas con los tres procesos mencionados (e. g. Mittelstaedt, 1982; Chávez *et al.*, 1991; Hernández-Guerra *et al.*, 1993, 2002; Arístegui *et al.*, 1994, 1997, en prensa; Gabric *et al.*, 1996; Barton, 1998; Barton *et al.*, 1998, 2000, 2004; Lange *et al.*,

1998; Pacheco & Hernández-Guerra, 1999; Romero *et al.*, 1999; Johnson & Stevens, 2000; Abrantes *et al.*, 2002; Romero *et al.*, 2002).

Durante la NAO+, la ampliación de la ventana espacio-temporal de  $\tau_y$  incrementa significativamente la producción primaria, debido a la presencia de aguas afloradas ricas en nutrientes y niveles de insolación favorables en una mayor extensión geográfica, desde finales del invierno y toda la primavera; es decir, por lo menos cuatro meses antes de lo que sucede durante las fases de NAO-. Por ello es probable que en esta área la ampliación de la ventana productiva, pueda ocasionar una ampliación de la “ventana de reclutamiento” (VR) de la merluza europea (Oliver & Massutí, 1995).

La ampliación de la VR adquiere sentido si tomamos en cuenta la plasticidad de las poblaciones de *M. merluccius*. Su puesta tiene lugar durante todo el año (Pérez & Pereiro, 1981; 1985; Cárdenas & Fernández, 1985), con dos máximos apreciables, uno en invierno y otro menor en otoño en la costa Noroccidental Africana (Maurin, 1954; Goñi & Cervantes, 1986; Ramos *et al.*, 1990). La ampliación de la ventana productiva durante varios años consecutivos (1990-1995), puede incrementar la supervivencia de más de una cohorte anual, lo que aumentaría el éxito del reclutamiento a las pesquerías de arrastre dirigidas mayoritariamente sobre este segmento del stock.

Los cambios en la abundancia de la merluza europea inducida por la NAO aquí descritos, coinciden con lo propuesto por Ottersen *et al.* (2001) en el sentido de que las variaciones climáticas producen efectos ecológicos “retardados”, mediante la afectación crítica del desarrollo temprano de cohortes enteras. Como consecuencia de la ocurrencia de condiciones climáticas favorables durante la reproducción y/o estadíos tempranos de desarrollo se pueden producir cohortes más grandes con individuos de mayor talla, que a su vez sobreviven en mayor porcentaje, alcanzan la madurez en un menor tiempo y son más aptos para la reproducción durante su etapa adulta.

En resumen, la variabilidad climática descrita por la NAO es responsable de manera significativa de las condiciones precursoras de afloramientos ( $\tau_y$ ), que determinan a su vez la capacidad de carga del sistema productivo. Los cambios en el escenario productivo inciden sobre la abundancia de nuevos reclutas a la pesquería de *M. merluccius* durante el año inmediato posterior. El efecto sobre la abundancia de reclutas es persistente y trazable en las tallas mayores con dos y tres años de desfase. Por estas razones la NAO muestra una correlación positiva con la abundancia de merluza europea, significativamente desfasada en el tiempo según la talla (Fig. 4.14).

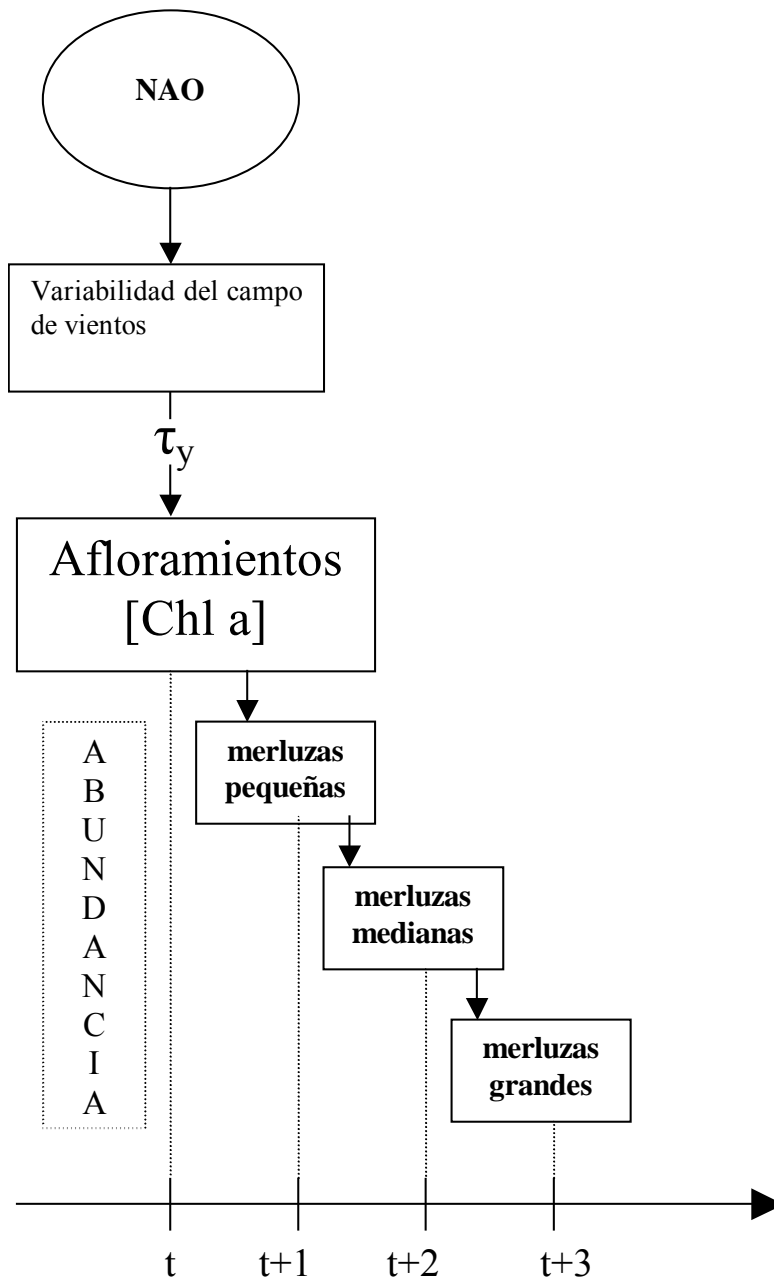


Figura 4.14. Esquema de la relación entre la NAO y la abundancia de merluza europea propuesta en este trabajo.

La consistencia del desfase temporal entre el índice NAO y la abundancia de los diferentes grupos de talla, bien podría funcionar como una herramienta complementaria para aportar elementos acerca de uno de los procesos clave de la biología y dinámica poblacional de la merluza europea, no solo en la costa Noroccidental Africana, sino en cualquiera de las áreas donde esta especie se distribuye: el crecimiento.

El principal obstáculo de la determinación del patrón de crecimiento de la merluza europea, lo constituye la validación de la lectura de otolitos. En nuestro caso, la posibilidad de trazar el efecto de la NAO por grupos de talla, permite realizar una estimación gruesa del incremento de talla anual de las merluzas capturadas por las diferentes flotas, por lo menos durante los primeros tres años de vida. De forma que el índice NAO funciona como referencia temporal fija, sobre la cual evaluar la progresión anual de las modas de talla.

El efecto de la NAO sobre los rendimientos de la pesquería dirigida a los juveniles, se detecta con un año de desfase del índice NAO, dos años después con las tallas intermedias de merluzas que fueron juveniles el año anterior, y tres años después con la abundancia de los adultos más grandes, los cuales fueron juveniles dos años antes aproximadamente. Es decir, el índice NAO es la referencia inicial al tiempo  $t = 0$ , reconocible en la abundancia de juveniles de 1 año de edad al tiempo  $t+1$ , en los preadultos y adultos tempranos de hasta 2 años de edad al tiempo  $t+2$ , y finalmente al tiempo  $t+3$  sobre los adultos de mayor talla, de 3 años de edad en adelante.

Si bajo esta secuencia, se comparan las talla medias de las modas dominantes de las capturas de la flota costera marroquí (juveniles: año 1), de las flotas españolas de palangre (preadultos y adultos: año 2) y de volanta (adultos grandes: año 3), con las curvas de crecimiento presentadas y discutidas en el capítulo 1 de este trabajo, se puede apreciar que el incremento anual de talla durante los primeros tres años, coincide con la hipótesis de que la merluza europea crece más rápido de lo que en un principio se había establecido, y que la diferencia de este crecimiento con respecto a las estimaciones previas es de proporción 2:1 (Fig. 4.15).

Adicionalmente, parece evidente que la merluza europea de la costa Noroccidental Africana posee tasas de crecimiento mayores que las estimadas para esta especie en el Mediterráneo Occidental, y que la curva hipotética de crecimiento presentada en el capítulo 1, de forma ilustrativa, fue conservadora en exceso.

Naturalmente que esta tendencia no está exenta de interferencias. La más importante de ellas, es el efecto que la selectividad de los artes de pesca ejerce sobre la determinación de la moda real de talla. Sin embargo, debido a la escala de la actividad, a la cantidad de individuos tomados en cuenta y a la persistencia de la señal climática, la tendencia general es relevante, porque aporta elementos desde una perspectiva diferente a la lectura de otolitos y a los experimentos de captura y recaptura llevados a cabo hasta el momento.



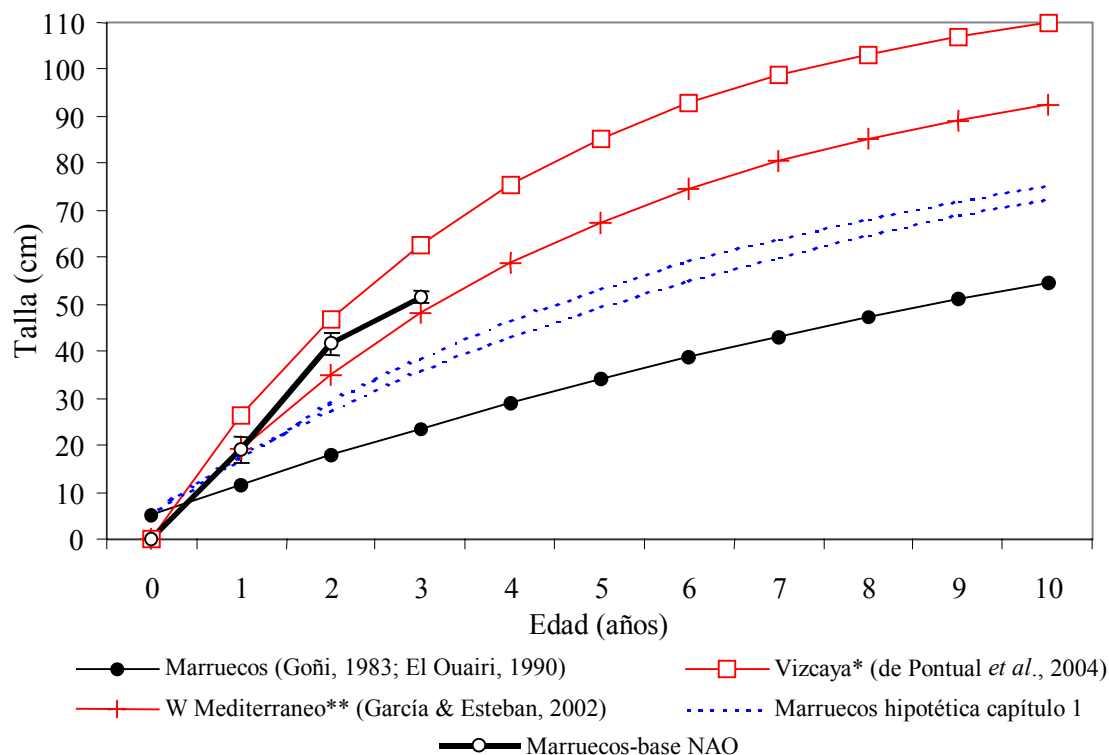


Figura 4.15. Comparativo entre los incrementos de talla anuales basados en la correspondencia temporal del efecto de la NAO (línea negra gruesa) y las curvas de crecimiento rápido (líneas rojas) para el golfo de Vizcaya (de Pontual *et al.*, 2004) y el Mediterráneo Noroccidental (García-Rodríguez & Esteban, 2002), la curva de crecimiento de Marruecos (línea negra) estimada por lectura de otolitos (Goñi, 1983; El Ouairi, 1990) y la estimación hipotética de crecimiento rápido Marruecos (líneas azules) estimada en el capítulo 1.

Esta situación, en la cual la merluza europea de la costa Noroccidental Africana observa mayores incrementos de talla que la del Mediterráneo Occidental, se correspondería con la prevalencia de mejores condiciones de desarrollo para la merluza debido a la alta productividad del sistema de afloramiento Africano, en comparación con las de la cuenca Mediterránea.

De forma que las diferencias iniciales de crecimiento comentadas en el capítulo 1, que sitúan a la curva de *M. merluccius* de la costa Noroccidental Africana como la más atenuada, se deben a una marcada subestimación del crecimiento por la escasez de estudios en esta zona y por la falta de actualización de la precisión de los mismos, en comparación con los llevados a cabo en la zona ICES y en el Mediterráneo.

Esta nueva aproximación en sintonía con la hipótesis de crecimiento rápido, es relevante por dos razones principales: Primero, porque se obtuvo desde un punto de vista diferente, utilizando como validación el desfase de una señal climática robusta, recurrente y persistente sobre la abundancia de los grupos de talla. Y en segundo lugar, porque se determinó en un área de distribución donde no hay registros previos al respecto, lo cual refuerza la idea de que el crecimiento rápido sería la regla y no la excepción en las poblaciones de *M. merluccius* distribuidas en el Atlántico Norte, el Mediterráneo y el África Noroccidental.

No obstante, para afinar y en su caso corroborar esta nueva vía de validación del crecimiento, será necesario profundizar en estudios específicos futuros que puedan ser contrastados con las herramientas metodológicas desarrolladas hasta ahora en otras zonas de distribución de la merluza

En conjunto, los resultados expuestos hasta ahora constituyen indicadores de los mecanismos desencadenados por la NAO, sus efectos y la persistencia de estos sobre la merluza europea a nivel poblacional, posiblemente a través de la variabilidad del éxito del reclutamiento, y finalmente la utilidad del índice NAO como posible referencia de validación del crecimiento. Sin embargo, la NAO es la expresión simplificada de una serie de variables y procesos que interactúan simultáneamente en diferentes escalas temporales causando efectos ecológicos directos, mediante variaciones individuales y poblacionales, a través de la fisiología (procesos metabólicos y reproductivos), e indirectos, a nivel comunitario, a través de interacciones depredador - presa y de competencia (Ottersen *et al.*, 2001; Stenseth *et al.*, 2002).

Por ejemplo, en otras pesquerías del Atlántico, como las del bacalao (*Gadus morhua*) y el arenque (*Clupea harengus*), se ha determinado que además del reclutamiento, el clima afecta a su capacidad de reproducción (Ottersen & Loeng, 2000; Toresen & Østvedt, 2000; Ottersen & Stenseth, 2001; Hjermann *et al.*, 2004a, 2004b).

Debido a la estrecha relación entre las variables ambientales y las pesquerías (Lluch-Belda *et al.*, 1989; Klyashtorin, 1998) es necesario contar con elementos más precisos sobre el funcionamiento de los procesos ambientales, sus impactos ecológicos y las interacciones con la pesca, porque el efecto de condiciones ambientales adversas sobre poblaciones fuertemente explotadas puede tener resultados dramáticos (Stenseth *et al.*, 2002).

Los resultados expuestos en este capítulo constituyen el punto de partida para profundizar en el estudio de las características del ciclo de vida de la merluza

europea en África Noroccidental que son afectadas por la variabilidad climática inducida por la NAO, así como para articular una visión más completa acerca de las interacciones de estas variaciones y sus efectos en el stock. La herramienta de trabajo más adecuada para profundizar en el estudio del efecto de la NAO sobre la merluza europea es la comparación entre las características de su ciclo de vida y las variaciones periódicas ambientales desencadenadas por la NAO (Agostini, 2000; Stenseth *et al.*, 2002).

Destaca la posibilidad de utilizar como trazador de procesos biológicos y poblacionales al impacto recurrente que la NAO ejerce sobre la merluza europea de la costa Noroccidental Africana.

## CAPÍTULO 5

---

**Importancia de la variabilidad climática sobre el éxito de reclutamiento de la merluza europea (*Merluccius merluccius* L.) en África Noroccidental.**



## INTRODUCCIÓN

Para una óptima gestión de las pesquerías es básico el conocimiento de la dinámica del reclutamiento y su variabilidad potencial con objeto de poder realizar predicciones. Sin embargo, el reclutamiento es un proceso biofísico complejo, debido a la interacción de factores biológicos y ambientales (Bailey *et al.*, 2003).

Para la mayoría de los stocks de peces sin embargo, los procesos que controlan las variaciones interanuales del reclutamiento y la importancia relativa de los factores bióticos y abióticos que interactúan en estos procesos se mantienen en gran parte sin explicación concluyente (Myers *et al.*, 1997). Esto constituye la mayor fuente de incertidumbre en el campo de la ordenación de las pesquerías (Köster *et al.*, 2001) y, uno de los mayores retos con los que se enfrenta la investigación pesquera actualmente (Cushing, 1995).

En términos generales, la producción pesquera está relacionada con la asociación subyacente stock–reclutamiento; pero esta relación no es lineal y los factores que la regulan pueden no estar relacionados directamente (Lett & Kohler, 1976; Miller *et al.*, 1991; Mohn, 1991; Myers, 1991). Así, el número de peces jóvenes que se reclutan cada año depende del tamaño del stock, el cual se ve afectado por la presión de pesca, y de la tasa de supervivencia de los individuos de huevos a juveniles (Cushing, 1996; Rothschild, 1986). Al mismo tiempo, esta tasa de supervivencia está determinada por la interacción de la historia de vida y la variabilidad del ambiente físico (Bakun, 1996; Cushing, 1996; Sinclair, 1988).

El papel que juega la presión ambiental en la variabilidad del reclutamiento ha sido explorado para varios de los stocks de peces más importantes del mundo a través de estudios empíricos (ver Myers, 1998) y a través del desarrollo de modelos estocásticos del reclutamiento (Fogarty *et al.*, 1991; Fogarty, 1993).

Sin embargo, muchas de las correlaciones iniciales estadísticamente significativas entre las variables ambientales y climáticas y el reclutamiento desaparecen cuando son contrastadas con nuevos datos. Esto no quiere decir que las fluctuaciones climáticas no ejercen influencia sobre el reclutamiento, sino que la naturaleza de las relaciones en muchos casos varía con el tiempo y no son completamente conocidas (Dippner & Ottersen, 2001).

En el estudio de las relaciones del reclutamiento con las variaciones ambientales y climáticas, existen algunos problemas conceptuales a tener en consideración. Por un lado, la dificultad de aislar los factores naturales de los cambios inducidos por el

hombre sobre los stocks, tiende a enmascarar las variaciones causadas por el clima. Y por otro, la variabilidad hidrográfica en un área determinada puede ser producto del efecto combinado de varios procesos independientes, algunos de los cuales pueden ser de carácter climático pero otros pueden tener origen diferente.

Existen evidencias en varias de las principales especies explotadas en el Atlántico norte, *Gadus morhua* (Mann & Drinkwater, 1994; Sundby, 2000; Pörtner *et al.*, 2001; Helle *et al.*, 2002; Planque *et al.*, 2003; Stein & Borokov, 2004; Köster *et al.*, 2005; Brunel & Boucher, en prensa.), *Sardina pilchardus* (Guisande *et al.*, 2001; Santos *et al.*, 2001; 2005), *Merluccius merluccius* (Sánchez & Gil, 2000; Sánchez *et al.*, 2002) de que la fuerza anual de una clase depende fuertemente de las condiciones oceanográficas, y de que la variabilidad regional de las condiciones oceanográficas puede estar determinada por fenómenos climáticos de gran escala (Namias & Cayan, 1981; Hurrell, 1995; Bakun, 1996; Hurrell & van Loon, 1997; Borges *et al.*, 2003; Stenseth *et al.*, 2003; Vissbeck *et al.*, 2003; Czaja, 2003).

El caso de estudio de la especie que nos ocupa es singular, porque a diferencia de la sardina y el bacalao, *M. merluccius* no tiene una modalidad de fecundidad determinada (Murua *et al.*, 1998), sino que sus desoves son parciales y tienen lugar durante todo el año (Andreu, 1955; Sarano, 1983; Pérez & Pereiro, 1985). Esta característica se traduce en una señal de estacionalidad del reclutamiento débil, razón por la cual la determinación de los parámetros clave de la dinámica de poblaciones (fuerza de clase, crecimiento y ojiva de madurez) y el modelado (relaciones stock-reclutamiento y análisis de rendimiento por recluta) se dificultan sensiblemente (Lloret & Lleonart, 2002).

Se han documentado variaciones significativas interanuales y estacionales de la intensidad del reclutamiento de *M. merluccius* en el Cantábrico (Sánchez & Gil, 2000) y en el Mediterráneo (Recasens *et al.*, 1998; Lloret & Lleonart, 2002; Fiorentino *et al.*, 2003; Maynou *et al.*, 2003; Morales-Nin & Moranta, 2004; Goñi *et al.*, 2004; Abella *et al.*, 2005); también bajos porcentajes de explicación de la variabilidad del reclutamiento debidas al stock parental (Alegría-Hernández & Jukic, 1990), porque la señal del reclutamiento pelágico puede enmascararse posteriormente por los cambios en la mortalidad de juveniles después de su asentamiento al bentos (Abella *et al.*, 2005).

Existen igualmente antecedentes indirectos de la importancia de la variabilidad ambiental y climática sobre el reclutamiento de *M. merluccius*. En el Mediterráneo hay registros de correlaciones significativas entre la captura de merluza, la

temperatura superficial del mar (Zupanovic & Jaradas, 1986) y la temperatura atmosférica (Stergiou, 1986).

Recientemente se determinó que en el Cantábrico los afloramientos son responsables de la variabilidad a pequeña escala de la dinámica de reclutamiento de *M. merluccius* y que la variabilidad en períodos mayores está relacionada con una componente decadal del sistema climático (Sánchez *et al.*, 2002).

La ausencia de datos acerca de la abundancia de huevos y larvas de *M. merluccius* en la costa Noroccidental Africana, la condición secuencial de la puesta y la sospecha de que existe un cierto grado de independencia entre la fuerza del reclutamiento y la biomasa parental, hace necesario la exploración del vínculo entre el éxito de reclutamiento y los factores ambientales y/o climáticos que pueden afectar la intensidad de la señal.

En el capítulo anterior se determinó, (i) la existencia de una relación positiva entre la NAO y la CPUE de *M. merluccius* con distintos años de desfase dependiendo de la clase de edad, relación que fue especialmente persistente en el tiempo en el caso de la abundancia de merluzas juveniles y preadultos con un desfase de un año; (ii) que el vínculo principal entre la variabilidad inducida por la NAO y los rendimientos de merluza era el cambio en la amplitud de la ventana espacio-temporal de los afloramientos inducidos por viento y (iii) que los cambios en la producción del sistema podían controlar la amplitud de la Ventana de Reclutamiento (**VR**) de *M. merluccius*.

Por ello y como continuación lógica de lo expuesto en el capítulo anterior, el objetivo fundamental de este capítulo ha sido determinar la importancia relativa que la variabilidad ambiental inducida por la NAO ejerce sobre el éxito del reclutamiento a las pesquerías de *M. merluccius* en la costa Noroccidental Africana bajo la hipótesis de la amplitud de la VR

Para abordar este objetivo general, se aisló y analizó la señal interanual del éxito del reclutamiento de *M. merluccius* y la contribución que la NAO ejerce sobre este proceso. Finalmente, se analizó la persistencia de la influencia de la señal climática sobre el éxito del reclutamiento, independientemente de los cambios del esfuerzo de pesca ejercido sobre el stock.



## METODOLOGÍA

Debido a que no se cuenta con series históricas continuas del reclutamiento de *M. merluccius* en la costa occidental africana, para este trabajo se calcularon a partir de: los datos pesqueros provenientes de la Red de Información y Muestreo (**RIM**) del Instituto Español de Oceanografía; los datos pesqueros de la flota costera marroquí (**FMarr**) y de los datos de abundancia de juveniles de *M. merluccius* estimados en las campañas científicas del “Institute National de Recherche Halieutique” de Marruecos (**INRH**) presentados en los grupos de trabajo *ad hoc* de evaluación de merluzas en el área CPACO (FAO, 1997; 2006b).

En base a las series de datos de 1982-1999 de la **RIM**, se trabajó con los esfuerzos (días de peca), las distribuciones de talla de la captura de *M. merluccius* realizada por la flota española de arrastre (40-50 mm de luz de malla: **AE50**) que faenó en la costa Noroccidental Africana durante los acuerdos de pesca entre España (UE desde 1986) y Marruecos. Esta flota incidió sobre el segmento juvenil del stock (El Ouairi, 1990).

Se trabajó con dos series de tiempo complementarias; la primera fue una serie mensual detallada de las distribuciones de tallas de los desembarcos de *M. merluccius* realizados en el Puerto de Málaga entre enero de 1991 y noviembre de 1999. La segunda serie consistió en las distribuciones de tallas anuales (entre 1982 y 1999) estimadas para el total de los desembarcos de las flotas de arrastre españolas en los puertos de Algeciras, Huelva, Málaga y Puerto de Santa María. Ambas series están expresadas en número de merluzas por clase de talla de un centímetro (LT).

Las serie de tiempo de la flota costera marroquí se construyó en base a las distribuciones anuales de tallas de las capturas y los esfuerzos de pesca (día de pesca\* $cv^{-1} \cdot 1000^{-1}$ ), entre 1988 y 2002. La serie de datos de abundancia de juveniles (kg/hora de arrastre) procede de 32 campañas científicas de evaluación realizadas por el **INRH** en distintos meses del año entre 1982 y 2004 (excepto 1990 y 1991) y se resumen en la Tabla 5.1. Ambas series proceden del grupo de trabajo realizado en 2004 (FAO, 2006b).

La serie de las abundancias de juveniles de *M. merluccius* del **INRH** se utilizó con dos propósitos fundamentales. El primero fue verificar la persistencia de la señal climática hasta 2004, después de la fuerte reducción del esfuerzo pesquero que se produjo en 1999 con la finalización del acuerdo de pesca con Marruecos y la salida de las flotas comunitarias. El segundo propósito fue utilizar datos cuya procedencia fuese independiente de la dinámica de las flotas de arrastre, lo que proporcionaría

una medida, contrastable con los resultados obtenidos a partir de la actividad pesquera comercial.

