

UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA  
FACULTADE DE BIOLOXIA  
DEPARTAMENTO DE BIOLOXÍA ANIMAL  
LABORATORIO DE ZOOLOXÍA MARIÑA  
y  
ESTACIÓN DE BIOLOXÍA MARIÑA DA GRAÑA

**ASPECTOS BIOLÓGICOS Y PESQUEROS DEL PEZ ESPADA  
(*Xiphias gladius* Linnaeus, 1758) DEL OCÉANO ATLÁNTICO, CON  
ESPECIAL REFERENCIA A LAS ÁREAS DE ACTIVIDAD DE LA  
FLOTA ESPAÑOLA**



Memoria que para optar al Grado de Doctor en Biología presenta

**JAIME MEJUTO GARCÍA**

**Fe de erratas (a 20.11.2007) de la tesis doctoral 2007**

**ASPECTOS BIOLÓGICOS Y PESQUEROS DEL PEZ ESPADA (*Xiphias gladius* Linnaeus, 1758) DEL OCÉANO ATLÁNTICO, CON ESPECIAL REFERENCIA A LAS ÁREAS DE ACTIVIDAD DE LA FLOTA ESPAÑOLA.**

Jaime Mejuto

Capítulo	Página	Línea	Dice / Hay	Debería decir / Debería haber
Índice	IV	46	Ingles	Inglés
2.4.	7	28	50° N y 45° S	50° N y 50° S
4.3.3.	63	7	(tabla 8)	(tabla 9)
5.1.2.	67	48	BEARMISH, 1995; BEARMISH & McFARLANE, 1989	BEARMISH, 1995; BEARMISH & McFARLANE, 1989
5.1.3.	68	38	de medio-ambiente	del medioambiente
5.1.4.	70	15	BRILL, 1994; MEJUTO et al., 1998; MEJUTO & HOEY, 1991	BRILL, 1994; MEJUTO & HOEY, 1991; MEJUTO et al., 1998
7.1.	113	3	GARCÍA Y MEJUTO, 1988	GARCÍA & MEJUTO, 1988
7.3.	121	Figura 77, pie	C: considerados sólo los estratos del Atlántico y Mediterráneo.	D: considerados sólo los estratos del Atlántico y Mediterráneo (figura 73).
7.3.	122	Figura 77 cont.	D: considerados sólo los estratos del Atlántico y Mediterráneo.	D: considerados sólo los estratos del Atlántico y Mediterráneo (figura 73)
7.3.	128	figura 82, pie	...talla comprendidas entre 110 y 210,	...talla comprendidas entre 110 y 215 cm,
7.3.	129	tabla 18, pie	para el rango de tallas 110-215	para el rango de tallas 120-170 cm
8	137	50	GARCÍA-CORTÉS & MEJUTO, 2003	GARCÍA-CORTÉS & MEJUTO, 2003
Resúmenes	201	5	Nota: salto de línea erróneo	Nota: eliminar el salto de línea
Lista tablas	209	34	para el rango de tallas 110-215	para el rango de tallas 120-170 cm
Lista figuras	216	49	talla comprendidas entre 110 y 210	talla comprendidas entre 110 y 215 cm



VICTORIANO URGORRI CARRASCO, CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD DEL DEPARTAMENTO DE BIOLOXÍA ANIMAL DE LA FACULTADE DE BIOLOXÍA Y DIRECTOR DE LA ESTACIÓN DE BIOLOXÍA MARIÑA DA GRAÑA DE LA UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA,

**CERTIFICA:**

Que la presente memoria titulada “**ASPECTOS BIOLÓGICOS Y PESQUEROS DEL PEZ ESPADA (*Xiphias gladius* Linnaeus, 1758) DEL OCÉANO ATLÁNTICO, CON ESPECIAL REFERENCIA A LAS ÁREAS DE ACTIVIDAD DE LA FLOTA ESPAÑOLA**”, ha sido realizada por D. Jaime Mejuto García bajo mi dirección en el Departamento de Bioloxía Animal y en la Estación de Bioloxía Mariña da Graña de la Universidad de Santiago de Compostela. Y considerando que representa trabajo de Tesis Doctoral, autorizo su presentación ante el Consello do Departamento y la Comisión de Doutoramento de la Universidad de Santiago de Compostela.

Y para que así conste y surta los efectos oportunos, firmo el presente certificado en Santiago de Compostela a dieciséis de marzo del año dos mil siete.

Vº e Pr. Director e Titor  
Prof. Dr. V. Urgorri

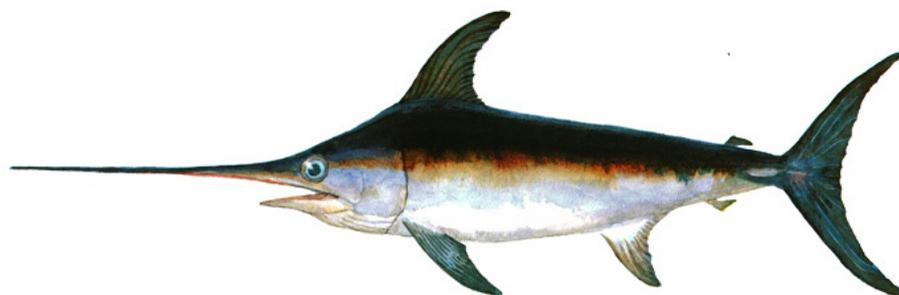
O Doutorando  
Jaime Mejuto García





UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA  
FACULTADE DE BIOLOXIA  
DEPARTAMENTO DE BIOLOXÍA ANIMAL  
LABORATORIO DE ZOOLOXÍA MARIÑA  
y  
ESTACIÓN DE BIOLOXÍA MARIÑA DA GRAÑA

**ASPECTOS BIOLÓGICOS Y PESQUEROS DEL PEZ ESPADA  
(*Xiphias gladius* Linnaeus, 1758) DEL OCÉANO ATLÁNTICO, CON  
ESPECIAL REFERENCIA A LAS ÁREAS DE ACTIVIDAD DE LA  
FLOTA ESPAÑOLA.**



Memoria que para optar al Grado de Doctor en Biología presenta

JAIME MEJUTO GARCÍA

Santiago de Compostela, mayo de 2007



## AGRADECIMIENTOS

A lo largo de mi vida profesional he tenido la suerte de poder trabajar con muchas personas, la mayoría de ellas vinculadas al Instituto Español de Oceanografía, a la ICCAT o a las flotas: pescadores, patrones, armadores, etc. Recordar a todas ellas probablemente sería imposible. La memoria suele fallarme en estos casos y seguro que se me quedan en el tintero muchos amigos y compañeros que merecen mi agradecimiento.



Inicie mis trabajos relacionados con la oceanografía hace ya algunas décadas, de la mano de Héctor Quiroga, al que dedico, junto a toda su familia, un especial agradecimiento por su amistad y confianza en situaciones y épocas difíciles. Con él pude iniciarme en el estudio de la dinámica de poblaciones explotadas y cultivos de bivalvos junto con mi compañero Mariano Otero(†). Mediante varias becas y trabajos de todo tipo pude ir aprendiendo. A Eduardo López-Jamar y Álvaro Fernández les agradezco su apoyo durante años, confiándome trabajos relacionados con las comunidades bentónicas y con la pesca demersal que me han sido muy valiosos.

Empecé a dedicarme de pleno al tema de los grandes pelágicos oceánicos de la mano de Alberto González-Garcés a principio de los años ochenta, del siglo pasado, primero como muestreador de lonja, donde se aprende lo indecible de los pescadores, hasta ir asumiendo crecientes responsabilidades. Alberto me ha abierto la puerta del apasionante mundo de la investigación sobre los túnidos y especies afines. En aquellos años, otros compañeros, entre ellos Juan C. Rey, José L. Cort, fueron también un estímulo para trabajar sobre estos temas. Todo ello me ha servido, además de para ganarme la vida, para tener una visión de diversos temas biológico-pesqueros que me han sido de mucha ayuda para el complejo estudio de las pesquerías de túnidos y pez espada.

Llevo unos 20 años trabajando con un equipo de personas en el centro de A Coruña del IEO a quienes les agradezco mucho su permanente esfuerzo y colaboración en diversos proyectos de investigación, que hemos conseguido llevar adelante con mucho esfuerzo. A todos les pido disculpas por la carga de trabajo que soportan. Algunos de esos esfuerzos colectivos han facilitado el abordar esta tesis. Blanca García, trabajadora incansable en las diferentes tareas que ha realizado a lo largo de esos años, ha sido y es un soporte fundamental de este equipo. Manuel Quintans ha aportado sus conocimientos prácticos en muchos temas de campo. Isabel González ha ayudado a mantener unos sistemas de información que serían impensables hace sólo unas décadas. La sabia nueva de Ana Maria Ramos-Cartelle ha facilitado nuevos enfoques para el tratamiento de la información pesquera. Otros muchos compañeros como José Castro, Urbano Autón, José Luis Torres, Arancha Carroceda, desde sus respectivas tareas, han ayudado en el estudio de estas especies de grandes migradores.

Compañeros de otros centros de IEO han sido también muy importantes para alcanzar objetivos comunes en el estudio del pez espada. José M. De La Serna, colega en el estudio de esta especie, y Enrique Alot, son un complemento para poder desarrollar proyectos, en colaboración con otros compañeros, Josechu Ortiz, Xulio Valeiras, David Macías, Manuel Marín, José Lorenzo. Otras personas han colaborado en este empeño, Fernando Mejuto, los observadores científicos, etc. A todos ellos mi sincero agradecimiento.

Un especial recuerdo a mis compañeros de la NOAA, John J. Hoey y Ramon J. Conser, socios de fatigas en diversos estudios conjuntos sobre el pez espada que conseguimos mantener coordinadamente durante más de una década desde los respectivos lados del Atlántico.

La Comisión Internacional para la Conservación de Atún Atlántico (ICCAT) ha sido el foro abierto de debate científico en el que ideas y trabajos relacionados con esta tesis se han visto plasmados y discutidos en sus documentos y grupos científicos. La pluralidad científica de este foro multilateral ha sido un estímulo constante para el estudio de esta especie y para el aprendizaje. Mi agradecimiento en especial a todos los científicos que a lo largo de años han estado relacionados con los grupos de estudio del pez espada de la ICCAT.

No quiero dejar pasar la oportunidad de agradecer a toda la flota palangrera de superficie, en especial a la mayoría de sus patrones de pesca y empresas con base en Galicia, la confianza que han depositado en todos nosotros para que podamos avanzar en el estudio científico de esta compleja y apasionante especie. Su colaboración voluntaria con nosotros, mantenida durante décadas, ha permitido avanzar en muchos aspectos del conocimiento de esta especie.

Aun queda mucho camino por andar para conocer en mayor profundidad la compleja biología y comportamiento del pez espada. En todo caso espero que esta tesis sirva, al menos, para dar un paso más y señalar que el empeño puede contribuir a realizar investigación pesquera -concepto por cierto bastante vilipendiado últimamente- con el objetivo de conocer mejor la biología de esta especie y contribuir a mantener unos esquemas de explotación que permitan realizar una pesca sostenible, obligación de las Administraciones y de todos nosotros ante generaciones presentes y venideras.

Mi agradecimiento al Instituto Español de Oceanografía por haberme dado los medios y algunas horas para poder realizar este trabajo, a mi familia por su apoyo y enorme tolerancia con mis horarios de trabajo y al Director de esta tesis, Dr. Victoriano Urgorri, por su inestimable ayuda y paciencia.

## ÍNDICE

Referencia	Tema	Pag.
<b>Capítulo 1</b>	<b>Introducción general</b>	
1.1.	Generalidades y utilidad del estudio	1
1.2.	Área de estudio	3
1.3.	Objetivos	4
<b>Capítulo 2</b>	<b>Generalidades descriptivas, biológicas y de comportamiento del pez espada</b>	
2.1.	Sinopsis de clasificación taxonómica del pez espada	5
2.2.	Características externas principales	6
2.3.	Otras características generales	7
2.4.	Distribución geográfica	7
2.5.	La pesca	8
2.6.	Hábitat y generalidades de biología	10
2.7.	Crecimiento	11
2.8.	Reproducción	12
2.9.	Alimentación	13
2.10.	Estructura de los stocks	14
2.11.	Predadores y competidores	15
2.12.	Fauna asociada simbiote y parásita	16
<b>Capítulo 3</b>	<b>Historia de la pesquería de pez espada</b>	
3.1.	Introducción	17
3.2.	Generalidades sobre la historia de la pesquería de pez espada en el mundo	17
3.2.1.	Atlántico NE, con especial referencia a la flota española	21
3.2.2.	Atlántico Sur, con especial referencia a la flota española	25
3.3.	Conservación y descargas de la captura	28
3.4.	Aspectos económicos y sociales de la pesca del pez espada en España	31
<b>Capítulo 4</b>	<b>Datos científicos básicos sobre la actividad de la flota española e indicadores de la abundancia de los stocks</b>	
4.1.	Introducción	33
4.2.	Material y métodos	33
4.2.1.1.	Muestreos en desembarcos de la flota mixta, datos por marea.	35
4.2.1.2.	Muestreos en el mar, por lance, a partir de cuadernos de pesca voluntarios	35
4.2.1.3.	Muestreos en el mar por observación científica, por lance y por individuo	35
4.2.1.4.	Estructuración de las bases de datos relacionales y procedimientos	35
4.2.1.5.	Definición de variables a considerar en los análisis	36
4.2.1.6.	Ensayos de análisis de datos descriptivos mediante GIS	38
4.2.2.	Técnicas de modelos lineales generalizados	38
4.3.	Resultados y discusión	41
4.3.1.	Datos base obtenidos, tamaño muestral e indicadores globales	41
4.3.2.	Análisis descriptivos mediante GIS	43
4.3.3.	Estimación de la tasa de captura por unidad de esfuerzo estandarizada (GLM)	54

<b>Capítulo 5</b>	<b>La influencia del medioambiente y sus efectos sobre la dinámica de las poblaciones de pez espada</b>	
5.1.	Introducción	66
5.1.1.	Importancia del medio ambiente en la dinámica y comportamiento de las poblaciones de pez espada	66
5.1.2.	La importancia del reclutamiento (R) en la dinámica del pez espada	67
5.1.3.	Antecedentes sobre el reclutamiento del pez espada y el medioambiente	68
5.1.4.	El índice atmosférico NAO y la estrategia reproductiva del pez espada	69
5.1.5.	La oscilación del Atlántico Norte (NAO) y su importancia	74
5.1.6.	El índice invernal NAO (NAOw)	77
5.1.7.	El problema de la definición de NAO	77
5.1.8.	Efectos ligados a NAO	78
5.1.9.	La corriente del Golfo, el índice del Golfo (GSNW) y su importancia	79
5.2.	Material y métodos	81
5.3.	Resultados y discusión	83
<b>Capítulo 6</b>	<b>Agudeza visual y sensibilidad olfativa del pez espada para la detección de sus presas</b>	
6.1.	Introducción	102
6.2.	Material y métodos	104
6.3.	Resultados y discusión	107
<b>Capítulo 7</b>	<b>El sex-ratio del pez espada como indicador de sus regiones biológicas</b>	
7.1.	Introducción	112
7.2.	Material y métodos	114
7.3.	Resultados y discusión	116
<b>Capítulo 8</b>	<b>Indicadores de la actividad reproductiva del pez espada</b>	
8.1.	Introducción	137
8.2.	Material y métodos	139
8.3.	Resultados y discusión	141
8.3.1.	Indicadores cuantitativos	141
8.3.1.1.	Índices gonadales	141
8.3.1.2.	Captura por unidad de esfuerzo por región y sexo	155
8.3.1.3.	Indicadores cualitativos: Estados gonadales de las hembras	159
8.3.2.	El proceso reproductivo y la temperatura de las capas superficiales	165
<b>Capítulo 9</b>	<b>Conclusiones</b>	167
<b>Capítulo 10</b>	<b>Bibliografía</b>	174
	<b>Resúmenes:</b>	
	Resumen (Español)	190
	Resumo (Gallego)	195
	Abstract (Ingles)	199
	Résumé (Francés)	203
	<b>Lista de tablas y figuras:</b>	
	Lista de tablas	208
	Lista de figuras	210
	<b>Glosario de términos y acrónimos</b>	220

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL**



## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.

### 1.1. GENERALIDADES Y UTILIDAD DEL ESTUDIO.

Los estudios sobre la biología y sobre el estado de las poblaciones o ‘stocks’ de los peces teleósteos explotados así como el diagnóstico de su nivel de explotación como consecuencia de la actividad de las flotas, obliga a disponer de parámetros biológicos e indicadores básicos que sean suficientemente representativos para explicar su dinámica y estado de explotación. El conocimiento de la biología de las especies es un objetivo en sí mismo, pero es además necesario para la evaluación del nivel de explotación a que se ven sometidos los recursos pesqueros.

Por otra parte, la investigación biológico-pesquera, es una tarea de obligado cumplimiento para los Estados, según el Código de Conducta para la Pesca Responsable (FAO), por lo que esta ciencia tiene la utilidad de cubrir el conocimiento, de servir para cumplir requisitos y obligaciones del Estado ante Organizaciones Internacionales que así lo demandan y permitir la explotación sostenible de los recursos, que es una obligación ante generaciones venideras.

La modelización de los sistemas biológicos, usando métodos más o menos sofisticados, es una de las herramientas empleadas tradicionalmente para afrontar este complejo objetivo de evaluar y proponer estrategias de explotación sostenibles de los recursos ícticos, o para intentar predecir sus tendencias futuras. Las crecientes facilidades del procesamiento informático de datos simulados ha llevado en las últimas décadas a darle una menor importancia a los datos biológicos básicos de especies pesqueras o a las observaciones biológicas de campo, frente a otras técnicas de simulación que normalmente conllevan un menor coste económico y trabajo de campo. No obstante, para la evaluación de stocks pesqueros, la información biológica básica se ha visto que sigue siendo la clave para la correcta modelización e interpretación de los resultados, especialmente si se pretende a medio plazo evaluaciones del estado de los stocks en un contexto ecosistémico.

Las características biológicas de las especies ícticas, definidas en general por sus parámetros biológicos, suelen ser la base principal para la adecuada evaluación, gestión-ordenación y conservación de los stocks. El crecimiento individual de los individuos de un stock ( $G$ ), su mortalidad natural ( $M$ ) o su supervivencia ( $S$ ), sus niveles de reclutamiento ( $R$ ) y sus migraciones ( $m$ ), han sido algunos de los parámetros biológicos básicos tradicionalmente manejados para explicar la dinámica de los stocks explotados, junto con las tasas de mortalidad producida por las actividades humanas extractivas ( $F$ ) como consecuencia de la intensidad de pesca aplicada por las flotas o esfuerzo de pesca ( $f$ ).

Informaciones adicionales sobre las tendencias en la abundancia relativa del stock sirven como elementos de diagnóstico en sí mismos y/o como elementos de ajuste y orientación del estado de los stocks. Estos últimos son cada vez más importantes, al depender de ellos en gran medida el refinamiento “calibración” o “tunning” de tales estimaciones mediante modelos.

La metodología tradicional para el estudio de la dinámica de las poblaciones pesqueras procede frecuentemente del estudio y la ordenación aplicada en pesquerías demersales o “de especies de fondo” (GULLAND, 1977), las cuales suelen estar relativamente delimitadas en el espacio-tiempo, generalmente relacionadas con aspectos batimétricos, de estructura de los sedimentos de las plataformas continentales y de las comunidades específicas que las soportan. Eso ha condicionado en cierta medida durante décadas el desarrollo metodológico en el estudio de pesquerías, ya que los factores que afectaban a la variabilidad espacio-temporal de los recursos en este tipo de especies demersales se asumió durante décadas con “incidencia menor” sobre las tendencias del stock frente a otras variables con mayor impacto potencial sobre su dinámica.

Por el contrario, en los stocks de especies ícticas pelágicas o epi-pelágicas, la variabilidad espacio-temporal es conocida empíricamente como muy importante desde tiempos ancestrales, manifestándose ante los ojos de pescadores y científicos como uno de los elementos clave que condicionan la disponibilidad del recurso y la “buena o mala cosecha” en una época determinada.

Un caso de especial dificultad se presenta en las especies ícticas de grandes migradores oceánicos, normalmente denominados grandes pelágicos oceánicos, entre los que se incluyen teleósteos, especies de escombriformes (familia Scombridae), destacando los túnidos (tribu Thunnini); o las especies consideradas de comportamiento ‘afin’ a los túnidos tales como los xiphidos (familia Xiphiidae) e istiophoridos (familia Isthiophoridae).

La amplia distribución geográfica de alguna de estas especies, sus amplias migraciones con importantes efectos de variables oceanográficas espacio-temporales sobre su comportamiento, junto a los importantes factores propios del comportamiento histórico de las respectivas flotas, ha complicado tradicionalmente la interpretación de ciertos indicadores considerados básicos para el seguimiento y diagnóstico del estado de los stocks. En este sentido, antes de afrontar un estudio de estas características, es recomendable disponer de un conocimiento de la pesquería y de su historia, ya que esos precedentes permitirán un mejor enfoque metodológico y una mejor interpretación de los resultados obtenidos. Un ejemplo de la utilidad de estos elementos históricos y de su integración en el estudio de las pesquerías se presenta en esta tesis.

La gran capacidad migradora de estas especies, su amplia distribución geográfica, y su posibilidad de redistribución ante anomalías interanuales o interdecadas en los factores bióticos y abióticos del medio, hace que visiones locales o geográficamente restringidas deban ser interpretadas con mucha cautela antes de proponer su generalización al conjunto del stock.

Por otra parte, en este tipo de recursos pelágicos de grandes migradores, hasta la fecha no ha podido evaluarse con éxito su abundancia absoluta o relativa mediante estimadores científicos de tipo directo, tal como se hace en las especies de pequeños pelágicos costeros (sardina, anchoa) mediante técnicas de prospección acústica, o en algunas especies demersales con las campañas de evaluación por “área barrida”.

El tipo de distribución oceánica de estos grandes pelágicos y su acusado comportamiento migratorio (en superficie y profundidad) limita o impide proponer estrategias de evaluación de abundancias basadas en diseños de campañas científicas, ya que el esfuerzo de muestreo necesario para barrer las amplísimas áreas de su distribución precisarían intensidades de muestreo científico imposibles de asumir desde el punto de vista técnico y económico. Esta imposibilidad es aún mayor para el caso del pez espada, ya que es una especie de comportamientos pelágico-nictimeral (profundo-diurno/superficial-nocturno) dentro de las capas superficiales, no forma cardúmenes definidos, presenta una distribución geográfica no estrictamente aleatoria y su comportamiento se describe ligado a aspectos oceanográficos espacio-temporales. Por ello no se consideran viables otras técnicas empleadas en el estudio de otros grandes migradores, como las prospecciones aéreas ensayadas con escaso éxito en el atún rojo *Thunnus thynnus* o a partir de prospecciones por avistamientos en superficie como se realizan en el caso de varias especies de cetáceos.

En este tipo de stocks, y de forma especial en el caso del pez espada que nos ocupa, para conocer los comportamientos biológicos o para estimar sus abundancias, las estrategias necesariamente tienen que enfocarse a partir de información científica recopilada, mediante métodos adecuados, durante la actividad pesquera de las flotas comerciales, asegurando diseños de muestreo apropiados y la disponibilidad de datos cualitativamente consistentes. Por tanto, en este tipo de pesquerías, el arte de pesca es la herramienta de muestreo para el estudio científico.

En esta tesis se pretende afrontar un estudio sobre aspectos relevantes de la biología y comportamiento de esta especie así como sobre aquellos indicadores de su abundancia a lo largo de los años. Todo ello a partir de datos obtenidos mediante la actividad de las flotas comerciales, cuya colaboración ha sido modélica durante años.

## 1.2. ÁREA DE ESTUDIO.

En esta tesis se estudian diferentes aspectos sobre la historia, biología, comportamiento y abundancia relativa del pez espada (*Xiphias gladius*) de diversas áreas del Atlántico, Norte y Sur, según la disponibilidad de información en cada caso, en las cuales históricamente ha realizado y realiza su mayor actividad la flota española de palangre de superficie dirigida a la captura del pez espada.

Con ello se tratan de alcanzar nuevos conocimientos biológicos y de comportamiento de especial interés para explicar la dinámica de esta especie, así como aspectos pesqueros relevantes para poder obtener estimaciones de abundancia del stock a partir de los datos de la flota comercial del Atlántico Norte y Sur.



Figura 1. Virado de grandes peces espada durante las actuales faenas de pesca en un palangrero de superficie español. A la derecha, pez espada con mordeduras de *Isistius*.

### 1.3. OBJETIVOS.

Se pretende hacer un breve resumen sobre las generalidades biológicas de la especie pez espada (*Xiphias gladius*) ya que, en general, estos aspectos biológicos básicos son poco conocidos, tanto a nivel científico como divulgativo. Aspectos sobre las características externas más significativas, sobre su distribución geográfica, hábitat, crecimiento, reproducción, alimentación y características de la pesca para fines de consumo humano, entre otros aspectos, se pretenden resumir brevemente.

El repaso de la historia de la pesquería de esta especie a nivel mundial puede tener relevancia para entender los acontecimientos ocurridos recientemente sobre esta pesquería y para interpretar los recientes indicadores sobre las tendencias de los stocks. De forma especial se pretenden revisar aquellos acontecimientos más relevantes ocurridos en la pesca de esta especie en el Atlántico, donde la flota española inició su actividad más intensa a lo largo de la segunda mitad del siglo pasado y donde mantiene su mayor actividad pesquera. Conocer aspectos históricos de la pesquería podría ser clave para modelizar la información procedente de la propia actividad pesquera.

A partir de la toma de información pesquera durante más de una década, mediante muestreos realizados directamente a la propia flota palangrera comercial, dentro de este contexto histórico general, se pretende el estudio detallado de la actividad pesquera realizada a lo largo de las últimas décadas por la flota palangrera española dirigida al pez espada y obtener indicadores de abundancia de utilidad para diagnosticar las tendencias de los stock del Atlántico Norte y Sur, así como para valorar los efectos ocurridos a largo plazo si se asumiera cierta relación con indicadores ambientales de carácter global, simulando ciclos históricos del stock de forma retrospectiva durante el siglo pasado. Si bien la influencia del medioambiente en todas las especies pelágicas es asumido como muy importante, sin embargo no se conoce cual podría ser su impacto en las fluctuaciones de los stocks de pez espada.

Dado que esta especie no es manejable en sistemas de cautividad, merecen especial interés las experiencias realizadas en el medio natural encaminadas a conocer cuales podrían ser los procesos por los cuales el pez espada detecta y selecciona a los cebos usados en la pesca (presas), lo que indirectamente podría aportar información valiosa para conocer los procesos por los cuales el pez espada selecciona a sus presas naturales.

Se pretende además estudiar y discutir diversos parámetros biológicos del pez espada ligados con sus comportamientos migratorio-reproductivos, a partir de abundantes observaciones biológicas realizadas a bordo de buques comerciales. La estructuración espacial o la parcial segregación entre sexos, que ha sido sugerida a partir de estudios puntuales, se pretende abordar mediante un enfoque global para todo el Atlántico, a partir del análisis de la abundante información disponible. Si esta estructuración se manifestara, entonces quizás se podrían proponer modelos de estructuración de los stocks de esta especie en regiones biológicas.

Los indicadores de la actividad reproductiva del pez espada son elementos clave para estudiar la dinámica de esta especie. En este estudio se pretende usar indicadores cuantitativos y cualitativos a partir de muestreos masivos para intentar definir las posibles áreas-épocas de maduración y puesta de esta especie, definir la talla de primera madurez para las hembras, discutir los resultados obtenidos así como el impacto de los distintos enfoques metodológicos sobre los resultados. La comparación de indicadores cuantitativos y cualitativos de la reproducción de esta especie puede ayudar además a establecer metodologías biológicamente eficaces, prácticas y baratas para los estudios reproductivos de esta especie, al menos en una primera fase, con amplios enfoques geográficos.

**CAPÍTULO 2. GENERALIDADES DESCRIPTIVAS, BIOLÓGICAS Y DE  
COMPORTAMIENTO DEL PEZ ESPADA.**



## CAPÍTULO 2. GENERALIDADES DESCRIPTIVAS, BIOLÓGICAS Y DE COMPORTAMIENTO DEL PEZ ESPADA.

En esta breve sinopsis se pretende ofrecer una visión resumida de las características biológicas y del comportamiento de esta especie, que pueda servir para un mejor conocimiento general, tanto en los ámbitos científicos como divulgativos, así como para conocimiento del sector extractivo-pesquero. Muchos de los comentarios aquí resumidos proceden de conclusiones obtenidas en trabajos previos del mismo autor o de otros autores. A lo largo de los diferentes capítulos se harán menciones y citas específicas.

### 2.1. SINOPSIS DE LA CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL PEZ ESPADA.

Nombre científico: *Xiphias gladius* Linnaeus, 1758. Único representante de la familia Xiphiidae y del género monotípico *Xiphias*. Su taxonomía ha cambiado a lo largo de la historia. Basándonos en estudios recientes, Nakamura (1985) propone la siguiente clasificación:

Filo: Chordata. Subfilo: Vertebrata. Superclase: Gnathostomata. Clase: Osteichthyes. Subclase: Actinopterygii. Infraclase: Teleostei. Division: Euteleostei. Superorden: Actinopterygii. Orden: Perciformes. Suborden: Xiphioidei. Familia: Xiphiidae. Género: *Xiphias*.

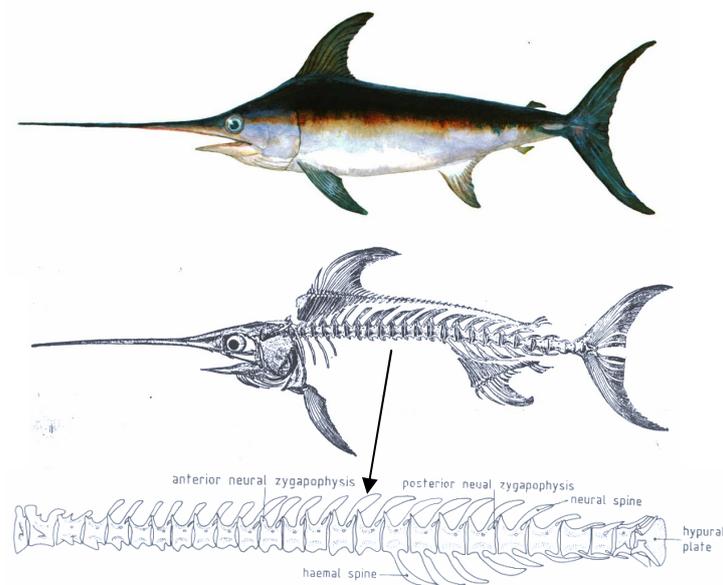


Figura 2. Aspecto de un adulto de pez espada de aproximadamente 150 cm de talla, desde la mandíbula inferior hasta la horquilla caudal (arriba), esqueleto (medio) y detalle vertebral (abajo).

Sinónimos: *Xiphias imperator* Bloch & Schneider, 1801; *Xiphias rondeletti* Leach, 1818; *Phaethonichthys tuberculatus* Nichols, 1923; *Xiphias estara* Phillips, 1932; *Xiphias thermaicus* Serbetis, 1951.

Nombres comunes más usados: emperador, pez espada (España, Cuba, Perú, México); peixe espada, espadarte (Galicia, Portugal, Brasil); águlhao (Brasil); swordfish, broadbill swordfish (Inglaterra, EEUU, Canadá, Australia, África del Sur); espadon (Francia, Bélgica, Canadá); albacora (Chile); svaerdfisk (Dinamarca); schwertfisch (Alemania); xiphias (Grecia); kuthira-meen (India); luinniasc (Irlanda); pesce spada (Italia); andaachi, dakuda, ginzasu, goto, hirakucha, hyu, io, izasu, kudamaki, medara, meka, mekjiki, mesara, okizaara, rakuda, shiutome, shutome, suzu, teppo, tsun (Japón); piscispata, pixxi spada (Malta); zwaardvisch (Holanda); broadbill (Nueva Zelanda); sverdfisk (Noruega); dugso, doguso, lumod, malasagi, malasugi, manumbuk, mayaspus (Filipinas); whang-sae-chi (Corea); bou sif (Túnez).

## 2.2. CARACTERÍSTICAS EXTERNAS PRINCIPALES.

Ojos laterales grandes, cuerpo alargado y cilíndrico en su corte transversal, oscuro en su parte dorsal y lateral, blanquecino en su parte ventral. Su espada en la mandíbula superior es extremadamente larga y con sección aplanada – oval, lo que lo diferencia de forma sustancial de otros peces de pico (Suborden Xiphoidei) que tienen sección cilíndrica en su espada.

En la zona caudal los adultos presentan una única quilla caudal, a cada lado del cuerpo, frente a las dos quillas que presentan todos los demás representantes de su suborden.

Puede alcanzar más de 400 cm de longitud total y 500 kilos de peso, pero en las capturas comerciales suele aparecer entre 100 y 200 cm de longitud entre el extremo de la mandíbula inferior y la horquilla de la aleta caudal (LJFL).

No presenta aletas pélvicas ni escamas cuando tiene morfología de adulto, aunque pueden aparecer escamas en las fases larvarias, post-larvarias y, de forma vestigial, en algunos individuos muy juveniles inferiores a 80 cm.

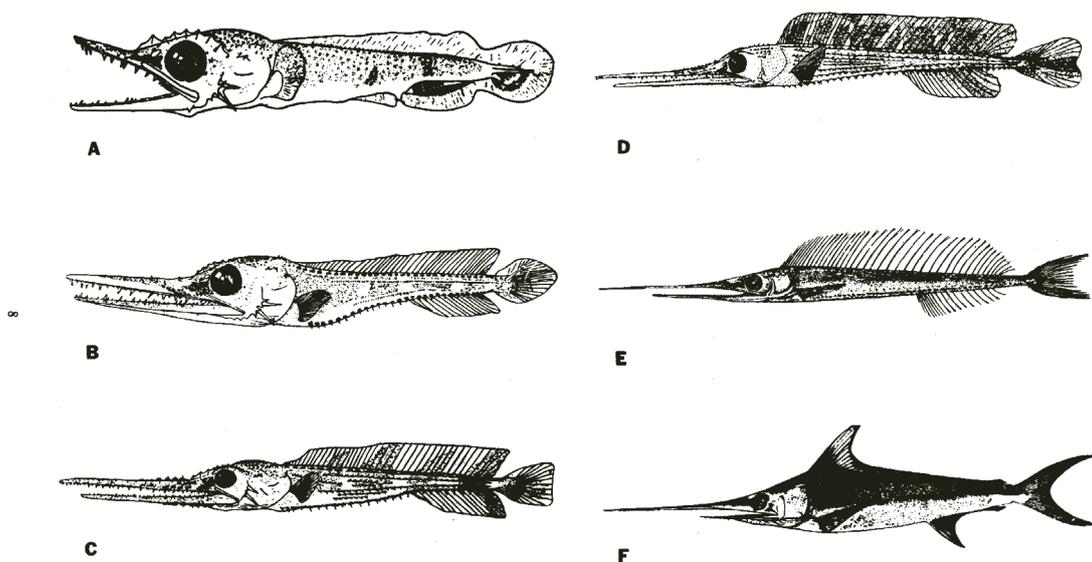


Figura 3. Larvas de pez espada: (A) 7,8 mm SL; (B) 14,5 mm SL; (C): 27,2 mm SL; (D) 68,8 mm SL; (E) 252 mm BL (longitud desde la parte posterior de la orbita a la base de la aleta caudal) ; (F) 580 mm BL. Los especímenes A, B, C y D fueron tomados de ARATA (1954); E y F son tomados de NAKAMURA *et al.* (1951). (Dibujo y pie tomado de PALKO *et al.*, 1981).

### 2.3. OTRAS CARACTERÍSTICAS GENERALES.

Su mandíbula inferior es muy puntiaguda y redondeada. En individuos adultos la piel es relativamente fina y suave al tacto, sin embargo es posible ver escamas en individuos muy juveniles o en estados post-larvarios (menores de 70 cm de TL) raramente capturados con artes de pesca dirigidos.

En los adultos, la primera aleta dorsal es aparente y muy separada de la segunda dorsal que es muy pequeña y vestigial, situada en la parte caudal, aunque en individuos inferiores a 70 cm TL puede percibirse la primera aleta dorsal más prolongada hacia la zona caudal (o incluso unida a la segunda dorsal), cuya prolongación va desapareciendo progresivamente con el crecimiento hasta que alcanza la forma o apariencia corporal de adulto.

La sección transversal del cuerpo es la más redondeada de todos los peces de pico (suborden Xiphoidei). Sus ojos son grandes y redondos, adaptados a bajas luminosidades. Carece de dientes propiamente dichos aunque pueden verse unas filas de pequeños denticulos en individuos juveniles que irán desapareciendo progresivamente con el crecimiento. El ano es visible en la parte anterior de la primera aleta anal. No presenta caracteres externos que permitan la identificación del sexo, lo que debe hacerse mediante disección.

El pez espada sufre cambios morfológicos muy importantes desde su etapa post-larvaria (sobre 20 cm TL) hasta que alcanza su forma de adulto (sobre los 75 cm TL).

### 2.4. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA.

De forma general puede decirse que se encuentra en todos los océanos del mundo, con mayor probabilidad en regiones oceánicas de latitudes entre los 50° N y 45° S, aunque no exclusivamente.

De todos los peces de pico, es la especie que presenta una mayor tolerancia a diversas temperaturas. De amplísima distribución geográfica en todos los océanos del mundo, aparece en zonas oceánicas de aguas tropicales y templadas; incluso los individuos de grandes tallas puede alcanzar zonas frías durante periodos limitados. Puede observarse en temperaturas superiores a 13 °C aunque preferentemente en zonas con temperaturas superficiales superiores a 16° C. Los individuos mayores (generalmente hembras) se encuentran principalmente en zonas templadas y las grandes hembras pueden aparecer incluso en aguas frías (figura 4).

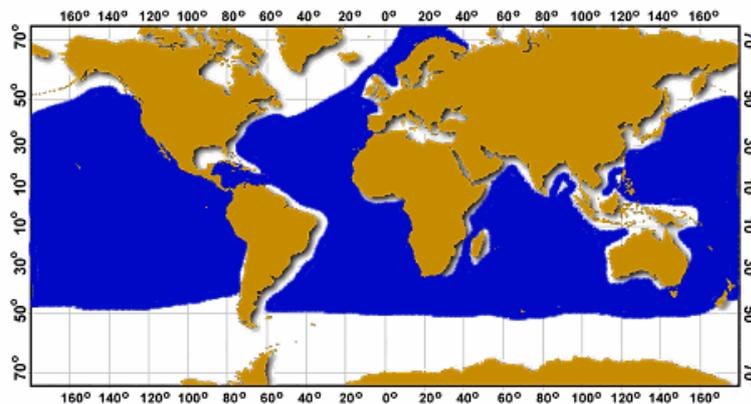


Figura 4. Área de distribución del pez espada (*Xiphias gladius*), cubriendo las áreas de distribución más frecuentes entre 50° N y 50° S y otras áreas de presencia conocida aunque más esporádica. Las mayores latitudes sólo son alcanzadas por grandes individuos, generalmente hembras.

En el Atlántico NW se distribuye hasta las zonas de convergencia producidas entre las corrientes del Golfo y Labrador, próximas a Canadá. En el Atlántico NE es observado en el periodo estival hasta el talud continental de caladeros del Oeste de Irlanda situados sobre el 52° N, pero seguramente puede alcanzar esporádicamente mayores latitudes. En décadas anteriores ha sido descrita su presencia ocasional, probablemente en época estival, en la proximidades de Suecia y Noruega donde Linnaeus observó esta especie. También observado esporádicamente en el Báltico y en aguas Danesas. No obstante la probabilidad de observarlo actualmente en estas áreas de aguas frías ha disminuido al reducirse la fracción adulta del stock formada por grandes ejemplares.

En el Atlántico SW han sido descritas concentraciones estacionales en áreas oceánicas próximas a la ZEE de Uruguay y Argentina, en las zonas de convergencia entre las corrientes de Brasil y Malvinas. En el Atlántico SE han sido descritas concentraciones estacionales en las proximidades a África del Sur, aunque existe alta probabilidad de que estos individuos provengan del Océano Índico aprovechando los ciclos estacionales de la corriente cálida de Agulhas. Su presencia en estas regiones “límite” de su distribución está generalmente relacionada con sus necesidades tróficas.

## 2.5. LA PESCA.

Se pescaba tradicionalmente con arpón desde varios siglos A.C. aprovechando los grandes ejemplares que nadaban en superficie y de forma casual en las almadrabas costeras usadas para capturar el atún rojo (*Thunnus thynnus*) desde hace miles de años. Recientemente, a partir de los años cincuenta y más intensamente a partir de los ochenta del siglo pasado, la pesca se realiza preferentemente en alta mar con palangres (de superficie o de profundidad dirigidos hacia atunes), redes de enmalle a la deriva y arpón y, esporádicamente, con otras artes industriales (arrastre pelágico, etc.) y artes deportivas.

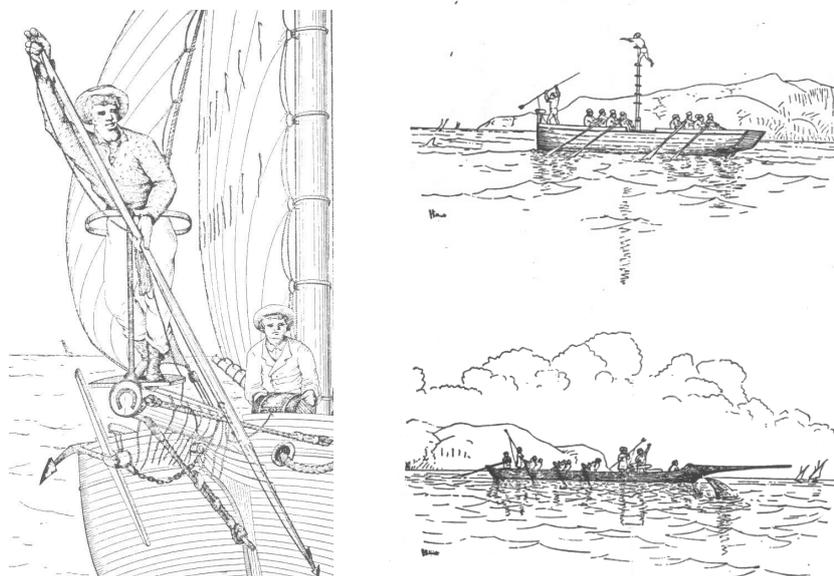


Figura 5. La pesca del pez espada con arpón, en Nueva Inglaterra (izquierda) y en el Mar Mediterráneo (derecha), sobre el año 1880 (tomado de GOODE, 1883).

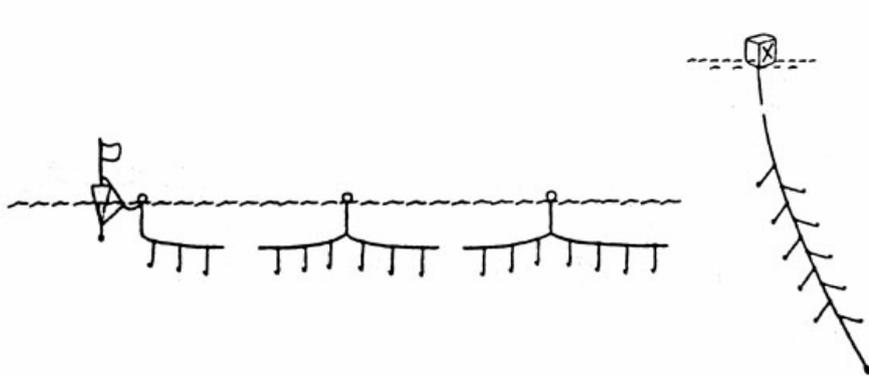


Figura 6. Diseño simplificado de una línea multi-anuelos, precursora del arte de palangre, usada originalmente para la captura de pez espada, túnidos y otras especies (derecha). Simplificación de un palangre de superficie derivante usado por la flotas que capturan pez espada en las décadas más recientes (izquierda), (tomado de FAO.org).

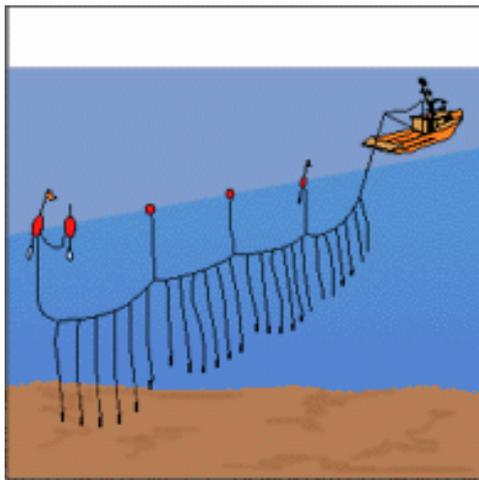


Figura 7. Esquema de un palangre de superficie moderno (izquierda, cortesía de New Zealand Fishing Industry Board) e izado de un pez espada por un palangrero español pescando en el Atlántico Sur (derecha).

## 2.6. HÁBITAT Y GENERALIDADES DE BIOLOGÍA.

El pez espada es la especie de peces de pico (suborden Xiphoidei) con una mayor tolerancia a la variación de temperatura, lo que se manifiesta en su amplia distribución geográfica en latitud y profundidad. La isoterma superficial de 13° C suele ser un condicionante importante en la distribución de esta especie aunque suele aparecer con mayor probabilidad con temperaturas superficiales superiores a 16° C. Es una especie pelágica oceánica (epipelágica y mesopelágica) generalmente capturada en la fracción superficial, pero que puede alcanzar cientos de metros de profundidad (existen registros de hasta 1000 m) para alimentarse, soportando durante tiempo limitado temperaturas muy bajas.

Si bien el pez espada puede mantener su temperatura corporal más elevada que el medio en el que habita, sin embargo su sistema de compensación térmica no es tan eficaz como el de los atunes de aguas templadas. Por ello es altamente termo-dependiente y esta dependencia es mucho mayor cuanto menor sea su tamaño corporal (biomasa corporal). Los individuos pequeños tienden a mantenerse en aguas más cálidas (menor latitud y/o menor profundidad) mientras que los individuos más grandes tienen unas mayores posibilidades migratorias cosmopolitas.

Debido a su crecimiento diferencial entre sexos (las hembras alcanzan una talla mucho mayor y más rápidamente que los machos) la distribución espacio-temporal entre sexos es diferente. Los grandes peces espada son generalmente hembras y sólo éstas suelen alcanzar altas latitudes con temperaturas del agua del mar más bajas, generalmente para alimentarse en zonas de alta producción. En el Atlántico, los peces mayores de 200 cm (LJFL) capturados con palangre tienen una probabilidad aproximada del 90 % de ser hembras. Por el contrario, en las zonas cálidas de reproducción las capturas más frecuentes son de tallas intermedias (120-150 LJFL) formadas predominantemente por machos, al menos en el caso de las capturas realizadas con palangreros de superficie. Por tanto, el peso medio de las capturas está altamente condicionado por la selección del área y época de pesca así como la profundidad del aparejo usado (y la temperatura asociada a estos factores). Diferencias de sólo escasos grados en la temperatura seleccionada pueden producir un cambio muy sustancial en el peso medio de la captura obtenida, especialmente en las zonas templadas de convergencia de corrientes.

El estudio de sus migraciones (en latitud y longitud) ha dado lugar a lo largo de las últimas décadas a diferentes hipótesis de comportamiento. El conjunto de estudios más recientes realizados en el Atlántico parecen indicar movimientos de expansión y contracción desde aguas cálidas y templadas hacia aguas templadas y frías, en base a un proceso biológico multifactorial complejo que podría simplificarse como de "alimentación-transición-reproducción" condicionado por el medio ambiente y los aspectos fisiológicos, con una base marcadamente estacional en muchas áreas. Esta migración no sería sincrónica en el espacio-tiempo para los diferentes grupos de talla-edad-sexo, sino dependiendo de su respectiva tolerancia térmica y de los procesos biológico-fisiológicos. Las diferencias más que palpables en los *sex-ratios* por clases de talla (% de hembras por grupo de talla) entre diferentes zonas oceánicas (regiones biológicas), parecen estar ligadas a estos procesos biológicos básicos que condicionarían la compleja estrategia vital y migratoria de esta especie, generalmente ligada a los sistemas de corrientes, a las temperaturas fisiológicamente más óptimas y a la disponibilidad de alimento.

En el Atlántico Norte han sido observadas migraciones transatlánticas de hasta 2700 millas náuticas en poco más de una año (asumiendo una migración rectilínea entre el punto de marcado y de recaptura).

Además, el pez espada tiene migraciones verticales nictimerales (día-noche) en las capas superficiales, hasta varios cientos de metros, ligados con los cambios de luminosidad del medio. Durante el día suele desplazarse hacia aguas más profundas y asciende durante la noche, probablemente realizando el mismo movimiento que el de las presas de las cuales se alimenta.

Se cree que este comportamiento es la base para tener una mayor o menor disponibilidad al palangre de superficie, según las diferentes fases lunares.

## 2.7. CRECIMIENTO.

El pez espada tiene un crecimiento diferencial según el sexo y se cree que raramente sobrepasa los 25 años de edad. En general, las hembras alcanzan una mayor talla y más rápido que los machos, característica que parece común en todos los stocks de pez espada estudiados.

En el Atlántico, los estudios de crecimiento fueron realizados a partir de datos de "marcado-recaptura" y estudiando los anillos anuales formados en la segunda espina de la primera aleta anal, etc. Estos estudios apuntan a que el pez espada macho y hembra crecen de forma similar hasta los 3 años de vida, alcanzando valores medios de aproximadamente 140 cm LJFL a esa edad (hasta 90 cm el primer año, 120 cm el segundo y 140 cm el tercero). No obstante, a partir de los tres años, las hembras crecen más rápido y hasta una talla mucho mayor que los machos (valores teóricos medios sobre 365 cm y 200 cm LJFL, para hembras y machos, respectivamente). Mientras que las hembras superan los 250 cm LJFL a los 15 años de edad, los machos alcanzan sobre los 200 cm en unos 9 años pero difícilmente sobrepasan esta talla media en toda su vida. No obstante los datos de crecimiento difieren bastante entre los diferentes estudios realizados debido posiblemente a que este parámetro biológico es altamente variable dependiendo, entre otros factores, del medio (Tª y alimento) en el que vive cada individuo y los métodos y criterios de lectura de anillos usados. Este crecimiento diferencial por sexo tiene implicaciones en la biomasa corporal de cada edad-sexo y, por tanto, tiene repercusiones sobre las probabilidades migratorias y cosmopolitas de cada sexo, sobre sus patrones de distribución, etc.

Summary of lengths-at-age (LJFL, cm) published for Atlantic swordfish, *X. gladius*. Back-calculated LJFL from *vertebrae* obtained in this study were not included because they differ significantly from the remaining lengths. (M - males, F - females, or undetermined sex).

Age	BERKELEY & HOUDE (1983)		RIEHL (1984)		EHRHARDT (1990, 1992)		RADTKE & HURLEY (1983)		WILSON & DEAN (1983)		ANÓN. (1989)	RESTREPO (1990)	AZEVEDO (1990)	CHALABI (1993)	HAIST & PORTER (1993)	ESTEVEES et al. (present study)	
	Anal-fin spine		Anal-fin spine		Anal-fin spine		Sagittae		Sagittae		Tag-Recapture	Tag-Recapture	Lengths frequencies	Lengths frequencies	Lengths frequencies	Anal-fin spine	Sagittae
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F							
1	98,9	97,2	106,2	99,3	89,7	89,9	84	73	116,9	122,9	87,1	84,98	88	79,9	100,3	94,1	84,9
2	119,3	119,8	122,9	115,8	117,0	118,9	98	95	123,3	130,6	113,2	124,90	111	99,3	119,9	115,9	98,9
3	135,4	140,9	136,8	130,8	137,3	142,9	110	114	130,2	138,8	137,4	142,23	133	103,3	137,3	131,9	115,1
4	148,5	158,6	148,4	144,4	153,4	161,3	122	131	137,4	147,5	158,4	165,40	152	119,3	152,6	150,8	126,7
5	161,6	174,5	158,1	156,8	168,9	177,2	133	147	145,0	156,8	176,0	184,04	170	142,5	166,2	160,3	135,9
6	172,8	187,6	166,1	168,1	181,8	189,6	143	160	161,5	177,1	190,1	198,48	186	178,1	178,1	161,3	152,3
7	180,3	202,2	172,9	178,2	185,3	204,4	153	172	170,4	188,2	201,2	209,37	201	188,7	183,2	169,7	169,7
8	185,1	216,2	178,5	187,5	206,1	214,7	161	183			209,8	217,43	215	198,1	205,0	184,7	184,7
9			183,1	195,5	234,1	241,6						223,32			221,4	197,6	197,6
10					235,3	274,1						227,59			228,4	199,4	199,4
11												230,65					
12												232,84					
13												234,41					
Local	Straits of Florida, USA		Northwest Atlantic		Northwest Atlantic		Northwest Atlantic, USA coast		Northwest Atlantic, USA coast		Atlantic Ocean	Atlantic Ocean	EEZ Portugal	EEZ Argelia	Atlantic Ocean	Azores	Azores

Tabla 1. Resultados de diversos estudios de crecimiento publicados para el pez espada del Atlántico (según ESTEVES *et al.* 1995).