Tabla 5.1. Abundancia de juveniles de *M. merluccius* (kg/h de arrastre) obtenidas en las campañas de evaluación marroquíes entre 1982 y 2004, agrupadas por estación.

<b>Año</b>	<b>Primavera</b>	<b>Verano</b>	<b>Otoño</b>	<b>Invierno</b>
<b>1982</b>	14.58			
<b>1983</b>	13.91	13.77		16.86
<b>1984</b>	25.73			10.58
<b>1985</b>	19.56			
<b>1986</b>	15.80		20.40	
<b>1987</b>			12.29	
<b>1988</b>	15.40			
<b>1989</b>		17.16		
<b>1990</b>				
<b>1991</b>				
<b>1992</b>		12.81		
<b>1993</b>	11.89			
<b>1994</b>		17.37	11.50	
<b>1995</b>	11.42	13.34		12.15
<b>1996</b>	8.69			
<b>1997</b>		6.64		6.53
<b>1998</b>		1.82		5.04
<b>1999</b>	9.00		9.21	
<b>2000</b>			18.57	
<b>2001</b>	15.68		15.53	
<b>2002</b>	13.99			
<b>2003</b>		14.89		
<b>2004</b>		10.93		

## Índices de reclutamiento

### *Datos del arrastre mixto español AE50*

Se corrigieron las distribuciones de tallas mensuales y anuales de acuerdo con los vectores de los coeficientes de selección reportados por Fiorentino *et al.* (1998) (Tab. 5.2), con objeto de hacer énfasis en las tallas más pequeñas subrepresentadas por efecto del tamaño de malla y del funcionamiento del arte de pesca. En base a las distribuciones de tallas mensuales corregidas se definió el intervalo de talla a la cual *M. merluccius* se reclutó a esta pesquería y se utilizó como indicador del éxito de reclutamiento a la misma.

Tabla 5.2. Vectores de los coeficientes de selectividad en función de la longitud de *M. merluccius* para algunas aberturas de malla de red de arrastre (Fiorentino *et al.*, 1998).

Talla (cm)	30 mm	35 mm	40 mm	45 mm	50 mm	55 mm	60 mm
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
7	0.21	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
8	0.43	0.09	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01
9	0.68	0.19	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01
10	0.86	0.37	0.11	0.04	0.03	0.02	0.02
11	0.95	0.58	0.20	0.07	0.04	0.03	0.03
12	0.98	0.77	0.33	0.13	0.06	0.04	0.03
13	0.99	0.89	0.51	0.21	0.10	0.06	0.05
14	1.00	0.95	0.68	0.32	0.15	0.09	0.06
15	1.00	0.98	0.81	0.46	0.22	0.13	0.09
16	1.00	0.99	0.90	0.60	0.31	0.17	0.12
17	1.00	1.00	0.95	0.73	0.42	0.24	0.15
18	1.00	1.00	0.97	0.83	0.54	0.32	0.20
19	1.00	1.00	0.99	0.90	0.66	0.40	0.26
20	1.00	1.00	1.00	0.94	0.75	0.50	0.32
21	1.00	1.00	1.00	0.97	0.83	0.60	0.39
22	1.00	1.00	1.00	0.98	0.89	0.69	0.47
23	1.00	1.00	1.00	0.99	0.93	0.76	0.55
24	1.00	1.00	1.00	0.99	0.95	0.83	0.63
25	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.88	0.70
26	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.91	0.76
27	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.94	0.82
28	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.86
29	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.89
30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.92
31	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.94
32	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96
33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97
34	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98
35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98
36	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
38	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
39	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Se trabajó con dos series de escalas temporales complementarias. La serie mensual, de enero de 1991 a noviembre de 1999, del Puerto de Málaga se utilizó para analizar detalladamente los cambios estacionales e interanuales del reclutamiento y para determinar un indicador adecuado que permitiera ampliar el análisis a la serie anual del total de los puertos (1982-1999).

El índice de reclutamiento mensual entre 1991 y 1999 fue definido como el número de reclutas capturados por día de pesca ( $R_i$ ). Para determinar la tendencia y la estacionalidad del reclutamiento, se estandarizó el índice  $R_i$  (media = 0 y DE = 1) para obtener  $R'_i$  (1).

$$(1) \quad R'_i = \frac{R_i - \bar{R}}{DR_R}$$

Donde  $R_i$  es el reclutamiento mensual al mes  $i$ ;  $\bar{R}$  y  $DE_R$  representan la media y desviación estándar, de la serie mensual del reclutamiento entre 1991 y 1999.

El índice de reclutamiento anual ( $R_t$ ) (1982- 1999) fue calculado de la misma forma que el índice mensual (número de reclutas por días de pesca). La diferencia fue que se hizo una ponderación adicional del índice  $R_t$  para minimizar el efecto de la disminución general de individuos en la pesquería. Esto se consiguió mediante la remoción de  $I_T$ , definida como la fracción de individuos de merluza capturados en el año  $t$  con respecto al total de individuos capturados en la serie completa entre 1982 – 1999 expresada en porcentaje (2).

$$(2) \quad I_T = \frac{\sum_i^n I_t}{\sum_t^N \sum_j^n I_t} \times 100$$

Donde  $I_T$  es la suma de individuos de la totalidad de las tallas (de  $j$  hasta  $n$ ) al tiempo  $t$ , dividido entre la suma de todos los individuos de merluza de la serie temporal completa (de  $t = 1982$  hasta  $N = 1999$ ).

***Datos del arrastre costero marroquí***

En el caso de la serie de FMarr las distribuciones de tallas no fueron corregidas por selectividad del arte, porque se desconocía la evolución y homogeneidad de la apertura de malla del aparejo utilizado por la flota, y porque es común la utilización

de mallas finas en el copo (Faraj, com. pers.<sup>1</sup>), donde quedan retenidos parte de los individuos de tallas más pequeñas que no escaparon en el primer segmento de la red.

El mismo criterio utilizado para el cálculo de  $R_i$  y  $R_t$  se aplicó a las distribuciones de tallas de FMarr para obtener un índice de reclutamiento anual ( $R_{FMarr}$ ), número de reclutas capturados por unidad de esfuerzo, con la diferencia de que la unidad del esfuerzo de esta flota era: día de pesca/CV\*1000, donde CV es la potencia de la flota.

Las distribuciones de tallas de los juveniles de *M. merluccius* de las campañas científicas marroquíes tampoco fueron corregidas por selectividad del arte, debido a que la apertura de malla utilizada fue de 30-35 mm (El Ouairi, 1991), apertura a la cual más del 80% de los individuos de 11 cm son retenidos por el arte (Tab. 5.2). En base a estos datos se construyó una serie temporal de la abundancia media anual ( $\pm$  DE) de juveniles de *M. merluccius*.

### Índice NAO

Se utilizaron los valores del índice anual de la NAO de invierno basados en la diferencia de la presión a nivel del mar entre Lisboa, en Portugal, y Stykkisholmur/Reykjavik, en Islandia (Hurrell, 1995), estos datos se obtuvieron de la página electrónica <http://www.cdg.ucar.edu/cas/climind/nao/>. Los datos fueron suavizados por media móvil de tres años para minimizar el ruido de las series temporales.

### Análisis

Para describir la serie temporal de reclutamientos mensuales, se calcularon la tendencia y la componente estacional por medias móviles múltiples a través de la ejecución de una rutina X-12-ARIMA (autoregressive-integrated-moving-averages) a través del programa estadístico DEMETRA 2.0 (Eurostats, 2002). Debido a que durante los meses de enero y febrero de la mayor parte de los años no hubo registros debido al paro biológico estipulado en los acuerdos de pesca, los datos de estos meses se interpolaron por medias móviles y se definieron como “outliers” en el análisis.

Para probar la hipótesis de la ampliación-contracción de la VR, se calculó el número de cohortes anuales en base a las distribuciones de tallas mensuales entre 1991 y 1999. Si la VR es amplia, se esperaría la detección de varias nuevas cohortes reclutadas a la pesquería a lo largo del año. En el caso opuesto, una VR contraída

---

<sup>1</sup> Faraj, Abdelmalek. Institute National de Recherche Halieutique Casablanca, Marruecos. faraj@inh.org.ma

resultaría en un número e intensidad de cohortes reclutadas a la pesquería menor a lo largo del año.

Se utilizaron técnicas de correlación para analizar las relaciones entre la variabilidad climática (índice NAO), la serie anual de reclutamiento y la ampliación-contracción de la VR, así como para verificar la sincronía y persistencia de la señal climática y la abundancia de juveniles de *M. merluccius* provenientes de las campañas científicas marroquíes hasta el año 2004.

## RESULTADOS

### Arrastre mixto español (AE50)

La corrección de las distribuciones de tallas debidas a la selectividad del arte de 40-50 mm de luz de malla, resultó en aumento sustancial del número estimado de merluzas en un 80% y un 95% para la clase de talla de 12 cm, y entre un 25% y un 2% para la clase de talla de 20 cm, dependiendo de la abertura de malla (Fig. 5.1). Las distribuciones de tallas mensuales corregidas presentaron una primera moda más visible y proporcionalmente más importante, con respecto al total de la distribución, que la primera moda de las distribuciones originales (Fig. 5.2).

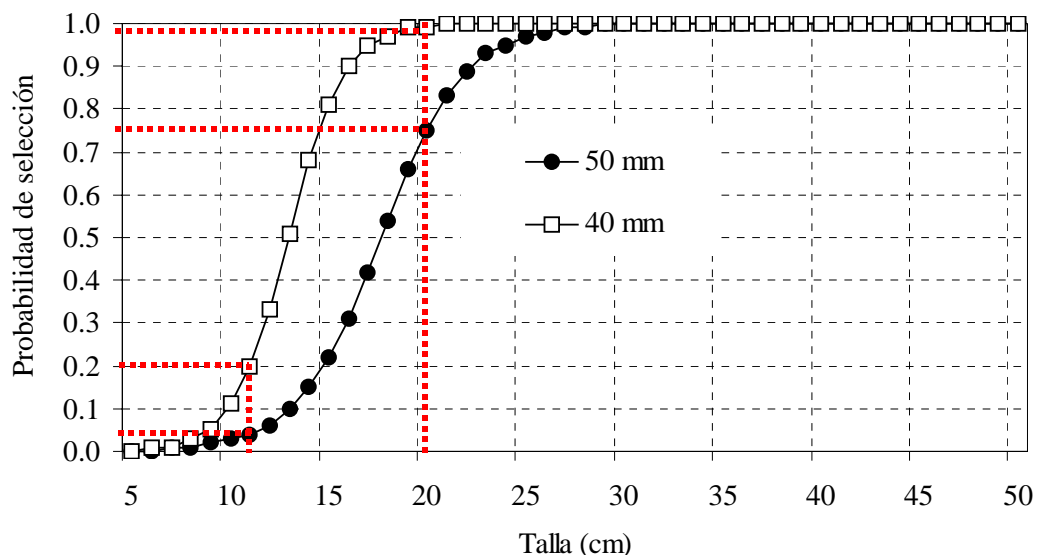


Figura 5.1. Curvas de selectividad para redes de arrastre aplicadas para la corrección de las distribuciones de tallas de *M. merluccius* de las capturas de la flota de arrastre español AE50 (40 y 50 mm de luz de malla). Datos tomados de Fiorentino *et al.* (1998).

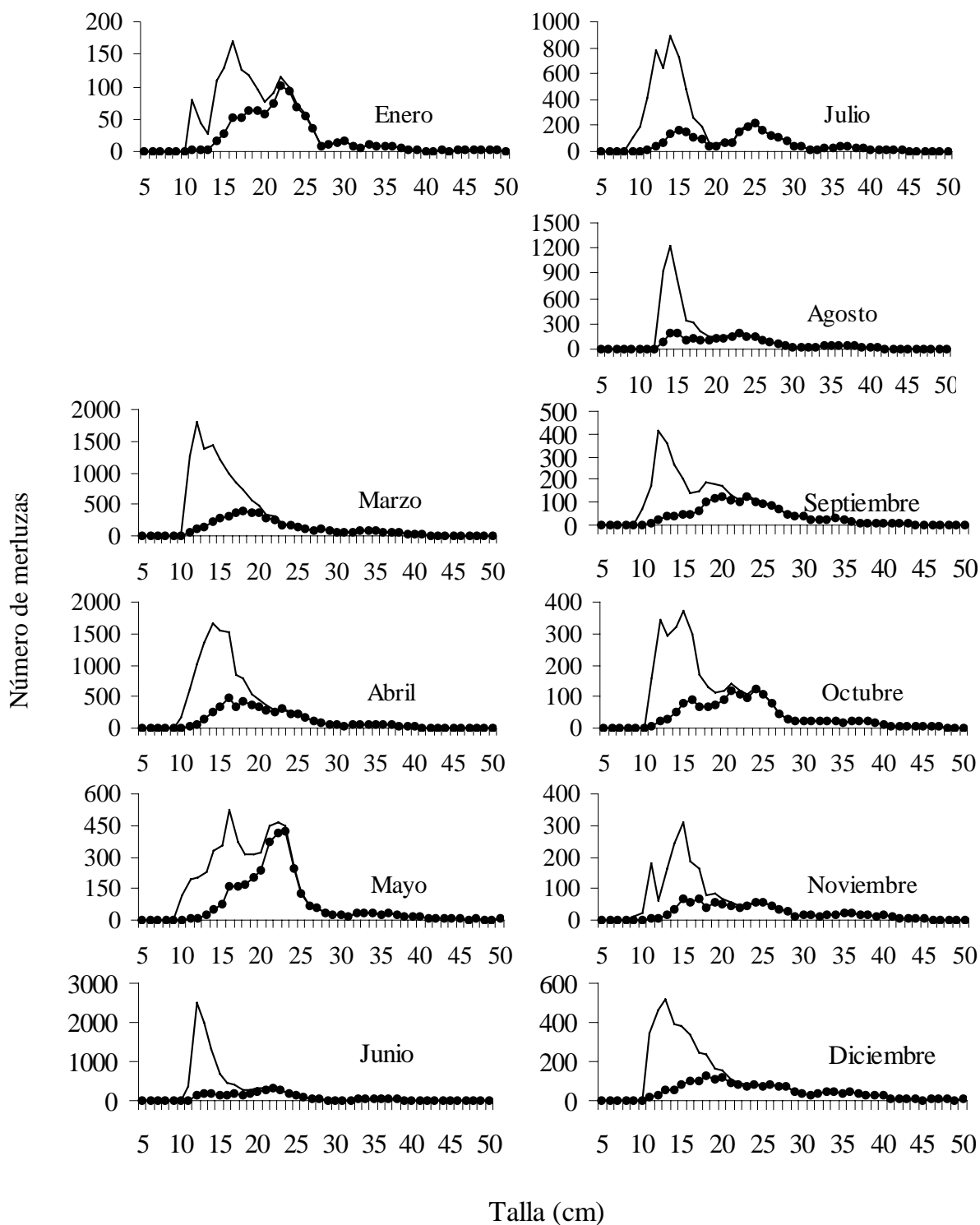


Figura 5.2. Distribuciones mensuales de talla originales (línea gruesa) y corregidas por selectividad del arte (línea delgada) de las capturas de *M. merluccius* descargadas en el Puerto de Málaga entre 1991 y 1999.

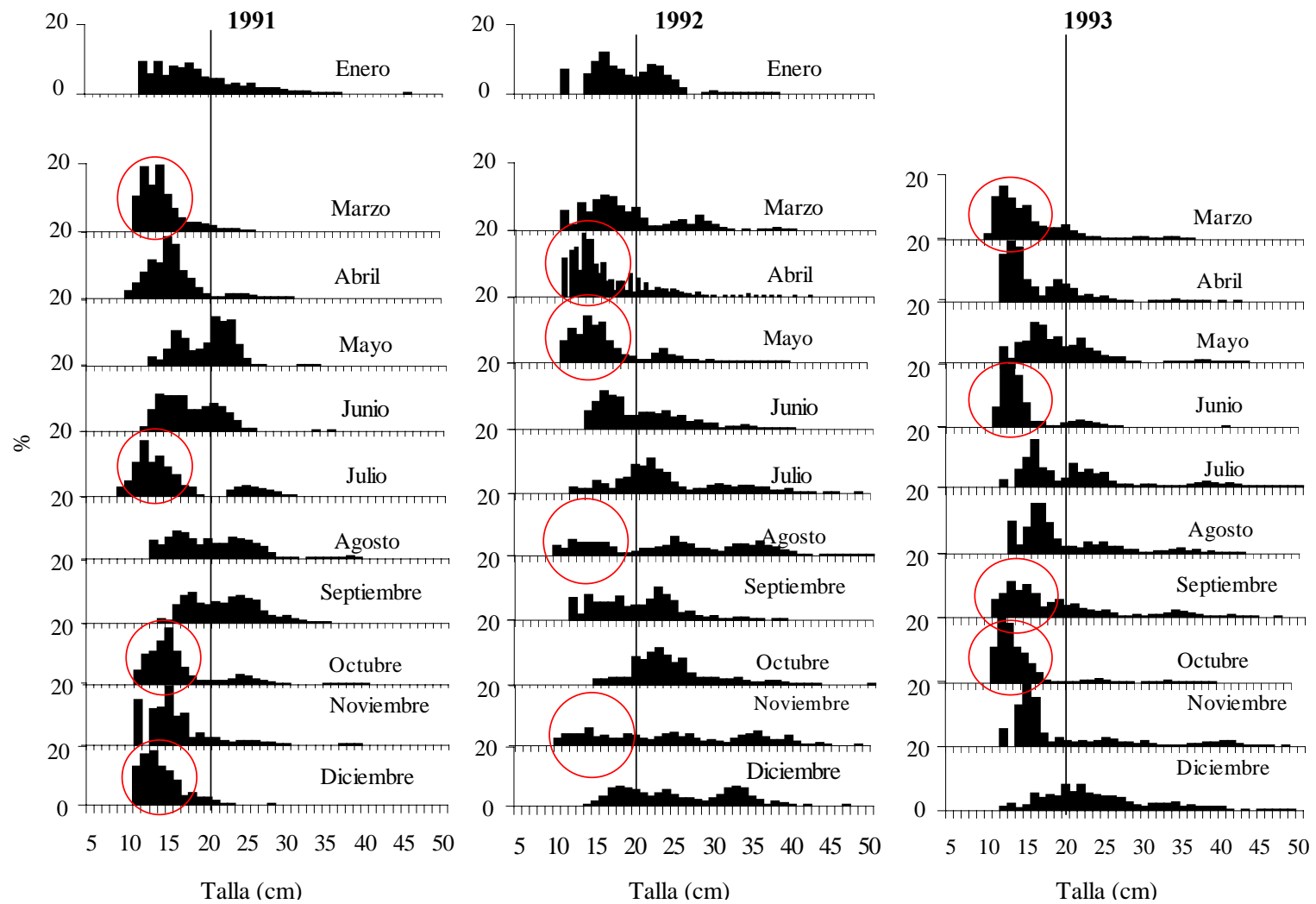


Figura. 5.3



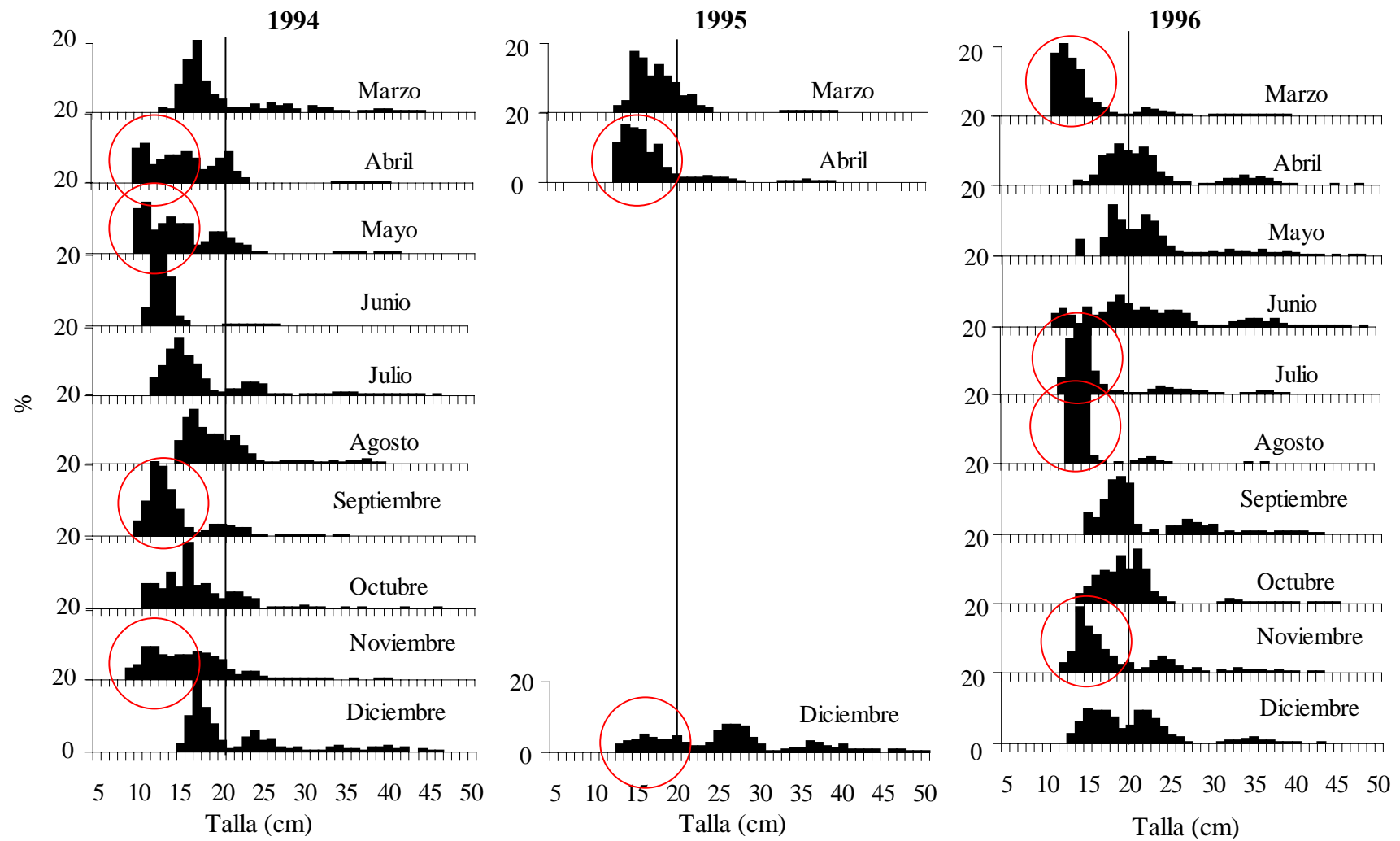


Figura 5.3 (continuación)

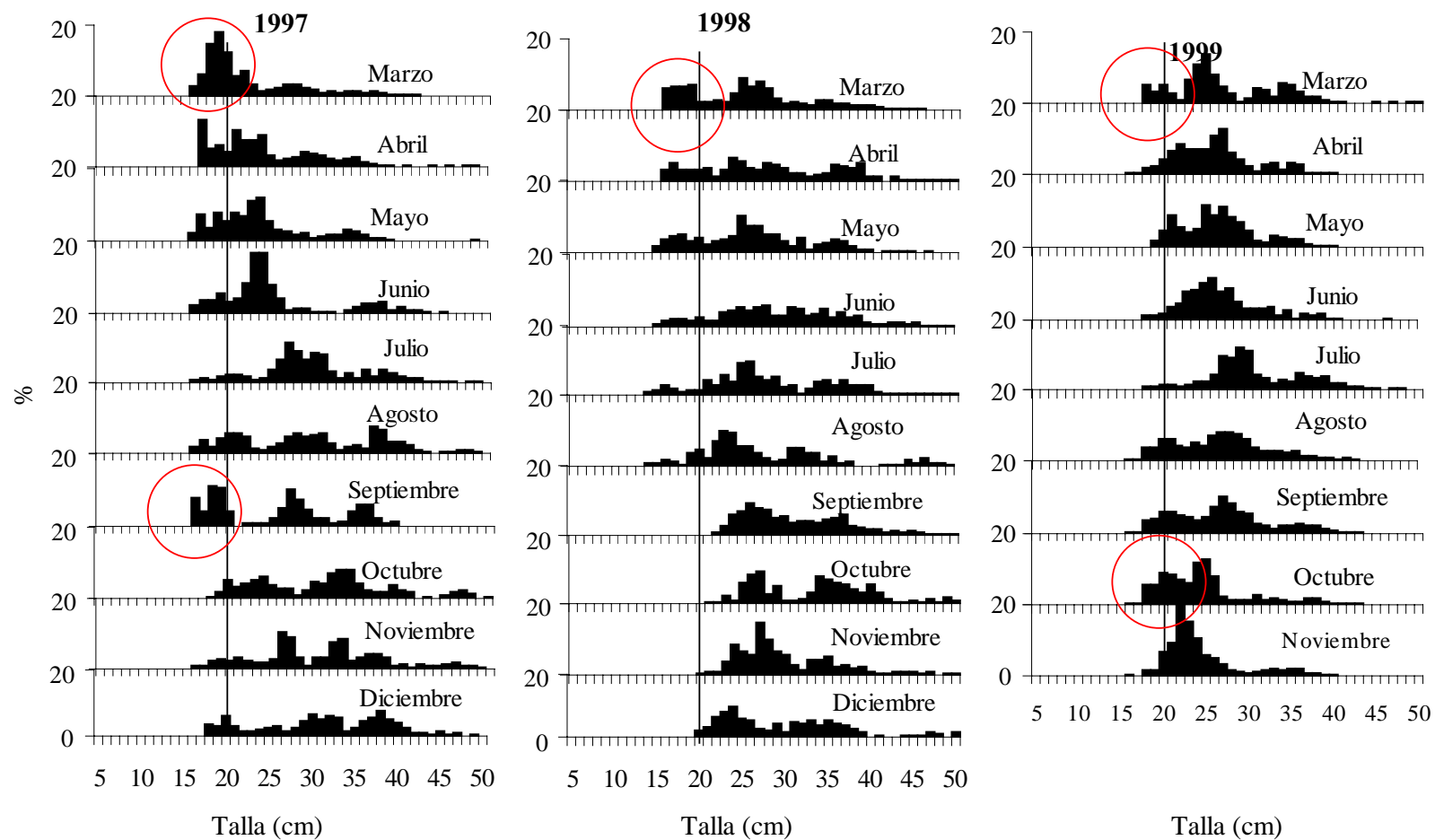


Figura 5.3. (continuación) Distribuciones mensuales de tallas corregidas (%) entre enero de 1991 y noviembre de 1999, utilizadas para fijar el límite superior (líneas verticales) de la talla los reclutas (<20 cm LT). Se señalan (círculos) las modas bien definidas (cohortes) de los reclutas a la pesquería.