## 2.8. REPRODUCCIÓN.

El pez espada es una especie gonocórica y carece de signos externos conocidos diferenciadores del sexo. Su fertilización es externa careciendo de órganos copuladores. Las gónadas pareadas y alargadas se sitúan en la cavidad ventral, anteriormente al ano, a ambos lados del recto y unidas mediante tejido conectivo al intestino. Las gónadas son fácilmente identificables con algo de experiencia y un corte transversal, pero suele producir más errores de identificación en peces pequeños por lo que en estos casos deben tomarse precauciones especiales. En peces muy pequeños las gónadas masculinas son incluso difícilmente visibles, confundándose con el tejido conectivo de la zona intestinal. La gónada femenina izquierda suele ser de mayor peso (+26% aproximadamente) que la gónada derecha.



Figura 8. Gónadas de peces espada de ambos sexos, sobre 150 cm de talla LJFL. (A): gónadas femeninas de unos 300 gramos ambas (arriba) y gónadas masculinas (abajo). (B): corte transversal de una gónada femenina en estado de reposo (no madura). (C) corte transversal de una gónada masculina en estado de reposo (no madura).

En el Atlántico Norte, el 50 % de las hembras habían sido descritas hasta ahora como potencialmente maduras sobre los 175 cm LJFL (sobre 5 años de edad) mientras que los machos tienen una maduración más temprana y con menor talla que las hembras. Sin embargo, esta talla de primera madurez de las hembras podría rondar los 146 cm. La diferencia de primera maduración sexual entre machos y hembras parece mantenerse en todos los stocks de pez espada estudiados.

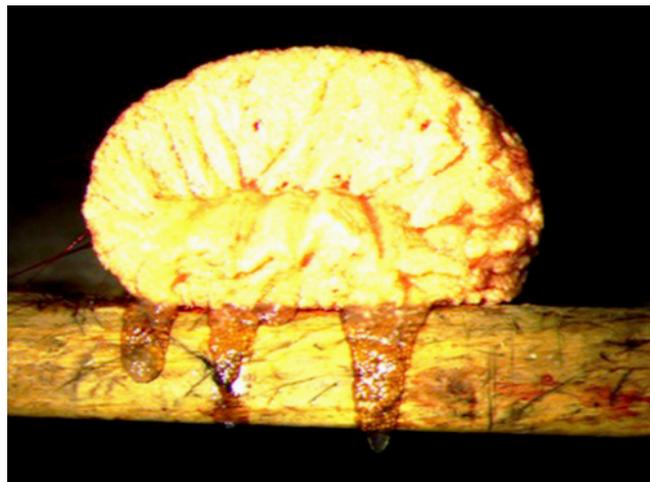


Figura 9. Corte transversal de una gónada de unos 5 kg, perteneciente a un pez espada hembra de unos 180 cm LJFL, conteniendo millones de huevos maduros.

En el Mediterráneo la maduración en ambos sexos se creía mucho más temprana que en otras áreas estudiadas. No obstante la talla de primera madurez debe considerarse como una condición necesaria pero no suficiente para iniciar el proceso de maduración y puesta. Estos procesos sólo se desencadenan cuando factores externos medioambientales y fisiológico-energéticos son favorables.

Cada hembra produce millones de huevos (ovocitos) que empiezan siendo "primordiales" (sobre 160 micras de diámetro o menores). Sólo cuando los factores son favorables se inicia un proceso hormonal que desencadena la maduración de estos ovocitos hasta alcanzar antes de la puesta entre 1,5 y 2 mm (1-30 millones de huevos por puesta dependiendo de la talla-peso de la hembra). Los huevos son liberados por "lotes" mediante procesos parciales de puesta que se cree duran varios días y que extienden el proceso de puesta de la hembra durante meses.

La fecundación es externa. Si bien no se han descrito fenómenos de "apareamiento", diversas observaciones indican que la captura de hembras maduras o en puesta suele conllevar el avistamiento e incluso la captura con arpón de machos merodeadores o en cortejo durante la misma operación de pesca, tanto en palangreros como en arponeros, lo que sugeriría cierto proceso de atracción hormonal y persecución. Por tanto, no deberían descartarse rituales de cortejo en esta especie.

La puesta se produce en aguas cálidas en torno a los 24-29° C, pero parece que la temperatura superficial no es por sí sola un indicador adecuado para definir las áreas potenciales de puesta. La isoterma de 25° C a 50 metros de profundidad ha sido propuesta para el Atlántico como un indicador probablemente más adecuado para definir las áreas potenciales de puesta del pez espada, generalmente coincidentes con zonas de termoclina relativamente profunda (en torno o superior a 100 metros de profundidad). Las áreas de reproducción hasta ahora descritas en el Mediterráneo han sido muy amplias y van desde Baleares e Italia hasta Creta. En el Atlántico Norte se ha descrito puesta en zonas del Caribe y sus proximidades. En el Atlántico Sur se han descrito zonas oceánicas del Atlántico Suroeste (al Oeste de 10°-15° W) próximas a la corriente cálida de Brasil con termoclina muy profunda (100-150 m). Sin embargo son precisas investigaciones adicionales para estudiar o descartar otras posibles zonas de reproducción de esta especie (especialmente en la zona Este del Atlántico). En las zonas de reproducción se han descrito capturas de machos relativamente más abundantes que las hembras, al menos a partir de los muestreos realizados a bordo de palangreros de superficie.

La distribución de las larvas se ha descrito generalmente en aguas con temperatura superficial entre 24 y 29 ° C, pero la fuerte deriva producida por las corrientes puede llevar a errores al asumir las áreas de presencia de larvas como áreas potenciales de reproducción.

## **2.9. ALIMENTACIÓN.**

Como en el caso de la mayoría de los depredadores que ocupan este nivel trófico elevado, el pez espada se alimenta de una gran variedad de presas, dependiendo de la disponibilidad de alimento en su zona de actividad. Frecuentemente las altas concentraciones de pez espada coinciden con la abundancia de peces óseos muy diversos, entre ellos los pequeños pelágicos (caballas, jureles, anchoas, etc), moluscos cefalópodos (potas, calamares y pulpos) y, en menor medida, crustáceos y otros invertebrados. Tradicionalmente se han considerado como depredadores muy activos que localizan su presa preferentemente por la vista. No obstante, el estímulo olfativo podría jugar un papel más importante de lo que se pensaba al menos a la hora de decidir el ataque final a la presa. Se estima que el pez espada precisa una dieta diaria sobre 1%-2% de su biomasa corporal y que en el conjunto anual precisaría un aporte de entre 3 y 6 veces su peso corporal.



Figura 10. Algunos de los tipos de presas observados más frecuentemente en los contenidos estomacales del pez espada, incluyendo en ocasiones a juveniles de su propia especie (arriba, derecha).

## 2.10. ESTRUCTURA DE LOS STOCKS.

Diversas fuentes de información han sido manejadas por los científicos para proponer una estructura de los stocks del pez espada en el Atlántico y Mediterráneo. Se han revisado datos sobre marcado-recaptura, zonas de puesta conocidas, distribución de las larvas, tendencias de los reclutamientos, distribución de tallas entre flotas-áreas, distribución de las pesquerías, datos de CPUE y, más recientemente, datos genéticos basados en DNA mitocondrial y nuclear. Del conjunto de la información disponible se ha concluido que el pez espada está estructurado en varios stocks más o menos aislados entre ellos. Por una parte, los stocks del Atlántico Norte y Atlántico Sur (separados convencionalmente por el paralelo 5° Norte), con un posible nivel de intercambio entre ellos en la región tropical y con alguna posible comunicación con el stock del Océano Índico al nivel de África del Sur en relación con las fluctuaciones estacionales de la corriente cálida de Agulhas. El stock del Mediterráneo sería otra unidad claramente independiente, con cierto nivel de mezcla local en la zona atlántica del Estrecho de Gibraltar, aunque sin contribuir significativamente desde un punto de vista genético al stock del Atlántico Norte. No obstante estos aspectos son objeto de una profunda investigación actualmente y los criterios ahora definidos podrían ser parcialmente modificados en el futuro, si existieran nuevas evidencias que lo aconsejaran.

## 2.11. PREDADORES Y COMPETIDORES.

Los jóvenes peces espada han sido observados en los contenidos estomacales de muchas especies de peces, tales como tiburones pelágicos, marlines, atunes y en general en las grandes especies predatoras del sistema pelágico oceánico. Se cree que es mucho menos vulnerable cuando es adulto, aunque puede ser atacado por tiburones diversos, especialmente marrajos, tintoreras, martillos, etc.

Además son atacados a lo largo de su vida por mamíferos dentados, como la orca *Orcinus orca* (Linnaeus, 1758) y especialmente por la falsa orca *Pseudorca crassidens* (Owen, 1846) de importante nivel de depredación sobre el pez espada en las zonas de aguas cálidas de varios océanos. Así mismo, se cree que puede ser atacado por grandes cefalópodos.

Además, el pez espada es atacado frecuentemente por un pequeño tiburón mordedor *Isistius brasiliensis* (Quoy & Gaimard, 1824) denominado "sacabocados", "tollo", "pitillo", capaz de morder el músculo del pez espada y sacar un corte perfecto, profundo y ovalado, muy característico.



Figura 11. Ejemplar de *Isistius* (arriba izda.), detalle de su mandíbula (abajo izda.) y pez espada mostrando múltiples mordeduras de *Isistius*, alguna de ellas incompleta o fallida (derecha).

Esta acción del *Isistius* se ve favorecida por el tipo de piel relativamente frágil del pez espada. Frecuentemente el pez espada es capturado portando estas heridas y/o con las cicatrices residuales indicadoras de haber sufrido estos ataques.

Dado que la distribución geográfica de esta especie de tiburón "sacabocados" es tropical, las mordeduras y cicatrices encontradas en los peces espada capturados en zonas templadas y frías han sido usadas como una de las primeras evidencias para postular la procedencia de dichos peces espada desde las aguas cálidas a bajas latitudes hacia aguas templadas y frías de mayor latitud para sus fines tróficos.

## 2.12. FAUNA ASOCIADA SIMBIONTE Y PARÁSITA.

Varias especies de rémoras han sido descritas sobre el pez espada. En un estudio realizado en las áreas próximas al Golfo de Guinea, la especie de rémora más frecuentemente observada fue *Remora brachyptera* (Lowe, 1839) y de forma esporádica *Remora remora* (Linnaeus, 1758) y *Remora osteochir* (Cuvier, 1829), aunque las dos últimas aparecían con mayor prevalencia sobre otras especies de peces grandes pelágicos en zonas similares.

Numerosos parásitos han sido descritos en relación con el pez espada, ligados a sus branquias, vísceras, cavidad abdominal o músculo: trematodos (*Tristoma* spp., *Hirudinella* spp., *Ophistodena* spp.), Cestodos (*Fistulicola* spp., *Pelichnibothrium* spp., *Ceratobothrium* spp., *Phyllobothrium* spp., *Scolex* spp., *Hepatoxylon* spp., *Tentacularia* spp., *Sphyriocephalus* spp., *Dasyrhynchus* spp., *Nybelinia* spp., *Rhadinorhynchus* spp.); nematodos (*Maricostula* spp., *Hysterothylacium* spp., *Anisakis* spp.), copépodos (*Pennella* spp., *Caligus* spp.).

El género *Penella* es posiblemente el ectoparásito más frecuentemente observado por los pescadores y comercializadores por tratarse de un parásito visible en el exterior del cuerpo del pez espada. Es un parásito de aspecto tubular negruzco, con un penacho en su extremo externo. Penetra por la piel y a través del músculo alcanza las zonas vascularizadas internas de donde se alimenta. Es incluso frecuente observar varios ejemplares de *Pennella* parasitando a un mismo pez espada.

En general, la ocurrencia de parásitos es mucho mayor en el pez espada del Mediterráneo que en el del resto de regiones observadas.



Figura 12. Parte exterior visible de *Pennella instructa* sobre la piel de un pez espada (izda.) y dibujo de su estructura corporal una vez sacada de un pez espada (derecha).

### **CAPÍTULO 3. HISTORIA DE LA PESQUERIA DE PEZ ESPADA.**



## **CAPÍTULO 3. HISTORIA DE LAS PESQUERÍAS DE PEZ ESPADA.**

### **3.1 INTRODUCCIÓN.**

La pesca del pez espada ha sido una actividad ancestral citada por escritores clásicos y del medievo, cuya historia conocida más antigua se remonta a las culturas clásicas del Mediterráneo. RICH (1947) resume citas de clásicos de Grecia y Roma que referían actividad pesquera sobre esta especie (“*Xiphonion*”) hace al menos unos 2400 años. Aristóteles denominó esta especie con el nombre *Xiphias* con el que permaneció su denominación actual de *Xiphias gladius* dada posteriormente por Linneo, y que hace referencia al término “espada” en griego y latín. RICH (1947), citando a otros autores, señala que “los romanos realizan este tipo de pesca a lo largo de todo el Mediterráneo, desde Bizancio hasta Gibraltar, lo que debía indicar la importancia de su pesca para los habitantes de las regiones costeras”.

A lo largo de los años, numerosos autores han realizado descriptivas de las pesquerías de sus respectivas regiones, lo que permite tener una visión histórica cronológica para entender el desarrollo y la expansión de una pesquería industrial relativamente moderna (TIBBO *et al.*, 1961; GUITART-MANDAY, 1964; BECKET & TIBBO, 1968; BECKET, 1974; CADDY, 1976; REY & GARCÉS, 1979; HURLEY & ILES, 1981a; GONZÁLEZ, 1989; HOEY *et al.*, 1991; RODRÍGUEZ *et al.*, 1989; BREWSTER-GEISZ, 1997), entre otros.

La primera descriptiva general de esta especie que resume su biología, distribución, historia de las nacientes pesquerías a nivel mundial, mercados, etc, fue realizada por GOODE (1883) indicando la importancia que esta especie empezaba a tener en ciertas áreas del Mediterráneo y de las costas de EEUU y Canadá mediante la pesca con arpón. Esta descriptiva contiene información histórica de gran valía, comentarios de científicos de la época, cartas y notas de patrones de pesca y marineros, etc, y recoge de una forma global el incipiente conocimiento que sobre esta especie existía en aquella época.

Sin embargo, el desarrollo de la pesquería del pez espada como actividad económica importante es relativamente reciente, durante la época industrial del siglo XX, motivada por la gran demanda de los mercados de túnidos y especies afines a nivel mundial, especialmente en América del Norte, Europa y Japón, que se han visto favorecidos en las últimas décadas por un entorno comercial más globalizado, por el desarrollo de sistemas de pesca más eficaces para la captura de estas especies oceánicas-migradoras y por el empleo de los nuevos sistemas de conservación en frío.

### **3.2. GENERALIDADES SOBRE LA HISTORIA DE LA PESQUERÍA DE PEZ ESPADA EN EL MUNDO.**

Aunque actualmente los niveles de capturas de pez espada sólo representan aproximadamente el 2,5% de las capturas declaradas a nivel mundial de túnidos y especies afines y, por lo tanto, sus capturas son relativamente bajas en relación al volumen de desembarcos de otras especies de peces óseos, la pesca de pez espada es una actividad comercial de gran importancia económica y social a nivel mundial y, especialmente, para determinadas regiones costeras de los océanos Atlántico (incluyendo el Mediterráneo), Índico y Pacífico.

La mayoría de las capturas de pez espada son realizadas por un número mínimo de 65 países que totalizan unas capturas declaradas que rondan, al menos, las 100.000 t/año según FAO (figura 13) de las cuales sólo 3 países (Taiwan, Japón y España) declaran en conjunto aproximadamente la mitad de las capturas mundiales registradas. La gran mayoría de las capturas mundiales son obtenidas actualmente mediante artes de palangre derivante (de

superficie dirigido hacia esta especie o profundo dirigido a los atunes), de gran altura, que es un arte de pesca de desarrollo relativamente reciente. Según los datos de 1994, los principales países que declaraban capturas de pez espada a nivel mundial eran: Japón (26%), España (18%), EEUU (12%), Italia (10%), Taiwán (8%), Chile (6%) y Filipinas (6%), (FOLSON *et al.*, 1997).

Aunque estos niveles de capturas globales parecen relativamente pequeños en comparación con otras especies de peces óseos, se estima que estas capturas podrían representar al menos unos 482 millones €/año, sin contar los ingresos producidos por las capturas accesorias o accidentales. Desde un punto de vista macroeconómico estas cantidades podrían ser poco importantes en relación a otros sectores primarios, sin embargo son un factor económico importante para comunidades costeras de determinadas regiones, especialmente de España (Galicia), EEUU, Chile, Taiwán y Japón, con importantes implicaciones económicas, sociales y culturales.

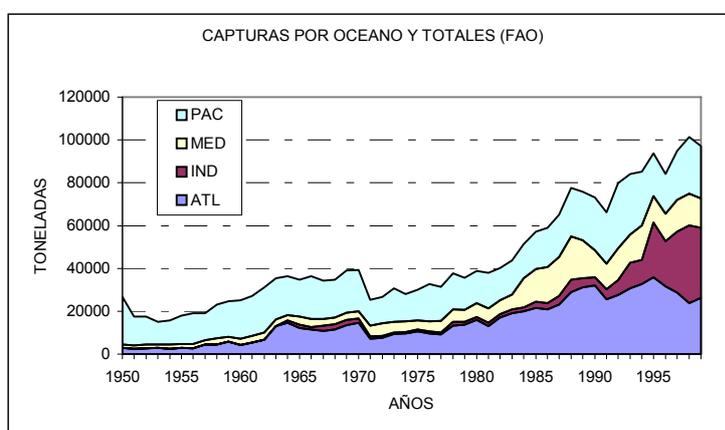


Figura 13. Capturas históricas mundiales de pez espada (*Xiphias gladius*) en los océanos Atlántico, Índico, Pacífico y en el Mar Mediterráneo (fuentes FAO-ICCAT).

Por tratarse de una especie predominantemente oceánica, termodependiente y migradora, parece evidente que su explotación sólo es posible, o bien mediante la aproximación de los peces espada a zonas relativamente costeras y su captura con artes tradicionales diversas (canoas, líneas, arpones, redes, almadrabas, etc.), o bien mediante el acceso de embarcaciones a las zonas oceánicas de mayor abundancia de esta especie. Ambos escenarios resumirían a grosso modo la historia de esta pesca a nivel mundial durante siglos, siendo la primera fase citada hasta mediados de la década de los cincuenta del siglo pasado y la segunda fase moderna a partir de esa década. Además, el pez espada no forma cardúmenes propiamente dichos, por tanto su explotación a niveles intensivos necesariamente está muy relacionada con el desarrollo industrial de las embarcaciones y artes de pesca ocurridos en los siglos XIX y, sobre todo, en el XX.

Por este motivo, toda la historia ancestral de esta pesca está íntimamente ligada a los comportamientos migratorios espacio-temporales de esta especie que son consecuencia de su necesaria adaptación al medio ambiente y a sus requerimientos fisiológicos de alimentación y reproducción. Este comportamiento, establecido a partir de unos 40 ó 50 millones de años de evolución, permitía la disponibilidad del recurso en determinadas áreas y épocas que han sido aprovechadas desde tiempos ancestrales, con mayor o menos intensidad, por los pescadores de algunas de esas regiones costeras.

Los registros más antiguos conocidos sobre la captura de pez espada se remontan a los hallazgos arqueológicos y escritos realizados en diversas regiones del Mediterráneo (época prerromana), de Chile (época precolombina) y de islas oceánicas del Pacífico. Además, tal como se ha indicado, existen citas de escritores clásicos griegos y romanos, y escritores medievales que, en muchos casos, hicieron curiosas alusiones a esta especie como si se tratara de un “monstruo marino capaz de enviar a los barcos al fondo del mar usando su espada” (GOODE, 1883).

Las primeras capturas de esta especie fueron realizadas en estas épocas con arpones de tipos diversos, simples líneas de mano, redes de fibra natural y también ocasionalmente con trampas del tipo de las almadrabas de uso también milenario para la captura de los atunes. En el Golfo de Maine existen evidencias de que hace al menos 5.000 años tribus indias ya capturaban peces espada con arpones.

La pesca con artes de palangre de pequeño tamaño (“palangrillos”) está documentada en regiones del Mediterráneo y Sur de España al menos desde el siglo XIX (RODRÍGUEZ-SANTAMARÍA, 1923) aunque parece que inicialmente su actividad estaba dirigida a la captura de los tiburones pelágicos por lo que se les conocía como “marrajerías”, nombre que aún permanece en algunas regiones Atlánticas del Sur de España y del Mar Mediterráneo (REY *et al.*, 1988).

No obstante, la introducción de los palangres como artes de pesca industrial de altura a nivel mundial no comenzó hasta mediados del siglo XX cuando los grandes palangreros industriales de países orientales comenzaron sus intensas actividades de pesca en alta mar dirigida a la captura de atunes y pez espada con ese eficaz arte que actualmente obtiene aproximadamente el 85% de las capturas mundiales de pez espada que han sido declaradas.

A partir de mediados de los años cincuenta del siglo pasado, el arte de palangre sufre una progresiva expansión geográfica y mejoras tecnológicas muy considerables pasando en algunas flotas de palangres tradicionales a palangres más tecnificados.

En los años sesenta los barcos de EEUU y Canadá, que pescaban con arpón, instalan intensivamente palangres dirigidos a esta especie, animados por los buenos rendimientos obtenidos por otras flotas extranjeras que pescaban en estas áreas y la posibilidad de pescar con condiciones meteorológicas más adversas que con los tradicionales arpones. Durante los años sesenta de ese siglo la pesca de esta especie se extiende por toda la costa Atlántica de América del Norte, desde el Golfo de México hasta Canadá (GIBSON, 1981), aspecto que ha calado culturalmente en muchas comunidades costeras de esas regiones.

A mediados de los años setenta del siglo pasado se inicia por parte de algunas flotas (especialmente en EEUU) el uso de elementos que contribuyen a mejorar la eficacia (capturabilidad) y a reducir los costes de explotación del palangre, tales como carreteles hidráulicos, líneas de nylon mono-filamento de lance y virada automática, luces químicas para la atracción del pez espada, cebos específicos con colorantes reflectantes, clips de acero, anzuelos con grapa para evitar empates, etc.

Estos elementos permitieron incrementar el número de anzuelos largados y el número de millas cubiertas en cada lance, adaptar la flotabilidad del aparejo, etc. En definitiva, las modificaciones realizadas en el nuevo palangre tipo “Florida” sobre el palangre tradicional, conocido como de Nueva Inglaterra, contribuyeron a incrementar el esfuerzo efectivo de este arte y la mortalidad por pesca.

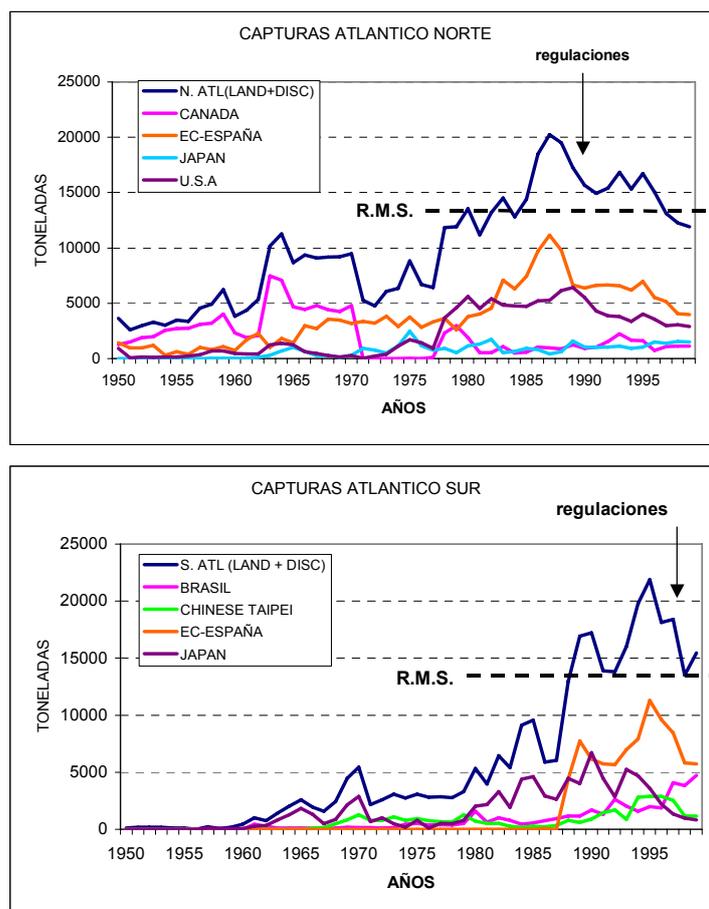


Figura 14. Serie histórica de capturas totales de pez espada (*Xiphias gladius*) obtenidas en los stocks Atlántico Norte y Atlántico Sur (separados ambos por el paralelo 5° latitud Norte), indicando las capturas (desembarcos y descartes) efectuadas por los países más activos en la pesquería y estimaciones de los respectivos rendimientos máximos sostenibles. Fuente de datos de ICCAT. Los datos de España proceden originalmente de las estimaciones científicas realizadas por el Instituto Español de Oceanografía (RMS: nivel estimado de rendimiento máximo sostenible) (ANÓNIMO, 2000).

Además de las capturas realizadas por diversas flotas palangreras como consecuencia de una actividad dirigida hacia el pez espada, esta especie ha sido intensamente capturada como especie asociada a la actividad de palangres dirigidos hacia otras especies, preferentemente hacia diversas especies de túnidos (*Thunnus thynnus*, *Thunnus alalunga* (Bonnaterre, 1788), *Thunnus obesus* (Lowe, 1839), *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788)), bien por barcos de pesca refrigerada (en caladeros relativamente cercanos a sus puertos base) como de pesca congelada por palangreros de gran altura en todos los océanos del mundo. Se estima que aproximadamente el 50 % de las capturas mundiales de pez espada podrían ser realizadas o declaradas como consecuencia de pesca “no dirigida”, de forma más intensa por las flotas orientales de Taiwan, Japón, China y Corea.

Taiwan es el país con mayores capturas de pez espada a nivel mundial y prácticamente la totalidad de sus capturas se consideran producidas como capturas accidentales de pesquerías dirigidas a túnidos (*Thunnus alalunga*, *Thunnus obesus*), aunque esto es discutido. Japón, segundo país en niveles de capturas a nivel mundial, estima que aproximadamente la mitad de sus capturas mundiales son realizadas de forma accidental como consecuencia de las pesquerías dirigidas a diversas especies de túnidos (*Thunnus obesus*, *Thunnus thynnus*, etc).

### 3.2.1. Atlántico NE, con especial referencia a la flota española.

Como se indicó anteriormente, la historia de la pesquería de pez espada en Europa (Atlántico NE) está ligada desde hace miles de años a la cultura mediterránea y se ha mantenido como actividad pesquera hasta nuestros días. Sin embargo, la actividad en el Atlántico NE, que tiene raíces iniciales procedentes del Mediterráneo, se cree mucho más reciente que la mediterránea y más reciente incluso que la del Atlántico NW.

Si bien conocemos algunos registros antiguos, manuscritos y descriptivos de la presencia esporádica de pez espada en puertos de Galicia (CORNIDE, 1787, citado por GOODE, 1883), y del Cantábrico (RIOJA, 1896, notas manuscritas) y algunas notas sobre biología y pesquerías de esta especie (DE BUEN, 1914), sin embargo las principales informaciones históricas de la evolución de esta pesquería en Galicia proceden de las publicaciones científicas y descriptivas realizadas por científicos del Instituto Español de Oceanografía en los últimos 30 años (A. González-Garcés, J. C. Rey, J. M. de la Serna, B. García, J. Mejuto, entre otros) que recogen en diversa documentación científica la evolución histórica de una pesquería en sus diferentes fases de desarrollo y explotación. En este sentido, REY *et al.* (1988) y MEJUTO *et al.* (1989) resumen la historia de la pesquería española de pez espada durante el siglo XX, hasta 1987. Mucha de esa información ha sido posteriormente recopilada, traducida y resumida por diferentes autores (FOLSON, 1997; FOLSON *et al.*, 1997; WARD & ELSCOT, 2000).

El uso de palangres de superficie se conoce en el Sur de España (Atlántico y Mediterráneo) al menos desde el siglo XIX como arte para la captura del marrajo *Isurus oxyrinchus* (Rafinesque, 1809), lo que le dio el nombre tradicional de “marrajera” (RODRÍGUEZ-SANTAMARÍA, 1923; REY *et al.* 1988), nombre que aún es usado en estas regiones. Por tanto, el desarrollo de la pesquería del “emperador” o pez espada se inicia en el Sur de España posiblemente a lo largo de la primera mitad del siglo XX, o incluso antes.

Los registros históricos más antiguos sobre los niveles de capturas realizadas por la flota española datan de 1939 (GONZÁLEZ-GARCÉS, 1986), aunque sólo a partir de 1950 se comienza a diferenciar la procedencia atlántica o mediterránea de las capturas, y con una mayor consistencia en los datos a partir de 1962. Durante el periodo 1950-1964 se estima que las capturas españolas (Atlántico y Mediterráneo) fluctuaron en torno a las 1.000 t anuales.

A partir de finales de los años sesenta del siglo XX, y especialmente a finales de los años setenta y ochenta, se produce un incremento considerable de la actividad de la flota de Galicia que se incorpora con gran fuerza a esta nueva pesquería de esta región geográfica donde no existía ni hábito local de consumo de esta especie ni tradición en su pesca. La expansión progresiva de la flota española hacia el Sur (costa africana) y hacia el Oeste (alcanzando los 40° W a mediados de los años ochenta) incrementó las áreas de pesca, el esfuerzo y las capturas, de forma considerable (MEJUTO *et al.*, 1989).

Durante el periodo 1960-1974 el número de buques no era bien conocido, sin embargo se sabe que en los años 1960 y 1970 se inicia una expansión de barcos y caladeros. Los barcos de la incipiente flota de Galicia, que iniciaron su actividad en 1964 con algunos patrones de pesca procedentes del Sur de España, eran buques generalmente no especializados en esta pesquería, ya que la pesca del pez espada era complementaria de su “costera” estival de atún blanco o bonito del norte (*Thunnus alalunga*). De todas formas, las capturas de la flota de Galicia eran muy escasas durante ese período, aunque pronto pasaron de representar sólo el 1 % de las capturas españolas en 1964 a suponer el 22 % en 1974 (GONZÁLEZ-GARCÉS, 1976), alcanzando ya el 82 % de las capturas españolas del Atlántico en el año 1987. Durante este periodo las capturas españolas del Atlántico fluctuaron en torno a las 1.000-3.000 t/año según ese autor.

En 1975 el número de barcos palangreros con base en Galicia se estimaba en unos 63 (GARCÉS, 1979), la mayoría de menos de 80 TRB, y sólo el 12 % estaban comprendidos en la categoría de 80-120 TRB. En esta época las áreas de pesca del conjunto de la flota Española eran relativamente próximas a la Península Ibérica (Atlántico y Mediterráneo), regiones en torno a las Islas Azores en el periodo de primavera-verano, costas africanas al Norte de Cabo Verde (Marruecos-Mauritania) y proximidades de Canarias y Madeira (especialmente estas últimas para la flota con base en los puertos del Sur de España). Las capturas españolas del Atlántico y Mediterráneo alcanzaron las 3.000 t/año a mediados de los setenta, con rendimientos medios de pesca en el Atlántico sobre 319 kg por cada mil anzuelos largados (GARCÉS, 1979).

Como ejemplo del rápido desarrollo de esta flota y su expansión hay que indicar que durante los años 1973-1981 el esfuerzo de la flota palangrera española estuvo entre 10 y 12 millones de anzuelos/año. A partir de 1982 se produjo un enorme incremento, de forma que en 1983 y 1984 el esfuerzo de pesca ya alcanzó los 24 millones de anzuelos/año (MEJUTO *et al.*, 1989). Por tanto, parece que el periodo entre los años 1980-1985 fue clave en el desarrollo de esta pesquería española en el Atlántico NE, especialmente de la flota de Galicia, coincidiendo en el tiempo con un fenómeno similar observado en otras flotas de países americanos que faenaban en caladeros del Atlántico NW (figura 15). Al inicio de los años ochenta del siglo pasado se produce también una progresiva expansión geográfica de la flota de Galicia (con puertos base predominantes en A Coruña, Vigo, Burela y A Guarda) y del Sur de España (con base preferente en Algeciras). La flota de Galicia, dotada de bodegas con hielo picado, se especializa más en esta pesca y se expande preferentemente hacia el Oeste en la franja 30°-45° latitud N, pescando en aguas templadas, alcanzando en pocos años áreas de hasta los 45° longitud W próximas a los Grandes Bancos de Canadá de elevados rendimientos de pesca, aprovechando las concentraciones de pez espada en la época estival en las zonas de convergencia producidas por las influencias de la Corriente del Golfo con la de Labrador; tradicionalmente frecuentadas por la flota de EEUU y Canadá (MEJUTO & IGLESIAS, 1988). Por contra, la expansión de la flota con base en Algeciras tiende preferentemente hacia el Sur, en torno a zonas próximas de la costa africana hasta alcanzar a mediados de los ochenta el Golfo de Guinea, cruzando en 1986 por primera vez el paralelo 5° latitud N que divide a los stocks norte y sur del pez espada del Atlántico (REY *et al.*, 1988; MEJUTO *et al.*, 1989).

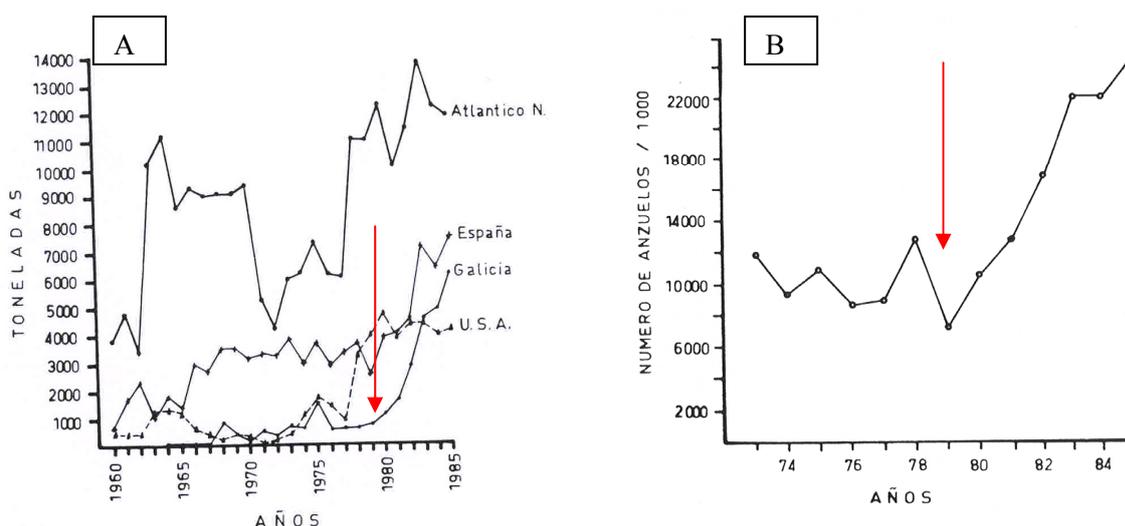


Figura 15. Evolución histórica de décadas recientes en las que se produjo el proceso expansivo de la pesquería española de pez espada en el Atlántico Norte, mostrando el intenso desarrollo sufrido durante la década de los 80 (MEJUTO *et al.*, 1989). (A): Niveles de capturas anuales (flotas combinadas) y por flotas más importantes en Atlántico Norte. Importancia relativa de la captura de la flota con base en Galicia sobre las capturas anuales durante el periodo 1960-1985. (B): Niveles de esfuerzo nominal (miles de anzuelos) aplicado anualmente por la flota español de pez espada en el Atlántico Norte, durante el periodo 1973-1985.

Las capturas de la flota de Galicia se incrementan de forma muy considerable durante el periodo 1982-1985, pasando de 2.800 t/año hasta las 6.100 t/año, con una flota en esta región de entre 116 y 141 barcos operativos. Durante este periodo los buques mejoran su operatividad de pesca, pasando de usar un promedio de 1.300 anzuelos a usar 1.800 anzuelos por lance. El puerto de Vigo, que ya concentraba sobre el 54% de los desembarcos en Galicia a inicios de los ochenta, pasa a centralizar el 80% de estos desembarcos en 1985 debido a un conjunto de factores internos y externos, en detrimento de las descargas de otros puertos de Galicia que ofrecen menos facilidades a esta flota frente a otras pesquerías más arraigadas. Como consecuencia de ello, las capturas españolas del Atlántico Norte que en el periodo 1980-1982 rondaban las 4.000 t/año, ascendieron hasta las 7.100 t en 1983 (figura 15A).

Siguiendo una tendencia internacional de esta época, unos 5 barcos rederos que pescaban especies de túnidos menores desde los años setenta cambian su arte y, en 1986, inician el desarrollo de una pesquería de red de enmalle a la deriva que pescaba estacionalmente en las zonas próximas al estrecho de Gibraltar, con rendimientos de pesca y tamaños de los ejemplares muy considerables, aprovechando el movimiento de los peces entre regiones del Atlántico Norte y Mediterráneo en la zona de Gibraltar (DE LA SERNA & ALOT, 1990; DE LA SERNA *et al.*, 1992b). Esto favorece un desarrollo rápido de esta flotilla local con base en Algeciras que en 1989 ya implica a unos 72 barcos rederos, con unas capturas de unas 900 t/año (14% de las capturas atlánticas de España). En 1990 se prohíbe en España esta modalidad de pesca dirigida al pez espada, aunque persiste una cierta actividad de unos 31 barcos que finalmente son obligados a abandonar la actividad en 1994 (DE LA SERNA, com. pers.).

A mediados de los años ochenta del siglo pasado se estimó que el número de buques palangreros que participaban en la pesquería (de forma activa, esporádica u oportunista) podría ser de hasta 210 unidades. De ellos unos 125 pertenecían a las flotas con base en el Norte (Galicia), que aún solían complementar su actividad con la pesca de atún blanco o bonito durante el verano, y unos 85 barcos a la flota del Sur (Andalucía). Ambas flotas tenían características diferentes ya que la flota del Norte era generalmente inferior a 200 TRB mientras que la de la región Sur generalmente era inferior a 100 TRB (REY *et al.*, 1988). En 1985 las capturas Españolas en el Atlántico Norte eran de 7.000 t, incrementándose hasta alcanzar el pico histórico de capturas de 11.000 t en 1987.



Figura 16. Desembarcos de pez espada (*X. gladius*), foto izquierda, y quella (*P. glauca*), foto derecha, realizados por barcos de fresco en el principal puerto de desembarco de estas especies (A Coruña) a inicios de la década de los 1980.

Debido a la expansión geográfica de los caladeros, la mayor duración de las mareas y la necesidad de conservar la pesca, a mediados de los ochenta se inicia en España el desarrollo de una flota de palangreros congeladores de alta autonomía, con mareas que pueden sobrepasar 3 meses de mar continuados. Estos buques pueden pescar en aguas tropicales durante más tiempo

y sin problemas de conservación de la pesca. En 1987 se citan al menos 5 barcos de estas características para un total de flota en el Atlántico estimada en unas 250 unidades capaces de pescar pez espada, algunos de ellos aún con actividad de pesca estacional o parcial (REY *et al.*, 1988).



Figura 17. Flota tradicional de fresco, luego reconvertida mayoritariamente a barcos más modernos con casco de hierro, que realizan pesca en fresco o mixta preferente en caladeros del Atlántico Norte (izquierda). Barco tipo congelador, o de larga distancia, con mayor autonomía y con actividad prioritaria en el Atlántico Sur y otros océanos (derecha).

En 1990 se establecen las primeras recomendaciones ICCAT para la conservación del pez espada del Atlántico Norte (Rec. ICCAT90-2) sobre reducción de la mortalidad por pesca y establecimiento de una talla mínima de 125 cm o su equivalente de 25 kilos peso vivo. Estas regulaciones incentivan u obligan, entre otras razones, a parte de la flota española con posibilidades operativas a desplazarse hacia el stock del Atlántico Sur.

Durante los años 1994-1999 ICCAT establece un conjunto de regulaciones adicionales sobre el pez espada del Atlántico Norte, incluyendo la fijación de TACs (total permisible de captura) muy restrictivos, claves de reparto y cuotas por país, que afectan de forma más importante a la flota española.

La tintorera, tiburón azul, quenlla o quella, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) era tradicionalmente la especie más frecuentemente observada en las capturas accidentales y en los desembarcos de la flota española del Atlántico Norte, junto con otras especies menos frecuentes como los marrajos, *Isurus oxyrinchus* y *Lamna nasus* Bonnaterre, 1788, así como algunos túnidos y peces de pico (MEJUTO, 1985; MEJUTO & GARCÉS, 1984).

A mediados de los años setenta, antes del establecimiento de las primeras regulaciones sobre pez espada, ya se había detectado un cierto incremento de los desembarcos de especies de tiburones pelágicos asociados a la pesquería de pez espada, probablemente como consecuencia de la disminución de los descartes por mejoras en el mercado internacional de tiburones. En esa época, los desembarcos de estas especies asociadas representaban para esta flota del Atlántico NE aproximadamente el 11% de sus ingresos en primera venta por marea (MEJUTO *et al.*, 1989).

Sin embargo, desde mediados de los años ochenta, y especialmente durante los noventa, se detectan cambios sustanciales en los mercados internacionales de estas especies de tiburones pelágicos y de sus productos derivados. Como consecuencia de ello y de las medidas de regulación sobre el pez espada del Atlántico Norte (internacionales y domésticas) se produce un

cambio sustancial en la estrategia de pesca de esta flota del Norte a partir de esos años. La pesquería se torna en biespecífica, dirigida al pez espada y/o a tintorera (MEJUTO & DE LA SERNA, 2000; MEJUTO *et al.*, 2002), estimándose que a finales de los noventa estas especies ya representaban para esta flota de Galicia en el Atlántico Norte sobre el 50-60% de sus ingresos en primera venta por marea. Para ello, los barcos tradicionales de pesca en fresco (con hielo) tuvieron que dotarse de sistemas de congelación, lo que les permitía la pesca en fresco y/o congelado (sistema mixto) y la mejor conservación de la captura. Este elemento histórico, aparentemente menor, será de capital importancia para el enfoque en los posteriores análisis.



Figura 18. Desembarcos de pez espada (*X. gladius*), foto izda, y quilla (*P. glauca*), foto derecha, en el principal puerto de desembarco de estas especies (Vigo), flota de fresco, año 2003 (fotos A. Ramos-Cartelle).

Desde mediados de los años noventa, pero sobre todo durante el periodo 1998-2001, se observa un cambio en el arte de pesca tradicional de la flota española. Si bien en años anteriores ya se habían introducido ciertas mejoras tecnológicas en el palangre, sobre todo encaminadas a facilitar las faenas y poder largar un mayor número de anzuelos por lance (clips, algunas luces químicas, anzuelos de grapa, etc.), sin embargo en estos años citados se produce un cambio radical en el arte de pesca al introducirse de forma mayoritaria en la flota el empleo del palangre tipo “Florida” o tipo “americano” o “rulo americano”, que ya venía siendo usado desde los años setenta por las flotas de países del Atlántico Oeste, con una tecnología más mecanizada y mayor eficacia para la captura del pez espada. En este sentido, aunque algunas otras flotas habían introducido también cambios importantes en el arte de tipo palangre, es durante el año 2000 cuando prácticamente ya se generaliza el uso de artilugios en la configuración del arte de pesca en las principales flotas palangreras del mundo que dirigen su actividad hacia la captura del pez espada, incluida parte de la flota del Mediterráneo, aunque una parte aún persiste con el sistema tradicional o “marrajera” (DE LA SERNA, com. pers.).

Por tanto, la flota española ha utilizado un palangre tradicional español, con escasas modificaciones tecnológicas hasta años recientes, lo que permite afrontar análisis de los datos asumiendo para el palangre tradicional capturabilidad constante durante el periodo estudiado.

### 3.2.2. Atlántico Sur, con especial referencia a la flota española.

El stock del Atlántico Sur de pez espada está definido por ICCAT al Sur del paralelo de 5° latitud Norte. No se dispone de registros muy antiguos sobre la actividad de flotas en el Atlántico Sur, aunque es esperable que esta especie fuera capturada por poblaciones indígenas de Brasil. Los registros disponibles parten del año 1950, con capturas declaradas de escasos cientos de toneladas hasta 1960. No obstante, con anterioridad a estas fechas, serían esperables ciertas capturas por flotas artesanales costeras de Brasil y de ciertos países africanos del Atlántico Sur, mediante pesca con canoas que aún persiste.

La historia más reciente de la pesquería en el Atlántico Sur está íntimamente ligada al desarrollo de las pesquerías palangreras en alta mar dirigidas a los túnidos que fueron introducidas en el Atlántico Sur por las flotas orientales a partir de 1956. Países como Japón, Taiwan y Corea pescaban diversas especies de atunes con estas artes y declaraban algunas capturas accidentales de pez espada. No obstante, es posible que durante las primeras décadas de estas pesquerías las capturas de pez espada fueran subdeclaradas ya que su valor económico para estas flotas era escaso y frecuentemente no eran debidamente registradas por los patrones. Por ello, los registros históricos de capturas de estas flotas deben ser considerados con cierta reserva.

Estas flotas orientales iniciaron su actividad preferentemente en las proximidades de las costas del Atlántico Suroeste bien en alta mar o mediante sistemas de convenios y “charteo” o “leasing” para acceder a las áreas de pesca de diversos países de la región, tales como Brasil, Uruguay, Venezuela, etc. En este sentido, KIKAWA & HONMA (1976, 1977) indican que ya en 1956 existía una actividad palangrera de Japón y Taiwan en el Atlántico Norte y Sur dirigida a atunes, con importantes capturas de “*peces de pico*” preferentemente en las regiones de Brasil y Mar Caribe. En el año 1970 fueron declaradas 5.400 t procedentes de este stock Sur, siendo Japón el país que declaró las mayores capturas (53%), seguido de Taiwan (24%) y Corea (7%). La magnitud de actividad de estas flotas orientales era enorme y se extendía por todas las áreas de distribución del pez espada del Atlántico, tanto del Norte como del Sur (HURLEY & ILES, 1981b).

FERREIRA DE AMORIN (1977) y AMORIN *et al.* (1979) indican que la pesca de pez espada con palangres comenzó en Brasil en 1958 y describen, en el periodo 1968-1975, una incipiente flota de Brasil con base en Santos que pescaba estacionalmente entre los 23° y 32° latitud Sur dirigida preferentemente a los atunes. El pez espada era entonces una especie secundaria que representaba sólo entre el 8% y 23% de las capturas de estos palangreros. Sobre 1975 ya es detectado un incremento de la demanda y precio del pez espada. Brasil en los años setenta declaraba entre 100 y 400 t/año.

La flota de Japón accedió a pescar túnidos en aguas de Brasil en 1977 mediante sistemas de “charteo” o “leasing”. No obstante las capturas accidentales de pez espada son muy importantes en esta flota. La flota local de Brasil obtiene aproximadamente entre el 40% y 60% de las capturas declaradas mientras la cantidad restante se estima como obtenida por los barcos de “leasing” (WEIDNER & AROCHA, 1999; WEIDNER *et al.*, 1999).

En el año 1985 las capturas totales declaradas del stock Sur ascendieron hasta 9.500 t, de las cuales Japón continuaba capturando la mayor parte (48%) seguido de Cuba (14%), Taiwan (13%), Uruguay (12%), Corea (10%) y Brasil (6%).

Uruguay también desarrolló una incipiente pesquería durante un breve periodo a inicios de los ochenta que llegó a alcanzar casi 2.000 t en 1984, reduciéndose de forma considerable sus capturas declaradas en los años siguientes. Argentina fue un país tradicionalmente poco activo en la captura de pez espada, posiblemente por encontrarse en el límite Suroeste de la distribución geográfica de esta especie y estar sometido a disponibilidades locales de este recurso muy erráticas debido a la variabilidad interanual de la convergencia entre la corriente cálida de Brasil y la corriente fría de las Malvinas. Argentina alcanzó niveles de hasta 450 t/año a finales de los años sesenta y de 350 t a finales de los ochenta. Por tanto, su actividad pesquera hacia esta especie parece que ha sido esporádica y sin continuidad.

A partir de mediados de los ochenta España (con flota mayoritaria con base en Galicia) comienza el desarrollo de su flota congeladora dirigida a la captura del pez espada. Esta flota en pocos años incrementa el número de unidades de forma considerable y extiende sus áreas de pesca hasta alcanzar regiones tropicales. En 1986 la flota española cruza el paralelo 5° Norte (límite entre los stocks definidos como Atlántico Norte y Sur) y captura 66 t (sólo el 1% de la captura anual de este stock) en una franja tropical (5°Norte-5°Sur). A partir de 1986 se percibe

un incremento de capturas en algunas otras flotas. España inicia su incipiente actividad pesquera en el Atlántico Sur, pero también Brasil y Taiwan incrementan sus capturas.

En 1990 ya se totalizan declaraciones de capturas procedentes de este stock de 17.215 t (Japón: 39%, España: 36%, Brasil: 10%, Taiwan: 5%). A partir de 1990 se intensifican de forma muy importante los procesos de “charteo” o “leasing” en Brasil. A los barcos japoneses introducidos desde 1977 se añaden buques de Taiwan, Corea, Honduras, Panamá, Portugal, Barbados, EEUU y, posteriormente, de España. Este procedimiento se establece como fórmula para capturar pez espada en aguas de Brasil y proximidades, realizar faenas de desembarco y trasbordo en puertos-empresas de Brasil y comercializar la pesca preferentemente hacia los mercados externos de EEUU, Europa y Japón. Durante los años noventa el porcentaje de capturas realizado por los barcos incluidos dentro del sistema de “leasing” ya rondaba en promedio el 50-60% de las capturas declaradas por Brasil.

En el año 1995 se alcanza el máximo de capturas registrado en el Atlántico Sur con declaraciones de 21.654 t (España: 52%, Japón: 17%, Taiwan: 14%, Brasil: 9%, Corea: 1%). Las capturas españolas en el Sur se incrementan hasta alcanzar su máximo de 11.000 t en ese año. En sólo diez años España pasó de no pescar en el stock Sur a pescar el 52% de las capturas totales declaradas, con una flota de unos 50 palangreros congeladores de gran autonomía. Estos barcos rápidamente empiezan a conocer el comportamiento del stock y expanden sus áreas de pesca a casi todo al Atlántico Sur y, de forma especial, sobre las áreas de elevada concentración de pez espada en la franja tropical desde el Golfo de Guinea hasta Brasil. Posteriormente se expanden a lo largo de las áreas de aguas cálidas afectadas por la corriente del Brasil hasta alcanzar las zonas de convergencia de esta corriente con la corriente de las Malvinas sobre los 35°-40° latitud S. En estos últimos caladeros próximos a Uruguay son detectadas importantes concentraciones estacionales de pez espada ligadas a concentraciones de cefalópodos y otras especies que sirven de alimento al pez espada. En la costa africana del Atlántico SE, con aguas más frías, la flota española sin embargo sólo realiza una actividad de pesca muy moderada. A finales de los noventa la flota expande sus caladeros desde el Atlántico Suroeste hacia regiones más centrales del Atlántico Sur, encontrando nuevas áreas de gran abundancia de pez espada.

En 1997 ICCAT establece de forma preventiva un TAC, claves de reparto y cuotas específicas por país para el pez espada del Atlántico Sur. No obstante, estas recomendaciones ICCAT son objetadas por algunos países, como Brasil, lo que produce que sus capturas continúen creciendo pese a la limitación de las capturas de otros países que aceptan estas regulaciones. Como consecuencia, las capturas de países como España descienden a partir de mediados de los noventa.

En 1999 se declaran unos desembarcos totales de 13.486 t (España: 43%, Brasil 30%, Taiwan: 9%, Japón: 7%). Regulaciones posteriores realizadas entre 1998 y 2000 establecieron un nuevo TAC y cuotas para el pez espada del Atlántico Sur. No obstante las capturas de algunos países siguieron creciendo de forma importante contraviniendo estas regulaciones restrictivas.

Dentro de los países costeros del Atlántico Sur, Brasil fue el más activo e interesado en esta pesquería. Hasta el inicio de los años ochenta el pez espada fue capturado por las flotas de Brasil como especie asociada de la pesquería dirigida a atunes y tiburones, o como pesquería oportunista aprovechando disponibilidades locales. A mediados de los ochenta la flota de Brasil dirige su actividad a los tiburones debido al incremento de los mercados y precios de estas especies. Se cree que la flota local fluctuó entre 10 y 23 palangreros entre 1980 y 1996. Aunque el “charteo” o “leasing” había sido introducido en Brasil para la pesca de túnidos ya en 1977, a principios de los noventa se introduce este sistema en la pesquería dirigida al pez espada, preferentemente por barcos de Taiwan, Corea, Panamá, Portugal, Honduras, Barbados, España, etc, usando generalmente palangres monofilamento tipo “americano”.

El incremento de capturas de la flota española y brasileña durante los últimos doce años está claramente relacionado con el incremento de su intensidad de pesca (esfuerzo). Mientras que la flota española del Atlántico Norte continuó su actividad de forma relativamente estable desde el punto de vista de tamaño de flota y caladeros (aunque con cambios importantes en la estrategia de pesca, artes y restricciones de capturas y esfuerzo), por contra la flota española congeladora que pesca sobre el stock del Atlántico Sur sufrió un desarrollo muy importante y expansión de sus caladeros a finales de los ochenta y noventa. De forma similar ha ocurrido con la flota de Brasil de “leasing” desde mediados de los años noventa. Uruguay también ha incrementado sus capturas a partir de 1994 mostrando un interés creciente en esta pesquería.