El intervalo de las distribuciones de tallas corregidas fue de 10 a 50 cm LT y la moda mensual del primer grupo de tallas osciló entre 14 y 18 cm LT. El límite superior del primer grupo de talla que se reclutó a la pesquería, independientemente del número de modas encontradas en cada año, se fijó en 20 cm LT. Este será tratado en lo sucesivo como indicador del reclutamiento a la pesquería (Fig. 5.3). Esta consideración fue corroborada por los resultados de las campañas científicas marroquíes realizadas casi en su totalidad en la plataforma continental (El Ouairi, 1991; FAO, 2006b), cuyas distribuciones de talla presentaron modas que oscilaron entre 14 y 18 cm, con el límite superior de esa primera moda en 20 - 22 cm LT dependiendo de la estación de año (Fig. 5.4).

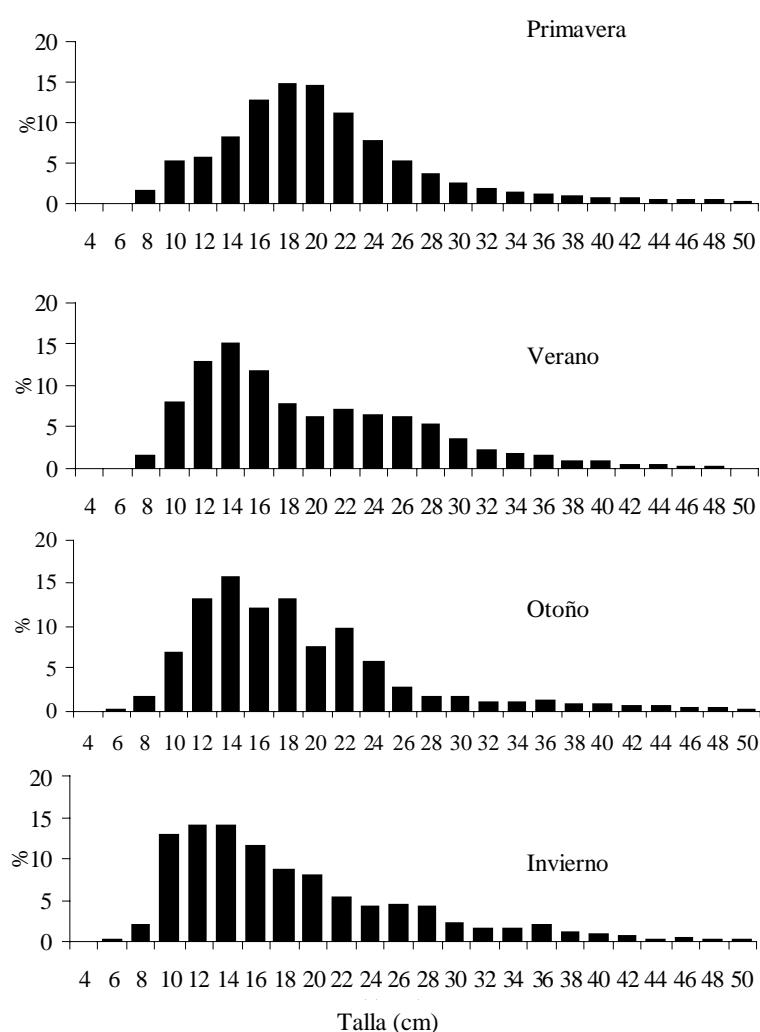


Figura 5.4 Distribuciones de tallas (%) de la merluza europea agrupadas estacionalmente. Datos de las campañas científicas marroquíes (INRH) realizadas a lo largo de la plataforma continental entre los 36°N y 30°N.

Los reclutas de *M. merluccius* se observaron a lo largo de todo el año, pero los máximos tuvieron lugar durante primavera-verano (Fig. 5.5a); sin embargo la componente estacional de la serie temporal fue débil (menor del 100% de la media anual de  $R'_i$ ). La tendencia de  $R'_i$  mostró un marcado descenso a partir de mediados de 1996 (Fig. 5.5b).

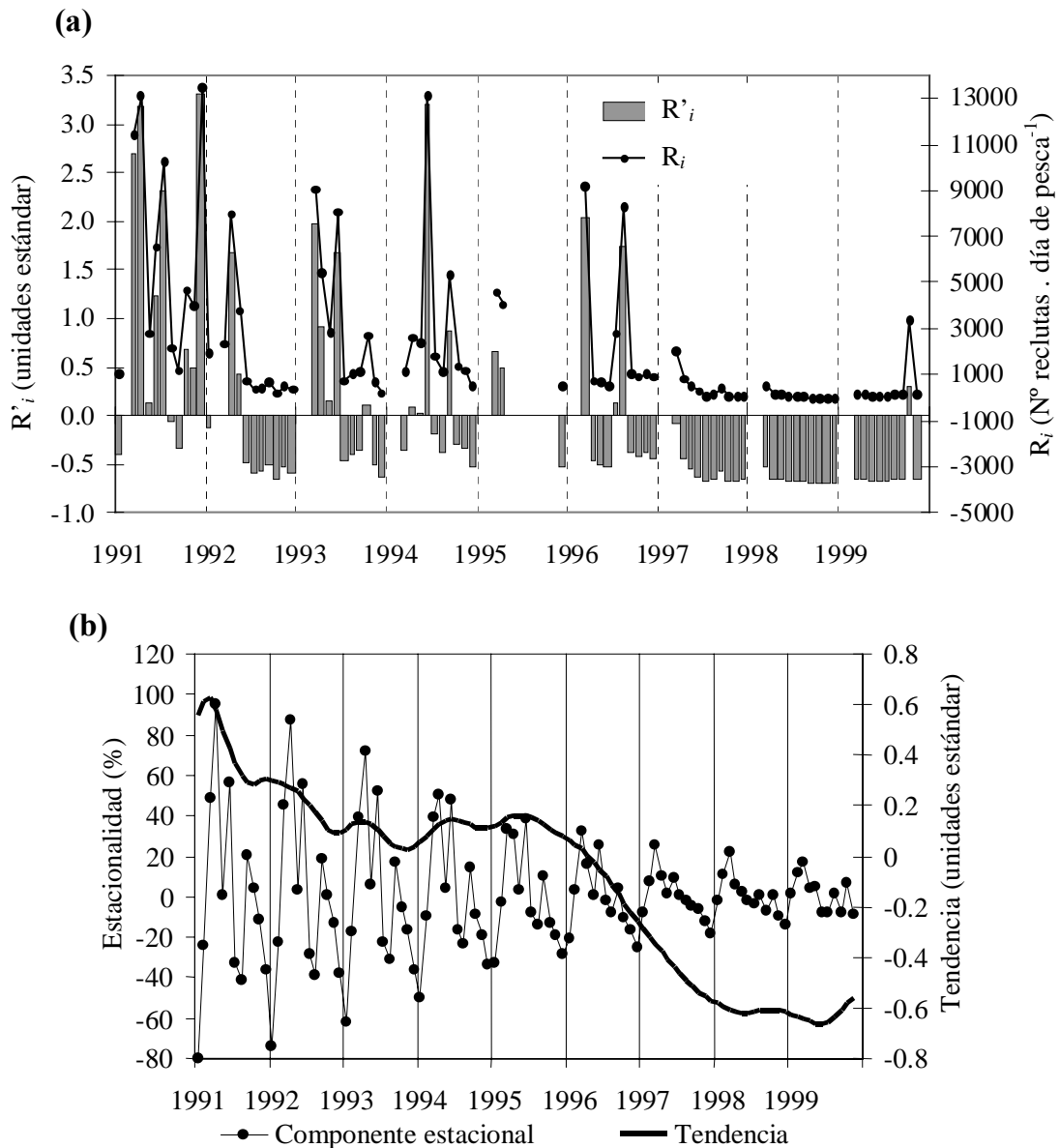


Figura 5.5. (a) Índice mensual de reclutamiento  $R_i$  (línea) e índice mensual del reclutamiento estandarizado  $R'_i$  (barras) de *M. merluccius* obtenidos a partir de los desembarcos del Puerto de Málaga entre enero de 1991 y noviembre de 1999. (b) Estacionalidad (%) por encima o por debajo de la media anual) y tendencia del índice mensual de reclutamiento estandarizado ( $R'_i$ ).

El índice de reclutamiento mensual ( $R_i$ ) agrupado anualmente y el número de nuevas modas de tallas (cohortes anuales) siguieron la misma tendencia. (Fig. 5.6a) a partir de 1996

Ambas series estuvieron en sincronía con el índice NAO del año anterior ( $t-1$ ) y presentaron una alta correlación lineal positiva ( $r = 0.91$ ;  $p = 0.0005$  y  $r = 0.85$ ;  $p = 0.0025$  respectivamente) (Fig. 5.6b), con lo cual la variabilidad del reclutamiento entre 1991 y 1999 sería explicada en un 82 % por la NAO del año previo. En el caso del número de cohortes por año la variabilidad explicada fue del 80%.

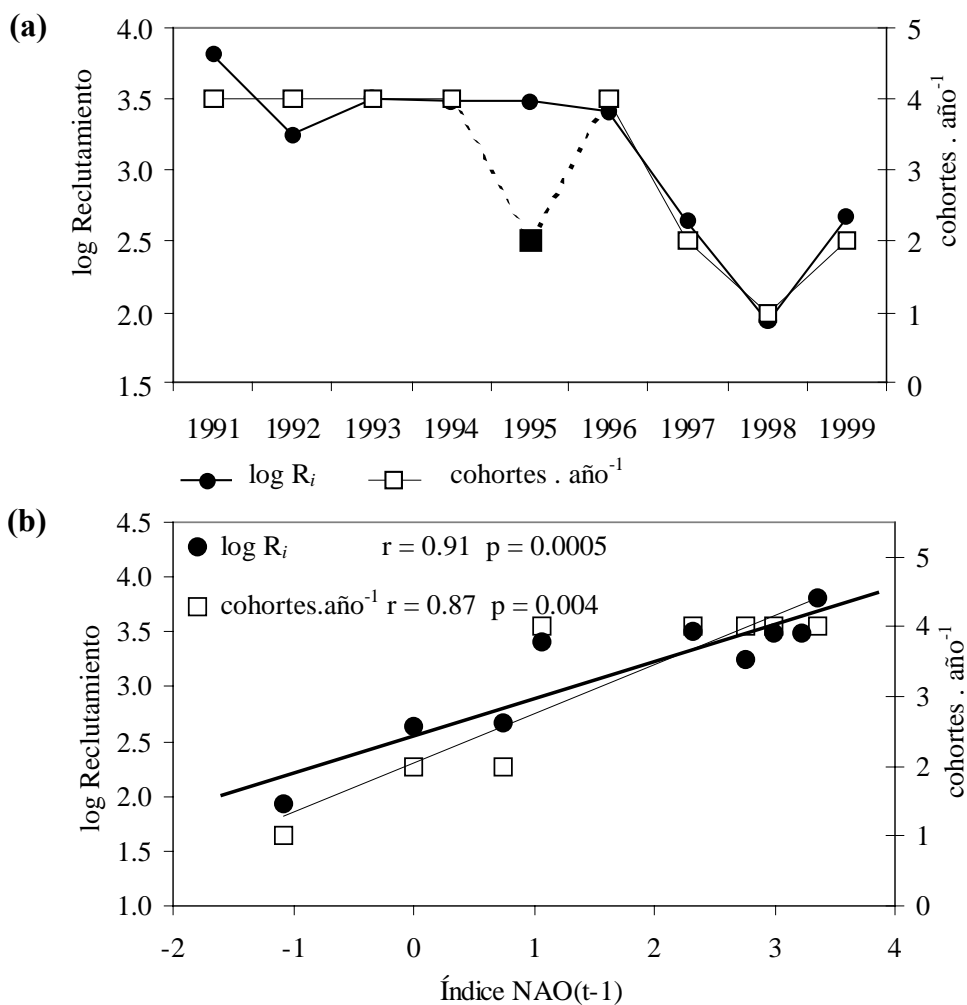


Figura 5.6. (a) Índice de reclutamiento mensual ( $R_i$ ) agrupado anualmente (logarítmico) y número de cohortes anuales incorporados a la pesquería de 1991 a 1999. En 1995 (en negro) solo hubo actividad pesquera durante tres meses. (b) Ajuste lineal entre el índice NAO( $t-1$ ), el log  $R_i$  anualizado y el número de cohortes anuales (1995 no fue tomado en cuenta para el ajuste).

Debido a que los índice de reclutamiento anuales  $R_t$  y el número anual de cohortes presentaron comportamientos proporcionales entre sí y ambas variaron en sincronía con el índice NAO, se consideró adecuado utilizar  $R_t$  como aproximación comparativa aceptable del éxito del reclutamiento aplicado a la serie anual completa (1982-1999) en relación con la variabilidad climática representada por el índice NAO.

En la figura 5.7a se aprecia gráficamente cómo durante los años ochenta se capturaron la mayor proporción de merluzas (~75 %) del total de la serie temporal. Esta situación reforzó la pertinencia de ponderar los valores de  $R_t$  de la serie extendida (1982-1999) mediante la extracción de la tendencia de  $I_T$  con la finalidad de reducir el error asociado a la disminución del número de merluzas capturadas durante la década de los 90.

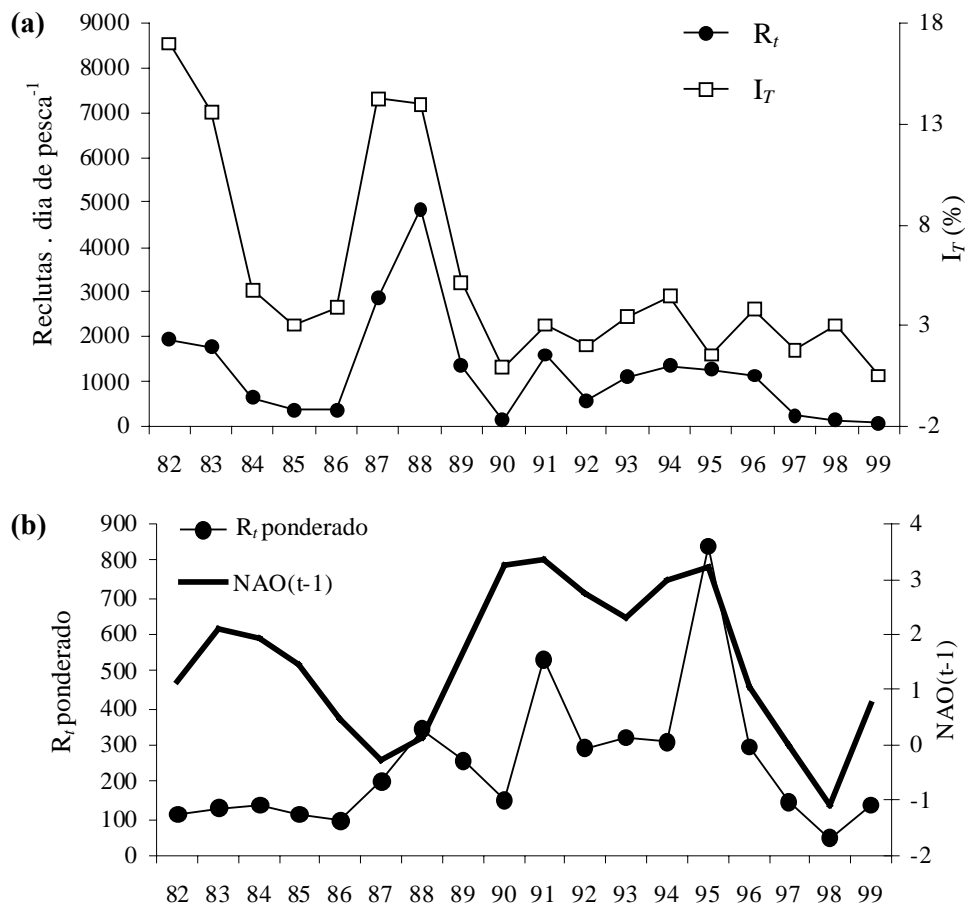


Figura 5.7. (a) Reclutamiento anual ( $R_t$ ) de la merluza europea derivado de las capturas totales de la flota de arrastre español AE50 y tendencia del porcentaje anual de merluzas ( $I_T$ ) respecto al total de individuos capturados entre 1982 y 1999. (b) Ajuste entre la serie temporal de  $R_t$  ponderada por la remoción de  $I_T$  y el índice  $NAO(t-1)$  entre 1982 y 1999.

Tal y como sucedió con las series de reclutamiento mensual y del número de cohortes anuales, los índices  $R_t$  ponderado mostraron variaciones interanuales en fase con el índice NAO(t-1) (Fig. 5.7b), así como una correlación positiva de sus residuos ( $r = 0.59$ ;  $p = 0.0095$ ), lo que significa que el índice NAO(t-1) explicaría el 35% de la variabilidad del reclutamiento entre 1982 y 1999 (Fig. 5.8).

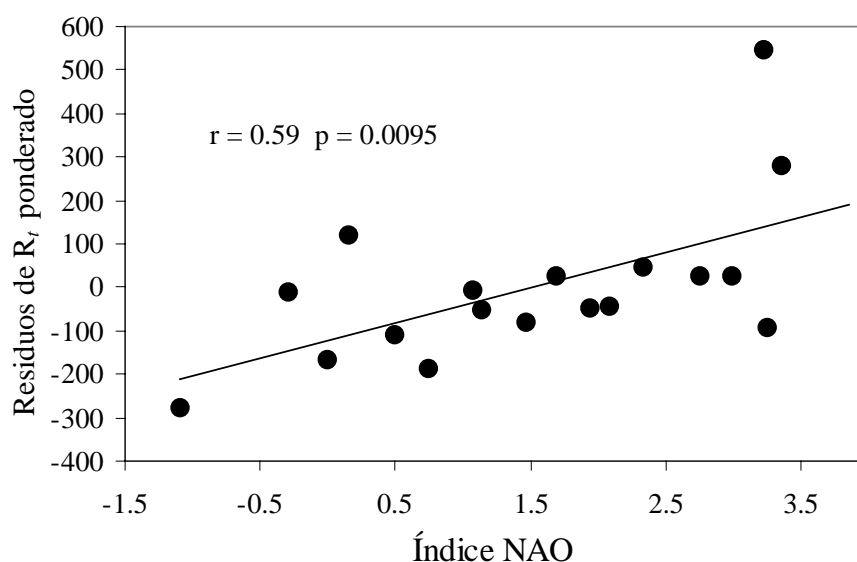


Figura 5.8. Ajuste lineal entre los residuos de la regresión del reclutamiento anual ( $R_t$ ) y el índice NAO(t-1).

### Datos marroquíes

El intervalo de las distribuciones de tallas anuales correspondientes a la pesquería de arrastre costero marroquí fue de 10 a 40 cm, con una moda claramente sesgada hacia las tallas menores (16–18 cm), entre 1988 y 1997, y hacia tallas intermedias (24–28 cm), entre 1998 y 2002 (Fig. 5.9).

El índice  $R_{FMarr}$  (logarítmico) mostró una tendencia estable entre 1988 y 1996; sin embargo a partir de 1997 y, especialmente durante 1998–2000, se observó un fuerte descenso del reclutamiento, que mostró síntomas de mejoría en 2001 y 2002 (Fig. 5.10a).

Entre 1982 y 2002, las variaciones temporales de la serie de  $R_{FMarr}$  estuvieron en sincronía y positivamente correlacionadas con el índice NAO(t-1) ( $r = 0.57$ ;  $F_{1,13} = 6.4689$ ;  $p = 0.0244$ ). La correlación era máxima, si el reclutamiento del año 2000 es considerado como un dato anómalo “outlier” ( $r = 0.71$ ;  $F_{1,12} = 12.2258$ ;  $p = 0.0044$ ) (Fig. 5.10b), de tal forma, que la variabilidad del reclutamiento era explicada en un 33% y 50% por la NAO del año previo respectivamente.

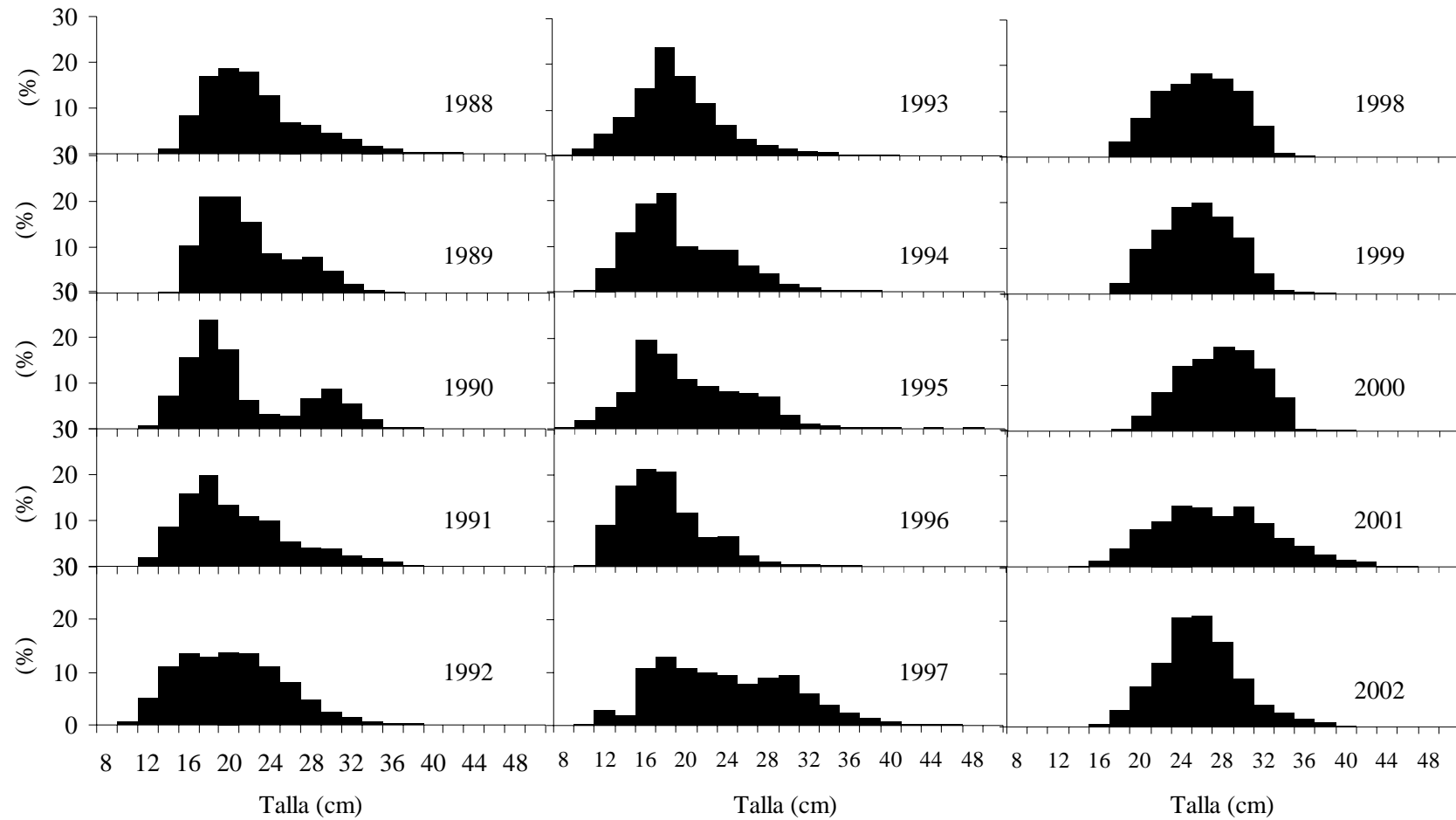


Figura 5.9. Distribución anual de tallas (%) de las capturas de merluza europea de la flota costera marroquí **FMarr** entre 1988 y 2002.



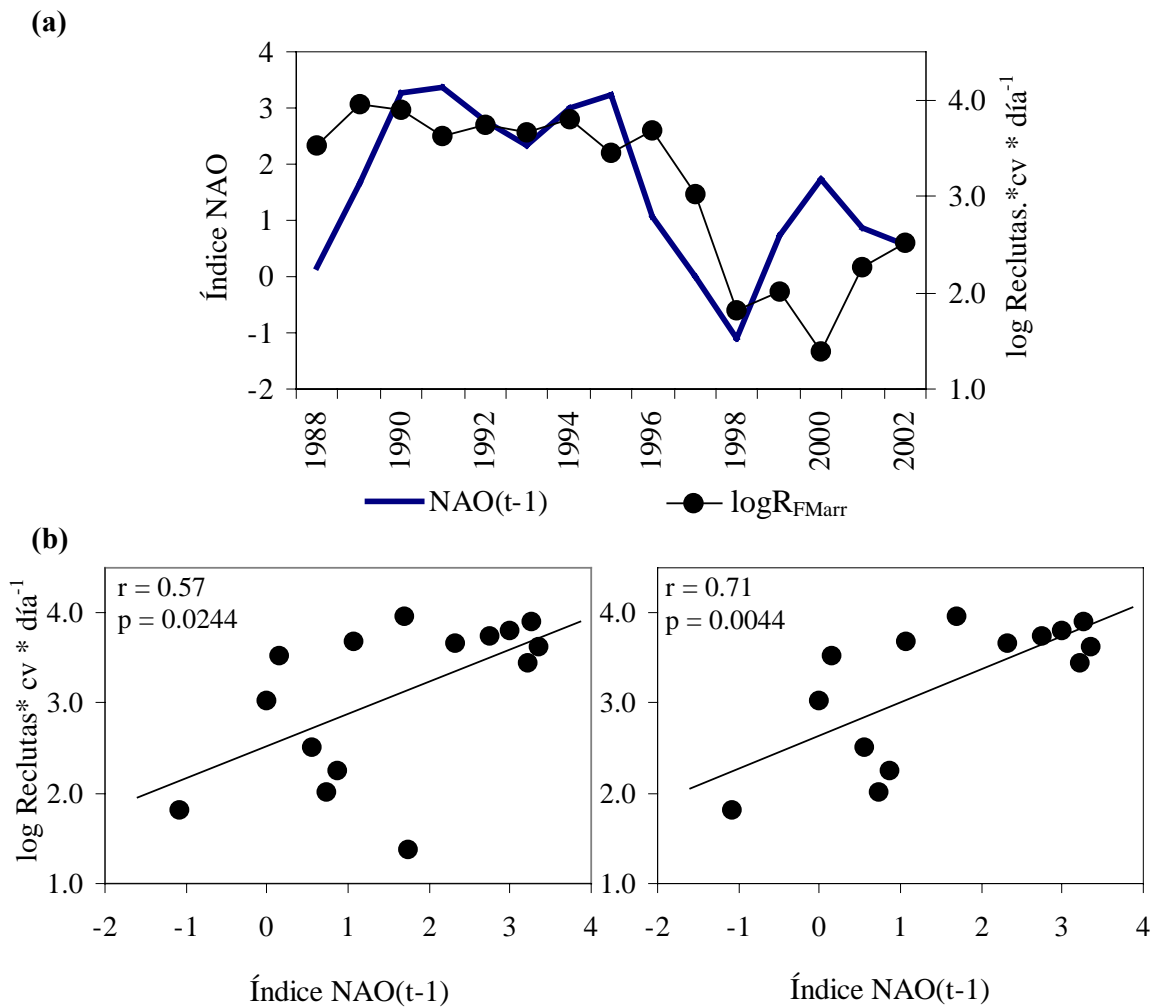


Figura 5.10. (a) Coincidencia entre la abundancia anual de reclutas (logarítmica) de *M. merluccius* (<20 mm LT) estimados de las capturas de la FMarr y el índice NAO(t-1) entre 1988 y 2003. (b) Ajuste lineal entre el log Reclutas FMarr y el índice NAO(t-1) entre 1988 y 2003 (izquierda) y durante el mismo período pero exceptuando el año 2000 (derecha).