### **3.3. CONSERVACIÓN Y DESCARGAS DE LA CAPTURA.**

En años recientes, el mercado en primera venta del pez espada y especies asociadas en España se ha concentrado prácticamente en su totalidad en el puerto de Vigo, siendo menores los desembarcos que se producen en otros puertos españoles. El puerto de Vigo concentra la actividad no sólo de la flota española que faena en el Atlántico, Índico y Pacífico, sino los desembarcos de otras flotas con diferentes banderas, con o sin intereses económicos de empresas gallegas, lo que hace a Vigo ser uno de los principales puntos de primera venta a nivel mundial del pez espada. La actividad de este subsector de flota es uno de los motores principales del desarrollo de dicho puerto, en los años recientes, a nivel de pesca fresca y congelada.

Si bien en el inicio de la pesca del pez espada la flota española desembarcaba sus capturas en peso vivo o eviscerado (según el puerto), en las últimas décadas la presentación del producto en primera venta es mayoritariamente congelado en peso canal (truncos), aunque aun persisten desembarcos en peso vivo, conservados en hielo, para mercados internos de España y de otros países de la UE, cuyas capturas proceden de caladeros del Atlántico Norte.

Capítulo 3. Historia de las pesquerías.

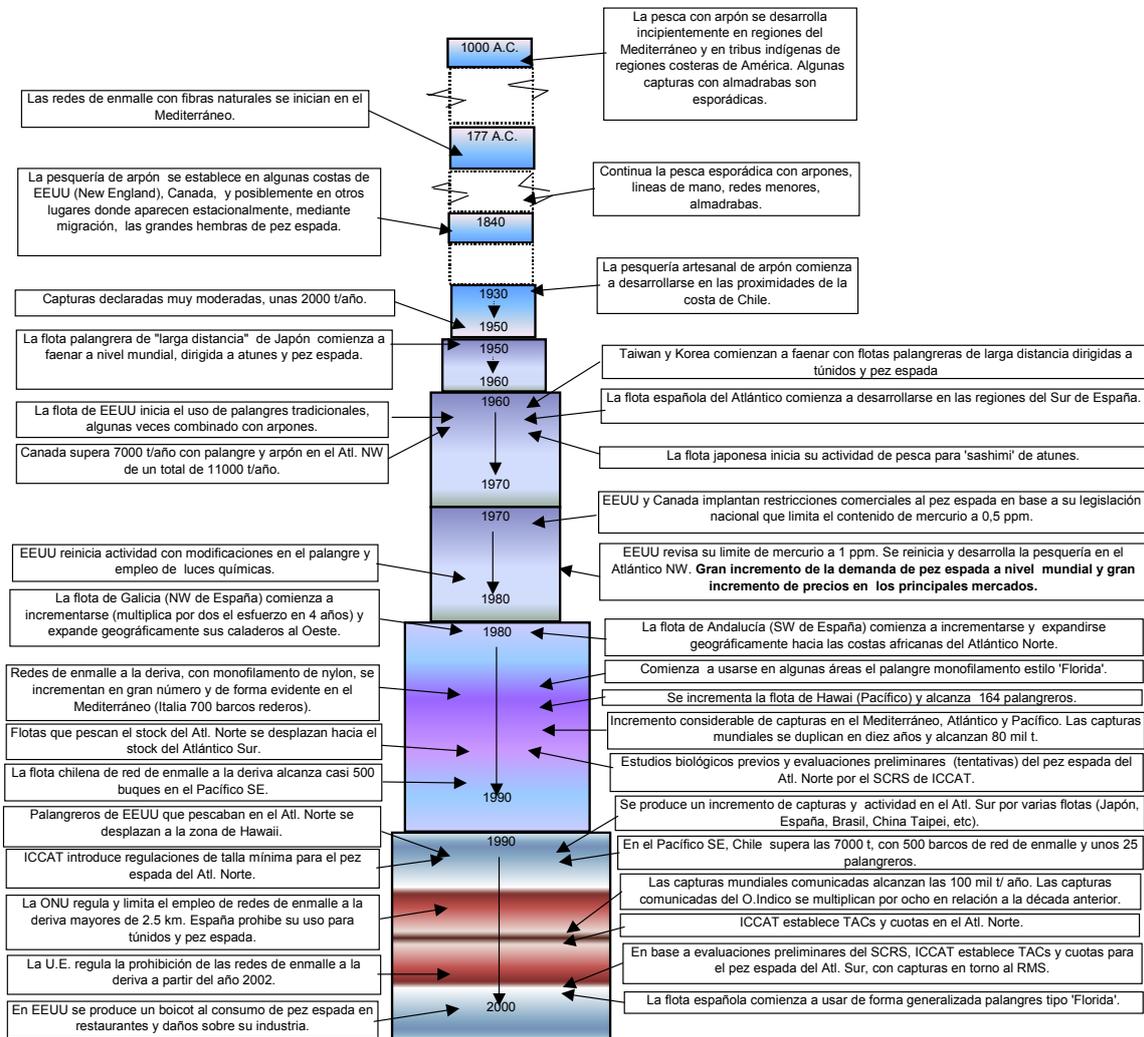


Figura 19. Resumen de los acontecimientos más relevantes en la historia de la pesquería del pez espada, a nivel mundial

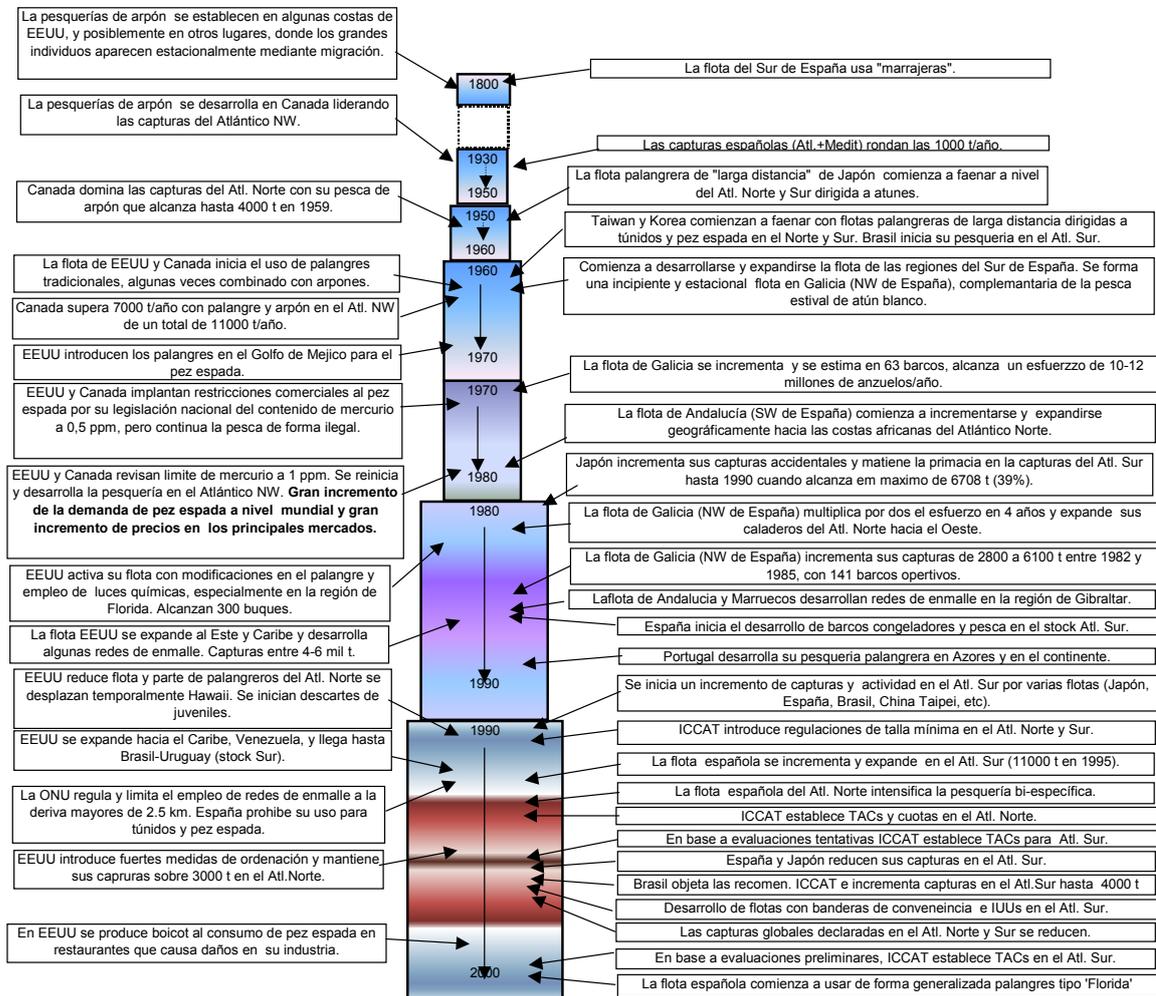


Figura 20. Resumen de los acontecimientos más relevantes en la historia de la pesquería del pez espada, a nivel del Atlántico Norte y Sur.

### 3.4. ASPECTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE LA PESCA DEL PEZ ESPADA EN ESPAÑA.

Aunque el objetivo de este capítulo no es profundizar en estos aspectos, consideramos de interés aportar algunas estimaciones globales que podrían ayudar a comprender la importancia económica y social de esta actividad pesquera en Galicia y en España. Esta valoración ayuda a entender el peso de este subsector en los intereses pesqueros de Galicia y la importancia económica y biológica de mantener los stocks de pez espada en equilibrio biológico de forma que permitan una explotación sostenible a largo plazo.

En la actualidad, la flota operativa de palangre de superficie con bandera española, que faena en el Atlántico (incluyendo el Mediterráneo), Índico y Pacífico, está compuesta por unas 281 unidades de las cuales unas 143 faenan en el Atlántico Norte, 44 en el Atlántico Sur, 69 en el Mar Mediterráneo y el resto en regiones de Pacífico e Índico. Excluyendo la flota del Mediterráneo, la mayoría son buques de fresco-mixtos. Del total de flota, aproximadamente unos 70 unidades son grandes congeladores capaces de pescar a larga distancia. Numerosas empresas gallegas son además armadoras de buques con otras banderas, tanto de la UE como de fuera de la UE. Se estima que el número de tripulantes necesarios para cubrir los buques con bandera española estaría en torno a los 3.500.

Estudios económicos estimaron que los desembarcos totales de pescado fresco y congelado en Galicia (todas las especies combinadas) eran a mediados de los años noventa sobre 397,6 mil toneladas, con un valor en primera venta estimado sobre 103 mil millones de pesetas (unos 619 millones de €/año), (CRUZ & NOGUERA, 1999). Según datos de la Autoridad Portuaria de Vigo (La Voz de Galicia, 27.06.2003), sólo en este puerto se producen ingresos en primera venta de pescado fresco del orden de 168 millones €/año, aunque en este datos posiblemente incluyen desembarcos de flotas de múltiples banderas.

Estudios recientes indican que el producto interior bruto (PIB) del complejo industrial de la pesca genera en Galicia sobre 2.200 millones de €/año, incluyendo todas las empresas dedicadas a la transformación y elaboración de alimentos procedentes del mar, representando esta cantidad sobre el 35% del PIB generado por el sector pesquero en el conjunto del Estado. Comparativamente con el PIB de Galicia, la actividad pesquera gallega sería la cuarta industria más importante, por detrás de la construcción, servicios financieros y turismo-ocio (La Voz de Galicia 21.05.2006). Por otra parte, en comparación con otros sectores primarios, la pesca en Galicia representa en primera venta del orden de 1.178 millones €/año, siendo el segundo sector primario más importante, después de la madera (1.520 millones de €), y por delante del sector lácteo (622 millones €), (La Voz de Galicia 28.05.2006).

Otros estudios recientes realizados en el año 2003 sobre la importancia económica de diversas pesquerías de interés para Galicia, indicaron que los desembarcos pez espada y de sus capturas asociadas realizados por la flota palangrera de superficie con bandera española (excluyendo los desembarcos de otras flotas en puertos españoles) representarían al menos sobre el 23% de valor total de la pesca desembarcada en Galicia, incluyendo en los cálculos el marisqueo y la flota de bajura. Si estas dos componentes fueran excluidas, la importancia económica de este subsector palangrero alcanzaría el 36% (A. Fernández, com. per. ) (figura 21).

En base a los datos históricos más recientes sobre capturas de la flota española (datos de FAO, ICCAT, IATTC, CTOI y propios), los desembarcos de la flota española pez espada, a nivel de todo el Estado, podrían representar en los años más recientes sobre los 185-200 millones de € en primera venta, equivalentes a unas 70.000 t peso vivo/año, entre pez espada, especies asociadas (en su mayoría grandes tiburones pelágicos) y los subproductos de estas especies (aletas). El ingreso sólo por el mercado de aletas de tiburón de esas mismas capturas accesorias, estimado sobre el 6.5 % del peso vivo del tiburón (MEJUTO & GARCÍA-CORTÉS, 2003c), rondaría los 9 millones €/año.

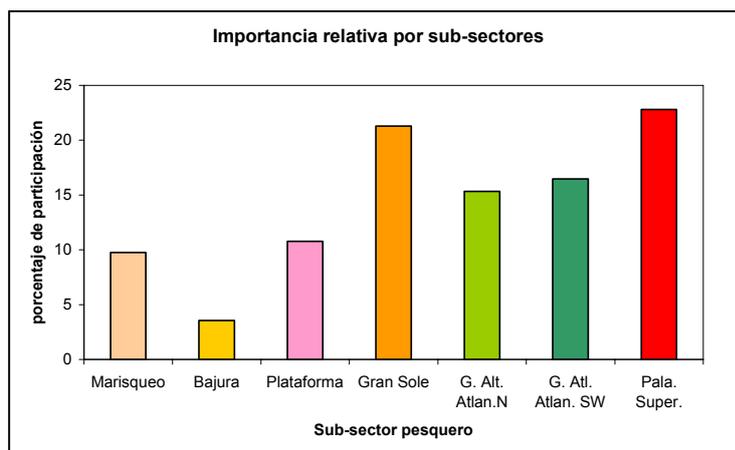


Figura 21. Estimación del valor en primera venta de capturas de los recursos vivos marinos capturados por diferentes subsectores-pesquerías de flotas gallegas en el año 2003: marisqueo, bajura, Gran Sol, gran altura en Atlántico Norte, gran altura en Atlántico Sur y palangre de superficie (A. Fernández, com. per.).

Prácticamente la totalidad de estas capturas son obtenidas por la flota con base en Galicia y vendidas en sus puertos, bien mediante desembarcos directos o a través de transbordos desde otros puertos, a excepción de unas 1.300 t/año obtenidas por la flota española artesanal del Mediterráneo y unas 200-400 t/año desembarcadas en parte también por flota con base en Galicia en la región Suratlántica española (Algeciras, Huelva, etc.) y Canarias. A estas cantidades citadas deberán añadirse los desembarcos de buques palangreros de superficie con otras banderas en puertos de Galicia, muchas de ellas de empresas gallegas, que se estima en unas 15.000 t peso vivo/año, entre pez espada y especies asociadas, lo que representarían aproximadamente unos 46 millones de € adicionales. En definitiva, la pesquería de pez espada y especies asociadas en puertos de Galicia representaría unos ingresos en primera venta del orden de los 230 millones de €/año. Según las diversas fuentes de información manejadas, podrían rondar el 21-23% de los ingresos de toda la pesca en Galicia en primera venta. Esta actividad pesquera y económica está concentrada mayoritariamente en determinadas zonas costeras de Galicia. Las áreas de A Guarda, Vigo, Marín, Burela, A Coruña y Algeciras concentran la mayor actividad, por lo que el impacto económico y social a nivel local-costero es muy importante en esas zonas.

A efectos comparativos con otras pesquerías importantes, las estimaciones de ingresos de toda la pesquería de atún blanco o bonito del norte (*Thunnus alalunga*) capturado por las flotas de las 3 comunidades autónomas de la cornisa cantábrica y Galicia rondarían los 24-36 millones €/año, aunque implica a un gran número de barcos artesanales y la importancia económica, social y cultural es evidente. Es también significativo indicar que las 7 especies ícticas consideradas como económicamente más importante de la pesquería demersal (merluza, rape, gallo, cigala, bacaladilla, jurel y caballa) realizada en el denominado “*caladero nacional*” del conjunto de la costa cantábrica y Galicia, se estima que produce unos ingresos en primera venta de unos 72 millones €/año, correspondiendo a la merluza sobre el 38 % de esta cantidad (27 millones de €/año) (PORTEIRO *et al.*, 2000).

Según estas aproximaciones, es evidente que la actividad del subsector palangrero de superficie con bandera española y con base en puertos gallegos, cuyos ingresos en primer venta se han estimado previamente, son de capital importancia para los intereses pesqueros actuales de Galicia y por tanto para su PIB y empleo.

**CAPÍTULO 4. DATOS CIENTÍFICOS BÁSICOS SOBRE LA ACTIVIDAD DE LA FLOTA ESPAÑOLA E INDICADORES DE ABUNDANCIA DE LOS STOCKS.**



## **CAPITULO 4. DATOS CIENTÍFICOS BÁSICOS SOBRE LA ACTIVIDAD DE LA FLOTA ESPAÑOLA E INDICADORES DE ABUNDANCIA DE LOS STOCKS.**

### **4.1. INTRODUCCIÓN.**

En apartados anteriores se describieron algunos aspectos característicos de esta especie que hacen inviable la obtención de estimadores de abundancia absoluta o relativa a partir de metodologías denominadas *directas*, tales como las empleadas para el estudio de otros recursos ícticos de pelágicos costeros o demersales.

La metodología a desarrollar para el presente capítulo queda por tanto restringida a la posibilidad de obtener datos científicos procedentes de la actividad pesquera de la flota comercial de palangre de superficie. Esta metodología, buscando como objetivo la representatividad en la información recopilada y su fiabilidad desde el punto de vista estadístico, necesariamente ha de diseñarse teniendo presentes las características de comportamiento de los diferentes estratos de flota de los palangreros españoles que realizan esta pesquería en todo el Atlántico, en cuanto a su actividad pesquera y costumbres de desembarco.

El objetivo final es detectar las tendencias en la abundancia relativa de los stocks de pez espada (en número de peces y/o en biomasa), los cuales además puedan servir como elementos clave para la estimación de la abundancia absoluta de estos stocks del Atlántico.

Para obtener este fin es necesario, por un lado, definir aquellas variables procedentes de la actividad de la flota comercial que podría ser útiles para un seguimiento científico de las tendencias de la pesquería. Por otro, definir los protocolos y procedimientos más adecuados para la obtención y tratamiento de la información de base para dicho objetivo y, por último, proponer métodos de análisis para la obtención de indicadores de las tendencias en la abundancia relativa de los stocks mediante técnicas de modelado que tengan en consideración las particularidades espacio-temporales de esta especie y las características de las flotas que la captura.

### **4.2. MATERIAL Y MÉTODOS.**

#### **4.2.1. Diseño de la estrategia de seguimiento de la actividad de la flota, variables consideradas de interés y estratificación de la información.**

En el Atlántico faenan dos tipos básicos de buques palangreros de pez espada. Por una parte, la flota tradicional de unos 143 barcos que pescan en fresco o en fresco-congelado que denominamos flota "*mixta*", cuya actividad prioritaria se realiza sobre el stock del Atlántico Norte, con mareas relativamente cortas (20-45 días de mar) y desembarcos de cada marea preferentemente en los puertos españoles. Este tipo de flota se ha categorizado a su vez en dos subtipos o sub-estratos (1: NW de España y 2: SW de España). Por otra parte, una flota con mayor operatividad, formada por unas 50 unidades, con actividad a larga distancia, con mareas prolongadas de varios meses y con lugares de desembarco muy diversos, que faena prioritariamente en el Atlántico Sur (estrato 3) u otros océanos, y que necesariamente han de procesar y congelar el pescado a bordo.

Cada uno de estos dos componentes de flota requiere encuestas y muestreos con estrategias específicas. Además se establecen mecanismos complementarios de información y muestreo sobre todo para la obtención de datos comerciales y el embarque de observadores a bordo para la valoración cualitativa de la información recopilada y para la obtención de información biológica, esta última usada en otros capítulos de esta tesis.

En definitiva, se establece una red integrada para la información y el muestreo (RIM) que cubre cada uno de los componentes de esta flota, de una forma integrada entre fuentes y con estrategias de muestreo específicas en cada estrato o tipo de flota, con el objetivo de obtener un conjunto de variables básicas con fiabilidad, tales como captura, esfuerzo, arte empleada, tallas capturadas, área-época de actividad, etc, tanto de la especie objetivo como de las especies accesorias, de cara a su cartografiado descriptivo y modelado para la estimación de abundancias relativas. Un esquema general simplificado de este diseño se ofrece en la figura 22.

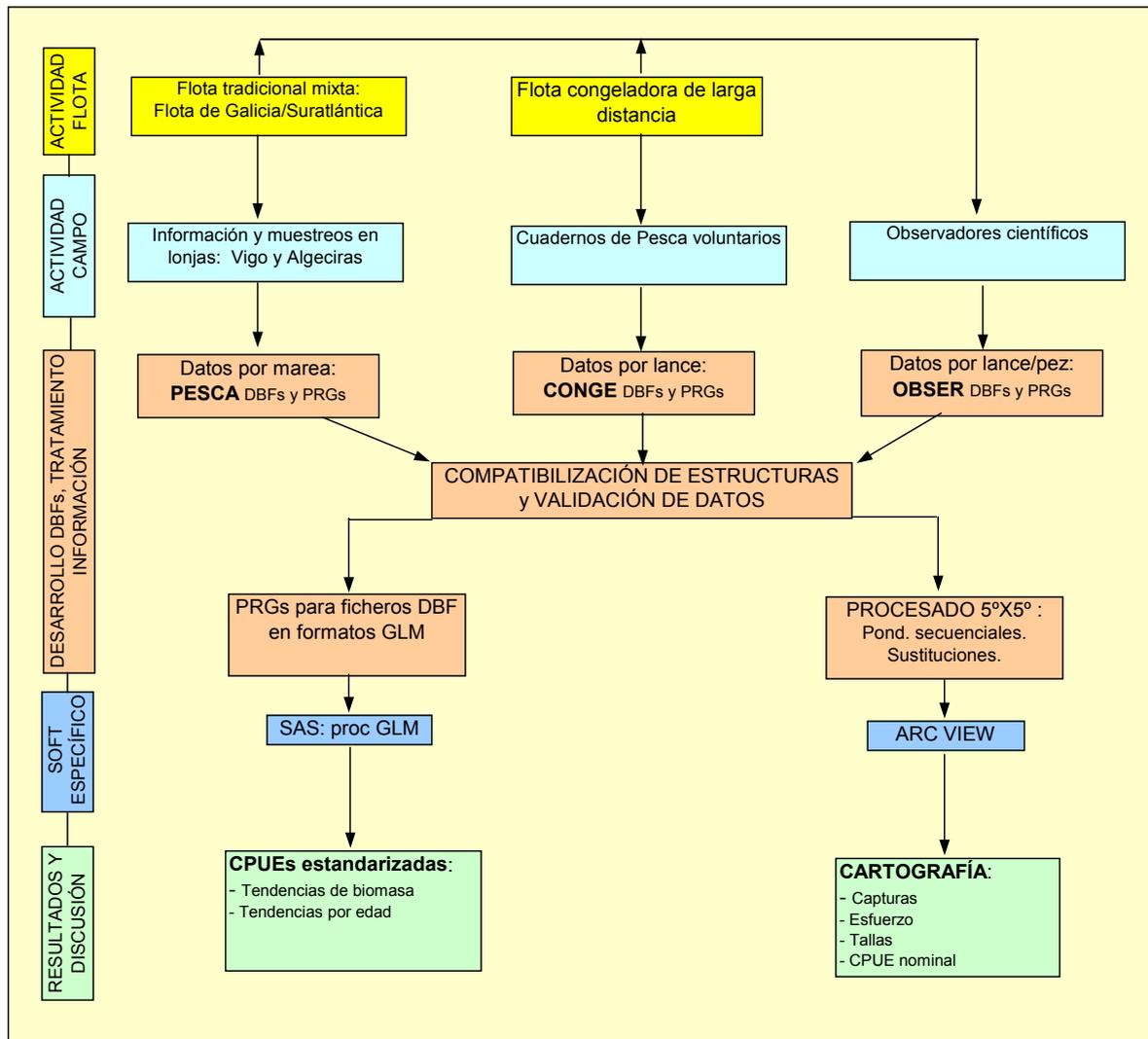


Figura 22. Esquema general del flujo metodológico empleado en la obtención datos para los objetivos propuestos.

#### **4.2.1.1. Muestreos en desembarcos de la flota mixta, datos por marea.**

Los dos puertos españoles más importantes de desembarco de pez espada del Atlántico son Vigo y Algeciras. El puerto de Vigo, en sus diferentes estructuras del área, concentra ya desde hace décadas más del 90% de los desembarcos españoles. Mediante selección aleatoria de las mareas desembarcadas diariamente en ambos puertos y en otros de menor importancia, con un objetivo de muestreo del 50% de las mareas desembarcadas, se procede a la obtención de datos por marea: Fecha de desembarco, puerto, días de mar, días de pesca o lances realizados, número medio de anzuelos largados por lance, características de la configuración de palangre (tipo), posiciones de la marea, etc. Además se obtienen datos de captura en número y/o peso de las especies desembarcadas según tipos de presentación. En el caso del pez espada y otras especies se procede al recuento de los ejemplares desembarcados-capturados y al registro de sus pesos individuales, cuando es posible. Por tanto, para el caso del pez espada, se realiza un censo de todos y cada uno de los peces desembarcados en cada marea seleccionada. La talla de cada pez espada es obtenida a partir de la ecuación talla-peso vivo (MEJUTO *et al.*, 1988), siguiendo las recomendaciones de la ICCAT (MIYAKE, 1990).

#### **4.2.1.2. Muestreos en el mar, por lance, a partir de cuadernos de pesca voluntarios.**

La flota de larga distancia es muestreada mediante un sistema de cuadernos de pesca con fines exclusivamente científicos, que son cubiertos por los patrones de forma voluntaria. No es por tanto un requerimiento administrativo sino de colaboración voluntaria con fines exclusivamente científicos. Este cuaderno voluntario, que ha sido diseñado con enfoque científico pero también para utilidad de los propios patrones, contiene detalles de cada lance efectuado, incluyendo: fecha de lance, posiciones del lance, anzuelos largados, capturas (en número y/o peso) por especie capturada y pesos individuales de los peces espada capturados, etc. La talla de cada pez espada es obtenida a partir de la ecuación talla-peso canal (TURNER, 1986) siguiendo las recomendaciones de la ICCAT (MIYAKE, 1990).