De la misma forma que en los casos anteriores, la abundancia de juveniles de merluza europea en las campañas científicas marroquíes mostró una sincronía evidente con las variaciones de la NAO(t-1) (Fig. 5.11) y una correlación positiva para la serie completa (1982-2004) ( $r = 0.49$ ;  $p = 0.01537$ ), y algo más elevado a partir de 1992 ( $r = 0.63$ ;  $p = 0.01169$ ). Esto explicó el 24% y 40 % de la variabilidad de la abundancia de juveniles de esta serie debida a la NAO(t-1), aun después del cese de los acuerdos de pesca entre Marruecos y España (UE).

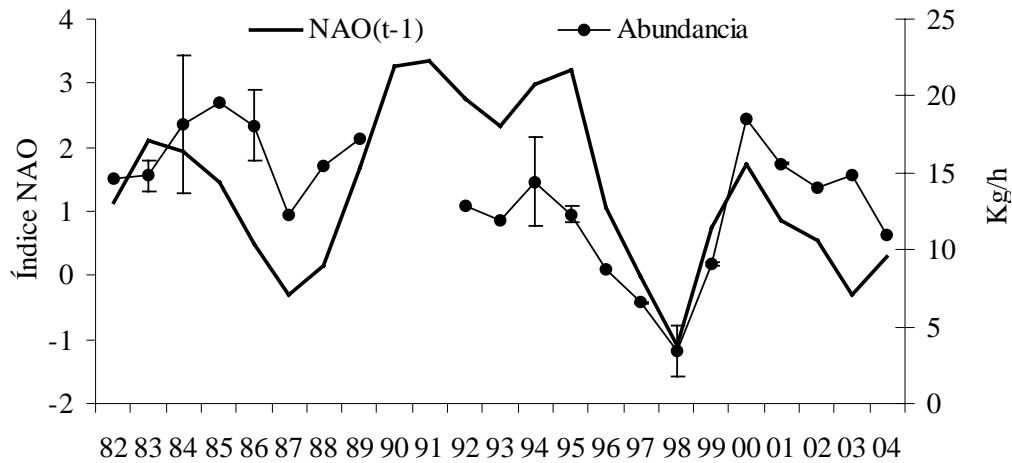


Figura 5.11. Ajuste entre la abundancia de juveniles (kg/h  $\pm$  DE) de *M. merluccius* y el índice NAO(t-1). Los datos de abundancia provienen de las campañas científicas marroquíes entre 1982 y 2004. No hubo campañas en 1990 y 1991.

Sin embargo, el mejor ajuste de la relación NAO(t-1) vs. abundancia de juveniles, fue del tipo polinomial de segundo orden en ambos segmentos de la serie temporal. De tal forma que la variabilidad de la abundancia de juveniles *M. merluccius* fue explicada por el índice NAO(t-1) en un 49%, entre 1982 y 2004 (3) ( $r = 0.70$ ;  $F_{2,18} = 9.3290$ ;  $p = 0.0016$ ) y en 54%, entre 1992 y 2004 (4) ( $r = 0.73$ ;  $F_{2,10} = 6.1620$ ;  $p = 0.01803$ ) (Fig.5.12).

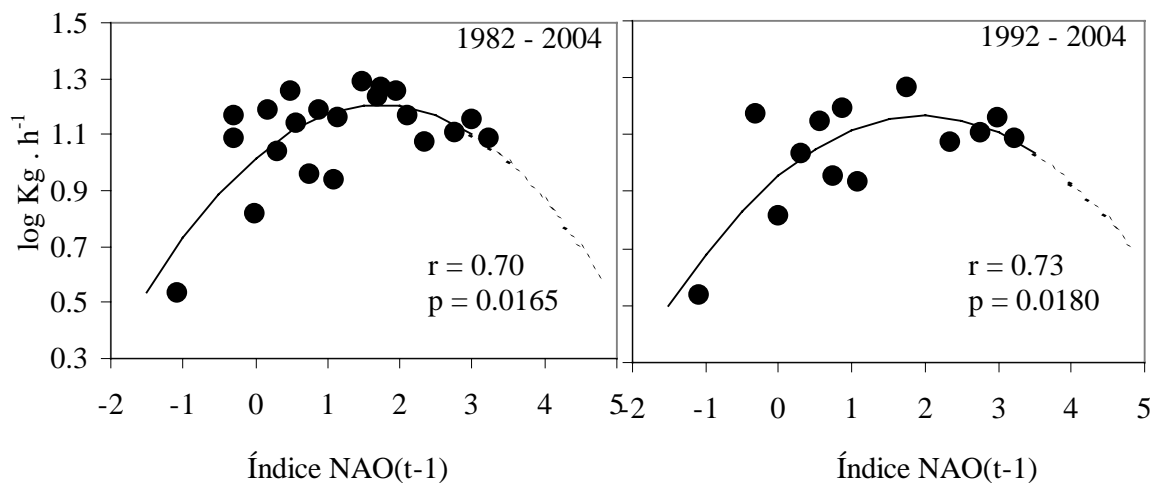


Figura 5.12. Ajuste polinomial de segundo orden entre la abundancia (logarítmico) de *M. merluccius* estimada en las campañas marroquíes y el índice NAO(t-1) entre 1982-2004 (izquierda) y 1992-2004 (derecha). La línea punteada representa el pronóstico de las funciones de ajuste.

$$(3) \quad \log \text{ kg/h} = -0.0654*(\text{NAO}_{(t-1)})^2 + 0.2239*(\text{NAO}_{(t-1)}) + 1.0175$$

$$(4) \quad \log \text{ kg/h} = -0.056*(\text{NAO}_{(t-1)})^2 + 0.2188*(\text{NAO}_{(t-1)}) + 0.9588$$

## DISCUSIÓN

El planteamiento y la utilización de la hipótesis climática como proceso que controla en buena medida los cambios experimentados por los stocks de peces es, en términos generales, la más sencilla y al mismo tiempo la más atractiva. Sencilla, porque se asume que las poblaciones marinas responden a cambios en el entorno ambiental, especialmente en sus etapas de desarrollo temprano (por ejemplo el reclutamiento), y que esta respuesta es en cierta forma proporcional a los cambios ambientales. Atractiva, porque es una hipótesis que puede ser probada retrospectivamente en series históricas, a la vez que nos provee de herramientas metodológicas para la comprensión de las variaciones de los stocks en una escala temporal amplia, una vez que la relación con los factores ambientales ha sido cuantificada.

Este parece ser el caso de la variabilidad interanual en el éxito del reclutamiento de *M. merluccius* en la costa Noroccidental Africana. En este capítulo se determinó la existencia de dos hechos relevantes y complementarios entre sí que apoyan la importancia de la hipótesis climática. Por un lado, los índices de reclutamiento derivados de los datos pesqueros mostraron una sincronía positiva con la NAO del año previo, con un porcentaje significativo de explicación de la variabilidad anual del reclutamiento. Y esto fue cierto tanto para el que se calculó en base a las series mensuales detalladas entre 1991 y 1999 (82%), como para el reclutamiento extendido a toda la serie, desde 1982 a 1999 (35%). Por otro lado, la sincronía y correlación positiva entre la NAO y la abundancia de juveniles obtenida en campañas científicas, independientes de la dinámica operacional de la flota pesquera, persistió hasta 2004, aunque con diferencias en el porcentaje de explicación dependiendo de la longitud de la serie.

Al margen de la diferencia de los porcentajes de explicación debidos a la NAO entre las diferentes series reclutamiento, la convergencia de estos dos resultados evidencia que la señal climática sobre la variabilidad del reclutamiento de *M. merluccius* es robusta, recurrente y sobre todo persistente, y que es independiente del nivel del esfuerzo pesquero. En el caso que nos ocupa, hay que tener en cuenta que en 1999, como consecuencia del cese de los acuerdos de pesca UE-Marruecos, el nivel de esfuerzo bajó bruscamente, con la salida del grueso de las flotas que faenaban en el caladero (Ramos *et al.*, 2000).

Las diferencias temporales de los valores de correlación entre el reclutamiento y la NAO dentro de una misma serie, también han sido reportadas para otras especies de peces demersales como *Gadus morhua*, *Melanogrammus aeglefinus* (Solow, 2002); y *Limanda ferruginea* (Sullivan *et al.*, 2005) y podrían ser el reflejo de las interacciones del clima con variables no consideradas en los análisis.

En el caso de las series de reclutamiento de *M. merluccius* en la costa Noroccidental Africana presentadas en este capítulo, además de otras posibles interacciones no contempladas, las diferencias de correlación con el índice NAO podría estar relacionadas con el origen, precisión y cobertura temporal de los datos, así como con los procedimientos numéricos utilizados para aislar la señal climática en cada serie. Por ejemplo, se asumió  $R_p't$  como representativa para el análisis anual extendido, asumiendo la proporcionalidad entre  $R't$  y  $PR_t$ , ambas provenientes de la serie detallada mensual del Puerto de Málaga; pero la serie temporal de  $R_p't$  fue construida con datos anuales en los que la variabilidad mensual no estuvo representada consistentemente.

No obstante, la baja estacionalidad del reclutamiento a la pesquería permitió que esta premisa fuera considerada como válida para detectar tendencias robustas. Estas tendencias también coincidieron con las descritas por las serie temporales marroquíes, procedentes tanto de la pesquería (FMarr) como de las campañas científicas marroquíes, datos independientes de la dinámica de la flota.

La debilidad de la componente estacional del reclutamiento de *M. merluccius*, también observada en el stock del Mediterráneo Occidental (Lloret & Lleonart, 2002), es un indicativo de la plasticidad y del potencial de adaptación que *M. merluccius* posee para aprovechar cualquier ampliación de la ventana ambiental. Esta característica ofrece mayores posibilidades de aumentar la supervivencia durante las etapas de desarrollo temprano, lo que se traduciría en el aumento anual de la señal de reclutamiento gracias a la incorporación de varias cohortes a la pesquería: cuatro cohortes anuales durante fases de NAO+, en contraste con años de NAO-, en que solo se incorporarían una o dos cohortes (Fig. 3.3).

Por lo tanto, podemos concluir que en la costa Noroccidental Africana, la ampliación de la VR de *M. merluccius* está relacionada positiva y proporcionalmente con la amplitud de la NAO a través de la modificación de la temporalidad de los afloramientos inducidos por el viento (ver capítulo anterior), razón por la cual la variabilidad de la NAO tiene una expresión directa en la serie de reclutamiento.

El concepto de VR fue originalmente estudiado en especies de peces pelágicos en áreas de afloramiento, definiéndose como “Ventana Ambiental Óptima” de reclutamiento (*Optimal Environmental Window* OEW: Cury & Roy, 1989) (Fig. 5.13). El concepto ha sido útil para explicar las variaciones del reclutamiento de pelágicos menores en función de la productividad primaria y de la retención – dispersión de sus huevos y larvas debida a la intensidad de los afloramientos, al transporte de Ekman y a la turbulencia en capas superficiales (ver Roy *et al.*, 1995; Alheit & Hagen, 1997; Waldron *et al.*, 1997; Giron *et al.*, 1997; Serra *et al.*, 1998; Jai Shin *et al.*, 1998; Daskalov, 1999; Guisande *et al.*, 2001; 2004; Parsons & Lear, 2001; Attrill & Power, 2002).

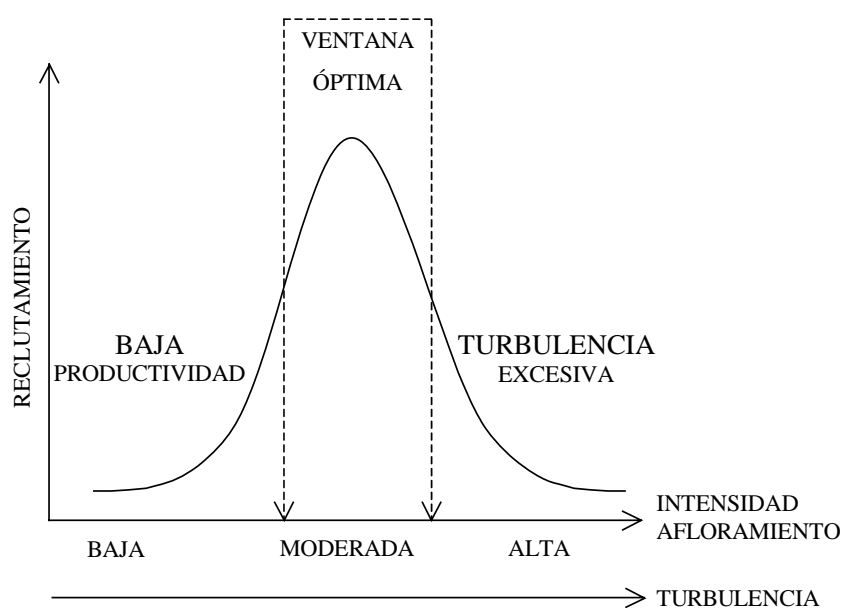


Figura 5.13. Esquema de la hipótesis de “Ventana Óptima Ambiental” de reclutamiento (OEW en inglés) propuesta por Cury & Roy (1989) para pequeños pelágicos dependientes de sistemas de afloramiento. El reclutamiento es afectado negativamente por la baja productividad durante eventos débiles de afloramiento y por eventos extremos que incrementan la turbulencia y la dispersión de huevos y larvas alejándolos de zonas propicias para su desarrollo.

Debido a las similitudes de comportamiento de las larvas y juveniles de merluza durante su fase pelágica y de los pequeños pelágicos como sardina, anchoa y arenque, se ha propuesto que su éxito de reclutamiento puede estar supeditado, como en estas especies a una OEW de turbulencia, e. g. *Merluccius gayi gayi* (Payá 2002).

En el caso del África Noroccidental, la relación entre la amplitud de la ventana ambiental inducida por la NAO y el éxito del reclutamiento estimado a partir de datos pesqueros (AE50 y FMarr) fue lineal: cuanto mayor es el índice NAO, más intenso es el éxito de reclutamiento de *M. merluccius* al año siguiente. Sin embargo la relación con los datos de las campañas de evaluación marroquíes fue cuadrática (Fig. 5.14), en consonancia con la idea básica de OEW, con un óptimo de reclutamiento entre valores de 1.0 y 2.5 del índice NAO (suavizado por medias móviles).

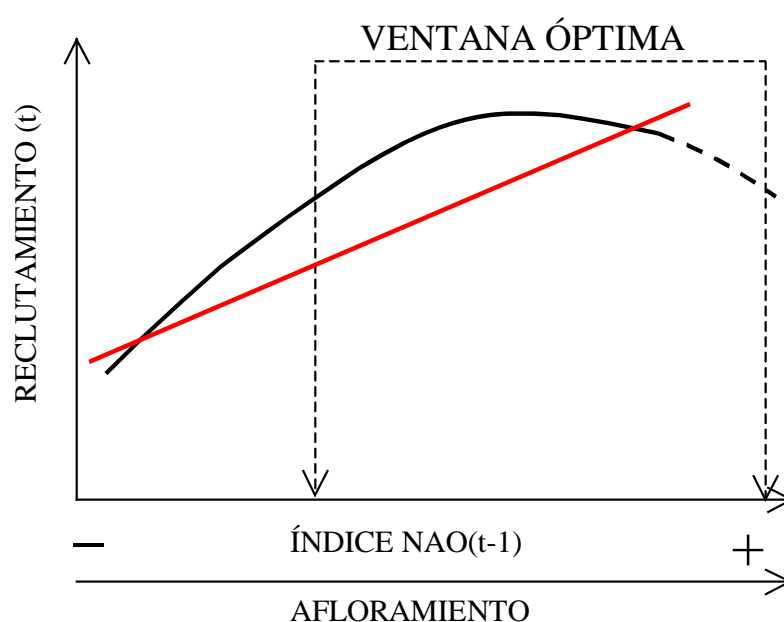


Figura 5.14. Relaciones observadas en África Noroccidental entre el éxito de reclutamiento de *M. merluccius* y la NAO. De tipo cuadrática (línea negra) para estimaciones de campañas científicas, y lineal (línea roja), para datos pesqueros. Los reclutas de merluza poseen una Ventana de Reclutamiento más amplia que los pequeños pelágicos, porque son más resistentes a turbulencia extrema durante temporadas de afloramiento intenso.

Estos resultados no son contradictorios en absoluto, al contrario pueden ser considerados como complementarios. En ambos casos el sentido de la relación es proporcional y consistente en el tiempo. La diferencia estriba en que los datos de las campañas científicas describieron mejor los cambios de abundancia de los reclutas, porque fueron muestreos dirigidos específicamente al segmento juvenil del stock, con medición fina de la abundancia (kg/h) y con una cobertura espacial más adecuada debido a un diseño de muestreo específico.

El pronóstico de la relación cuadrática sugiere que por encima de un índice NAO de 3.75 el reclutamiento disminuiría a niveles comparables a lo mostrados con un índice

de 0.0 a -0.05. Sin embargo, desde el año 1900 hasta la fecha, estos niveles del índice NAO solo han sido alcanzados durante 1989, 1990 y 1993 (ver Fig.3.3 Capítulo 3). Por lo tanto la consideración lineal de la apertura de la VR de *M. merluccius* en la costa Noroccidental Africana, basada en los datos pesqueros es aceptable.

La relación cuadrática también muestra que, en todo caso, la ventana favorable es bastante amplia, entre 0.0 y 3.0 del índice NAO, y de ninguna forma parece ser tan restrictiva como lo es en el caso de los pelágicos menores.

La merluza europea realiza la puesta entre los 100 y 200 m de profundidad (Maurin, 1954; Wheeler, 1969; Alvarez *et al.*, 2004), a diferencia de los pequeños pelágicos que la realizan en superficie. Adicionalmente hay evidencias de que tanto las larvas de *M. merluccius* (Alvarez *et al.*, 2001), como de otras especies de merluza importantes comercialmente como *M. productus* (Bailey, 1981) y *M. capensis* (Sundby *et al.*, 2001) realizan movimientos activos hacia la costa desde las áreas de puesta.

Estos movimientos no los efectúan a contracorriente, sino en sentido vertical para acceder a la corriente de compensación del afloramiento, que fluye subsuperficialmente en sentido inverso al transporte de Ekman, y así consiguen mantenerse cíclicamente en áreas propicias para la alimentación y el crecimiento (Sundby *et al.*, 2001).

Este es un mecanismo que limitaría las consecuencias negativas de la pérdida de larvas de merluza por dispersión hacia mar adentro en ecosistemas de afloramiento y que podría contribuir a su concentración en las áreas costeras, en lugar de incrementar la dispersión hacia mar adentro cuando los afloramientos costeros son particularmente intensos (Sundby *et al.*, 2001).

Es decir, las larvas y juveniles de merluza pueden posicionarse activamente frente a condiciones de excesiva turbulencia y dispersión por transporte de Ekman, o por lo menos son más resistentes a escenarios extremos, por lo que es poco probable que la turbulencia superficial generada por los afloramientos inducidos por viento sea un factor limitante sustancial de la VR de *M. merluccius*, como lo es para los pequeños pelágicos.

Los procesos clave que vinculan la variabilidad climática inducida por la NAO con sus repercusiones y contribuciones relativas sobre el reclutamiento de *M. merluccius* son de diferente naturaleza dependiendo de la región de estudio. En el Mediterráneo occidental la variabilidad del reclutamiento de *M. merluccius* se ha asociado con las variaciones de los flujos de los ríos Ebro y Ródano (Lloret *et al.*, 2001), inversamente

relacionados con la NAO. En el Cantábrico, la dinámica del reclutamiento de *M. merluccius* está controlada por la variabilidad de los afloramientos y estructuras de mesoescala a pequeña escala y las variaciones de largo período por una componente climática decadal (Sánchez & Gil, 2000; Sánchez *et al.*, 2002), previsiblemente la NAO (Lavín *et al.*, 2000).

Sin embargo, a pesar de la diferente naturaleza de estos procesos clave, existe un denominador común entre ellos, ya sea en el Mediterráneo occidental, en el Cantábrico o en la costa Noroccidental Africana: todos son mecanismos locales y regionales que controlan los escenarios de cambio en la productividad marina. Ello reforzaría la idea de que la VR de *M. merluccius* se amplía mediante la maximización de la supervivencia de reclutas debido a la prevalencia de condiciones ambientales favorables.

En la costa Noroccidental Africana, los afloramientos inducidos por viento son el rasgo oceanográfico más importante y persistente en el tiempo (Schemainda *et al.*, 1975; Wooster *et al.*, 1976; Speth *et al.*, 1978; Belvèze, 1983; van Camp *et al.*, 1991), son responsables directos de la productividad y capacidad de carga del sistema (Davenport *et al.*, 1999; Basterretxea & Arístegui, 2000; Fung *et al.*, 2000; Nave *et al.*, 2001; Freudenthal *et al.*, 2002; Neuer *et al.*, 2002; Abrantes *et al.*, 2002) y su intensidad y temporalidad están afectadas por las variaciones de las condiciones de viento debidas a la alternancia de fase de la NAO (ver capítulo anterior).

Lo expuesto anteriormente explicaría la correlación existente en esta área geográfica entre el índice NAO y las variaciones en el éxito del reclutamiento, al tiempo que conferiría a éste la propiedad de ser un indicador y una herramienta de predicción simplificada, espacial y temporal, no solamente del clima y los rasgos oceanográficos, sino también del sentido y magnitud del impacto ecológico en el stock de *M. merluccius* a través de su reclutamiento.

Esta propiedad de indicador simplificado del índice NAO es muy importante en términos ecológicos porque, aun en ausencia de datos sobre la distribución y abundancia de huevos y larvas de *M. merluccius* en la costa Noroccidental Africana (Ramos & Fernández, 1995), a través de él podemos aproximar el resultado de la suma de procesos no evaluados hasta la fecha, desde la puesta hasta el reclutamiento, alrededor de un año después.

El tiempo de desfase de un año entre la señal de la NAO y el éxito de reclutamiento, se debe a que los reclutas (14 a 18 cm LT, hasta 20 cm como máximo) pertenecen al grupo de edad de un año aproximadamente. Esta afirmación se sustenta en parte en



los estudios de crecimiento realizados hasta 1990 en la costa Noroccidental Africana, que sitúa a las merluzas de este grupo de edad entre 12.8 y 16 cm de media, dependiendo del autor y la técnica de cálculo (ver revisión en Ramos & Fernández, 1995). El sustento es parcial, porque hasta la fecha no existe acuerdo general acerca de las claves talla edad de *M. merluccius* en sus distintas áreas de distribución.

Estudios posteriores realizados en el Mediterráneo occidental en base a la lectura de anillos diarios de crecimiento en otolitos de *M. merluccius*, sitúan entre 15 y 17 cm la media del grupo de edad de un año (Albert & Morales-Nin, 1992), mientras que estudios más recientes de marcado y recaptura en el Golfo de Vizcaya, sugieren que el crecimiento puede ser mucho más rápido (casi el doble) de lo que se había calculado a través de lectura de otolitos. No obstante, las divergencias entre la curva de crecimiento obtenidas a partir de la lectura de otolitos y la estimada por captura y recaptura, se hacen patentes después del primer año de vida (Bertignac, 2004); con lo cual, guardando las diferencias latitudinales que puedan existir entre los stocks, la consideración de que los reclutas analizados en este capítulo pertenecen al grupo de edad de un año es válida.

En este capítulo se han presentado y discutido los resultados acerca de la importancia de la NAO sobre la dinámica del éxito del reclutamiento de *M. merluccius* y los mecanismos intermedios que los vinculan. Sin embargo, es lógico suponer que la parte de la variabilidad del reclutamiento de *M. merluccius* no explicada por la NAO, pueda estar relacionada con la dinámica del esfuerzo de pesca ejercido sobre el stock, así como con las interacciones entre ambas fuentes de variación.

Adicionalmente, también es lógico pensar que los efectos de la NAO se mantengan sobre las cohortes una vez reclutadas a la pesquería, lo cual añadiría un escalón de complejidad al proceso conforme se extendiera el período de vida de la merluza. Esto es, la abundancia de reclutas en el año  $t$  está determinada en buena medida por el índice NAO del año anterior ( $t-1$ ), pero una vez reclutados estos reclutas estarán bajo influencia de la NAO del año en curso ( $t$ ), que puede repercutir en la velocidad de su crecimiento y factor de condición, lo que determinaría en buena medida, sino forzosamente el número, sí la "calidad" de los adultos que serán los reproductores previsiblemente durante los siguientes años ( $t+n$ ).

Por todo lo expuesto anteriormente, se hace necesario profundizar en los posibles efectos que la NAO puede ejercer después del reclutamiento a la pesquería, incluyendo la contribución relativa y la interacción de la variabilidad del stock parental, en una herramienta de evaluación adecuada.