#### **4.2.1.3. Muestreos en el mar por actividades de observación científica, datos por lance y por individuo.**

Adicionalmente, se establece un programa de observadores a bordo con el objetivo de obtener una cobertura mínima del 5% del esfuerzo anual ejercido. Aunque esta información es también integrada en los análisis y permite estimar el grado de fiabilidad de otras fuentes, su objetivo prioritario es la obtención de datos y muestras biológicas de los ejemplares que no serían accesibles durante los desembarcos de la flota de larga distancia o congeladora al procesarse el pescado a bordo. Estas muestras biológicas serán las usadas en capítulos posteriores.

#### **4.2.1.4. Estructuración de las bases de datos relacionales y procedimientos de tratamiento de los datos.**

La información recopilada por las diferentes fuentes es introducida y procesada en bases de datos relacionales específicas para los formatos de cada una de ellas, mediante el desarrollo de aplicaciones específicas bajo FoxPro: La aplicación PESCA se diseñó para gestionar datos por marea (4.2.1.1.). La aplicación CONGE para gestionar datos por lance, cuadernos de pesca, de palangreros congeladores de larga distancia (4.2.1.2.) y la aplicación OBSER para gestionar datos por lance y pez obtenidos por los observadores científicos (4.2.1.3.).

Adicionalmente se desarrollaron procedimientos específicos que permiten compatibilizar la información, bajo una estructura común de PESCA, de los datos obtenidos en diferentes tipos de agregación, por marea o por submarea, definida esta última como conjunto de lances consecutivos realizados en la misma cuadrícula geográfica de 5x5 grados y mes.

#### 4.2.1.5. Definición de las variables a considerar en los análisis: Conceptos de captura, esfuerzo, captura por unidad de esfuerzo, estrategias de pesca, direccionamiento de la actividad pesquera, configuración del arte de pesca.

Fueron diseñadas bases de datos anuales por marea (o por submarea) a partir de las bases de datos antes citadas. Para el desarrollo de índices de CPUE estandarizada en biomasa se configuró la siguiente estructura simplificada:

```

Structure for database: C:\GLMRAT\datos tipo 'GLMRAT.DBF'
Number of data records: número de registros disponibles
Date of last update   : fecha de actualización
Code Page             : 0
Field  Field Name  Type      Width  Dec  Significado:
  1  ANO           Numeric    2      0      Año.
  2  MES           Numeric    2      0      Mes.
  3  STRATO        Numeric    1      0      Tipo de flota (1,2,3).
  4  CUADRANTE     Numeric    1      0      Cuadrante (1,2,3,4).
  5  LAT           Numeric    2      0      Latitud media.
  6  LON           Numeric    2      0      Longitud media.
  7  DPESCA        Numeric    3      0      Días de pesca o n° lances.
  8  ANZUELOS      Numeric    4      0      N° medio anzuelos por lance.
  9  PALANGRE      Numeric    1      0      Tipo de palangre (0->9).
 10  CEBO          Numeric    1      0      Tipo de cebo usado.
 11  DESEMBN      Numeric    4      0      Número de SWO desembarcados.
 12  DESEMBW      Numeric    6      0      Kg de SWO desembarcados.
 13  NUMUEST      Numeric    4      0      N° peces muestr. (talla/peso).
 14  RAT1         Numeric    7      3      Ratio entre especies dirigidas.
** Total **                               41
    
```

Con fines geográfico-descriptivos, los datos por marea o submarea fueron primero agrupados por año, mes, cuadrícula 5°x5°, tipo de flota (*strato*) y posteriormente tratados mediante procesos de ponderación secuencial y sustitución de distribuciones de talla, hasta la captura del año-mes-tipo de flota (*strato*), tal como es recomendado por ICCAT para el tratamiento de estos datos de palangreros (MIYAKE, 1990). Para este fin, se estableció una base de datos de salida tipo CEMA.DBF para el ensayo cartográfico, cuya estructura sería:

```

Structure for database: C:\PESCA\datos tipo 'CEMA.DBF'
Number of data records: número de registros disponibles.
Date of last update   : fecha de actualización
Code Page             : 0
Field  Field Name  Type      Width  Dec  Significado:
  1  CUADRANTE     Character   1      0      Cuadrante (1,2,3,4).
  2  STRATO        Character   1      0      Tipo de flota (1,2,3).
  3  MES           Character   2      0      Mes.
  4  AREA          Character   5      0      Área 5°x5°
  5  SESFUERZO     Numeric    8      3      Esfuerzo
  6  NUMAREAS      Numeric    4      0      N° mareas muestreadas
  7  ESPECIE       Character   3      0      Código de especie
  8  SDESEMBN      Numeric    6      0      Suma desembarco n°
  9  SDESEMBW      Numeric    7      0      Suma desembarco peso kg
 10  SDESCARTN     Numeric    5      0      Suma descarte n°
 11  SDESCARTW     Numeric    7      0      Suma descarte peso kg
 12  SNUMUEST      Numeric    6      0      suma n° peces muestreados
 13  T050          Numeric    6      0      n° peces 50<=talla LJFL <55cm.
 14  T055          Numeric    6      0      n° peces 55<=talla LJFL <60cm.
  ..  ...
  ..  ...
 73  T350          Numeric    6      0      n° peces talla LJFL >= 350cm
** Total **                               422
    
```

El esfuerzo nominal ( $f_n$ ) se mide por el número de anzuelos largado en el conjunto de lances de la marea o sub-marea y se define:  $f_n = (\text{DPESCA} * \text{ANZUELOS}) / 1000$ .

La Captura por Unidad de Esfuerzo nominal (CPUE) en el conjunto de lances de la marea o sub-marea se define a partir de la captura (en número o peso) y el esfuerzo nominal:

$\text{CPUE}_n = \text{DESEMBN} / f_n$ , para la CPUE en número de peces capturados por cada mil anzuelos largados.

$\text{CPUE}_w = \text{DESEMBW} / f_n$ , para la CPUE en kg capturados por cada mil anzuelos largados.

Para el desarrollo de índices estandarizados (CPUE<sub>n</sub>) por edad, para el caso del stock del Atlántico Norte donde esto es posible al existir ecuaciones de crecimiento definidas, los datos de captura por talla-marea fueron convertidos en datos de edad-marea mediante la ecuación tipo Gompertz para machos y hembras combinados, edades de 1 a 5+ (ANÓNIMO, 1989), usando un proceso tipo “filo de cuchillo” o “slicing” según la metodología estándar usada en ICCAT (RESTREPO, com. pers.).

Durante décadas el palangre usado por la flota española de pez espada ha permanecido relativamente constante en cuanto a su estructura y configuración. La intención de los patrones tradicionalmente fue la de capturar prioritariamente pez espada, aunque se producían capturas accesorias de otras especies (MEJUTO & GONZÁLEZ-GARCÉS, 1984; MEJUTO, 1985). Sin embargo, tal como se ha indicado en apartados anteriores sobre la historia de la pesquería, en los años más recientes se ha producido un cambio importante en la estrategia de pesca de esta flota, pasando a dirigir su pesca hacia dos especies preferentes, pez espada y quella (*Prionace glauca*).

Uno de los problemas metodológicos que se produce en la actividad de palangre, y también en otras artes de pesca, es que no es posible discriminar que fracción del esfuerzo se aplica hacia cada una de las especie perseguidas cuando la intención de captura es difusa o pluriespecífica, existiendo intención de capturar varias en una misma operación de pesca con el objetivo de obtener una maximización económica. La intención del patrón de dirigir su actividad sobre una u otra especie es en ocasiones tan sutil a la hora de seleccionar microáreas o configurar el aparejo que no es fácilmente detectable o definible el concepto de pesca dirigida o no dirigida. En tal caso, la intención de “*direccionamiento*” de su actividad hacia una u otra especie debe ser valorada, cuando sea posible, a partir de detalles estructurales del aparejo, y/o a partir de elementos indirectos de cara al posterior modelado como factores de esas variables o categorías de las mismas.

En el caso de la flota española, la variable “*RatI*” fue definida como el porcentaje de pez espada desembarcado (en peso) en cada marea o submarea, en relación al desembarco en peso de ambas especies combinadas que son objetivo prioritario (pez espada “SWO” +quella “PGO”), especies actualmente perseguidas y de mayor interés comercial para la flota. Esta variable “*RatI*” fue posteriormente categorizada en diez niveles de 10 % para su posterior modelado.

$$\text{RatI} = [\text{captura en peso SWO} / (\text{captura en peso SWO} + \text{PGO})] * 100$$

Por tanto, “*RatI*” daría una idea de la importancia relativa que cada patrón de pesca asigna a una especie frente a la otra en una marea o submarea dada y, a priori, podría considerarse como un indicador indirecto de la intención de pescar prioritariamente una especie frente a la otra. Teniendo presente que el objetivo de la marea es finalizarla con la bodega lo más completa posible con maximización económica, las diez categorías de la variable *RatI* podrían ser a priori un buen indicador de la intensidad de “*direccionamiento*” hacia una u otra especie durante la operación de pesca o marea, permitiendo modelar la información obtenida de CPUE<sub>w</sub> según se incluya o no dicho factor y comparar los resultados obtenidos por ambas aproximaciones.

#### 4.2.1.6. Ensayos de análisis de datos descriptivos mediante herramientas GIS.

Con fines estrictamente descriptivos y de desarrollo metodológico, fueron realizados ensayos cartográficos de la base de datos generada con estructura tipo “CEMA”. Como ejemplo de las posibilidades gráficas y a efectos de simplificar la exposición, se eligieron algunas variables de cuatro de los años considerados como representativos de la pesquería reciente. El año 1995, como año de referencia no sometido a regulaciones de ordenación, y los años más recientes 1998, 1999 y 2000. El cartografiado exploratorio de algunas variables de interés, realizado bajo *Arc View 3.2.*, se plantea como ejemplo de las posibilidades prácticas.

#### 4.2.2. Técnicas de Modelos Lineales Generalizados (GLM) y su utilidad.

La Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) obtenida a partir de flotas comerciales ha sido frecuentemente asumida como un índice de abundancia del stock. No obstante ambos conceptos no deberían equipararse mecánicamente. La consistencia en los patrones de explotación de una flota y la estable configuración del arte de pesca facilita la interpretación de las tasas de captura por unidad de esfuerzo como indicadores de abundancia cuando la cobertura espacial y temporal de las observaciones es suficientemente representativa. Sin embargo, cambios en la estrategia de pesca de las flotas deben ser debidamente conocidas y valoradas para poder asumir estos indicadores como representativos de las tendencias generales del stock.

Hasta el año 1987 las CPUEs nominales globales de la flota española de pez espada (MEJUTO & GARCÉS, 1988) fueron usadas como indicadores de abundancia. Sin embargo, estudios de los mismos autores demostraron la elevada variabilidad espacio-temporal de la CPUE, especialmente entre las zonas tradicionales de pesca y aquellas otras de nuevo acceso como consecuencia de la expansión geográfica de la flota. El comportamiento espacio-temporal de la flota observado empíricamente asociado a la disponibilidad del recurso, supuso un reto para la adecuada interpretación de estos indicadores. En situaciones de muestreos mal dimensionados o con mala representatividad espacio-temporal, las CPUE nominales podrían dar una imagen sesgada de las tendencias del stock.

La técnica de Modelos Lineales Generalizados (Generalized Linear Modeling), conocida por su acrónimo GLM o GLIM, fue introducida hace ya algunas décadas en el estudio de pesquerías. Las primeras aplicaciones de esta técnica mostraron sus posibilidades para la interpretación de datos procedentes de flotas comerciales (ROBSON, 1966; GAVARIS, 1980; KIMURA, 1981). Aunque inicialmente sólo eran aplicables bajo potentes ordenadores, sin embargo pronto fueron adaptadas al entorno PC e incorporadas en software estadístico de uso comercial.

Los autores antes citados demostraron su conveniencia para el análisis científico de la información pesquera con diseños “no balanceados” en el número de observaciones disponibles, y su utilidad especialmente en aquellos stocks migratorios y flotas con una importante componente espacio-temporal en su comportamiento. Esta técnica se ha convertido en una herramienta muy útil y de uso regular en las organizaciones regionales de ordenación pesquera para la interpretación de datos científicos de CPUE.

La técnica de GLM es una extensión de los modelos lineales clásicos que permite usar variables indicadoras, de forma que una variable respuesta (componente aleatoria) se explica como función de variables numéricas o cualitativas denominadas “efectos” (componente sistemática). Cada término en el modelo o “efecto” puede ser una variable o una combinación de variables. Básicamente el modelo permite manejar dos tipos de variables. Variables de clasificación con niveles discretos (o clases) y variables continuas que miden cantidades. Los efectos usados en este trabajo han sido divididos en efectos principales e interacciones (efectos cruzados), atendiendo a la información empírica observada durante años (SCOTT *et al.*, 1993).

Si bien la técnica de ANOVA ha sido ampliamente usada para enfoques similares, sin embargo GLM es más adecuado en situaciones con muestras o diseños “no balanceados”, es decir, en el caso de modelar datos con un número de observaciones diferente para las diferentes combinaciones o clases de variables definidas en el modelo, lo que suele suceder en los datos procedentes de flotas comerciales en los cuales el “experimento” no es controlable a priori por el investigador.

Los procedimientos GLM fueron realizados usando el software estadístico SAS®. El nivel de significación fue establecido a  $\alpha=0,05$ . La suma de cuadrados fue computada de formas diferentes, pero a efecto de valorar la significación de los efectos se usó la suma de cuadrados parciales (Tipo III SS) considerados como los más adecuados para este tipo de diagnóstico.

En las últimas décadas, las tasas de captura estandarizadas (CPUE estandarizadas) fueron obtenidas aplicando estas técnicas de GLM tanto a partir de flotas dirigidas a capturar pez espada como a partir de flotas no dirigidas hacia esta especie (ANÓNIMO, 1989, 1991; HOEY *et al.*, 1989, 1993; MEJUTO, 1993, 1994; NAKANO, 1993; SCOTT *et al.*, 1993).

Una de las primeras aplicaciones de esta técnica a datos de la flota española de grandes migradores fue realizada con datos de la pesquería de atún blanco (*Thunnus alalunga*) del Atlántico Norte (MEJUTO *et al.*, 1992) y, posteriormente, a datos de la flota de pez espada (MEJUTO, 1993, 1994; SCOTT *et al.*, 1993), indicando que la asunción de normalidad para la forma logarítmica de la CPUE es un planteamiento adecuado para este tipo de datos y pesquería (ANÓNIMO, 1988). Por tanto, un modelo básico para esta pesquería podría definirse:

$$\text{LOG (CPUE)} = u + Y_i + Q_j + A_k + A_k * Q_j + e_{i,j,k}$$

Donde LOG (CPUE) es el logaritmo de la CPUE nominal obtenida para cada observación del año ( $Y$ )<sub>i</sub>, en el trimestre ( $Q$ )<sub>j</sub>, en el área ( $A$ )<sub>k</sub>, de forma que :  $u$  = media global (overall mean),  $Y_i$  = logaritmo del efecto año,  $A_k$  = logaritmo del efecto área,  $Q_j$  = logaritmo del efecto trimestre,  $Q_j * A_k$  = logaritmo de la interacción de ambos efectos,  $e_{i,j,k}$  = logaritmo del término de error distribuido normalmente, con media 0 y varianza constante.

Para simplificar la notación, el modelo podría definirse como:

$$\text{LOG (CPUE)} = u + Y + Q + A + A*Q + e \text{ (modelo 1)}$$

En trabajos previos han sido descritos cambios sustanciales en la estrategia de pesca de la flota palangrera española en años recientes, ahora dirigida hacia dos especies en vez de sólo al pez espada (MEJUTO *et al.*, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002; MEJUTO & DE LA SERNA, 1997, 2000). Por ello parece conveniente valorar este posible impacto tanto en el desarrollo metodológico como en el enfoque de los análisis. Para ello el “factor de direccionamiento” previamente definido “Rat1” se incorpora en el modelo, modificando el modelo 1, donde R se define como una variable categórica de 10 niveles, definidos en clases de 10 % a partir del valor Rat1 observado.

$$\text{LOG (CPUE)} = u + Y + Q + A + R + A*Q + e \text{ (modelo 2)}$$

Los registros usados para los GLM pertenecen por tanto a la actividad de palangreros de superficie con bandera española en los stocks de pez espada del Atlántico Norte y Sur, respectivamente, durante el periodo 1986-2001 (cuando disponibles). Los análisis exploratorios previos, realizados para los años 1986-1998 fueron desarrollados usando varios modelos alternativos (con y sin interacciones) y con varias definiciones geográficas y temporales.

Los registros por marea o submarea fueron asignados a 5 zonas en el Atlántico Norte y 6 zonas tentativas en el Atlántico Sur (aunque sólo cuatro fueron finalmente modeladas en los análisis del Atlántico Sur) según la posición geográfica de las observaciones (figura 23). Los trimestres fueron definidos según meses de calendario (Q1 = enero, febrero, marzo; Q2 = abril, mayo, junio; Q3 = julio, agosto, septiembre; Q4 = octubre, noviembre, diciembre).

Una vez definido un modelo adecuado para los datos de CPUE, fueron desarrollados análisis complementarios usando periodos de tiempo más prolongados, cubriendo hasta el año 2001 para el stock del Atlántico Norte y hasta el año 2000 para el stock del Atlántico Sur, de cara a valorar el impacto de la metodología aplicada sobre los años más recientes (ver capítulo 3) y explicar sus tendencias.

Para mantener la consistencia en la serie de datos analizada, sólo fueron usados registros procedentes del palangre tradicional español. Esto es posible mediante una catalogación previa de cada registro disponible en relación al tipo de palangre usado en la marea o en el lance. Por tanto, los datos procedentes del nuevo tipo de palangre “americano” introducido progresivamente en esta flota a lo largo de los años más recientes, fueron excluidos de estos análisis.

El palangre de superficie tipo español o tradicional ha permanecido relativamente estable durante décadas en cuanto estructura y configuración (HOEY *et al.*, 1988; REY *et al.*, 1988). Aunque pequeñas mejoras tecnológicas fueron observadas a lo largo de los años, estas generalmente tenían la intención de poder usar un mayor número de anzuelos por lance, lo cual ya es oportunamente considerado en la medida del esfuerzo nominal modelado.

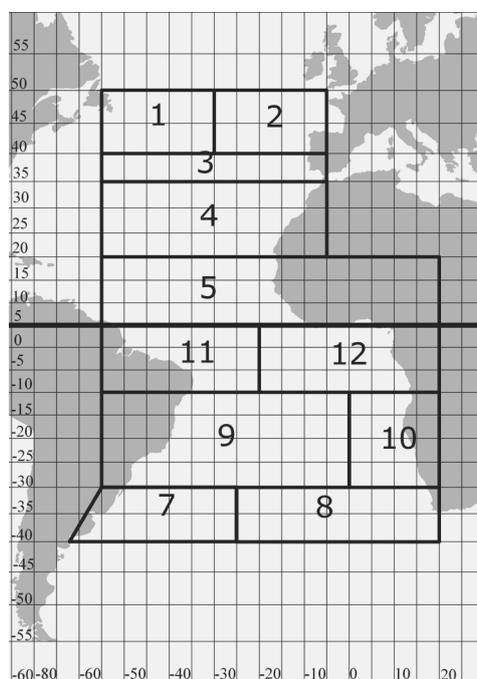


Figura 23. Mapa de las áreas definidas en los análisis preliminares de GLM. Algunas áreas del Atlántico Sur debieron de combinarse en los análisis finales para optimizar la representación de las observaciones.

### 4.3.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 4.3.1. Datos base obtenidos, tamaño de muestra disponible e indicadores globales.

Mediante la combinación de las diversas fuentes de información se ha podido hacer un amplio seguimiento del conjunto de la pesquería durante el período 1986-2001. La tabla 2 resume el volumen de información anual obtenida para poder afrontar los análisis y da una idea de algunas de las variables globales más importantes.

A título descriptivo se indica que durante dicho periodo se han observado cerca de 16.000 mareas (o submareas), con un esfuerzo nominal de pesca acumulado de unos 533 millones de anzuelos, equivalentes a 251.000 días de pesca, con capturas de 3,5 millones de peces espada de los cuales fueron muestreados de forma individual más de 2 millones de ejemplares. Esta información se condensa en las observaciones usadas en la modelización posterior.

ANO	ESTRA	Nº SWO	W SWO	W PGO	Nº MUES	D_PESCA	MAREAS	ANZUELOS	Sdesv.	ESFUERZO	CPUEw	SWO+PGO	RAT 1 glob.
1986	1+2	97795	4835000	880737	64337	7067	524	2047	299,78	14466,1	334,23	5715737	84,59
1987	1+2	70505	3273687	600280	53527	4911	332	2023	259,43	9935,0	329,51	3873967	84,50
1988	1+2	82354	3707463	1648052	77874	7525	550	1773	535,53	13341,8	277,88	5355515	69,23
1989	1+2	84870	3514118	2145546	68747	7693	573	1769	543,13	13608,9	258,22	5659664	62,09
1990	1+2	106531	4368830	2110575	77763	9469	681	1834	600,41	17366,1	251,57	6479405	67,43
1991	1+2	97990	4400253	2298153	83147	9831	704	1827	558,57	17961,2	244,99	6698406	65,69
1992	1+2	92118	4185731	2921167	88560	9220	621	1999	519,95	18430,8	227,11	7106898	58,90
1993	1+2	96736	4190974	3013734	86104	10166	746	1977	510,86	20098,2	208,53	7204708	58,17
1994	1+2	104281	4331869	4068040	95066	11044	771	2005	536,91	22143,2	195,63	8399909	51,57
1995	1+2	136817	5600563	7016370	115099	13720	909	2024	537,68	27769,3	201,68	12616933	44,39
1996	1+2	145703	5487972	9877930	103097	16094	1084	1959	517,00	31528,1	174,07	15365902	35,72
1997	1+2	159169	5326989	17810586	92874	17363	1090	2091	531,41	36306,0	146,72	23137575	23,02
1998	1+2	186102	6337770	17534065	90596	17093	1104	2170	577,53	37091,8	170,87	23871835	26,55
sub. tot		1460971	59561219	71925235	1096791	141196	9689			280046,7		131486454	
1999	1+2	172261	6021795	15511432	73978	15174	805	2262	480,69	34323,6	175,44	21533227	27,97
2000	1+2	180795	6489520	13089055	55274	13378	641	1502	563,86	20093,8	322,96	19578575	33,15
2001	1+2	101170	3711397	6874047	32971	8460	431	1097	238,64	9280,6	399,91	10585444	35,06
sub tot		454226	16222712	35474534	162223	37012	1877			63698,0		51697246	
total		1915197	75783931	1,07E+08	1259014	178208	11566			343744,6		183183700	

ANO	ESTRA	Nº SWO	W SWO	W PGO	Nº MUES	D_PESCA	MAREAS	ANZUELOS	Sdesv.	ESFUERZO	CPUEw	SWO+PGO	RAT 1 glob.
1986	3	0	0	0	0	0	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
1987	3	0	0	0	0	0	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
1988	3	14437	752511	16375	4979	582	14	1977	301,32	1150,6	654,01	768886	97,87
1989	3	61673	3226114	245981	10565	2575	74	2273	389,55	5853,0	551,19	3472095	92,92
1990	3	108722	5594075	785524	13638	5488	166	2326	339,25	12765,1	438,23	6379599	87,69
1991	3	106376	5475148	835665	49958	4886	186	2559	320,4	12503,3	437,90	6310813	86,76
1992	3	109504	5567209	1129302	58171	4892	264	2657	367	12998,0	428,31	6696511	83,14
1993	3	115279	6351368	898724	69807	5950	411	2790	316,77	16600,5	382,60	7250092	87,60
1994	3	135009	7138503	1296587	88092	5984	380	2841	412,69	17000,5	419,90	8435090	84,63
1995	3	238010	11444047	2285099	112964	8406	467	2769	327,78	23276,2	491,66	13729146	83,36
1996	3	199536	10615413	2422969	114423	8278	501	2752	422,68	22781,1	465,98	13038382	81,42
1997	3	184480	9529606	4699919	123015	8267	644	2866	356,34	23693,2	402,21	14229525	66,97
1998	3	119996	5811728	3678255	80689	5716	435	2873	279,91	16422,1	353,90	9489983	61,24
sub. tot.		1393022	71505722	18294400	726301	61024	3542			165043,6		89800122	
1999	3	98711	4856599	4459344	58328	5617	322	2477	691,59	13913,3	349,06	9315943	52,13
2000	3	84091	3909161	4076126	47751	4551	255	1712	726,63	7791,3	501,73	7985287	48,95
2001	3	31806	1578809	1892434	20551	1832	102	1576	670,27	2887,2	546,82	3471243	45,48
sub. tot.		214608	10344569	10427904	128630	12000	679			24591,9		20772473	
total		1607630	81850291	28722304	852931	73024	4221			189635,5		110572595	

ESTRA: (1+2) flota tradicional de fresco o mixta, (3) flota congeladora de larga distancia. Nº SWO: desembarcos de pez espada, en número de peces, observados en las mareas muestreadas. W\_SWO: desembarcos de pez espada en kg peso vivo observados en las mareas muestreadas. W\_PGO: desembarcos de quella en kg peso eviscerado observados en las mareas muestreadas. Nº MUES: número de peces espada muestreados en talla o en peso individual. D\_PESCA: días de pesca muestreados. MAREA: Nº de mareas o sub-mareas disponibles. ANZUELOS: nº medio de anzuelos por lance. Sdesv: desviación típica de la media de anzuelos largados por lance. ESFUERZO: miles de anzuelos controlados. CPUEw= CPUE global anual. SWO+PGO: desembarcos en peso de ambas especies en las mareas muestreadas. RAT1glob: % de pez espada desembarcado en relación a la combinación de espada + quella.

Tabla 2. Resumen de la información anual obtenida como consecuencia del seguimiento científico de la actividad de la flota de pez espada (*Xiphias gladius*) durante el periodo 1986-2001, para las flotas tradicionales que faenan en el Atlántico Norte (estratos 1 y 2) y para la flota congeladora de larga distancia que faena en el Atlántico Sur (estrato 3).

Durante dicho periodo son destacables algunos aspectos que deben ser señalados por su relevancia a efectos analíticos.

En primer lugar, el número medio de anzuelos por lance ha permanecido relativamente estable al inicio de la serie, con un ligero incremento sobre todo en la flota congeladora, y con una disminución importante en los años más recientes debido al empleo del nuevo palangre tipo americano o de “Florida” en ambas flotas, el cual usa menos anzuelos por lance para similares millas de cobertura geográfica.

El número de anzuelos medios por lance generalmente ha sido superior en la flota congeladora que en la flota de fresco-mixta, como cabría esperar en buques de mayor poder de pesca (figura 24A).

Esto justifica el afrontar inicialmente los análisis, para enfocar la definición metodológica, usando un periodo restringido relativamente estable del arte de pesca, entre 1986 y 1998, aunque con importantes cambios en la estrategia de pesca en relación a la especie o especies objetivo.

La CPUEw nominal (kg / por mil anzuelos largados) ha sido tradicionalmente más elevada en la flota congeladora, que faena prioritariamente en el Atlántico Sur, que en la flota tradicional que faena en el Atlántico Norte, esta última con una historia pesquera más prolongada sobre un stock sometido a elevada explotación durante décadas.