## **CAPÍTULO 6**

---

**Parametrización ambiental de la relación stock-reclutamiento de la merluza europea (*Merluccius merluccius* L.) de la costa Noroccidental Africana.**



## INTRODUCCIÓN

Una parte importante de la evaluación y gestión de los recursos pesqueros, lo constituye el análisis de la relación entre el stock parental (fecundidad, biomasa o abundancia) y la producción de nuevos individuos (reclutamiento). En los análisis clásicos de stock-reclutamiento (SR) se asume que existe una relación funcional entre la biomasa del stock reproductor y la biomasa de futuros reclutas en la forma  $R = F(S, \theta)$ , donde  $S$  es la biomasa del stock reproductor y  $R$  es la biomasa correspondiente de reclutas, siendo  $\theta$  un vector de parámetros asociados con esta función que usualmente está relacionado con las medidas de gestión pesquera (Chen, 2001).

Se han propuesto y discutido varios modelos de stock-reclutamiento en la literatura (ver Hilborn & Walters, 1992; Quinn & Deriso 1999). La aproximación empírica más común es ajustar un modelo a estimaciones de la abundancia de reproductores y algún índice de reclutamiento para generar una relación SR de una población. Los dos modelos comúnmente utilizados están basados en suposiciones biológicas que relacionan a la biomasa reproductora con la del reclutamiento mediante las ecuaciones propuestas por Beverton & Holt (1957):

$$(1) \quad R = S \left[ \frac{\alpha}{1 + \beta S} \right] + \varepsilon$$

que asume que la mortalidad instantánea de una cohorte es una función lineal del tamaño instantáneo de la cohorte a lo largo del tiempo.

El modelo de Ricker (1975):

$$(2) \quad R = \alpha S^{(-\beta S + \varepsilon)}$$

asume que la mortalidad instantánea es una función solo del tamaño inicial de la cohorte (Bjorkstedt, 2000).

En ambos casos el reclutamiento  $R$  se relaciona con el tamaño del stock reproductor  $S$ , mediante  $\alpha$  y  $\beta$  que representan el vector  $\theta$  de la relación. El parámetro  $\alpha$ , representa la productividad de la población cuando la densidad es baja; el parámetro  $\beta$  describe la denso-dependencia de la relación, una función de capacidad de carga. Finalmente  $\varepsilon$  es el término del error (Bjorkstedt, 2000; Chen, 2001).

La curva de la ecuación (1) describe un aumento monotónico del reclutamiento que se aproxima asintóticamente al máximo, en la cual la densidad-dependencia tiene un efecto “compensatorio”. Es decir que el aumento del reclutamiento debido al incremento del tamaño de la población parental, es compensado por la disminución de la producción *per capita* de nuevos reclutas. En tanto que la ecuación (2) describe una curva en forma de domo, en la que el máximo del reclutamiento ocurre a un tamaño finito del stock y la densidad-dependencia funciona en un sentido de “sobrecompensación”. A medida que el stock parental aumenta, la reducción de la producción *per capita* de nuevos reclutas anula cualquier incremento del potencial reproductivo (Bjorkstedt, 2000). De forma que  $\beta$  indica la velocidad de caída del reclutamiento por unidad de stock reproductor con el incremento de  $S$  (Hilborn & Walters, 1992).

Los modelos clásicos de Beverton & Holt y Ricker aportan elementos importantes en el conocimiento de la dinámica de la relación stock-reclutamiento; sin embargo, estos modelos están basados en la incorporación de componentes de dinámica poblacional sin considerar la variabilidad ambiental a la que están sometidas las poblaciones (Wiff & Quiñónez, 2004). Actualmente existe una conciencia creciente de que las condiciones ambientales afectan de algún modo las relaciones SR en los principales stocks de pesca del mundo (ver Fournier 1983; Stoker *et al.*, 1985; Koslow *et al.*, 1986; Noakes, 1986; Caputi, 1988; Schweight & Noakes, 1990; Francis & Hare, 1994; Quinn & Niebauer 1995; Adkison *et al.*, 1996; Chen & Ware, 1999; Solow, 2000; Williams & Terrance, 2000; Chen, 2001; Uriarte *et al.*, 2002; Brander & Mohn, 2004; Arregui *et al.*, 2006).

Un primer paso para definir los criterios de la parametrización ambiental de una relación SR, es el establecimiento de funciones o modelos empíricos que correlacionen variables ambientales y biológicas. Estos modelos empíricos, en el caso de la merluza europea de la costa Noroccidental Africana son los que se han expuesto en los capítulos anteriores. En ellos se ha establecido que el índice NAO es un descriptor robusto y persistente de la variabilidad ambiental en la zona, correlacionado al mismo tiempo positivamente con la variabilidad del reclutamiento a la pesquería de *M. merluccius* al año siguiente.

Como hemos visto, el mecanismo que determina esta correlación positiva entre el reclutamiento y la variabilidad ambiental-climática se sustenta en que la NAO es responsable en buena medida de la temporalidad y extensión del afloramiento inducido por el viento y su expresión productiva; con ello la NAO se convierte en un indicador sensible de la capacidad de carga anual del sistema al ejercer el control sobre la amplitud de la ventana temporal de reclutamiento de la merluza europea en África Noroccidental.

Por tanto, la incorporación de la NAO como variable ambiental en la relación SR de la merluza europea es pertinente y podría otorgar mayor credibilidad a los resultados deterministas de un modelo inicialmente pensado para variables asociadas estrictamente con la dinámica de poblaciones, permitiendo la evaluación y comprensión de los resultados obtenidos a través de ambos modelos.

De este modo, el objetivo fundamental de este capítulo consistió en analizar el efecto de la variabilidad ambiental descrita por el índice NAO en las relaciones SR de *M. merluccius* en la costa Noroccidental Africana. Para este propósito se analizaron y compararon los resultados de los modelos clásicos de SR con respecto a un modelo de SR que incorpora la variabilidad ambiental debida a la NAO como una variable principal.

## METODOLOGÍA

### Datos de base

Los datos de entrada de los diferentes modelos se resumen en la Tabla 6.1. Las estimaciones del reclutamiento ( $R$ ) y de la abundancia del stock parental ( $S$ ) están basados en los datos de la flota costera marroquí y de las flotas españolas de arrastre de 60 mm y volanta, que faenaron en las costas de Marruecos y el Sahara durante los acuerdos de pesca (Fig. 6.1).

La abundancia de  $R$  se calculó bajo el mismo criterio que en el capítulo 5 (individuos  $\leq 20$  cm/esfuerzo de pesca). Las estimaciones se basaron en las distribuciones anuales de tallas de las capturas de la flota costera marroquí de 1988 a 2000 presentadas en el último grupo de trabajo CPACO (FAO, 2006b). Debido a que no se cuenta con distribuciones anteriores a 1988, se hizo una estimación de los valores de  $R$  entre 1978 y 1987, aplicando un factor de proporcionalidad de individuos por clase de talla, respecto a la captura entre 1988 y 1996. De esta forma se pudo contar con una serie de  $R$  completa entre 1978 y 2000.

La abundancia de  $S$  se obtuvo a partir de las distribuciones de tallas de las capturas de las flotas españolas de arrastre de 60 mm (1977-1981) y de volanta (1982-1999). De éstas se filtró y obtuvo una medida de la abundancia (kg/[día de pesca]) de hembras maduras, utilizando la información presentada en el capítulo 1 sobre la talla de primera madurez y la proporción de sexos por clase de talla.

Tabla 6.1 Datos de la abundancia del stock  $S$  (kg/dp), del reclutamiento  $R$  (reclutas/dp\*cv) y del índice NAO utilizados en los modelos.

Año	Stock ( $S$ )	Reclutas ( $R$ )	NAO
1977	336		-0.2
1978	268	4965	-1.4
1979	203	4963	-0.5
1980	294	5176	0.1
1981	198	3882	1.1
1982	340	4274	2.1
1983	326	3846	1.9
1984	436	5361	1.5
1985	427	10205	0.5
1986	437	9105	-0.3
1987	427	12235	0.2
1988	389	7000	1.7
1989	270	16879	3.3
1990	295	11400	3.4
1991	401	6575	2.8
1992	636	9563	2.3
1993	471	6388	3.0
1994	429	9109	3.2
1995	379	4479	1.1
1996	332	5900	0.0
1997	234	2284	-1.1
1998	196	498	0.7
1999	195	791	1.7
2000		491	

### Índice NAO

Se utilizaron los valores del índice anual de la NAO invernales, suavizados por medias móviles de tres años, entre 1977 y 1999, que cuantifican la diferencia de la presión atmosférica a nivel del mar entre Lisboa (Portugal) y Reykjavik (Islandia) (Hurrell, 1995). Los valores del índice NAO se obtuvieron de la página electrónica <http://www.cdg.ucar.edu/cas/climind/nao/>

### Modelos

Se utilizaron tres modelos para ajustar los datos de  $S$  observados al tiempo  $t$  y al  $R$  asociado, que correspondió al del año siguiente: los modelos clásicos de la relación SR de Beverton-Holt (1) y de Ricker (2), y una variante SR del modelo de Ricker parametrizado ambientalmente, que incorpora el índice NAO (Ricker-NAO (5)). En

los tres casos se utilizó la transformación logarítmica de  $R$  para mantener el criterio utilizado en el capítulo 5.

El modelo de Beverton-Holt se ajustó a los datos de  $S$  y  $R$  mediante la linearización de la ecuación y calculando  $\alpha$  y  $\beta$  por mínimos cuadrados, de la forma:

$$(3) \quad \frac{S}{R} = \frac{1}{\alpha} + \frac{\beta}{\alpha} S + \varepsilon$$

Para el modelo de Ricker se ajustaron los datos de  $S$  y  $R$  bajo el mismo procedimiento de linearización de la ecuación, de la forma:

$$(4) \quad \text{Ln} \frac{R}{S} = \text{Ln} \alpha - \beta S + \varepsilon$$

En el tercer modelo, se propone la incorporación del índice NAO como una variable directamente relacionada con la capacidad de carga, en base a la asociación que muestra con el sistema productivo y presumiblemente con los procesos relacionados con la supervivencia de los individuos durante los primeros estadios de vida antes de la fase de reclutamiento. Esta ecuación propuesta tendría la forma:

$$(5) \quad R = \alpha S^{(-\beta S + \delta \text{NAO} + \varepsilon)}$$

En este modelo, la NAO interactúa directamente sobre la amplitud del efecto de "sobre-compensación" de  $\beta$ , siendo  $\delta$  el parámetro relacionado con el efecto de la NAO. Para la obtención de los parámetros, la ecuación (5) se ajustó a un modelo lineal y se resolvió como una regresión múltiple, asumiendo la estructura del error con distribución normal  $\varepsilon \sim N(0, \sigma)$ :

$$(6) \quad \text{Ln} \frac{R}{S} = \text{Ln} \alpha - \beta S + \delta \text{NAO} + \varepsilon$$

La evaluación comparativa de los resultados obtenidos a través de los tres modelos se basó en tres criterios. El primero, la magnitud de la raíz del cuadrado medio del error (RCME); cuanto menor sea RCME mejor es el ajuste del modelo. El segundo fue el criterio de información de Akaike (AIC) (Sakamoto *et al.*, 1986) que penaliza el cuadrado medio del error (CME) en función del número de parámetros estimados del modelo y mide la funcionalidad del ajuste (7). De igual forma que el caso de RCME, cuanto menor sea el valor de AIC, mejor es el ajuste del modelo.



$$(7) \quad AIC = n \log(\hat{\sigma}^2) + 2K$$

$$(8) \quad \hat{\sigma}^2 = \frac{SCR}{n}$$

Donde  $n$  es el tamaño de la muestra,  $K$  el número de parámetros estimados en el modelo incluyendo el intercepto; como la varianza (8) es estimada, también se contabiliza como parámetro  $K$ ,  $SCR$  es la suma de cuadrados de los residuos. El tercer criterio de decisión fue el coeficiente de correlación ( $r^2$ ).

### RESULTADOS

El ajuste entre  $S$  y  $R$  ( $\log R$ ) fue similar entre los modelos de Beverton-Holt y de Ricker (Fig. 6.1); no obstante, al ser comparados con los modelos construidos en base a los datos sin transformar ( $S$  y  $R$ ), la “sobre-compensación” de la curva del modelo de Ricker se ajusta mejor a los valores de  $R$  observados (Fig. 6.2).

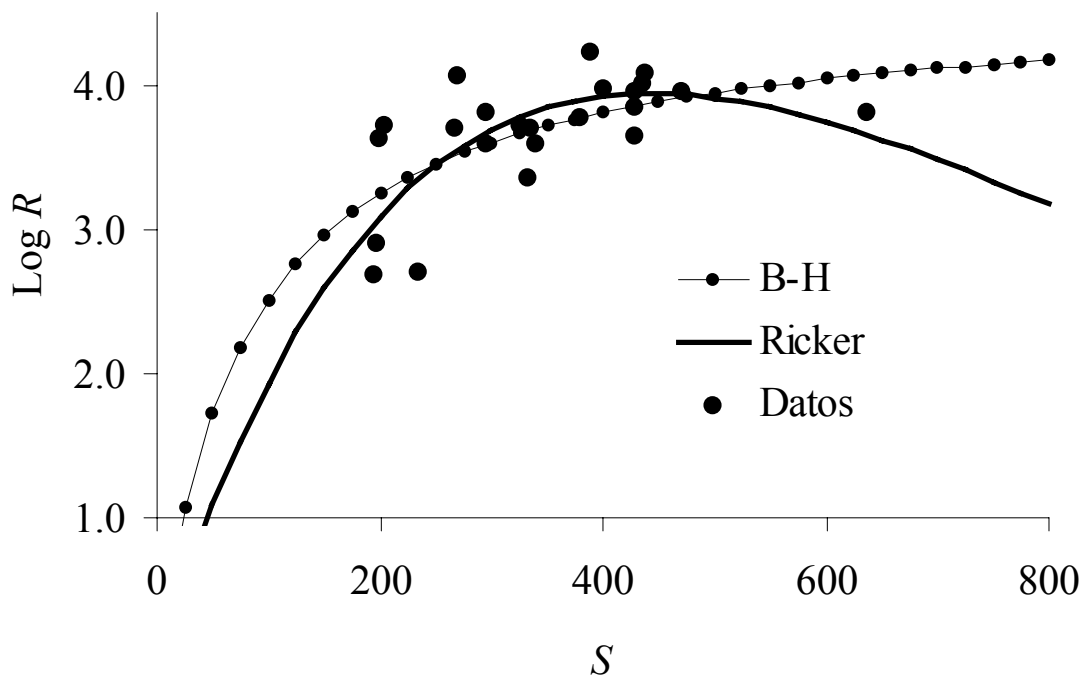


Figura 6.1. Ajuste mediante de los modelos de Beverton-Holt y Ricker de los datos de reclutamiento ( $\log R$ ) y stock parental ( $S$ ) de la merluza europea

El modelo de Ricker mostró que los valores máximos de rendimiento de reclutas se obtienen para valores de rendimientos del stock parental de 400-450 kg/dp; no

obstante se observa una dispersión importante entre 4500 y 17000 reclutas/[esfuerzo de pesca] para un mismo nivel de  $S$ .

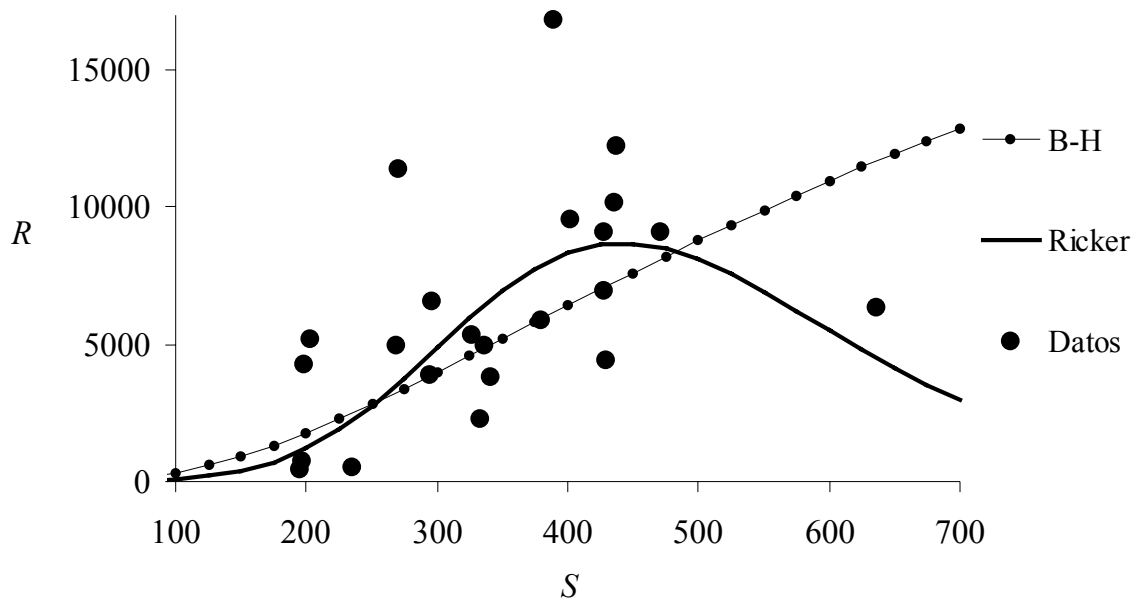


Figura 6.2. Ajuste mediante los modelos de Beverton-Holt y Ricker de los datos de reclutamiento ( $R$ ) y stock parental ( $S$ ) de la merluza europea sin transformación.

En la Tabla 6.2 se resumen los parámetros estimados, así como los criterios de evaluación del ajuste para los tres modelos stock-reclutamiento. El porcentaje de explicación de los modelos clásicos de Beverton-Holt y de Ricker son muy similares ( $r^2 = 0.42$  y  $0.45$  respectivamente), sin embargo los criterios de la raíz del cuadrado medio del error RCME y de información de Akaike AIC, sitúan al modelo de Ricker con mejor ajuste.

Tabla 6.2. Parámetros y criterios de evaluación del ajuste estimados mediante los modelos stock-reclutamiento de Beverton-Holt (B-H), Ricker y Ricker parametrizado ambientalmente con la NAO.

Modelo	$\alpha$	$\beta$	$\delta$	RCME	AIC	$r^2$
B-H	0.0554	83.0595	-	7.5330	45.4320	0.42
Ricker	0.0242	0.0022	-	0.0932	42.2995	0.45
Ricker-NAO	-3.7172	0.0023	0.00115	0.0943	40.5587	0.35

La incorporación del índice NAO en el modelado de la relación SR a pesar de reducir el porcentaje explicado de la variabilidad en un 10% ( $r^2 = 0.35$ ) con respecto al modelo de Ricker clásico, arrojó un valor de RCME prácticamente igual al del modelo clásico y un mejor criterio AIC, por lo que puede ser considerado como el modelo de mejor ajuste.

La incorporación de la NAO en el modelo de Ricker mostró un efecto positivo sobre el reclutamiento: para un mismo nivel de  $S$  conforme aumenta el índice NAO, se incrementa el reclutamiento (Fig. 6.3). El máximo de  $R$  ocurre al mismo nivel de  $S$  que en el modelo clásico de Ricker, pero la incorporación del índice NAO modifica la amplitud de la curva de  $R$  sensiblemente para el mismo nivel de  $S$  y tiende a reducir la dispersión de  $R$  en la zona de “sobre-compensación” del modelo (Fig. 6. 4).

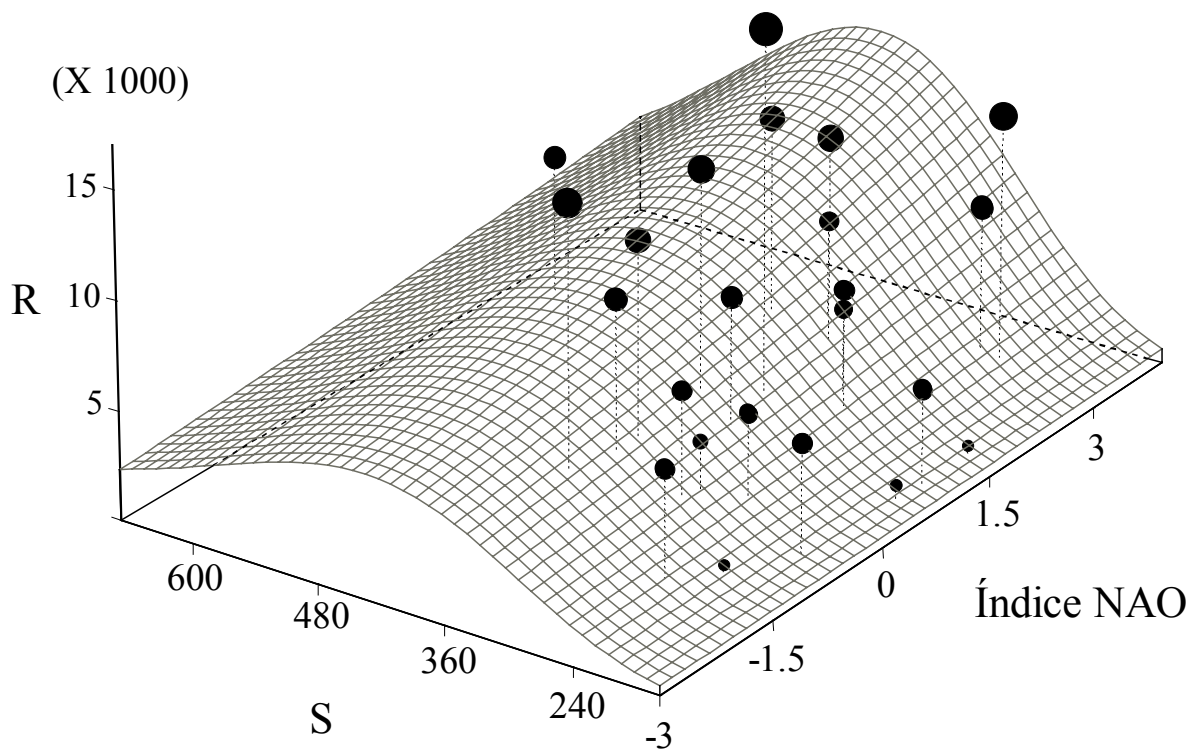


Figura 6.3. Ajuste del modelo de Ricker-NAO entre el reclutamiento ( $R$ , reclutas/dp\*CV), el stock parental ( $S$ , kg/dp) y la el índice NAO del año previo a  $R$  para la merluza europea de África Noroccidental.

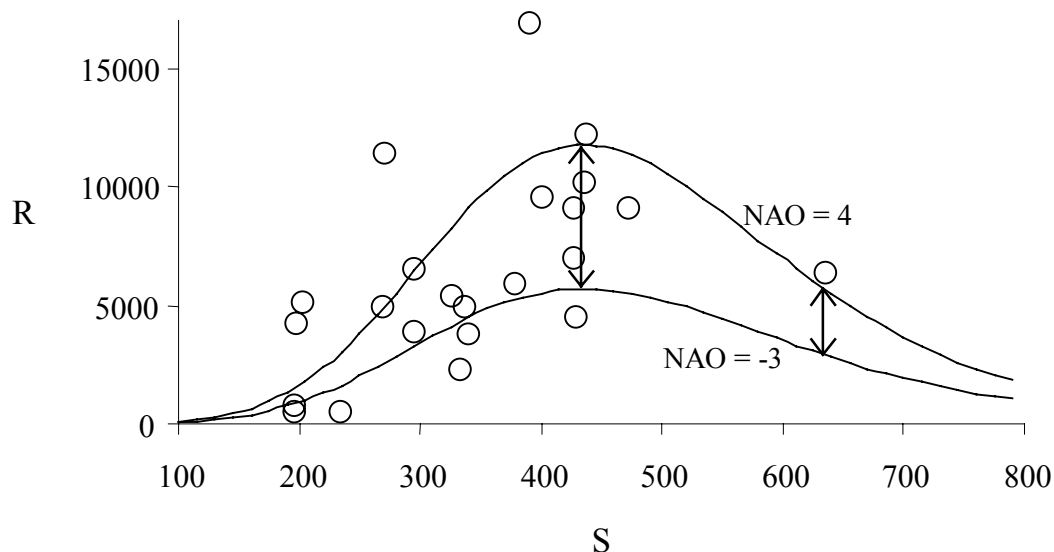


Figura 6.4. Representación en dos dimensiones de la curva SR bajo condiciones de la NAO muy negativa y condiciones de la NAO muy positiva, calculadas mediante el modelo de Ricker-NAO. Las flechas representan la amplitud del efecto del índice NAO cuando R es máxima y en la zona de “sobrecompensación” la relación SR, a la derecha de la curva.

## DISCUSIÓN

El estudio de las relaciones stock-reclutamiento ha sido un tema controvertido, desde que en la década de los 50 se estableciera la hipótesis de que ambas variables ( $S$  y  $R$ ) están relacionadas de forma positiva y exclusiva (Ricker, 1954; Beverton & Holt, 1957; Scheafer, 1954). A partir de la década de los 80 se han discutido resultados que plantean dudas razonables acerca de la universalidad de esta relación por diferentes motivos (ver Walters & Ludwig, 1981; Walters, 1985; Caputi, 1988; Armstrong & Shelton, 1988; Koslow, 1992; Hilborn & Walters 1992). En la misma línea se ha propuesto que en algunos stocks de peces marinos el reclutamiento es independiente del stock parental porque tiene diferentes valores promedio durante períodos consecutivos: hipótesis de “recruitment estate” (Gilbert, 1997).

Estudios más recientes han mostrado que tanto la biomasa del stock parental como la variabilidad ambiental pueden ser importantes en la relación SR, porque ambas variables afectan de forma distinta a diferentes especies (Myers, 2001). Por esta razón es muy probable que la variabilidad denso-dependiente y denso-independiente de la curva del SR de las poblaciones marinas, no sean conceptos mutuamente

excluyentes, sino elementos en los extremos opuestos de un gradiente continuo que modula las relaciones SR.

La importancia relativa de uno u otro extremo del gradiente dependerá de la especie en cuestión, y sobre todo de su área de distribución, porque la amplitud y frecuencia de la variabilidad ambiental pueden ser muy diferentes entre localidades dentro del área de distribución de una misma especie.

El caso de la merluza europea es un buen ejemplo de esta hipótesis ya que se distribuye en un gradiente latitudinal de más de 50° a lo largo del Atlántico Oriental, que abarca desde un entorno climático y ambiental ártico, en Islandia y el norte de Noruega, hasta un entorno subtropical – tropical, en su límite de distribución sur en el Sahara y Mauritania (Fig. 1.1, capítulo 1).

Los procesos que vinculan el clima con la variabilidad ambiental que afecta a las poblaciones de merluza europea son distintos y con diferentes grados de correlación en función del área geográfica. Ya en el capítulo anterior se mencionó la relación inversa del reclutamiento de la merluza europea y la NAO en el Mediterráneo Occidental, debido al impacto de esta sobre los flujos de los ríos Ebro y Ródano (Lloret *et al.*, 2001) También se mencionó la correspondencia de la variabilidad del reclutamiento de la merluza europea con alguna componente climática en el Cantábrico (Sánchez & Gil, 2000; Sánchez *et al.*, 2002).

No obstante, en ninguno de los dos casos anteriores el porcentaje de explicación debido a la variabilidad climática y ambiental ha sido tan robusta como la que se ha documentado en todo el espectro de tallas de la población de merluza europea de la costa Noroccidental Africana.

El sistema del afloramiento Noroccidental Africano es, por definición, una unidad hidroclimática de alta productividad, pero sujeta a fuertes variaciones temporales inducidas por el sistema climático (ver capítulo 3). Esta condición sitúa al entorno ambiental como un factor determinante de los procesos clave de la dinámica poblacional de la merluza europea, entre ellos la relación stock-reclutamiento, porque es una especie con gran plasticidad capaz, tanto de aprovechar de forma muy eficiente ventanas ambientales favorables, como de resistir en condiciones ambientales desfavorables.

La incorporación de la NAO a los modelos clásicos, como variable que afecta a la forma y amplitud de la relación SR de la merluza europea, es una consecuencia lógica derivada de los resultados obtenidos y del contexto en el que se ha discutido la variabilidad de la población de esta especie en la costa Noroccidental Africana.

Se menciona que es una consecuencia lógica, ya que en este estudio primero se exploraron y verificaron los mecanismos que vinculan la variabilidad climática descrita por la NAO, como determinante de la variabilidad ambiental, así como el sentido, la magnitud y el desfase que la manifestación del impacto ecológico tiene sobre la población de *M. merluccius*.

No obstante, este ejercicio constituye una primera aproximación y aportación para la discusión acerca de los mecanismos que controlan uno de los procesos clave de la evaluación pesquera.

Este trabajo es una primera aproximación, porque para abordar las relaciones SR generalmente se usa la “biomasa” del stock parental y el reclutamiento “absoluto”. Sin embargo, estas estimaciones están basadas en los análisis de las estructuras de edades (Análisis de Población Virtual - VPA) y tal y como se mencionó en el capítulo 1, la determinación de la edad de *M. merluccius* ha sido seriamente cuestionado y se encuentra en un proceso de redefinición drástico aplicable a todos los stocks de merluza europea del mundo.

También existe otra variante, como es la utilización de las estimaciones obtenidas mediante Análisis de Cohortes (LCA), que es una técnica alternativa del VPA en la que se utilizan grupos de tallas en lugar de grupos de edad. No obstante, en el LCA se asume como punto de partida la situación de estabilidad del stock, lo que induce un alto sesgo en las estimaciones (Hilborn & Waleters, 1992).

Otros modelos stock-reclutamiento utilizan, como alternativa, la fecundidad del stock o el número de huevos, en vez de la biomasa o abundancia del stock parental. No obstante, el caso de la merluza europea es especialmente problemático para ser abordado por esta vía, debido a su característica biológica de poseer una puesta parcial y secuencial (ver capítulo 1). Por esta razón se optó por la utilización de los valores de abundancias en una forma más elemental, pero que puede ser considerada como suficiente para evaluar *a priori* el sentido y la coherencia de las implicaciones de la NAO en la relación SR de la merluza europea.

La incorporación del índice NAO en la relación SR no significa que se haya utilizado un parámetro ambiental individual, sino que éste representa a un conjunto de variables climáticas y ambientales que expresa, de forma simplificada, los cambios del escenario productivo del sistema y su impacto sobre las primeras etapas de la vida de la merluza europea.

De acuerdo con el criterio de AIC, el modelo de Ricker-NAO mejora el ajuste obtenido por el modelo clásico de Ricker, aunque explique un porcentaje menor de la

variabilidad (45% a 35%). Desafortunadamente, el cese de los acuerdos de pesca con Marruecos en 1999, no ha permitido disponer de datos de  $S$  en niveles mínimos, cerca del origen, lo que habría resuelto una de las principales limitaciones metodológicas de los ajustes de SR (Planque & Frédou, 1999) y su relación con  $R$  bajo condiciones ambientales favorables (NAO+) a partir del año 2000, después de que en 1996, 1997 y parte de 1998 dominaran condiciones en extremo desfavorables (NAO-) (Fig. 3.3, capítulo 3). Esta combinación hubiera permitido dar mayor certeza al efecto de la NAO en la relación SR-ambiental y posiblemente mejorar la  $r^2$  con respecto al modelo clásico de Ricker y al de Beverton-Holt.

A pesar de las limitaciones mencionadas, el índice NAO describe bastante bien la dispersión extrema de  $R$  alrededor de la curva teórica de SR, justo antes de la aparición de la “sobre-compensación” de la curva. Es decir, que para un mismo valor de  $S$ , la NAO está relacionada positivamente con  $R$  y modula la amplitud de la dispersión de sus máximos por encima o por debajo de la curva media. Es este aspecto, el que le confiere mejor ajuste, aun cuando explique un porcentaje menor de la variabilidad con respecto al modelo de Ricker clásico.

La inclusión de variables ambientales en los modelos SR, es en muchas ocasiones netamente empírico, como consecuencia del desconocimiento del mecanismo que subyace tras el proceso investigado, las capacidades predictivas del modelo son limitadas y ésta es la debilidad principal de este enfoque. Sin embargo, en nuestro caso, la inclusión del índice NAO se realizó, precisamente, en base a la evidencia del sentido, proporcionalidad y mecanismos del efecto ambiental sobre la dinámica poblacional de la merluza europea en la costa Noroccidental Africana.

Por ello una vez resueltos los problemas metodológicos de las estimaciones de la biomasa y los reclutas totales, es recomendable incluir el índice NAO como una variable sensible en la evaluación y gestión de las pesquerías de merluza europea en la costa Noroccidental Africana.

# **CONCLUSIONES**

---





## CONCLUSIONES

La merluza europea de la costa Noroccidental Africana posee algunas características poblacionales que la diferencian de las merluzas del Atlántico Norte y el Mediterráneo. La más destacable de ellas es que el incremento de talla en un mismo intervalo de tiempo es menor que en el Atlántico Norte e igual o mayor que en el Mediterráneo Occidental.

Esta diferencia es apreciable también en las relaciones talla-peso y explica que la merluza europea de África Noroccidental alcance la madurez sexual e invierta la proporción de sexos a favor de las hembras a tallas menores que en las poblaciones septentrionales.

Las pesquerías dirigidas a esta especie fueron llevadas a cabo por un conjunto heterogéneo de flotas y modalidades de pesca, que incidieron sobre la totalidad del espectro de tallas, de forma especialmente fuerte sobre el reclutamiento del stock que representó el 60% del total de las capturas entre 1970 y 1999.

La variabilidad del esfuerzo pesquero estuvo determinada por las condiciones de los acuerdos de pesca con Marruecos. Sin embargo, las capturas y los rendimientos mostraron variaciones de baja frecuencia no explicables por la dinámica del esfuerzo, sospechando la contribución de fuentes de variación no consideradas en las evaluaciones del stock.

Las fuentes de variación no consideradas están relacionadas con la variabilidad ambiental inducida por el sistema climático, descrita por el índice de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO).

Las variaciones de la abundancia de la merluza europea en la costa Noroccidental Africana están relacionadas positivamente con la NAO.

El vínculo oceanográfico local entre la NAO y el impacto ecológico sobre la población de merluza europea, lo constituye la modificación de la ventana espacial y temporal de la capacidad de carga del sistema.

La variabilidad de la capacidad de carga del sistema se relaciona directamente con la NAO a través de los cambios de la extensión latitudinal y temporal de las condiciones precursoras de los afloramientos inducidos por viento.

El impacto de la NAO sobre la abundancia de *M. merluccius* observa un desfase temporal de un año para los juveniles, y de dos a tres años para preadultos-adultos y adultos grandes.

La importancia y recurrencia del impacto de los procesos asociados a la NAO sobre la abundancia de los distintos grupos de talla de la merluza europea, permite utilizar el índice NAO como trazador del incremento anual de talla, al menos durante los primeros tres años de vida, y con ello aproximar la tendencia de crecimiento de la especie.

La magnitud de la tendencia de crecimiento basado en la correspondencia temporal del efecto de la NAO, es dos veces mayor a la estimada mediante lectura de otolitos en esta zona. Lo cual se corresponde con la hipótesis de crecimiento rápido, propuesta y trabajada para la misma especie en la zona ICES y en el Mediterráneo Occidental.

Esta nueva tendencia de crecimiento reduce sensiblemente las diferencias originalmente propuestas con la curva de las poblaciones de la zona ICES, y redefine la proporcionalidad con las del Mediterráneo Occidental. La merluza europea de la costa Noroccidental Africana alcanzan iguales o mayores tallas, al menos durante los tres primeros años de vida, que sus coespecíficos del Mediterráneo Occidental.

El desfase temporal del impacto de la NAO sobre la población, indica la importancia que la variabilidad del sistema climático ejerce sobre el proceso de reclutamiento de la merluza europea en la costa Noroccidental Africana.

Las variaciones interanuales del reclutamiento de *M. merluccius* están relacionadas positivamente con el índice NAO del año previo, que explica entre el 40% y el 73 % de la variabilidad del reclutamiento, dependiendo de la extensión de la series temporales.

La respuesta ecológica clave de la población de merluza europea a la variabilidad inducida por la NAO, se aprecia en la modificación proporcional de la amplitud de la Ventana de Reclutamiento (VR). El índice NAO explica en un 69 % la variabilidad de la amplitud de la VR de *M. merluccius* entre 1991 y 1999.

La influencia de la señal climática de la NAO sobre la abundancia de reclutas de *M. merluccius* es robusta, recurrente y persistente en el tiempo, independientemente de las variaciones del esfuerzo de pesca.

La NAO ejerce un efecto positivo en el reclutamiento cuando se incorpora en una relación stock-reclutamiento tipo Ricker. El índice NAO funciona como una variable ambiental que modifica la capacidad de carga de la relación stock-reclutamiento, siendo responsable de la dispersión del reclutamiento máximo con una misma biomasa reproductora bajo condiciones ambientales diferentes.

El índice NAO es un indicador climático útil para evaluar la variabilidad ambiental y sus efectos ecológicos en el stock de merluza europea de la costa Noroccidental Africana, con un año de anticipación a las capturas.

El índice NAO es una variable útil y susceptible de ser generalizada en la evaluación de los stocks de especies demersales, no solo de merluza europea, en la costa Noroccidental Africana.



# **BIBLIOGRAFÍA**

---



1. Abella, A.J., Serena, F., Ria, M. 2005. Distributional response to variations in abundance over spatial and temporal scales for juveniles of European hake (*Merluccius merluccius*) in the Western Mediterranean Sea. *Fisheries Research* 71, 295-310
2. Abrantes, F., Meggers, H., Nave, S., Bollmann, J., Palma, S., Sprengel, C., Hendriks, J., Spies, A., Salgueiro, E., Moita, T., Neuer, S. 2002. Fluxes of micro-organism along a productivity gradient in the Canary Islands region (29°N): implications of paleoreconstructions. *Deep Sea Research II* 49, 3599-3629.
3. Adkison, M.D., Peterman, R.M., Lapointe, M.F., Gillis, D.M., Korman, J. 1996. Alternative models of climate effects on sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*, productivity in Bristol Bay, Alaska, and the Fraser River, British Columbia. *Fisheries Oceanography* 5, 137-152.
4. Agostini, V. 2000 Relationships between small pelagics and the environment: where have we been and where do we go from here? Fuengirola, Spain 1-3 March, 2000. Working group on small pelagics. Scientific advisory committee.
5. Albert, Y. & Morales-Nin, B. 1992. La croissance des juvéniles du merlu dans le Golfe du Lion: nouvelles méthodes d'approche. *Rapport Committee International de la Mer Méditerranée*. 33, 281
6. Alegría-Hernández, V. & Jukic, J. 1990. Some aspects of biology and population dynamics of the hake (*Merluccius merluccius*) from the Adriatic Sea. *Rapport Committee International de la Mer Méditerranée*. 32, 265
7. Alheit, J. & Hagen, E. 1997. Long-term climate forcing of European herring and sardine populations. *Fisheries Oceanography* 6, 130-139.
8. Alvarez, P., Fives, J., Motos, L., Santos, M. 2004. Distribution and abundance of European hake *Merluccius merluccius* (L.), eggs and larvae in the North East Atlantic waters in 1995 and 1998 in relation to hydrographic conditions. *Journal of Plankton Research* 26, 811-826.
9. Alvarez, P., Motos, L., Uriarte, A., Egaña, J. 2001. Spatial and temporal distribution of European hake, *Merluccius merluccius* (L.), eggs and larvae in relation to hydrographical conditions in the Bay of Biscay. *Fisheries Research* 50, 111-128.
10. Alves, M.L.G.R. & Colin de Verdiere, A. 1999. Instability dynamics of a subtropical jet and applications to the Azores Front Current System: Eddy-driven mean flow. *Journal Physics Oceanography* 29, 837-864
11. Andreu, B. 1955. Observaciones sobre el ovario de merluza, *Merluccius merluccius*, y características de la puesta. *Investigaciones Pesqueras* 4, 49-56.
12. Anónimo. 1983. Acuerdo de 1 de agosto de 1983 de cooperación sobre pesca marítima entre España y el Reino de Marruecos. Hecho en Rabat. B.O.E. nº 218 de 11 de octubre de 1983: 27392-27394. Madrid, España.
13. Anónimo. 1988. Decisión del Consejo de 29 de febrero de 1988 relativa a la celebración del Acuerdo en forma de Canje de Notas relativo a la aplicación provisional del Acuerdo sobre las relaciones en materia de pesca marítima entre la Comunidad Económica Europea y el Reino de Marruecos, rubricado en Bruselas el 25 de febrero de 1988. Diario Oficial de las Comunidades Europeas nº L 99: 45-64. Bruselas, Bélgica.



14. Anónimo. 1991. Rapport du Groupe de Travail CEE/Maroc sur l'évaluation des stocks de merlu blanc et des crevettes. Fuengirola (Málaga) 16-21 septiembre 1991 (mimeo). Málaga, España.
15. Anónimo. 1992. Reglamento (CEE) N° 3954/92 del Consejo de 19 de diciembre de 1992 relativo a la celebración del Acuerdo sobre las relaciones en materia de pesca marítima entre la Comunidad Económica Europea y el Reino de Marruecos, y por el que se adoptan disposiciones para su aplicación. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* n° L 407, 1-28. Bruselas, Bélgica.
16. Anónimo. 1997. Reglamento (CE) N° 150/97 del Consejo de 12 de diciembre de 1996 relativo a la celebración del Acuerdo de cooperación en materia de pesca marítima entre la Comunidad Europea y el Reino de Marruecos y por el que se adoptan disposiciones para su aplicación. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* n° L 30, 1-40. Bruselas, Bélgica.
17. Arístegui, J., Barton, E.D., Montero, M.F., García-Muñoz, M., Escánez, J. 2003. Organic carbon distribution and water column respiration in the NW Africa-Canaries Coastal Transition Zone. *Aquatic Microbial Ecology* 33, 289-301.
18. Arístegui, J., Barton, E.D., Tett, P., Montero, M.F., García-Muñoz, M., Basterretxea, G., Cussatlegras, A., Armas, D (en prensa). Variability in plankton community structure, metabolism and vertical carbon fluxes along an upwelling filament (Cape Juby, NW Africa). *Progress in Oceanography*.
19. Arístegui, J., S. Hernández, M.F. Montero, Gómez, M. 2001. The seasonal planktonic cycle in coastal waters of the Canary Islands. *Scientia Marina*, 65 (Supl. 1), 51-58.
20. Arístegui, J., Sangrá, P., Hernández-León, S., Cantón, M., Hernández-Guerra, A., Kerling, J.L. 1994. Island-induced eddies in the Canary Islands. *Deep Sea Research I* 1, 1509-1525.
21. Arístegui, J., Tett, P., Hernández-Guerra, A., Basterretxea, G., Montero, M. F., Wild, K., Sangrá, P., Hernández-León, S., Canton, M., García-Braun, J.A., Pacheco, M., Barton, E.D. 1997. The influence of island-generated eddies on chlorophyll distribution: a study of mesoscale variation around Gran Canaria. *Deep Sea Research* 44, 71-96.
22. Armstrong, M.J. & Shelton, P.A. 1988. Bias in estimation of stockrecruit function parameters caused by non-random environmental variability. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 45, 554-557.
23. Arregui, I., Arrizabalaga, H., Kirby, D.S., Martín-González J. M. 2006. Stock-environment-recruitment models for North Atlantic albacore (*Thunnus alalunga*). *Fisheries Oceanography*. 15, 402-412.
24. AtlantNIRO. 1978. Les merlus (*Merluccius spp.* ) de la côte nord-ouest de l'Afrique. *En: Report of the ad hoc working group on hakes (Merluccius merluccius, M. senegalensis, M. cadenati ) in the northern zone of CECAF. IEO, Sta. Cruz de Tenerife, Canary Islands, Spain. 5-9 June 1978. FAO CECAF/ECAF Ser. 78/9 App.6, 43-64.*
25. Atmani, H. 2003. Moroccan fisheries a supply overview. *En: Report of the expert consultation on international fish trade and food security (Casablanca, Morocco, 27-30 January 2003). FAO Fisheries Report No. 708, 163-177 Rome, Italy.*

26. Attrill M.J. & Power, M. 2002. Climatic influence on a marine fish assemblage. *Nature* 417, 275-278.
27. Badan-Dagon, A.R.F. 1980. On the dynamics of subinertial currents off Northwest Africa. PhD dissertation. Oregon State University, pp. 167.
28. Baddy, M. & Guénette, S. 2001. The fisheries of the Atlantic coast of Morocco 1950-1997. *En: S. Guénette, V. Christensen and D. Pauly (Eds.) Fisheries impacts on North Atlantic Ecosystems: Catch, Effort and National/Regional Data Sets. Fisheries Centre Research Report 9*, 191-205.
29. Bailey, K.M. 1981. Larval Transport and Recruitment of Pacific Hake *Merluccius productus*. *Marine Ecology Progress Series* 6, 1-9.
30. Bailey, K.M., Ciannelli, L., Agostini, V. 2003. Complexity and constraints combined in simple models of recruitment. *En: Browman, H. and Skiftesvik, A. (Eds.) Proceedings of the 26th Annual Larval Fish Conference*. 293-301. Institute of Marine Research Bergen, Norway.
31. Bakun, A. 1973. Coastal upwelling indices, west coast of North America, 1946-71. *Special Scientific Report for Fisheries* 671, 103.
32. Bakun, A. 1996. Patterns in the Ocean, Ocean Processes and Marine Populations Dynamics. California Sea Grant College System, NOAA, 323 pp.
33. Balguerías, E. 1993. La pesca de los costeros canrios en el banco sahariano: antecedentes históricos y situación actual. La chopo (*Spondylosoma cantharus* Linnaeus, 1758) como ejemplo de la aplicación de métodos simples para la evaluación de stocks en la pesquería artesanal canaria. Tesis Doctoral. Universidad de La Laguna. 382 pp.
34. Balguerías, E., Millán, M., Ramos, A., Sobrino, I. 1994. Informe sobre la viabilidad para la flota andaluza en el Acuerdo CE-Marruecos. *Informe Interno. Instituto Español de Oceanografía*, 19 pp. (mimeo). Tenerife, España.
35. Barnes, J.T., MacCall, A.D., Jacobson, L., Wolf, P. 1992. Recent population trends and abundance estimates for the Pacific sardine (*Sardinops sagax*). *CalCOFI Investigation Report* 33, 60-75.
36. Barnston, A.G. & Livezey, R.E. 1987. Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly Weather Review* 115, 1083-1126.
37. Barton, E. D., Arístegui, J., Tett, P., García-Braun, J., Hernández-León, S., Nikjøer, L., Almeida, C., Ballesteros, S., Basterretxea, G., Escánez, J., García-Weill, L., Hernández-Guerra, A., López-Laatzén, F., Molina, R., Montero, M.F., Navarro-Pérez, E., Rodríguez, J.M., Vélez, H., Wild, K. 1998. The transition zone of the Canary Current upwelling region. *Progress in Oceanography* 41, 455-504.
38. Barton, E.D. 1989. The poleward undercurrent on the eastern boundary of the subtropical North Atlantic. *En: Neshyba, S. J., Mooers, C. N. K., Smith, R. L., Barber, R. T. (Eds.), Poleward Flows Along Eastern Ocean Boundaries*. Springer, New York, pp.82 -95.
39. Barton, E.D. 1998. Eastern boundary of the North Atlantic - northwest Africa and Iberia. *En: A.R.Robinson, K.Brink (Eds.) In The Sea, Vol. 11*, pp. 633-657.

40. Barton, E.D., Arístegui, J., Tett, P., Navarro-Pérez, E. 2004. Variability in the Canary Islands areas of filament-eddy exchanges. *Progress in Oceanography* 62, 71-94.
41. Barton, E.D., Basterretxea, G., Flament, P., Mitchelson-Jacob, E.G., Jones, B., Arístegui, J., Herrera, F. 2000. The lee of Gran Canaria. *Journal of Geophysical Research* 105, 173-193.
42. Basterretxea, G. & Arístegui, J. 2000. Mesoscale variability in phytoplankton biomass distribution and photosynthetic parameters in the Canary -NW African coast transition zone. *Marine Ecology Progress Series*, 197 27-40
43. Belloc, G. 1923. Note sur la croissance du Merlu. Variations ethniques et sexuelles. *Not. Mém. Off. Pêches* 21
44. Belvèze H. & Erzini, K. 1983. The influence of hydroclimatic factors on the availability of the sardine (*Sardina pilchardus*, Walburn) in the Moroccan Atlantic fishery. *En: G. D. Sharp & J.Csirke (Eds.) Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources* 285-327. FAO, Rome.
45. Bertignac, M. 2004. A preliminary simulation study of the implications of possible changes in growth on assessment of Northern stock of Hake and management advice. *ICES Working Group on the Assessment of Southern Shelf Stocks of Hake*. Mayo 12-21, Gijón, España
46. Beverton, R.J.H. & Holt, S.J. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Fishery Investigations Series. II*. Ministry of Agriculture Fish and Food (U.K), 19.
47. Bjorkstedt, E.P. 2000. Stock–recruitment relationships for life cycles that exhibit concurrent density dependence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 57, 459–467.
48. Borges, M.F., Santos, A.M.P., Crato, N., Mendes, H., Mota, B. 2003. Sardine regime shifts off Portugal: a time series analysis of catches and wind conditions. *Scientia Marina* 67,235-244
49. Brander, K.M. & Mohn, R. 2004. Effect of the North Atlantic Oscillation on recruitment of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 61, 1558–1564.
50. Brauch, J. P. 2003. Multidecadal and NAO related variability in a numerical model of the North Atlantic circulation Tesis doctoral Universität Bremen.
51. Bravo de Laguna, J. 1985. La pesca en el banco sahariano. *El campo*, 99, 69-74
52. Brunel, T. & Boucher, J. (en prensa) Long-term in fish recruitment in the Northeast Atlantic related to climate change. *Fisheries Oceanography*.
53. Caputi, N. 1988. Factors affecting the time series bias in stock-recruitment relationship and the interaction between time series and measurement error bias. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 45, 178-184.
54. Cárdenas, E. & Fernández, A. 1985. La relación talla/peso en la merluza del Cantábrico y Galicia y su evolución anual. *Boletín Instituto Español de Oceanografía*. 2, 61-67
55. Carr, M.E. & Kearns, E.J. 2003. Production regimes in four eastern boundary current regions: a climatological and satellite comparison. *Deep Sea Research II* 50, 3199-3222.

56. Casey, J. & Pereiro, J. 1995. European Hake (*M. merluccius*) in the North East Atlantic. *En: J. Alheit and T. Pitcher (Eds.) Hake: Biology, fisheries and markets*, 125-147. Chapman & Hall, London
57. Caverivière, A., Thiam, A., Thiam, D., López-Abellán, J.L. 1986. Rapport de synthèse des quatre campagnes conjointes hispano-sénégalaises de chalutages sur les stocks profonds du Sénégal (1982-1984). *Archive Centre de Recherche Océanographique. Dakar – Thyaroye*.
58. Cayan, D.R. 1992. Latent and sensible heat flux anomalies over the northern oceans: the connection to monthly atmospheric circulation. *Journal of Climate* 5, 354-369.
59. Cervantes, A. & Goñi, R. 1985. Descripción de las pesquerías españolas de merluzas y crustáceos de África Occidental al norte de Cabo Blanco. *En: C. Bas, R. Margalef y P. Rubiés (Eds.). Simposio Internacional sobre las áreas de afloramiento más importantes del Oeste africano (Cabo Blanco y Benguela). II*, 825-850. Instituto de Investigaciones Pesqueras. Barcelona, España.
60. Cervantes, A., Sobrino, I., Ramos, A., Fernández, L. 1992. Descripción y análisis de los datos de las pesquerías de merluza y gamba de la flota española que faenó al fresco en África Noroccidental durante el período 1983-1988. *Informe Técnico Instituto Español de Oceanografía* 111, 85 pp. Madrid, España.
61. CGPM, 1982. Rapport de la consultation technique sur le méthodologies utilices dans la lecture de l'âge des poissons. *FAO Rapport de Pêches*, 257, 104 pp.
62. Chávez F.P., Barber R.T., Korso P., Huyer A., Ramp S.R., Stanton T.P., Rojas de Mendiola B. 1991. Horizontal transport and the distribution of nutrients in the Coastal Transition Zone off Northern California: Effects on primary production, phytoplankton biomass and species composition. *Journal of Geophysical Research* 96, 14833-14848.
63. Chen, D.G. 2001. Detecting environmental regimes in fish stock–recruitment relationships by fuzzy logic *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 58, 2139–2148
64. Chen, D.G., & Ware, D.W. 1999. A neural network model for forecasting fish stock recruitment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 56, 2385–2396.
65. Clarke, A.J. 1989. Theoretical understanding of eastern ocean boundary poleward undercurrents. *En: Neshyba, S. J., Ch. N. K. Mooers, R.L. Smith, R.T. Barber (Eds) Poleward Flows along Eastern Ocean Boundaries*, Springer-Verlag, pp. 26-39
66. Cohen, D. M., Inada, T., Iwamoto, T., Scialabba, N. 1990. FAO Species Catalogue. Vol. 10. Gadiform Fishes of the World (Order Gadiformes). An Annotated and Illustrated Catalogue of Cods, Hakes, Grenadiers and other Gadiform Fishes Know to Date. FAO, *Fisheries Synopsis*, 125, 442 pp. FAO, Roma, Italia.
67. Cullen, H., Krahnmann, G., Visbeck, M. 2000. An ocean model's response to NAO-like wind forcing.
68. Curry, R.G. & McCartney, M.S. 2001. Ocean gyre circulation changes associated with the North Atlantic Oscillation. *Journal of Physical Oceanography* 31, 3374–3400.
69. Cury, P. & Roy, C. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 56, 670–680.