La tendencia de la CPUEw nominal ha sido descendente para ambas flotas, especialmente para la flota tradicional, salvo en los años más recientes (figura 24B). No obstante la introducción del nuevo arte de pesca, con menos anzuelos por lance, podría estar dando una visión de CPUE nominal poco realista de las tendencias del stock en los últimos años. En ese sentido los análisis que se afrontan a continuación puede ayudar a validar o no estas tendencias.

El volumen de los desembarcos de quella (*Prionace glauca*) se ha incrementado considerablemente a lo largo de la serie histórica. Esto ha provocado que el porcentaje de pez espada haya ido descendiendo progresivamente en relación a la combinación de ambas especies, las cuales han pasado a ser objetivo en los periodos más recientes. Esta mayor importancia relativa de la quella frente al pez espada se ve más claramente y con anticipación en la flota tradicional de fresco-mixta del Atlántico Norte que en la flota congeladora del Atlántico Sur, aunque alcanzando niveles de interés relativo similares en los años más recientes (figura 24C).

Los datos de desembarco por unidad de esfuerzo (LPUE) de la quella ponen de manifiesto un evidente y progresivo mayor interés de la flota en dirigir su actividad hacia esta especie (figura 24D) y producir desembarcos de capturas que en épocas anteriores eran en parte descartadas debido a la menor importancia económica en relación con épocas más recientes (MEJUTO, 1985; MEJUTO & GONZÁLEZ-GARCÉS, 1984).

Estos elementos descriptivos resultan básicos para poder enfocar los análisis e interpretar los resultados obtenidos.

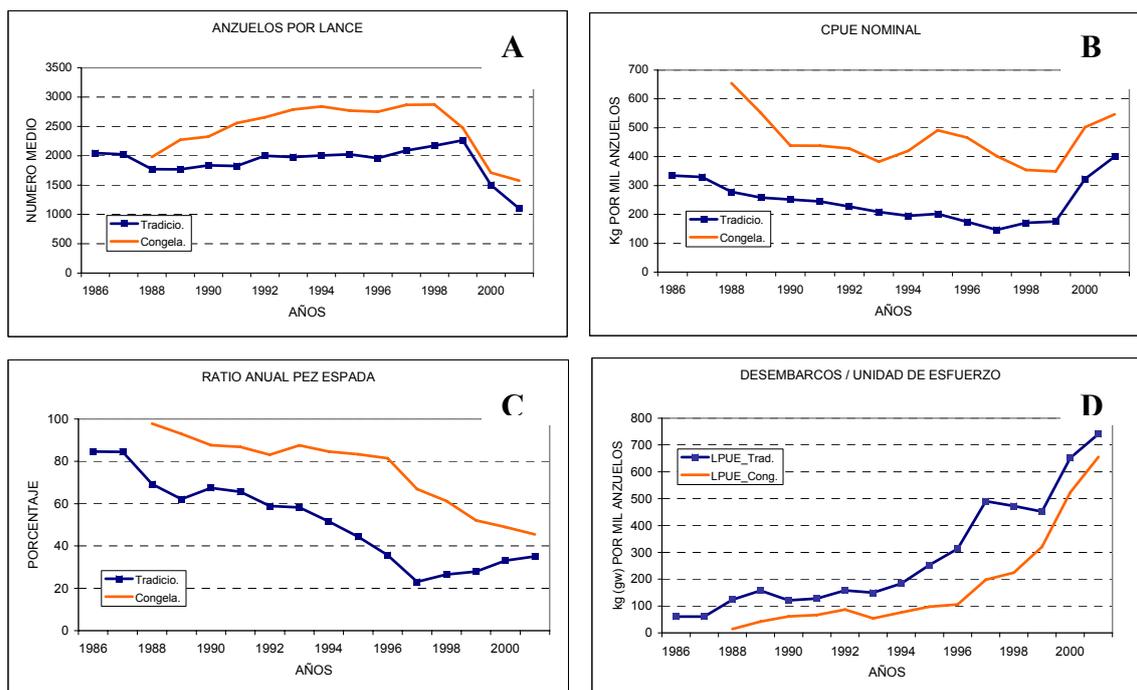


Figura 24. Indicadores generales de la pesquería de pez espada del Atlántico, durante la serie histórica 1986-2001, para cada tipo de flota, tradicional y congeladora. (A) Número medio de anzuelos largados por lance y año. (B) Captura por unidad de esfuerzo (CPUE nominal) en kilos (peso vivo) de pez espada por cada mil anzuelos largados. (C) Ratio anual (% anual) de pez espada desembarcado con relación a la combinación de ambas especies actualmente objetivo (pez espada y quella). (D) Dato global anual de desembarco por unidad de esfuerzo (LPUE) de *Prionace glauca*. (Ver tabla 1 para mayor detalle).

#### 4.3.2. Análisis descriptivos mediante GIS.

Con objeto de mostrar la distribución geográfica actual de la actividad pesquera de esta flota con bandera española a nivel mundial, se incluyen mapas cartográficos  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ /año que sintetizan la importante actividad de esta flota en los océanos Atlántico (incluyendo el mar Mediterráneo), Índico y Pacífico, donde la flota española ya realiza actividad actualmente. Se ofrecen datos de desembarcos (en número y peso) y esfuerzo de pesca nominal durante el año 2000, una vez realizados los procesos de ponderación secuencial y sustituciones (figuras 25, 26, 27). No obstante en este estudio sólo se analizan datos procedentes de las flotas del Atlántico. Algunas variables representativas procedentes de los datos brutos obtenidos en los muestreos en los años 1995, 1998, 1999 y 2000 fueron también cartografiadas mediante una herramienta GIS. La utilidad de esta herramienta es evidente al estar georeferenciada la información recopilada. Se muestran datos de esfuerzo nominal muestreado (totales anuales  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ ) (figura 28), así como de CPUEs nominales en número de peces por cada mil anzuelos para tallas inferiores a 125 cm (LJFL) (figuras 29-32).

Como un ejemplo de la utilidad de esta metodología, se muestran también mapas obtenidos a partir de los muestreos de talla de la captura, observándose gráficamente el porcentaje de peces menores de 125 cm (LJFL) desembarcados en relación con la captura en número (todas las tallas combinadas), por trimestre y para cada año seleccionado (figuras 33-36). Esta metodología descriptiva muestra su utilidad, por ejemplo de cara a definir las áreas de concentración de juveniles de esta especie, tanto en valor absoluto como relativo, valorar su consistencia a los largo de los años, y poder responder ante propuestas para la definición de áreas-épocas de protección de juveniles.

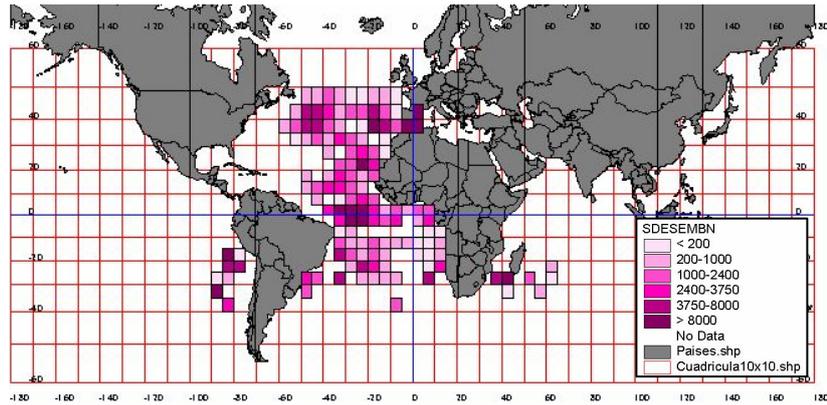


Figura 25. Número de peces espada desembarcados por la flota de palangre de superficie de España durante el año 2000.

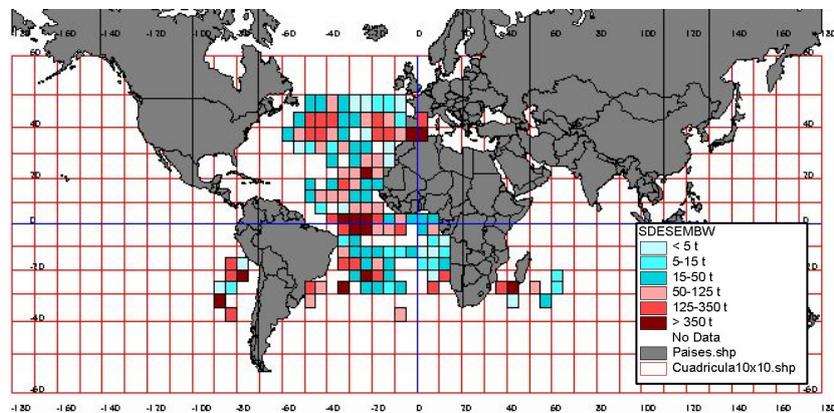


Figura 26. Desembarcos de pez espada en peso (toneladas) realizados por la flota de palangre de superficie de España durante el año 2000.

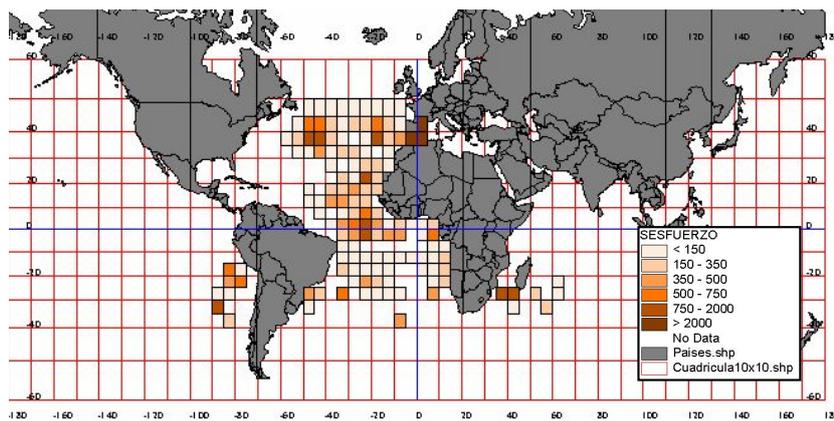


Figura 27. Esfuerzo nominal de pesca, en miles de anzuelos, largados por la flota de palangre de superficie de España durante el año 2000.

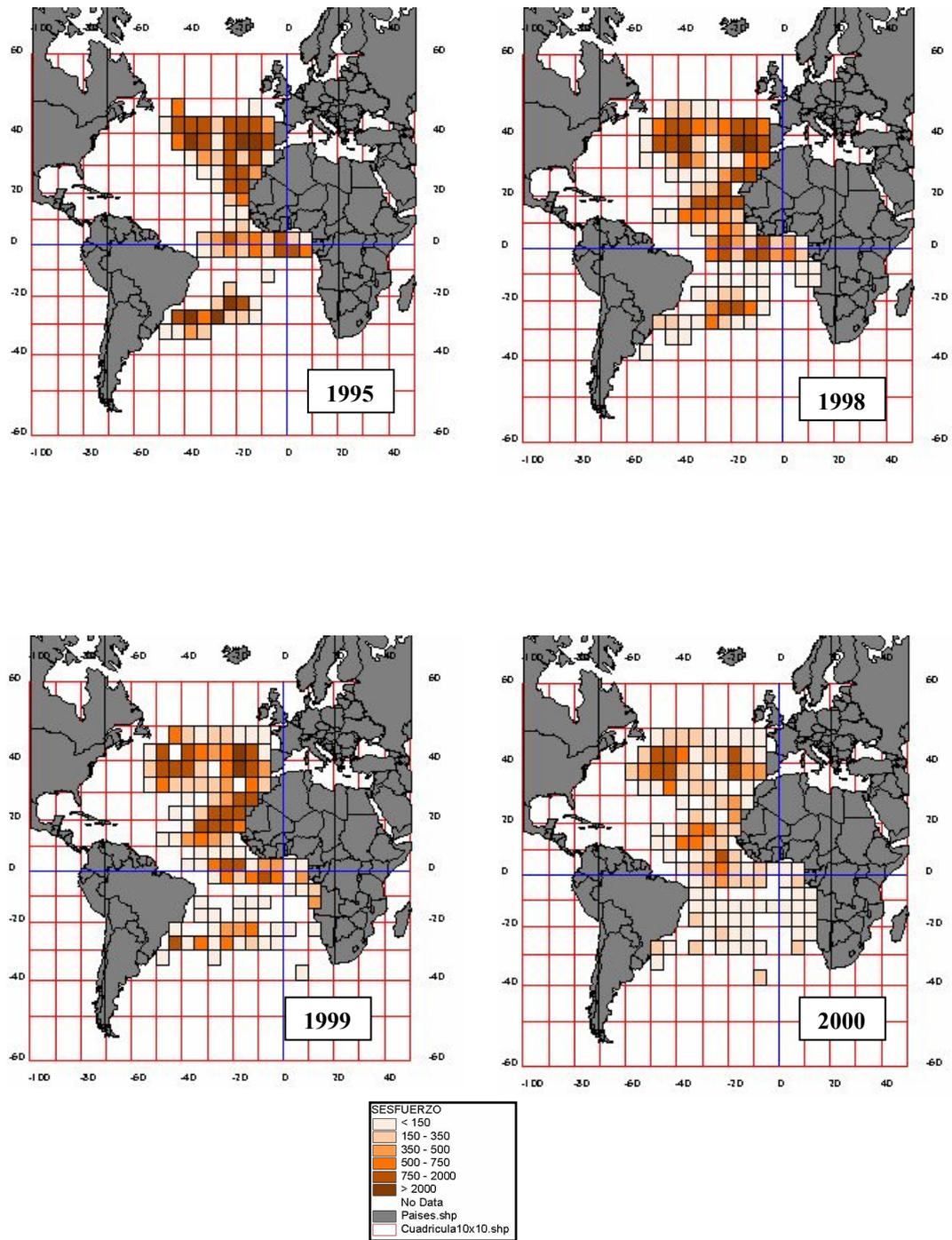


Figura 28. Esfuerzo nominal (en miles de anzuelos largados) de las mareas muestreadas en la flota palangrera española de pez espada en el océano Atlántico, por cuadrículas de 5°x5°, en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente.

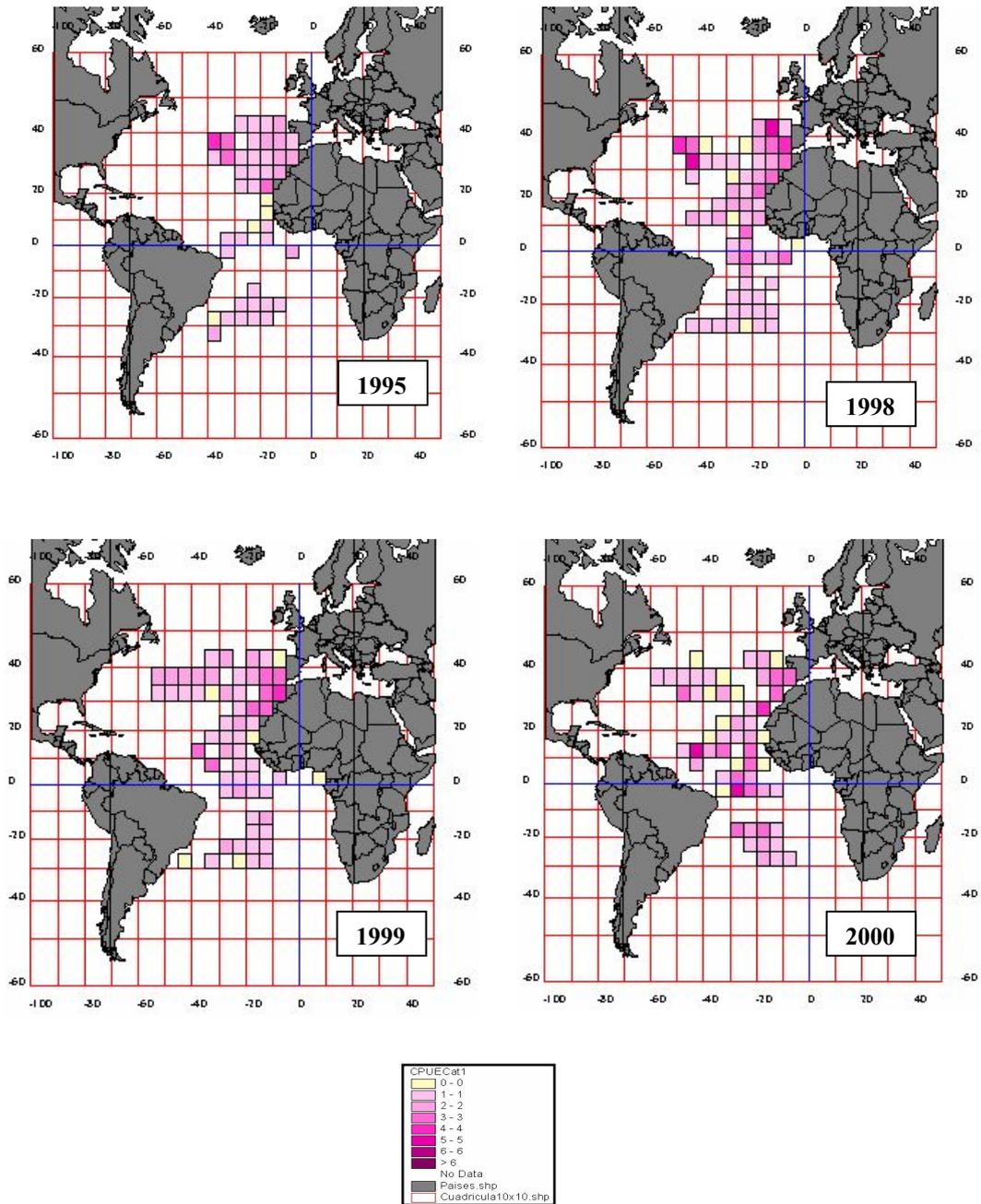


Figura 29. CPUE nominal. Desembarco en número de peces por miles de anzuelos largados de las mareas muestreadas de la flota española de palangre de superficie de pez en el océano Atlántico, para peces con tallas < 125 cm (LJFL), por cuadrículas de 5°x5°, primer trimestre (Q1), en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente.

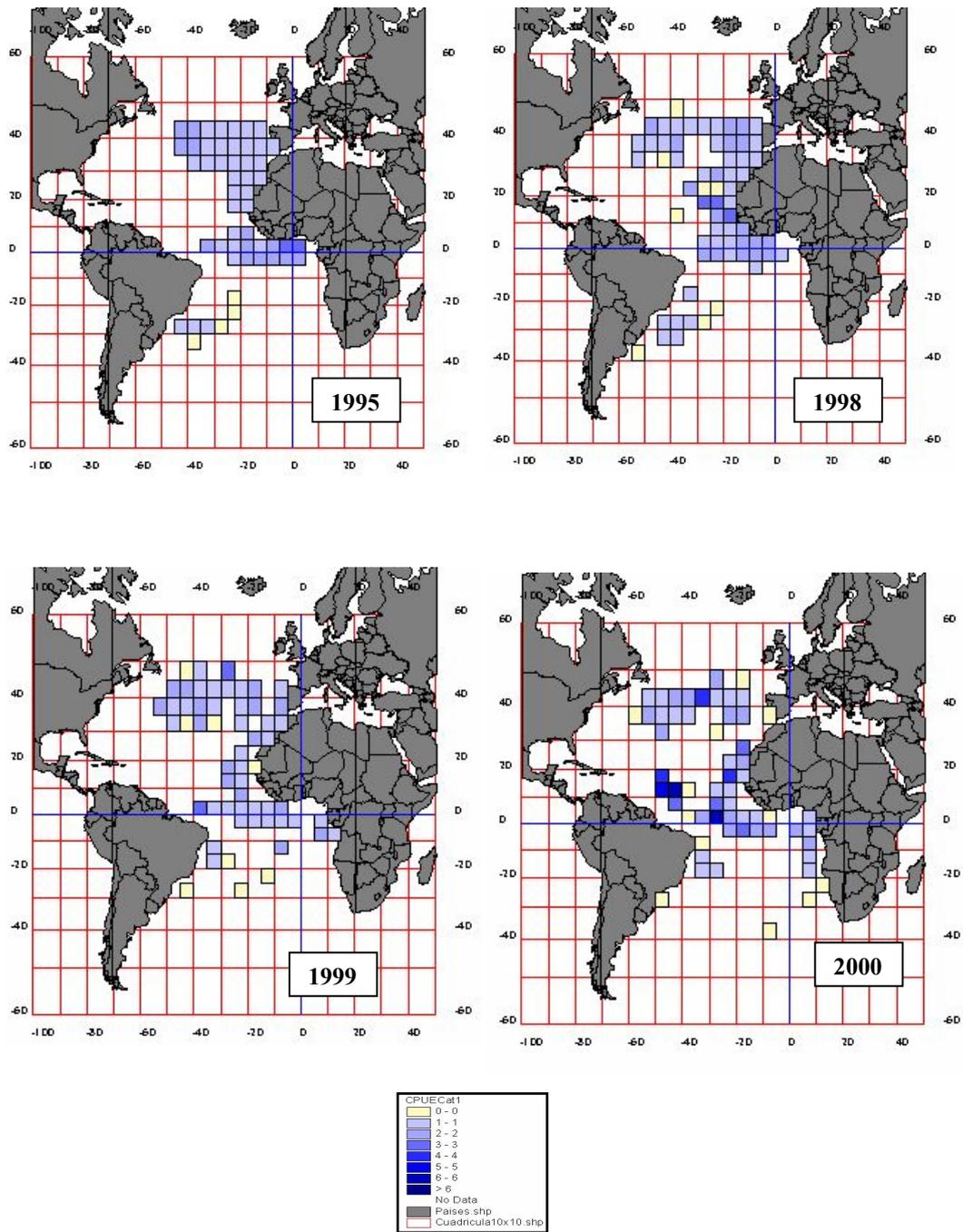


Figura 30. CPUE nominal. Desembarco en número de peces por miles de anzuelos largados de las mareas muestreadas de la flota española de palangre de superficie de pez en el océano Atlántico, para peces con tallas < 125 cm (LJFL), por cuadrículas de 5°x5°, segundo trimestre (Q2), en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente.

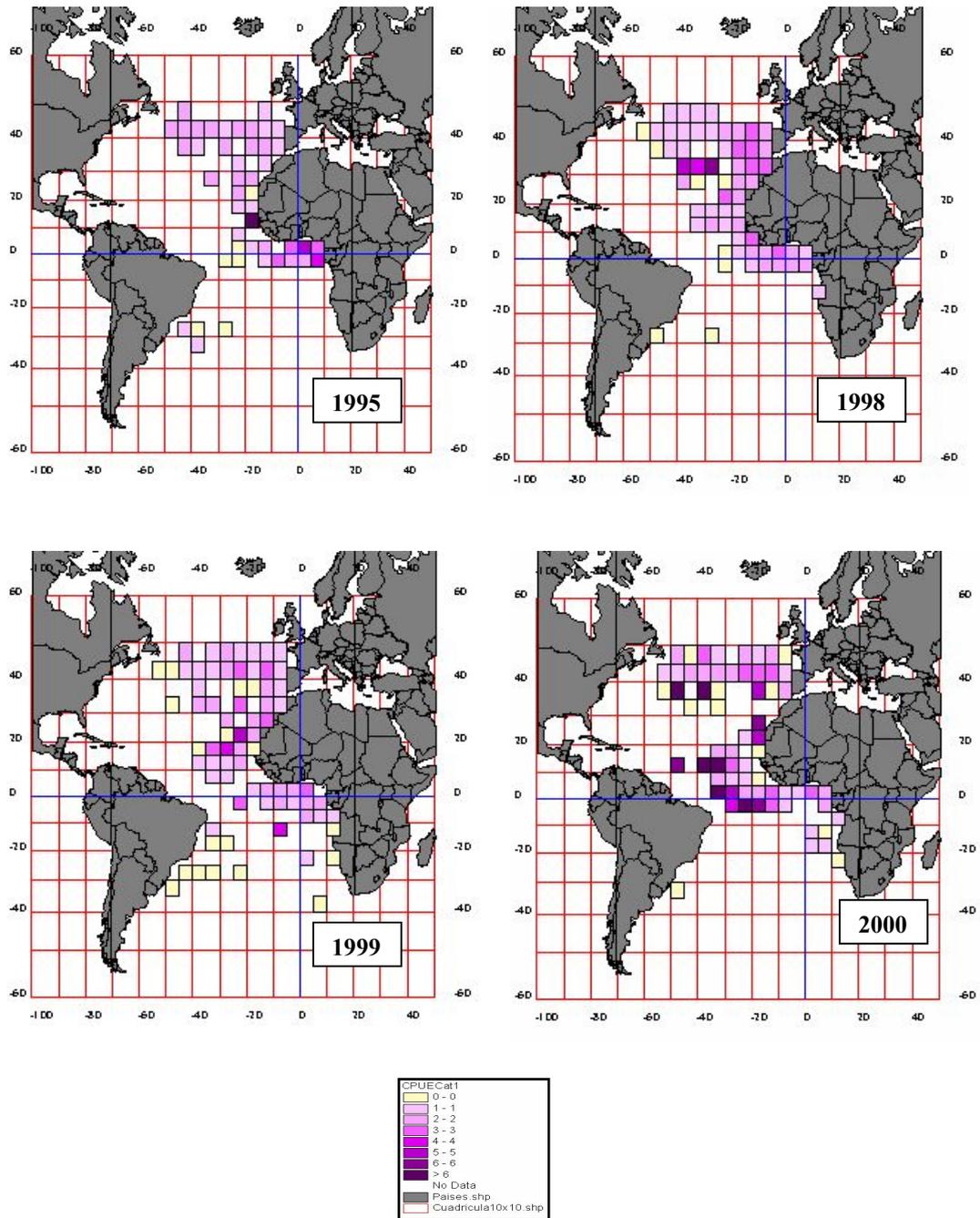


Figura 31. CPUE nominal. Desembarco en número de peces por miles de anzuelos largados de las mareas muestreadas de la flota española de palangre de superficie de pez en el océano Atlántico, para peces con tallas < 125 cm (LJFL), por cuadrículas de 5°x5°, tercer trimestre (Q3), en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente.