70. Cushing, D.H. 1982. Climate and Fisheries. Academic Press, London p 364
71. Cushing, D.H. 1995. Population production and regulation in the sea. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
72. Cushing, D.H. 1996. Towards a Science of recruitment in fishpopulations. *En* O. Kinne (Ed.), Excellence in ecology 7. Ecology Institute, Nordbunte 23, D-21385 Oldendorf/Luhe, Germany.
73. Czaja, A. 2003. On the time variability of the net ocean-to-atmosphere heat flux in midlatitudes, with application to the North Atlantic basin. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 129, 2867-2878.
74. Daskalov, G. 1999. Relating fish recruitment to stock biomass and physical environment in the Black Sea using generalized additive models. *Fisheries Research* 1-23.
75. Davenport, R., Neuer, S., Hernandez-Guerra, A., Rueda, M.J., Llinás, O., Fischer, G., Wefer, G. 1999. Seasonal and interannual pigment concentration in the Canary Islands region from CZCS data and comparison with observations from the ESTOC. *International Journal of Remote Sensing* 20,1419-1433
76. de Pontual, H., Bertignac, M., Battaglia, A., Bavouxet, G., Moguedet, P., Groison, N-L. 2003. A Pilot Tagging experiment on European Hake (*Merluccius merluccius*): methodology and preliminary results. *ICES Journal of Marine Science*, 60, 1318-1327.
77. de Pontual, H., Groison, A. L., Piñeiro, C. 2004. Do we need to revise growth estimation of European hake (*Merluccius merluccius*)? *ICES CM* 2004/K, 66
78. Deser, C., Walsh, J.E., Timlin, M.S. 2000: Arctic sea ice variability in the context of recent atmospheric circulation trends *Journal of Climate* 13, 617-633.
79. Dickson, R.R. 1997. From the Labrador Sea to global change. *Nature* 386, 649-650.
80. Dickson, R.R. 1999. All change in the Arctic. *Nature* 397, 389-391.
81. Dickson, R.R., Kelly, P.M., Colebrook, J.M., Wooster, W.S. Cushing, D.H. 1988. North winds and production in the eastern North Atlantic. *Journal of Plankton Research* 10, 151-169.
82. Dickson, R.R., Lazier, J., Meincke, J., Rhines, P., Swift, J. 1996. Long - term coordinated changes in the convective activity of the North Atlantic, *Progress in Oceanography* 38, 241-295.
83. Dippner, J.W. & Ottersen, G. 2001. Cod and climate variability in the Barents Sea. *Climate Research* 17, 73-82
84. El Ouairi, M. 1990. La pêche mixte 'merlu-crevettes' des côtes atlantiques marocaines. *En*: Rapport du groupe de travail sur les merlus et les crevettes d'eaux profondes dans la zone nord du COPACE. *FAO COPACE/PACE Séries* 90/51, 55-70. Roma, Italia.
85. El Ouairi, M. 1991. L'évolution des indices d'abondance du merlu blanc et des crevettes. Campagnes de recherche 1982-89. *En*: Rapport du Groupe de Travail CEE/Maroc sur l'évaluation des stocks de merlu blanc et des crevettes. Fuengirola (Málaga) 16-21 septembre 1991 (mimeo). Málaga, España.

86. Elmoussaoui, A., Djenidi, S., Kostianoy, A. 2003. Physical processes study in the transition zone of the Northwest African upwelling: Climatological data analysis. *Geophysical Research Abstracts* 5, 11465
87. FAO. 1978. Report of the ad hoc working group on hakes (*Merluccius merluccius*, *M. senegalensis*, *M. cadenati*) in the northern zone of CECAF. IEO, Sta. Cruz de Tenerife, Spain. 5-9 June 1978. *FAO CECAF/ECAF Series*. 78/9.
88. FAO. 1986. Rapport du groupe de travail special sur les pêcheries de merlus et de crevettes profondes dans la zone nord du COPACE. IEO, Sta. Cruz de Tenerife, Sapagne. 2-5 Mai 1984. *FAO COPACE/PACE Series* 86/83
89. FAO. 1990. Rapport du groupe de travail sur les merlus et les crevettes d'eaux profondes dans la zone nord du COPACE. *FAO COPACE/PACE Séries* 90/51 FAO, Roma, Italia.
90. FAO. 1991. Artisanal fisheries in West Africa. *Report of the Fifth IDAF Liaison Officers Meeting* 140 pp.
91. FAO. 1997. Rapport du groupe de travail sur les merlus et les crevettes d'eaux profondes dans la zone nord du COPACE. *FAO COPACE/PACE Séries*.(26 de mayo – 5 de junio, 1997, Santa Cruz de Tenerife, España), 90 pp. FAO, Roma, Italia.
92. FAO. 2003. Yearbook of fisheries Statistics. Historical Catches and Landings.
93. FAO. 2004. Rapport du Groupe de travail du COPACE sur l'évaluation des poissons démersaux. Première partie: Nord. *COPACE/PACE Séries*, 04/66/1. FAO, Roma, Italia. 128 p.
94. FAO. 2006a. Rapport du Group de travail FAO/COPACE sur l'évaluation des ressources demersales. Conakry, Guinée, 19-29 septembre 2003. *COPACE/PACE Séries*. 06/67, 102-112. FAO, Roma, Italia.
95. FAO. 2006b. Report of the FAO/CECAF Working Group on the Assessment of Demersal Resources-Subgroup North. Saly, Senegal, 14-23 September 2004 *FAO CECAF/ECAF SERIES Series* 06/67 357. FAO, Roma, Italia.
96. Fernández, L., Ramos, A., González, R. 1998. La pesquería española de volanta en aguas del Reino de Marruecos. *Informe Técnico Instituto Español de Oceanografía* 170, 89 pp. Madrid, España.
97. Fiorentino, F., Garofalo, G., De Santi, A., Bono, G., Giusto, G.B., Norrito, G. 2003. Spatio-temporal distribution of recruits (0 group) of *Merluccius merluccius* and *Phycis blennoides* (Pisces, Gadiformes) in the Strait of Sicily (Central Mediterranean). *Hydrobiologia* 503,223-236.
98. Fiorentino, F., Zamboni, A., Relini, G. 1998. Trawl selectivity in *Merluccius merluccius* on the basis of experiences reported in literature. *Biologia Marina Madeiterranea* 5, 465-474.
99. Fogarty M.J., Sissenwine M.P., Cohen, E.B. 1991. Recruitment variability and the dynamics of exploited marine populations. *Trends Ecology and Evolution* 6, 241–246
100. Fogarty, M. 1993. Recruitment in randomly varying environments. *ICES Journal of Marine Science* 50, 247-260.

101. Fournier, D.A. 1983. An analysis of the Hecate Strait Pacific Cod fisheries using an age-structured model incorporating density-dependent effects. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 40, 1233-1243.
102. Fraga, F. 1974. Distribution des masses d'eau dans l'upwelling de Mauritanie. *Téthys* 6, 5-10.
103. Francis, R., & Hare, S.R. 1994. Decadal-scale regime shifts in the large marine ecosystems of the Northeast Pacific a case for historical science. *Fisheries Oceanography*. 3, 279-291.
104. Freudenthal, T., Meggers, H., Henderiks, J., Kuhlmann, H., Moreno, A., Wefer, G. 2002. Upwelling intensity and filament activity off Morocco during the last 250,000 years. *Deep Sea Research II* 49,3655-3674.
105. Freudenthal, T., Neuer, S., Meggers, H., Davenport, R., Wefer, G. 2001. Influence of lateral particle advection and organic matter isotope ratios along a productivity gradient in the Canary Islands region. *Marine Geology* 177, 93-109.
106. Fromentin, J.M. & Planque, B. 1996. Calanus and environment in the eastern North Atlantic. Influence of the North Atlantic Oscillation on *C. finmarchicus* and *C. helgolandicus*. *Marine Ecology Progress Series* 134, 111-118.
107. Fung, I.Y., Meyn, S.K., Tegen, I., Doney, S.C., John, J.G., Bishop, J.K.B. 2000. Iron supply and demand in the upper ocean. *Global Biogeochemical Cycles* 14, 281-295.
108. Gabric, A.J., García, L. Van Camp, L., Nykjaer, L., Eifer, W., Schrimpf, W. 1993. Offshore export of shelf production in the Cape Blanc (Mauritania) giant filament as derived from Coastal Zone Colour Scanner Imagery. *Journal of Geophysical Research* 98, 4697-4712.
109. Gabric, A.J., Schrimpf, W., Eifler, W. 1996. A Lagrangian model of phytoplankton dynamics in the Mauritanian coastal upwelling zone. *Advanced Space Research* 19, 99-115.
110. García, S. 1982. Distribution, migration and spawning of the main fish resources in the northern CECAF area. *CECAF/ECAF Ser.*, 82/25, 9 pp., 11 map. FAO, Roma, Italia.
111. García, T., Sobrino, I., Fernández, L. 2000. La crisis en el acceso al caladero marroquí: análisis de la evolución y situación de las pesquerías y recursos de merluza y crustáceos. *Informes Técnicos Instituto Español de Oceanografía*. 178, 171 pp. Madrid, España.
112. García-Cabrera, C. 1968. Biología y pesca del pulpo (*Octopus vulgaris*) y choco (*Sepia officinalis*) en aguas del Sahara Español. *Publicación Técnica de la Junta Estatal de Pesca* 7, 98-141
113. García-Rodríguez & Esteban, A. 2002. How fast does hake grow? A study on the Mediterranean hake (*Merluccius merluccius* L.) comparing whole otoliths readings and length frequency distribution data. *Scientia Marina* 66, 145-156
114. Gilbert, D.J. 1997. Towards a new recruitment paradigm for fish stocks. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 54, 969-977.
115. Giron, M., Chang, F., Ayon, P. 1997. Larvae of Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) related with phytoplankton as suitable food. Cruise RV Humboldt 9608-09 between Paita and Tambo de Mora. Evaluation cruise of the Peruvian anchoveta

- spawning biomass. R/V Humboldt 9608-09. 123, 20-27. 1997. Peru, Instituto del Mar del Peru. Crucero de evaluación de la biomasa desovante de anchoveta. BIC Humboldt 9608-09.
116. Goñi, R. & Cervantes, A. 1986. Contribución al conocimiento de la maduración sexual, época de puesta y sex-ratio de la merluza europea (*Merluccius merluccius* L., 1758) de África Occidental. En: Rapport du Premier Groupe de travail spécial sur les pêcheries de merlus et de crevettes profondes dans la zone nord du COPACE. COPACE/PACE Sér., 86/33, 266-276. FAO, Roma, Italia.
  117. Goñi, R. 1983. Growth studies on European hake (*Merluccius merluccius* L.) from the Northwest African shelf. ICES CM 1983/G, 10, 16 pp. Copenhagen, Dinamarca.
  118. Goñi, R., Adlerstein, S., Alvarez, F., García, M., Sánchez, P., Sbrana, M., Maynou, F., Viva, C. 2004. Recruitment indices of European hake, *Merluccius merluccius* (Linnaeus 1758), in the Northwest Mediterranean based on landings from bottom-trawl multispecies fisheries. *ICES Journal of Marine Science* 61, 760-773
  119. Guénette, S., Balguerías, E., García, M.T. 2001. Spanish fishing along the Saharan and Moroccan coasts. Fisheries impacts on North Atlantic ecosystems: catch, effort and national/regional data sets. *Fisheries Centre Research Report* 9, 206-213
  120. Guisande C., Cabañas J. M., Vergara A. R., Riveiro I. 2001. Effect of climate on recruitment success of Atlantic Iberian sardine *Sardina pilchardus*. *Marine Ecology Progress Series* 223, 243-250.
  121. Guisande, C., Vergara, A. R., Riveiro, I., Cabañas, J.M. 2004. Climate change and abundance of the Atlantic-Iberian sardine (*Sardina pilchardus*). *Fisheries Oceanography* 13, 91-101.
  122. Hagen, E., Zuilicke, C., Feistel, R. 1996. Near-surface structures in the Cape Ghir filament off Morocco. *Oceanologica Acta* 19, 577-598.
  123. Hallett, T.B., Coulson, T., Pilkington, J.G., Clutton-Brock, T.H., Pemberton, J.M., Grenfell, B. 2004. Why large-scale climate indices seem to predict ecological processes better than local weather. *Nature*, 430, 71-75.
  124. Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. 2001 The elements of statistical learning. Data mining, inference and prediction. New York, Springer.
  125. Helle, K., Pennington, M., Bogstad, B., Ottersen, G. 2002. Early environmental influences on growth of Arcto-Norwegian cod, *Gadus morhua*, from the 0-group to adults. *Environmental Biology of Fishes* 65, 341-348
  126. Helmke, P. 2003. Remote sensing of the Northwest African upwelling and its production dynamics. Tesis doctoral. Universität Bremen, Alemania. 165 pp.
  127. Hernández-Guerra A. & Nykjaer L. 1997. Sea surface temperature variability off north-west Africa: 1981-1989. *International Journal of Remote Sensing* 18, 2539-2558.
  128. Hernandez-Guerra A., Arístegui J., Canton M., Nykjaer L. 1993. Phytoplankton pigment patterns in the Canary Islands area as determined using coastal zone colour scanner data. *International Journal of Remote Sensing* 14, 1431-1437.
  129. Hernández-Guerra, A., Machín, F., Antoranz, A., Cisneros-Aguirre, J., Gordo, C., Marrero-Díaz, A., Martínez, A., Ratsimandresy, A.A.W., Rodríguez-Santana, A., Sangrá, P., López-Laazen, F., Parrilla, G., Pelegrí, J.L. 2002. Temporal variability of mass transport in the Canary Current. *Deep Sea Research II* 49, 3415-3426.



130. Hernández-León, S. 1991a. Accumulation of mesozooplankton in a wake area as a causative mechanism of the "Island-mass effect". *Marine Biology* 109, 141-147.
131. Hernández-León, S. 1991b. Zooplankton biomass and indices of feeding and metabolism in island-generated eddies around Gran Canaria. *Journal of Marine Systems* 30 , 51-66.
132. Hernández-León, S. 1998. Gradients of mesozooplankton biomass and ETS activity in the wind-shear area as evidence of an island mass effect in the Canary Island waters. *Journal of Plankton Research* 10, 1141-1154.
133. Hernández-León, S., Almeida, C., Yebra, L., Arístegui, J., De Puellas, M.L.F., García-Braun, J. 2001. Zooplankton abundance in subtropical waters: is there a lunar cycle? *Scientia Marina* 65, 59-63.
134. Hickling, C.F. 1927. The natural history of the hake. Part III. *Fisheries Investigation Series II* 10, 112 pp.
135. Hickling, C.F. 1930. The natural history of the hake. Part IV: Age determination and growth rate. *Fisheries Investigation Series. II.* 13, 120 pp.
136. Hickling, C.F. 1933. The natural history of hake. Part IV. Age determination and the growth rate. U.K. Ministry of Fisheries, Agriculture and Food *Fisheries Investigation Series 2* 13, 120 pp.
137. Hickling, C.F. 1935. The Hake and the Hake Fishery (Bauckland lectures for 1934), Edward Arnold & Co., London
138. Hilborn, R. & Walters, C.J. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Chapman & Hall, London.
139. Hinz, K., Dostman, H., Fritsch, J. 1982. The Continental margin of Morocco: Seismic Sequences, Structural Elements and Geological Development. *En: U. von Rad, K. Hinz, M. Sarnthein, E. Seibold (Eds.) Geology of the Northwest African Continental Margin.* Springer-Verlag, Berlin pp 34-60
140. Hjermann, D., Ottersen G., Stenseth N. 2004a. Competition among fishermen and fish causes the collapse of Barents Sea capelin. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101, 11679-11684.
141. Hjermann, D., Stenseth N., Ottersen G. 2004b. Indirect climatic forcing of the Barents Sea capelin: a cohort effect. *Marine Ecology Progress Series* 273, 229-238.
142. Hurrell, W. & Dickson, R. 2003. Climate variability over the North Atlantic. *En: J. Hurrell, Y. Kushnir, G. Ottersen, M. Visbeck (Eds.) The North Atlantic Oscillation: climatic significance and environmental impact* 15-31 pp. American Geophysical Union.
143. Hurrell, W. & van Loon H. 1997. Decadal variations in climate associated with the North Atlantic oscillation. *Climatic Change* 36, 301-326.
144. Hurrell, W. 1995. Decadal trend in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. *Science* 269, 676-679.
145. Hurrell, W., Kushnir, Y., Ottersen, G., Visbeck, M. 2003. An overview of the North Atlantic Oscillation. *En: J. Hurrell, Y. Kushnir, G. Ottersen, M. Visbeck (Eds.) The North Atlantic Oscillation: climatic significance and environmental impact* 1-35 pp. American Geophysical Union.

146. ICES. 1982. Report of the working group on assessment of hakes stocks. Copenhagen, 29 April – 6 May 1982. *ICES CM 1982/Assess 14*
147. ICES. 2003. Report of the Working Group on the Assessment of Southern Stock of hake, Monk and Megrin, *ICES CM 2003/ACFM:01*.
148. Inada, T. 1981. Studies on the merlucciid fishes. *Bulletin of Far Fisheries Research Laboratory*, 18, 172 pp.
149. Jai Shin, Y., Roy, C., Cury, P. 1998. Clupeids reproductive strategies in upwelling areas: a tentative generalization. Global versus local changes in upwelling systems. *ORSTOM* 409-422.
150. Johnson, J. & Stevens, I. 2000. A fine resolution model of the eastern North Atlantic between the Azores, the Canary Islands and the Gibraltar Strait. *Deep Sea Research* 47, 875-899.
151. Jones, B.W. 1974. World resources of hakes of the genus *Merluccius*. En: F. R. Harden Jones (Ed.) *Sea Fisheries Research*, 139-166. Paul Elek Ltd. London
152. Kearns E.J. & Carr M.E. 2003. A hydrographic and nutrient climatology of four eastern boundary current regions. *Deep Sea Research II* 50, 3171-3198.
153. Kifani S. & Gohin, F. 1992. Dynamique de l'upwelling et variabilité spatio-temporelle de la répartition de la sardine marocaine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792). *Oceanologica Acta* 15, 173-186.
154. Kifani, S. 1991. Stock sardinier central: contexte environnemental et pêche. Approche spatio-temporelle de relations hydroclimat-dynamique des espèces pélagiques au région d'upwelling: cas de la sardine du stock central marocain. Thèse de doctorat spécialité Océanographie halieutique. Université de Bretagne Occidentale, 312pp, p 22-77
155. Klein, B. & Siedler, G. 1989. On the origin of the Azores Current. *Journal of Geophysical Research* 94 (C5), 6159 –6168.
156. Klyashtorin L.B. 1998. Long-term climate change and main commercial fish production in the Atlantic and Pacific. *Fisheries Research* 37, 115-125.
157. Klyashtorin, L.B. 2001. Climate change and long-term fluctuations of commercial catches. The possibility of forecasting. *FAO Fisheries Technical Paper* 410, 86 pp. FAO, Rome, Italy.
158. Knoll, M., Lenz, B., Lopez-Laatzén, F., Müller, T.J., Siedler, G. 2002. The Eastern Boundary Current System between the Canary Islands and the African coast. *Deep Sea Research II* 49, 3427-3440.
159. Koslow, J.A. 1992. Fecundity and the stock-recruitment relationship. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 49, 210-217.
160. Koslow, J.A., Thompson, K.R., Silvert, W. 1986. Recruitment to Northwest Atlantic cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) stocks: influence of stock size and climate. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 44, 26–39.
161. Köster, F., Hinrichsen, H.-H., St.John, M., Schnack, D., MacKenzie, B.R., Plikshs, M. 2001. Developing Baltic cod recruitment models. II. Incorporation of environmental variability and species interaction. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58, 1534-1556

162. Köster, F., Hinrichsen, H.H., Wieland, K., Tomkiewicz, J., Kraus, G., Voss, R., Makarchouk, A., MacKenzie, B.R., St.John, M.A., Schnack, D., Rohlf, N., Linkowski, T., Beyer, J.E. 2005. Baltic cod recruitment - the impact of climate variability on key processes. *ICES Journal of Marine Science* 62, 1408-1425
163. Kushnir, Y. 1994. Interdecadal variations in North Atlantic sea surface temperature and associated atmospheric conditions, *Journal of Climate* 7, 141-157.
164. Lange C.B., Romero O.E., Wefer G., Gabric A.J. 1998. Offshore influence of coastal upwelling off Mauritania, NW Africa as record by diatoms in sediment traps at 2195 m water depth. *Deep Sea Research I* 45, 985-1013.
165. Lavín, A., Cabanas, J.M., Moreno-Ventas, X., Ortiz de Zárate, V., Porteiro, C., Abaunza, P. 2000. Variability of the Environmental Conditions and Fish Communities in the Atlantic Iberian Waters and its Relationship to the NAO. Variability of the Environmental Conditions and Fish Communities in the Atlantic Iberian Waters and its Relationship to the NAO. AGU Chapman Conference "The North Atlantic Oscillation" November 28 – December 1. Orense, Galicia, Spain.
166. Lett, P.F., Kohler, A.C. 1976. Recruitment: a problem of multispecies interaction and environmental perturbations, with special references to Gulf of St. Lawrence Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*). *Journal of Fisheries. Research Board of Canada*. 33, 1353-1371.
167. Lloret, J. & Lleó, J. 2002. Recruitment dynamics of eight fishery species in the northwestern Mediterranean Sea. *Scientia Marina* 66, 77-82
168. Lloret, J., Lleó, J., Solé, I., Fromentin, J.M. 2001. Fluctuations of landings and environmental conditions in the north-western Mediterranean Sea. *Fisheries Oceanography* 10, 33-50
169. Lloris, D., Matallanas, J., Oliver, P. 2003. Merluzas del mundo (Familia Merlucciidae). Catálogo comentado e ilustrado de las merluzas conocidas. FAO Catálogo de especies para los fines de la Pesca. No. 2, 57 pp Roma.
170. Lluch-Belda D., Crawford R. M. J., Kawasaki T., MacCall A.D., Parrish R.H., Schwartzlose R.A., Smith P.E. 1989. World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: The regimen problem. *South African Journal of Marine Science* 8, 195-205.
171. López-Abellan, L. & Ariz, J. 1993. Aspectos generales de la distribución y biología de las especies del género *Merluccius* Rafinesque, 1810, en aguas de Senegal y Gambia (16° 00' N-12° 25' N). *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 9, 101-121.
172. Lucio, P., Murua, H., Santurtún, M. 2000. Growth and reproduction of hake (*Merluccius merluccius*) in the Bay of Biscay during the period 1996-1997." *Oceanografika* 3, 325-354.
173. Mann, K.H. & Drinkwater, K. 1994. Environmental influences on fish and shellfish production in the Northwest Atlantic. *Environmental Review* 2, 16-32.
174. Mann, K.H. & Lazier, J.R.N. 1996. Dynamics of marine ecosystems: biological-physical interactions in the oceans. Blackwell Science, Cambridge, Massachusetts.

175. Manríquez, M. & Fraga, F. 1982. Water mass distribution in the upwelling region off NW Africa in November. *Rapport Proc. Verb. Réunion. Conseil International pour l'Exploration du Mer* 180, 39-47.
176. Marshall, J. & Kushnir Y. 1997. A 'white paper' on Atlantic climate variability. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge. Disponible En: <http://geoid.mit.edu/accp/avehtml.html>
177. Marshall, J., H. Johnson, Goodman, J. 2001. A study of the interaction of the North Atlantic Oscillation with the ocean circulation. *Journal of Climate* 14, 1399-1421.
178. Martín, P. 1989. Dinámica de la pesquería de arrastre en Cataluña, Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, 358 pp
179. Maurin, C. 1954. Les merlus du Maroc et leur pêche. *Bulletin Institute de Pêches Maritimes du Maroc*, 2, 7-65. Casablanca, Marruecos.
180. Maynou, F., Leonart, J., Cartes, J.E. 2003. Seasonal and spatial variability of hake (*Merluccius merluccius* L.) recruitment in the NW Mediterranean. *Fisheries Research* 60, 65-78
181. Miller, J.M., Burke J.S., Fitzhugh G.R. 1991. Early life history patterns of Atlantic North American flatfish: likely (and unlikely) factors controlling recruitment. *Netherland Journal of Sea Research* 27, 261-275
182. Mittelstaedt E. 1982. Large scale circulation along the coast of Northwest Africa. *Rapport Proc. Verb. Réunion. Conseil International pour l'Exploration du Mer* 180, 50-57.
183. Mittelstaedt E. 1991. The ocean boundary along the northwest African coast: Circulation and oceanographic properties at the sea surface. *Progress in Oceanography* 26, 307-355.
184. Mohn, R. 1991. Stability and sustainability of harvesting strategies in a modelled fishery. En: *Management Under Uncertainties Related to Biology and Assessments, with Case Studies on some North Atlantic Fisheries*. Northwest Atlantic Fisheries Organ 16, 133 - 135. Dartmouth (NS), Canada
185. Morales-Nin, B., Moranta, J. 2004. Recruitment and post-settlement growth of juvenile *Merluccius merluccius* on the western Mediterranean shelf. *Scientia Marina* 68, 399-409
186. Moses, T., Keladis, G.N., Diaz, H.F., Barry, R.G. 1987. Characteristics and frequency of reversals in mean sea level pressure in the North Atlantic sector and their relationships to longterm temperature trends. *Journal of Climatology* 7, 13-30
187. MPM. 1990. Le Maroc maritime. Guide pratique du secteur maritime. Ministère des Pêches Maritimes (MPM). 971 pp.
188. Murua, H., Motos, L., Lucio, P. 1998. Reproductive modality and batch fecundity of the European hake (*Merluccius merluccius* L.) in the Bay of Biscay. *CalCOFI Report* 39,196-203
189. Myers A. & Cadigan N.G. 1993. Density-dependent juvenile mortality in marine demersal fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50, 1576-1590.
190. Myers, R.A. 1991. Recruitment variability and range of three fish species. En: *Management Under Uncertainties Related to Biology and Assessments, with*

- Case Studies on some North Atlantic Fisheries. *Northwest Atlantic Fisheries Organ* 16, 21-24. Dartmouth (NS), Canada
191. Myers, R.A. 1998 When do environment-recruit correlations work? *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 8, 285-305
  192. Myers, R.A. 2001. Stock and recruitment: generalizations about maximum reproductive rate, density dependence, and variability using meta-analytic approaches. *ICES Journal of Marine Science* 58, 937-951.
  193. Myers, R.A., Hutchings, J.A., Barrowman, N.J. 1997. Why do fish stocks collapse. The example of cod in Atlantic Canada? *Ecology Applied* 7, 91-106.
  194. Namias, J. & Cayan, D.R. 1981. Large-scale air-sea interactions and short-period climate fluctuations. *Science* 214, 869-878
  195. Nave, S., Freitas, P., Abrantes, F. 2001. Coastal upwelling in the Canary Island region variability reflected by the surface sediment diatom record. *Marine Micropaleontology* 1-23
  196. Nehring D, Schemainda R., Schulz S., Kaiser W. 1974. Seasonal variation of some oceanological features in the upwelling area off NW Africa *ICES CM 1974/C, 08*. 15 p.
  197. Neuer, S., Freudenthal, T., Davenport, R., Llinás, O., Rueda, M.-J., Wefer, G. 2002. Seasonality of surface water properties and particle flux along a productivity gradient off NW Africa. *Deep Sea Research II* 49, 3561-3576.
  198. Nichy, F.E., 1977. Thin sectioning fish ear bones. *Sea Technology*. February, 27 pp.
  199. Noakes, D. 1986. Quantifying changes in British Columbia Dungeness crab (*Cancer magister*) landings using intervention analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 43, 634-639.
  200. Nykjaer, L. & Van Camp, L. 1994. Seasonal and interannual variability of coastal upwelling along northwest Africa and Portugal from 1981 to 1991. *Journal of Geophysical Research* 99, 14197-14207.
  201. Ñiquen, C., Espino, S., Bouchon, C. 2000. Peruvian anchovy population analysis during 1961-1999 period. *Boletín del Instituto del Mar de Perú*. 19, 1-3
  202. Oliver, P. & Massutí, E. 1995. Biology and fisheries of western Mediterranean hake (*M. merluccius*). *En: J. Alheit and T. Pitcher (Eds.) Hake: Biology, fisheries and markets: 181-202*. Chapman & Hall, London.
  203. Oliver, P. 1991. Dinámica de la población de Merluza (*Merluccius merluccius* L.) de Mallorca. Reclutamiento, crecimiento y mortalidad. Tesis Doctoral, Universitat de les Illes Balears, 392 pp.
  204. Orsi-Relini, L., Papaconstantinou, C., Jukic-Peladic, S., Souplet, A., Gil de Sola, L., Piccinetti, C., Kavadas, S., Rossi, M. 2002. Distribution of the Mediterranean hake populations (*Merluccius merluccius smiridus* Rafinesque, 1810) (Osteichthyes: Gadiformes) based on six years monitoring by trawl-surveys: some implications for management. *Scientia Marina* 66, 21-38
  205. Ottersen, G. & Loeng, H. 2000. Covariability in early growth and year-class strength of Barents Sea cod, haddock, and herring: the environmental link. *ICES Journal of Marine Science* 57, 339-348.

206. Ottersen, G. & Stenseth, N. 2001. Atlantic climate governs oceanographic and ecological variability in the Barents Sea. *Limnology and Oceanography* 46, 1774-1780.
207. Ottersen, G., Planque, B., Belgrano, A., Post, E., Reid, P. C. Stenseth, N. 2001. Ecological effects of the North Atlantic Oscillation. *Oecologia* 128, 1-14.
208. Ottersen, G., Loeng, H., Ådlandsvik, B., and Ingvaldsen, R. 2003. Temperature variability in the Northeast Atlantic. *ICES Marine Science Symposia* 219, 86-94.
209. Pacheco M. M. & Hernández-Guerra A. 1999. Seasonal variability of recurrent phytoplankton pigment patterns in the Canary Islands area. *International Journal of Remote Sensing* 207, 1405-1418.
210. Papaconstantinou, C. & Caragitsou, E. 1987. The food of hake (*Merluccius merluccius*) in Greek seas. *Vie Milieu* 37, 21-29
211. Papaconstantinou, C. & Caragitsou, E. 1994. Feeding ecology of juvenile hake (*Merluccius merluccius* L.) on the nursery grounds. *Proceedings 1<sup>st</sup> International Fish Congress*. Athens 4-9 May 1992.
212. Papaconstantinou, C. & Stergiou, K.I. 1995. Biology and fisheries of eastern Mediterranean hake (*M. merluccius*). En: J. Alheit and T. Pitcher (Eds.) *Hake: Biology, fisheries and markets*: 144-180. Chapman & Hall, London.
213. Parrish R.H., Nelson C.R., Bakun A. 1981. Transport mechanisms and reproductive success of fishes in the California Current. *Biological Oceanography* 1, 175-203.
214. Parsons L.S., Lear W.H. 2001. Climate variability and marine ecosystem impacts: a North Atlantic perspective. *Progress in Oceanography* 49, 167-188.
215. Payá, I. 2002. Optimal Environmental Window and Positive Effects of 'El Niño' Events on Recruitment and Sustainability of Common Hake (*Merluccius gayi gayi*) off Central Chile. *Investigaciones Marinas* 30, 184-185.
216. Payne, A. & Punt, A. 1995. Biology and fisheries of South African cape hakes (*M. capensis* and *M. paradoxus*). En: J. Alheit and T. Pitcher (Eds.) *Hake: Biology, fisheries and markets*: 15-48. Chapman & Hall, London
217. Pérez, N. & Pereiro, F.J. 1981. First data on sexual maturation and sex ratio of hake (*Merluccius merluccius* L.) from ICES divisions VIIIc and IXa. *ICES C.M*, 1981/7G, 37-40.
218. Pérez, N. & Pereiro, F.J. 1985. Aspectos de la reproducción de la merluza (*Merluccius merluccius* L.) de la plataforma gallega y cantábrica. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 2, 39-47.
219. Piñeiro, C. 2000. Report on 1st international workshop on hake otolith age reading, (June 23-27, Vigo, Spain) *EFAN Report 6-2000*
220. Piñeiro, C., Afonso, M. H., Arego, S., Bellail, R., Labastie, J., Loureiro, I., Lucio, P., Marecos, L., McCormick, H., Moguedet, Ph., Morgado, C., Sainza, M., Santurtún, M., Trujillo, V., Watson, T., Woods, F. 2000. Report on the 2<sup>nd</sup> workshop on hake otolith age reading (February 15-19, 1999. Vigo, Spain) *EFAN Report 8-2000*
221. Piñeiro, C. and Saínza, M. 2002. Report of 3rd Exchange on European hake age readings (SAMFISH). Instituto Español de Oceanografía IEO, Vigo, Spain . Annex in the *Finnal Report of EUContract No. 99/009* (Improving Sampling of Western and Southern European Atlantic Fisheries – SAMFISH).

222. Piñeiro, C., & M. Sainza. 2003. Age estimation, growth and maturity of the European hake, *Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758) from Iberian Atlantic waters. *ICES Journal of Marine Science*. 60, 1086-1102.
223. Piñeiro, C. & Sainza, M. 2004. Report of 4th exchange on European hake age readings. *Working Document ICES, WGHMM 2004*
224. Piñeiro, C., Rey, J. de Pontual, H. 2004. Does otolith microstructure corroborate the fast growth model of European hake juveniles? *ICES CM 2004/K*, 112
225. Pitcher, T. & Alheit, J. 1995. What makes a hake? A review of the critical biological features that sustain global hake fisheries. ). *En: J. Alheit and T. Pitcher (Eds.) Hake: Biology, fisheries and markets: 1-14.* Chapman & Hall, London
226. Planque, B. & Frédou, T. 1999. Temperature and the recruitment of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Special Publication Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 55. 2069-2077.
227. Planque, B., Fox, C.J., Saunders, A.S., Rockett, P. 2003. On the prediction of short term changes in the recruitment of North Sea cod (*Gadus morhua*) using statistical temperature forecasts. *Scientia Marina* 67, 211-218
228. Poinard, F. & Villegas, L. 1975. Analyse de la pêche côtière au chalut dans l'Atlantique marocain. Documento de Trabajo *Dév. Pêche Maroc*, 25, 9 pp. Casablanca, Marruecos.
229. Poinard, F. 1992. Synthèse sur l'état des ressources halieutiques dans la zone de pêche du Maroc, 206 pp. DG-XIV, CEE, Bruselas, Bélgica.
230. Pörtner, H.O., Berdal, B., Blust, R., Brix, O., Colosimo, A., De Watcher, B., Giuliani, A., Johansen, T., Fischer, T., Knust, R., Lanning, G., Naevdal, G., Nedenes, A., Nyhammer, G., Sartoris, F.J., Serendero, I., Sirabella, P., Thorkildsen, S., Zakhartsev, M. 2001. Climate induced temperature effects on growth performance, fecundity and recruitment in the marine fish: developing a hypothesis for cause and effect relationships in Atlantic cod (*Gadus morhua*) and common eelpout (*Zoarces viviparus*). *Continental Shelf Research* 21, 1975-1997
231. Quinn, T.J. & Deriso, R.B. 1999. Quantitative fish dynamics. Oxford University Press, New York, Oxford.
232. Quinn, T.J. & Niebauer, H.J. 1995. Relation of eastern Bering Sea walleye pollock recruitment to environmental and oceanographic variables. *En: Proceedings of International Symposium on Climate Change and Northern Fish Population.* *Canadian Special Publication Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 121, 497-507.
233. Rami, M. 1979. Mise au point d'une technique pour la lecture d'âge de *Merluccius merluccius*. Documento de Trabajo. *Dév. Pêche Maroc*. 25, 9 pp
234. Ramos A., Cervantes A., Sobrino I. 1990. Estudios biológicos sobre la merluza europea (*Merluccius merluccius* Linnaeus, 1758) del área de CECAF. *En: Rapport du groupe de travail sur les merlus et les crevettes d'eaux profondes dans la zone nord du COPACE.* pp. 155-177. FAO.
235. Ramos, A. & Fernández, L. 1992. La pesquería española de arrastre de merluzas negras en aguas mauritanas: Análisis de la serie histórica de datos. *Informe Técnico. Instituto Español de Oceanografía*, 118, 67

236. Ramos, A. & Fernández, L. 1993. Las merluzas y sus pesquerías en las costas de África Noroccidental. *En: Las pesquerías canario-saharianas. Cursos de Invierno de la Universidad de Las Palmas 9-13 de marzo, 1993. Lanzarote, España.* Málaga, España: 41 pp. (mimeo).
237. Ramos, A. & Fernández, L. 1994. Las pesquerías de merluzas en los caladeros de África Noroccidental: Datos de base del año 1991. *Informe Técnico Instituto Español de Oceanografía*, 153, 132 pp. Madrid, España.
238. Ramos, A. & Fernández, L. 1995. Biology and fisheries of North-west African hakes (*M. merluccius*, *M. senegalensis* and *M. polli*). *En: J. Alheit and T. Pitcher (Eds.). Hake: Biology, fisheries and markets: 89-124. Chapman & Hall, London, Reino Unido.*
239. Ramos, A., Cervantes, A. & Sobrino, I. 1990. Estudios biológicos sobre la merluza europea (*Merluccius merluccius* Linnaeus, 1758) del área de CEE. *En: Rapport du groupe de travail sur les merlus et les crevettes d'eaux profondes dans la zone nord du COPACE. COPACE/PACE Sér., 90/51, 155-177. FAO, Roma, Italia.*
240. Ramos, A., Sobrino, I., Fernández, L. 1996. Biología de la Merluza europea, *Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758), de las costas de África Noroccidental. *En: O. Llinás, González, J.A., Rueda, M.J. (Eds.), Oceanografía y Recursos Marinos en el Atlántico Centro-Oriental, Instituto Canario de Ciencias Marinas, Las Palmas de Gran Canaria, pp. 226-239.*
241. Ramos, A., Godoy, D., Fernández, L., González, R. 1999. Informe de la campaña "PALMAROC 98". *Datos y Resúmenes Instituto Español de Oceanografía*, 13, 63 pp. Madrid, España.
242. Ramos, A., González, R., García, T., Sobrino, I., Fernández, L. 2000. La crisis en el acceso al caladero marroquí: análisis de la evolución y situación de las pesquerías y recursos de merluzas y crustáceos. *Informe Técnico Instituto Español de Oceanografía* 1-171.
243. Ratmeyer, V., Blazer, W., Bergametti, G., Chiapello, I., Fischer, G., Wyputta, U. 1999. Seasonal impact of mineral dust on deep-ocean particle flux in the eastern subtropical Atlantic Ocean. *Marine Geology* 159, 241-252
244. Recasens L, 1992. Dinamica de poblaciones i pesqueria del lluc (*Merluccius merluccius*) al golfo de Lleó i la mar Catalana. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, 398 p.
245. Recasens, L., Lombarte, A., Morales-Nin, B., Torres, G.J. 1998. Spatiotemporal variation in the population structure of the European hake in the NW Mediterranean. *Journal of Fish Biology* 53, 387-401
246. Ricker, W.E. 1954. Stock and recruitment. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 11, 559-623.
247. Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish population. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*. 91.
248. Rodríguez J.M., Barton E.D., Eve L., Hernández-León S. 2001. Mesozooplankton and ichthyoplankton distribution around Gran Canaria, an oceanic island in the NE Atlantic. *Deep Sea Research I*, 2161-2183.



249. Rodríguez J.M., Hernández-León S., Barton E.D. 1999. Mesoscale distribution of fish larvae in relation to an upwelling filament of Northwest Africa. *Deep Sea Research I* 46, 1969-1984.
250. Rogers J.C. 1984. The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere. *Monthly Weather Review* 112, 1999-2015.
251. Rogers J.C. 1990. Patterns of low-frequency monthly sea-level pressure variability (1899-1986) and associated wave cyclone frequencies. *Journal of Climate* 3, 1364-1379.
252. Romero O.E., Lange C.B., Fischer G., Treppke U.F., Wefer G. 1999. Variability in export production documented by downward fluxes and species composition of marine planktonic diatoms: Observations from the tropical and equatorial Atlantic. *En: G. Fischer and G. Wefer (Eds.)The Use of Proxies in Paleoceanography-Examples from the South Atlantic*, pp. 365-392. Springer Verlag.
253. Romero, O., Leroy, E.S., Ballouche, A., Sabar, S.O., Philip, S. 2002. The dynamics of the coastal upwelling the aeolian input off Mauritania. Atar, Mauritania. January 4 -18 2004. "Rapid and catastrophic environmental changes in the Holocene and human response" first joint meeting of IGCP 490 and ICSU Environmental catastrophes in Mauritania, the desert and the coast.
254. Rothschild, B. 1986. Dynamics of Marine Fish Populations. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
255. Roy C., Porteiro C., Cabañas J.M. 1995. The optimal environmental window hypothesis in the ICES area: The example of the Iberian sardine. *ICES Cooperative Research Report* 57-65.
256. Roy, C., & Reason, C. 2001. ENSO related modulation of coastal upwelling in the eastern Atlantic. *Progress in Oceanography*, 49, 245-255.
257. Sakamoto, Y., Ishiguro, M., Kitagawa, G. 1986. Akaike information criterion statistics. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.
258. Sánchez, F. & Gil, J. 2000. Hydrographic mesoscale structures and Poleward Current as a determinant of hake (*Merluccius merluccius*) recruitment in southern Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science* 57, 152-170.
259. Sánchez, P. & Martín, P. 1991. Talla de primera madurez y selectividad en algunas especies demersales de interés comercial del litoral catalán. *En: P. Oliver (ed.) Bases Técnicas para la Regulación de la Pesca de Arrastre en el Mediterráneo. Informe Técnico Instituto Español de Oceanografía*. 100, 19-27
260. Sánchez, G.; Calienes, R.; Zuta, S. 2000. The 1997-98 El Niño and its effects on the coastal marine ecosystem off Peru. *CalCOFI Report*. 41, 62-86.
261. Sánchez, R., Sánchez, F., Gil, J. 2002. The Optimal Environmental Window that control the hake (*Merluccius merluccius*) recruitment in the Cantabrian Sea *ICES Journal of Marine Science* 57, 152-170.
262. Santos, A.M.P., Borges, M.F., Groom, S. 2001. Sardine and horse mackerel recruitment and upwelling off Portugal. *ICES Journal of Marine Science* 58, 589-596

263. Sarano, F. 1983. La reproduction du merlu (*Merluccius merluccius* L.) cycle ovarien et fecondite-cycle sexuel de la population du Golfe de Gascogne. Thèse de Docteur de 3e cycle. Université de Poitiers-Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes-La Rochelle, 148pp.
264. Schemainda, R., Nehring, D., Schulz, S. 1975. Ozeanologische Untersuchungen zum Produktionspotential der nordwestafrikanischen Wasserauftriebsregion 1970-1973. *Geod. Geophys. Veröf.* 4, 1-88
265. Schmincke, H.-U., 1982, Volcanic and chemical evolution of the Canary Islands, *En.* von Rad, U., Hinz, K., Sarnthein, M., Seibold, E. (Eds.), *Geology of the northwest African continental margin*: Berlin, Springer-Verlag, p. 273–306.
266. Schweigert, J.F. & Noakes, D.J. 1990. Forecasting Pacific herring (*Clupea harengus pallasii*) recruitment from spawner abundance and environmental information. *En: Proceedings of International Herring Symposium*, Oct. 1990, Anchorage, Alaska. pp. 373–387.
267. Sedykh, K. A. 1978. The coastal upwelling of northwest Africa. *ICES CM/C* 12
268. Seibold, E., & Hinz, K. 1976. German cruises to the continental margin of Northwest Africa in 1975: General reports and preliminary results from "VALDIVIA" 10 and "METEOR" 39. "Meteor" *Forschungsergebnisse C* 25, 47-80
269. Serra R., Cury P., Roy C. 1998. The recruitment of the Chilean sardine (*Sardinops sagax*) and the "optimal environmental window". Global versus local changes in upwelling systems. *ORSTOM* 267-274.
270. Shaefer, M.B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Inter American Tropical Tuna Commission Bulletin*. 1, 25-26.
271. Sinclair M., Anthony V. C., Iles T. D., O'Boyle RN. 1985a. Stock assessment problems in Atlantic Herring (*Clupea harengus*) in the Northwest Atlantic. *Journal of Fish and Aquatic Sciences* 42, 898.
272. Sinclair, M., Tremblay, M.J., Bernal, P. 1985b. El Niño events and variability in a Pacific mackerel (*Scomber japonicus*) survival index: Support for Hjort's second hypothesis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42, 602-608.
273. Sinclair, M. 1988. *Marine populations: an essay on population regulation and specification*. University of Washington Press, Seattle, USA
274. Sobrino, I. 1998. *Biología y pesca de la gamba blanca (Parapenaeus longirostris, Lucas 1846) en el Atlántico Nororiental*. Memoria Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 218 pp.
275. Solow, A.R. 2000. Fisheries recruitment and North Atlantic Oscillation. *Fisheries Research*. 54, 295–297.
276. Speth, P., Detlefsen, H., Sierts, H.-W. 1978. Meteorological influence on upwelling off Northwest Africa. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift* 31, 95-104.
277. Stein, M., Borovkov, V.A. 2004. Greenland cod (*Gadus morhua*): modeling recruitment variation during the second half of the 20th century. *Fisheries Oceanography* 13, 111-120
278. Stenseth, N., Mysterud, A., Ottersen, G., Hurrell, W., Chan, K., Lima, M. 2002. Ecological Effects of Climate Fluctuations. *Science* 297, 1292-1296.

279. Stenseth, N., Ottersen, G., Hurrell, W., Mysterud, A., Lima, M., Chan, K., Yoccoz, N., Ådlandsvik, B. 2003. Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: the North Atlantic Oscillation, El Niño Southern Oscillation and beyond. *Proceedings Royal Society of London* 1-10.
280. Stergiou, K.I. 1986. Pre-war changes in the abundance of *Pagellus erythrinus*, *Merluccius merluccius*, and *Engraulis encrasicolus* in Greek waters and climatic change. *FAO Fisheries Report* 361, 99-105
281. Stocker, M.V., Haist, V. Fournier, D. 1985. Environmental variation and recruitment of Pacific herring (*Clupea harengus pallasii*) in the Strait of Georgia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 42, 174-180.
282. Stramma, L. & Siedler, G. 1988. Seasonal changes in the North Atlantic subtropical gyre. *Journal of Geophysical Research* 93, 8111 –8118.
283. Sullivan, M.C., Cowen, R.K., Steves, B.P. 2005. Evidence for atmosphere-ocean forcing of yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*) recruitment in the Middle Atlantic Bight. *Fisheries Oceanography* 14, 386-399
284. Sundby, S. 2000. Recruitment of Atlantic cod stocks in relation to temperature and advection of copepod populations. *Sarsia* 85, 277-298
285. Sundby, S., Boyd, A., Hutchings, L., O'Toole, M., Thorrisson, K., Thorsen, A. 2001. Interaction between Cape hake spawning behavior, the physical properties of its eggs and larvae and the dynamics of the circulation in the northern Benguela upwelling ecosystem. En 'Symposium 2000 – a Decade of Namibian Fisheries Science'. *South African Journal of Marine Science* 23, 317–36.
286. Toresen R. & Østvedt O.J. 2000. Variation in abundance of Norwegian spring-spawning herring (*Clupea arengus*, Clupeidae) throughout the 20th century and the influence of climatic fluctuations. *Fish and Fisheries* 1, 231-256.
287. Turner, J. & El Ouari, M. 1986. State of the exploitation of *Merluccius merluccius* off the coast of Northern Morocco. En: Rapport du Premier Groupe de travail spécial sur les pêcheries de merlus et de crevettes profondes dans la zone nord du COPACE. *COPACE/PACE Sér.*, 86/33, 51-71. FAO, Roma, Italia.
288. Umbriaco, J., Segall, M.P. Murphy, E., 2003. Geohazard Zonations for the Morocco Continental Margin. National Conference on Undergraduate Research, March 13-15, Salt Lake City, UT.
289. Uriarte, A., Roel, B.A., Borja, A., Allain, G., O'Brien, C.M. 2002. Role of Environmental indices in determining the recruitment of the Bay of Biscay anchovy. *ICES CM* 2002/O 25.
290. van Camp, L., Nykjaer, L., Mittelstaedt, E., Schlittenhardt, P. 1991. Upwelling and boundary circulation off northwest Africa as depicted by infrared and visible satellite observations. *Progress in Oceanography* 26, 357-402.
291. van Loon, H. & Rogers, J. C. 1978. The seesaw in winter temperatures between Greenland and Northern Europe. Part 1. General description. *Monthly Weather Review* 106, 296–310.
292. Villegas, L. & García, S. 1983. Demersal fish assemblages in Liberia, Ghana, Benin and the United Republic of Cameroon. *FAO CECAF/ECAF Series* 83/26 16pp + 7 map.

293. Visbeck, M., Cullen, H., Krahnmann, G., Naik, N.H. 1998. An ocean model's response to North Atlantic Oscillation-like wind forcing. *Geophysical Research Letters*, 25, 4521-4524.
294. Visbeck, M., Chassignet, E., Curry, R., Delworth, T., Dickson, B., Krahnmann, G. 2003. The oceans's response to North Atlantic Oscillation Variability. *En: J. Hurrell, Y. Kushnir, G. Ottersen, M. Visbeck (Eds.) The North Atlantic Oscillation: climatic significance and environmental impact* 113-146 pp. American Geophysical Union.
295. von Rad, U. & Wissman, G. 1982. Stratigraphy, Facies and tectonic Development of the On- and Offshore Aaiun-Tarfaya Basin – A Review. *En: U. von Rad, K. Hinz, M. Sarnthein, E. Seibold (Eds.) Geology of the Northwest African Continental Margin: 86-105* Springer-Verlag, Berlin.
296. Waldron, H.N., Brundrit G.B., Probyn T.A. 1997. Anchovy biomass is linked to annual potential new production in the southern Benguela: Support for the "optimal environmental window" hypothesis. *South African Journal of Marine Science* 18, 107-112.
297. Walker, G.T. & Bliss E.W. 1932. World Weather. *Royal Meteorological Society* 4, 53-84.
298. Walker, G.T. 1924. Correlations in seasonal variations of weather IX. *Memoirs of the Indian Meteorological Department* 24, 275-332
299. Walters, C.J. & Ludwig, D. 1981. Effects of measurement errors on the assessment of stock-recruitment relationships. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 38, 704-710.
300. Walters, C.J. 1985. Bias in the estimation of functional relationships from time series data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 42, 147-149.
301. Wheeler, A. 1969. *The Fishes of the British Isles and North West Europe*. MacMillan
302. Wiff, R. & Quiñónez, R.A. 2004. Parametrización ambiental en modelos biológico-pesqueros. Una revisión. *Gayana* 68, 76-92.
303. Williams, E.H. & Terrance, J.Q. 2000. Pacific herring, *Clupea pallasii*, recruitment in the Bering Sea and northeast Pacific Ocean, II: relationships to environmental variables and implications for forecasting. *Fisheries Oceanography*. 9,300–315.
304. Wooster, W.S. & McLain, D.R. 1976. The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of the North Atlantic. *Journal of Marine Research* 34, 131-140
305. Wooster, W.S., A. Bakum, D.R. McLain, 1976. The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of the North Atlantic. *Journal of Marine Research* 34, 131-140.
306. Wyatt, T. & Pérez-Gándaras, G. 1988. Ekman transport and sardine yields in western Iberia. *En: International symposium on long term changes in marine fish populations*, 125-138. 1988. Vigo.
307. Yebra, L. Almeida, C., Bécognée, P., Rodríguez, J.M., Hernández-León, S. 2001. The effect of upwelling filaments and island-induced eddies on indices of feeding and metabolism in copepods. 1st. GLOBEC Symposium. Noviembre 28-30 (2001). Puerto Santa María, Cádiz.
308. Zupanovic, S. & Jaradas, I. 1986. Study of hake (*Merluccius merluccius* L.) biology and population dynamics in the central Adriatic. *GFCM Study Review* 32, 1-24