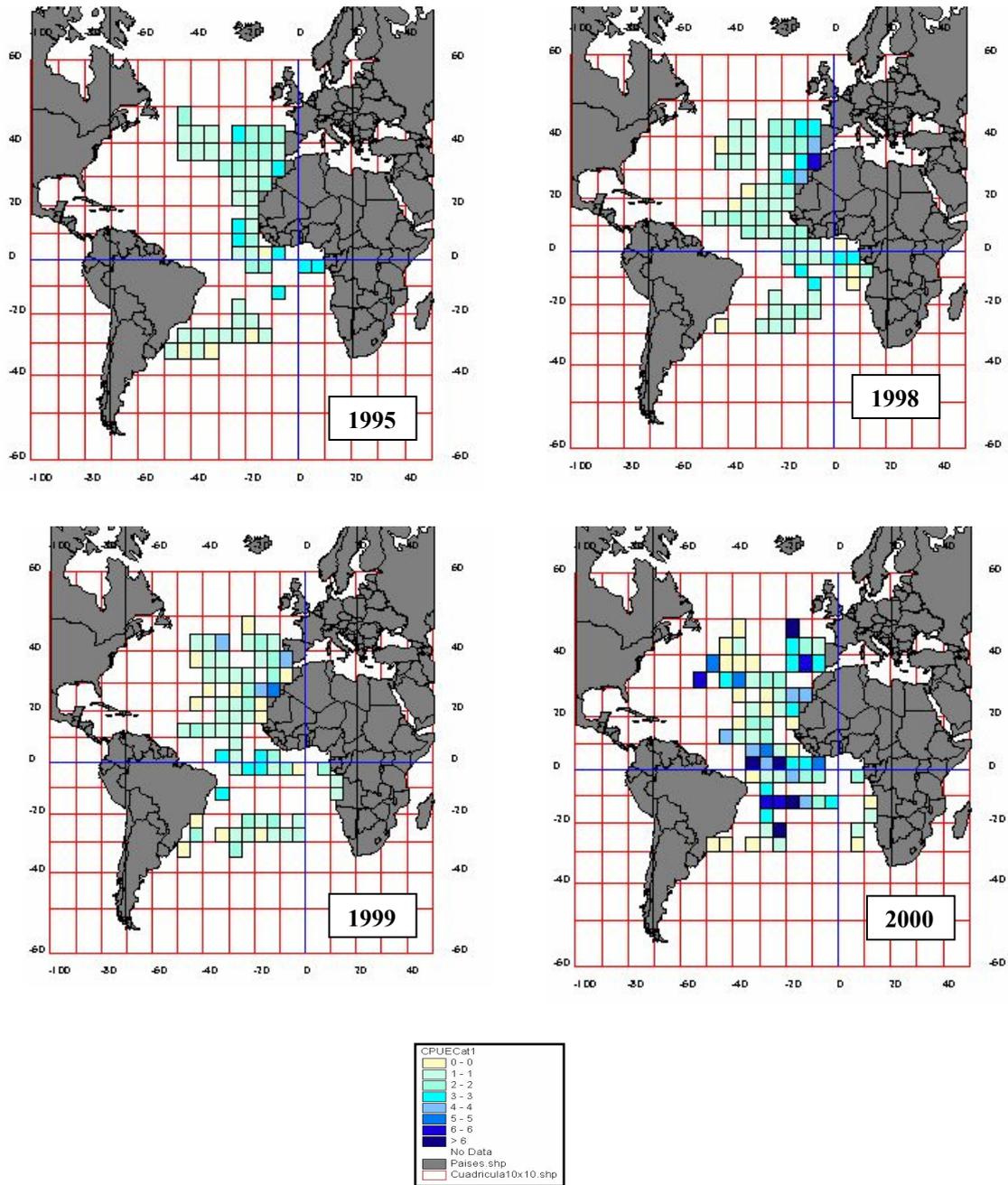


Figura 32. CPUE nominal. Desembarco en número de peces por miles de anzuelos largados de las mareas muestreadas de la flota española de palangre de superficie de pez en el océano Atlántico, para peces con tallas < 125 cm (LJFL), por cuadrículas de 5°x5°, cuarto trimestre (Q4), en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente.

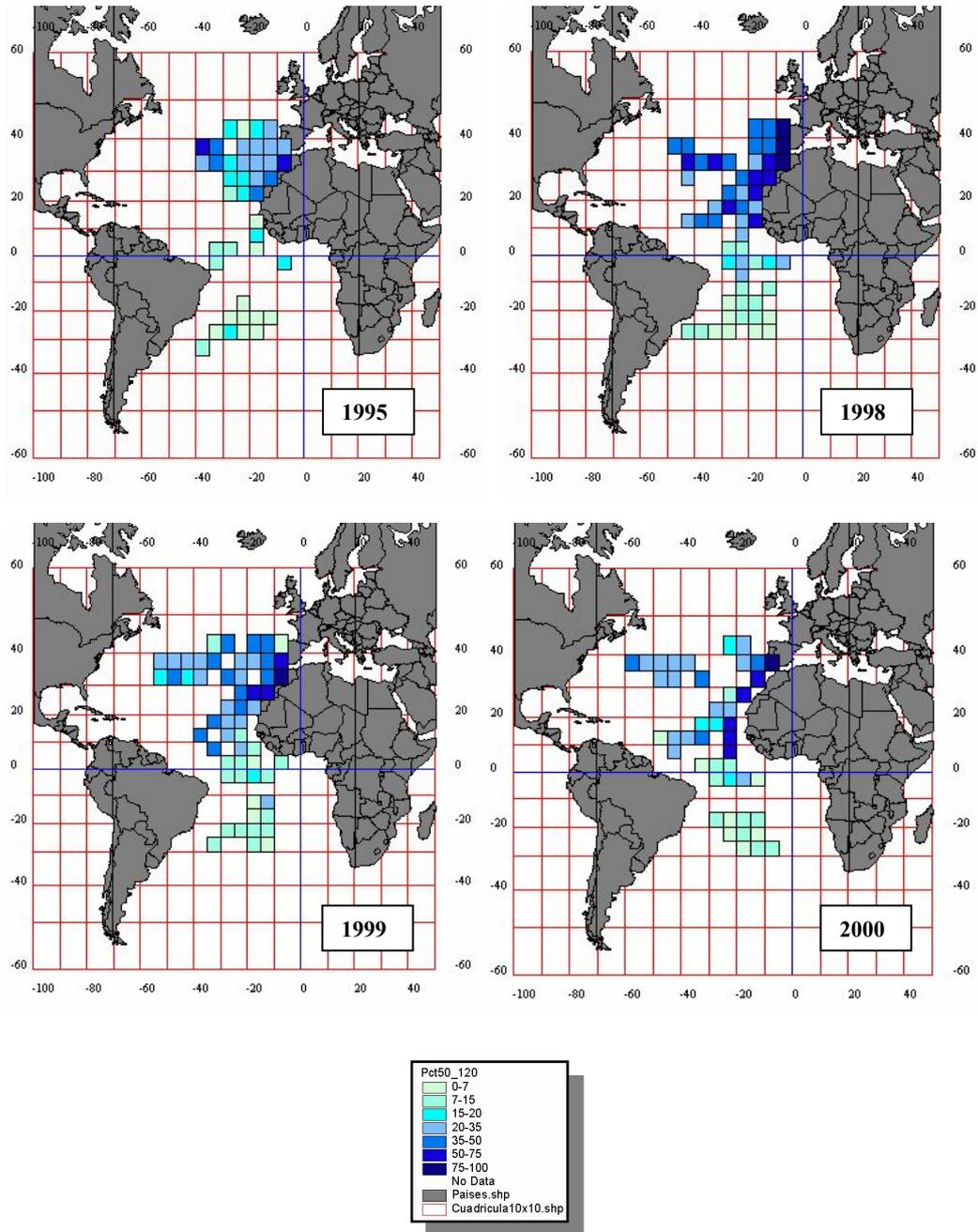


Figura 33. Porcentaje de individuos menores de 125 cm LJFL desembarcados, en relación con el desembarco en número (todas las tallas combinadas), por cuadrículas 5°x5°, para el primer trimestre (Q1), en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente.

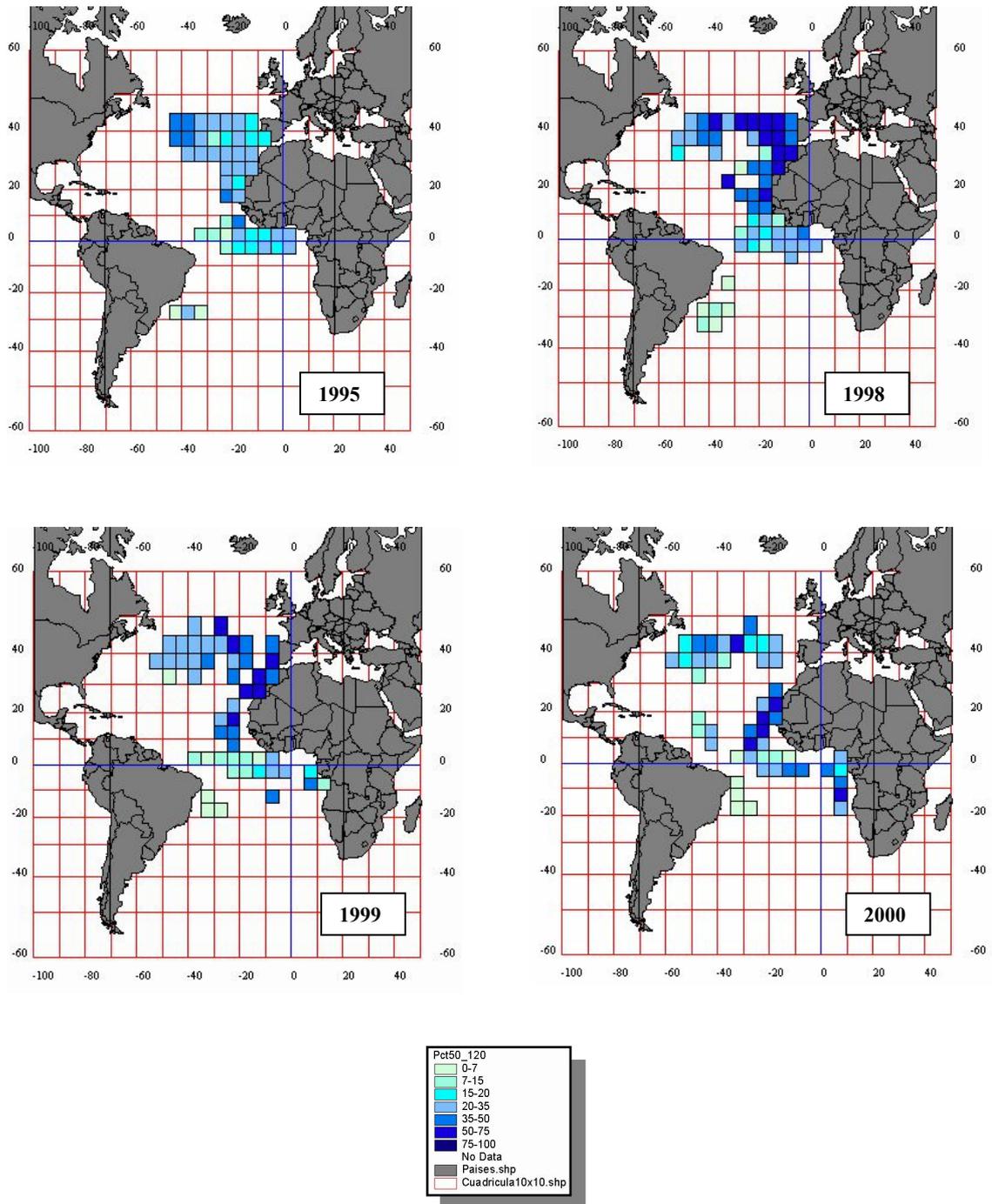


Figura 34. Porcentaje de individuos menores de 125 cm LJFL desembarcados, en relación con el desembarco en número (todas las tallas combinadas), por cuadrículas 5°x5°, para el segundo trimestre (Q2), en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente.

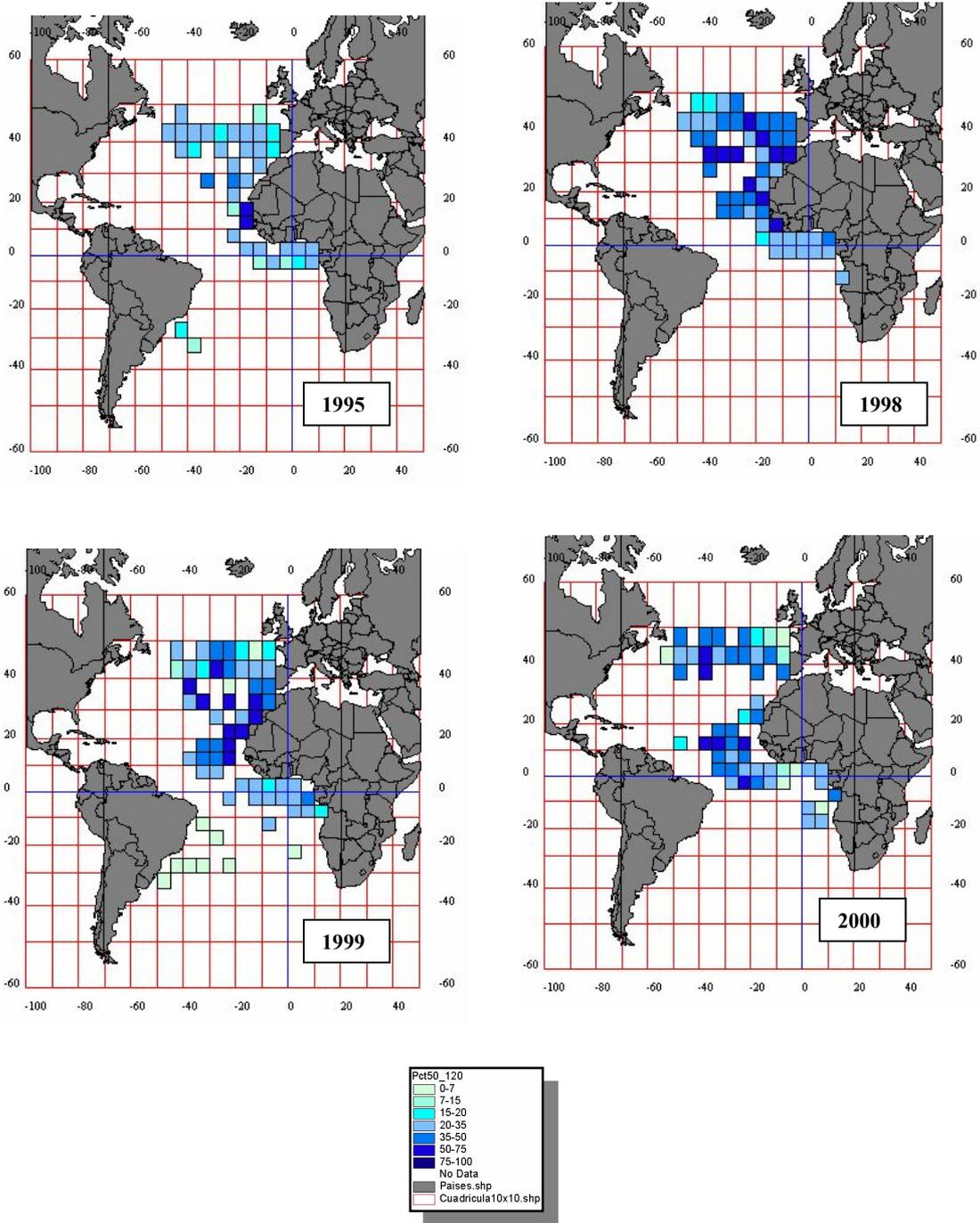


Figura 35. Porcentaje de individuos menores de 125 cm LJFL desembarcados, en relación con el desembarco en número (todas las tallas combinadas), por cuadrículas 5°x5°, para el tercer trimestre (Q3), en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente

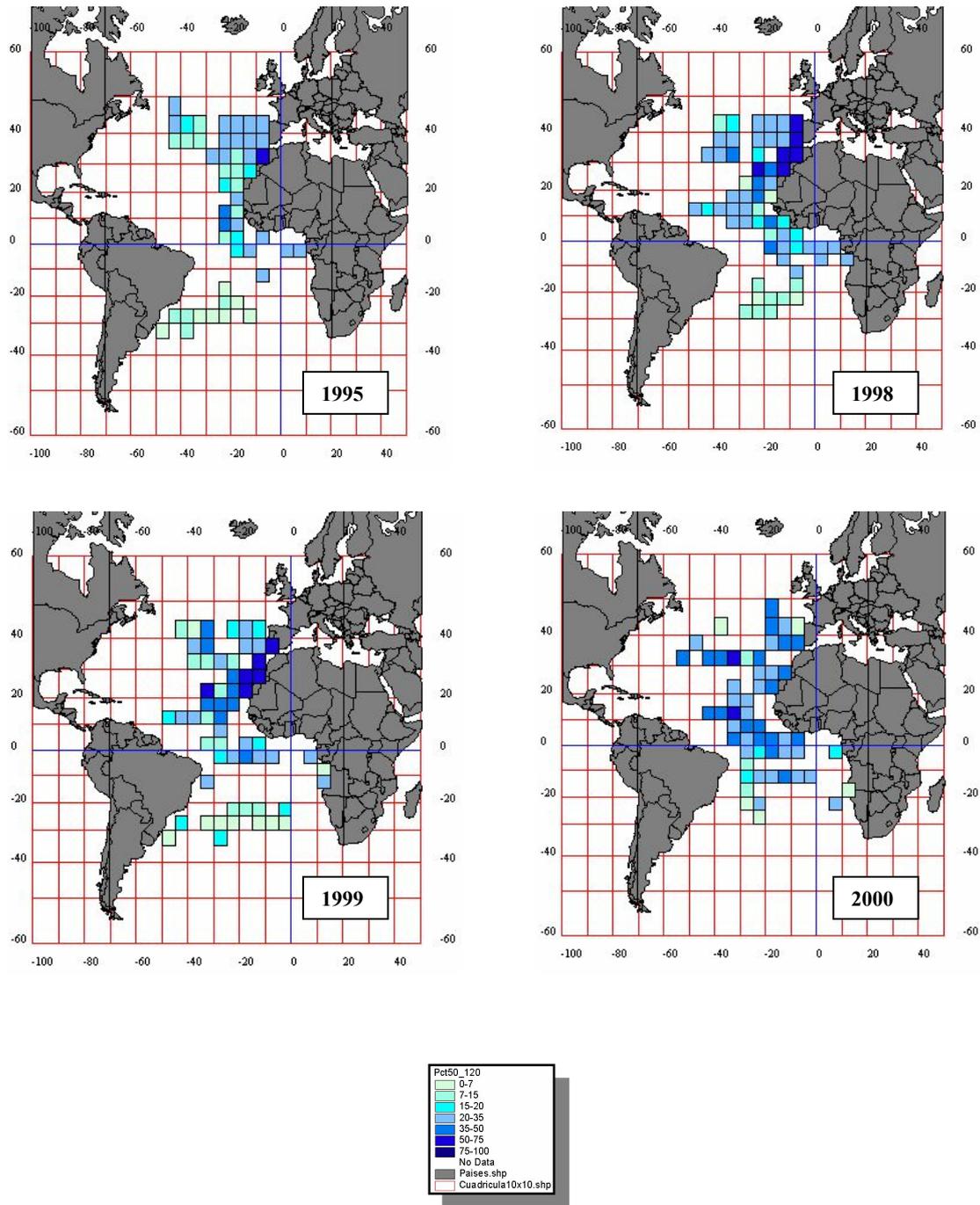


Figura 36. Porcentaje de individuos menores de 125 cm LJFL desembarcados, en relación con el desembarco en número (todas las tallas combinadas), por cuadrículas 5°x5°, para el cuarto trimestre (Q4), en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente

### 4.3.3. Estimación de tasas de captura por unidad de esfuerzo estandarizadas (GLM). Índices de abundancia.

A partir de un total de 7.332 observaciones seleccionadas procedentes del stock del Atlántico Norte (tablas 3 y 4) y de 3.399 observaciones de stock del Atlántico Sur (tabla 5), obtenidas durante el periodo 1986-2001 y clasificadas espacio-temporalmente, se realizó la modelización de datos de CPUE. En general, el número de observaciones disponibles por celda espacio-temporal es satisfactoria para ambos stocks. Sin embargo, debido a la progresiva expansión geográfica de la flota a lo largo de los años, algunas celdas no se encuentran bien representadas. Por otra parte, en los años más recientes, el número de observaciones disponibles procedente de actividad de palangreros usando el arte tradicional se reduce considerablemente en relación con años anteriores, lo que evidencia la importante introducción del nuevo tipo de palangre en esta flota y cuyos registros han sido omitidos del modelado.

Los análisis iniciales para establecer un modelo adecuado para el tratamiento de datos de CPUE en peso (CPUEw o en biomasa) se restringe inicialmente al stock del Norte, periodo 1986-1998, usando alternativamente ambos modelos definidos (modelos 1 y 2). Los resultados obtenidos a partir de ambos modelos indican que los factores considerados son, en ambos casos, todos ellos significativos ( $Pr < 0,05$ ) para explicar la variabilidad de la CPUEw (tablas 6 y 7). El patrón de residuos estandarizados muestra una distribución normal (figura 41).

ANO	AREA	Q1	Q2	Q3	Q4	total	ANO	AREA	Q1	Q2	Q3	Q4	total
1986	1	6	44	78	24	152	1994	1	0	40	52	3	95
1986	2	14	22	24	77	137	1994	2	40	9	34	69	152
1986	3	89	29	23	85	226	1994	3	67	19	15	95	196
1986	4	1	1	1	4	7	1994	4	26	51	9	18	104
1986	5	0	0	0	0	0	1994	5	0	0	1	0	1
1987	1	14	52	29	9	104	1995	1	0	14	67	12	93
1987	2	22	7	3	24	56	1995	2	9	22	39	106	176
1987	3	62	17	5	76	160	1995	3	72	53	18	105	248
1987	4	1	4	2	5	12	1995	4	61	50	7	44	162
1987	5	0	0	0	0	0	1995	5	0	0	0	0	0
1988	1	4	51	39	4	98	1996	1	0	16	41	4	61
1988	2	2	11	28	62	103	1996	2	12	23	49	93	177
1988	3	7	27	6	44	84	1996	3	80	42	23	100	245
1988	4	1	13	10	0	24	1996	4	75	49	39	66	229
1988	5	0	5	2	2	9	1996	5	1	16	1	11	29
1989	1	7	56	41	12	116	1997	1	0	17	21	5	43
1989	2	23	16	19	59	117	1997	2	6	26	71	46	149
1989	3	42	10	3	81	136	1997	3	89	67	26	62	244
1989	4	5	9	1	4	19	1997	4	52	53	81	86	272
1989	5	0	4	1	0	5	1997	5	27	15	17	32	91
1990	1	1	62	40	6	109	1998	1	0	18	37	1	56
1990	2	10	7	36	30	83	1998	2	4	39	65	59	167
1990	3	102	21	10	121	254	1998	3	60	53	18	46	177
1990	4	8	16	10	5	39	1998	4	28	16	16	33	93
1990	5	1	1	0	0	2	1998	5	39	15	23	26	103
1991	1	2	47	43	0	92	1999	1	1	35	31	5	72
1991	2	6	10	35	61	112	1999	2	18	23	34	23	98
1991	3	106	30	8	86	230	1999	3	55	53	5	19	132
1991	4	5	19	8	6	38	1999	4	20	5	9	30	64
1991	5	0	0	0	0	0	1999	5	13	6	12	12	43
1992	1	1	50	24	3	78	2000	1	0	11	4	0	15
1992	2	10	12	42	41	105	2000	2	15	13	7	14	49
1992	3	51	16	7	67	141	2000	3	29	15	0	8	52
1992	4	45	27	31	26	129	2000	4	12	3	0	4	19
1992	5	0	0	0	3	3	2000	5	11	8	4	5	28
1993	1	1	22	33	2	58	2001	1	0	0	0	0	0
1993	2	8	3	33	35	79	2001	2	2	4	1	37	44
1993	3	68	38	20	14	140	2001	3	8	3	0	1	12
1993	4	19	23	24	14	80	2001	4	0	0	2	0	2
1993	5	1	0	0	1	2	2001	5	0	0	0	0	0
<b>total</b>		<b>745</b>	<b>782</b>	<b>719</b>	<b>1093</b>	<b>3339</b>	<b>total</b>		<b>932</b>	<b>902</b>	<b>879</b>	<b>1280</b>	<b>3993</b>

Tabla 3. Número de observaciones (mareas o submareas= 7332), por año, área y trimestre (Q), consideradas en los GLM finales del pez espada del Atlántico Norte. Los datos de 1986 a 1998 fueron usados en los análisis exploratorios para definir el modelo más adecuado, luego extendido hasta el año 2001.

AÑO	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	total
1986	1	3	6	11	20	24	46	94	108	209	522
1987	0	1	6	4	8	15	19	55	109	115	332
1988	1	2	10	24	27	36	42	55	48	73	318
1989	6	17	24	26	30	39	45	65	74	67	393
1990	0	7	12	25	40	58	87	84	91	83	487
1991	2	6	16	15	40	57	80	106	103	47	472
1992	0	4	15	31	71	66	73	91	72	33	456
1993	4	10	18	29	45	53	65	64	81	57	426
1994	7	28	43	57	70	84	67	64	68	60	548
1995	7	44	89	107	101	93	98	68	38	34	679
1996	38	108	88	84	76	69	76	77	63	62	741
1997	127	164	94	57	69	61	65	53	59	50	799
1998	41	131	105	56	48	58	47	49	41	20	596
1999	28	85	75	44	27	36	38	29	29	18	409
2000	10	39	27	18	6	12	12	22	12	5	163
2001	0	1	2	4	4	10	11	13	9	4	58
											<b>7399</b>

AÑO	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	total
1986	0,2	0,6	1,1	2,1	3,8	4,6	8,8	18,0	20,7	40,0	100,0
1987	0,0	0,3	1,8	1,2	2,4	4,5	5,7	16,6	32,8	34,6	100,0
1988	0,3	0,6	3,1	7,5	8,5	11,3	13,2	17,3	15,1	23,0	100,0
1989	1,5	4,3	6,1	6,6	7,6	9,9	11,5	16,5	18,8	17,0	100,0
1990	0,0	1,4	2,5	5,1	8,2	11,9	17,9	17,2	18,7	17,0	100,0
1991	0,4	1,3	3,4	3,2	8,5	12,1	16,9	22,5	21,8	10,0	100,0
1992	0,0	0,9	3,3	6,8	15,6	14,5	16,0	20,0	15,8	7,2	100,0
1993	0,9	2,3	4,2	6,8	10,6	12,4	15,3	15,0	19,0	13,4	100,0
1994	1,3	5,1	7,8	10,4	12,8	15,3	12,2	11,7	12,4	10,9	100,0
1995	1,0	6,5	13,1	15,8	14,9	13,7	14,4	10,0	5,6	5,0	100,0
1996	5,1	14,6	11,9	11,3	10,3	9,3	10,3	10,4	8,5	8,4	100,0
1997	15,9	20,5	11,8	7,1	8,6	7,6	8,1	6,6	7,4	6,3	100,0
1998	6,9	22,0	17,6	9,4	8,1	9,7	7,9	8,2	6,9	3,4	100,0
1999	6,8	20,8	18,3	10,8	6,6	8,8	9,3	7,1	7,1	4,4	100,0
2000	6,1	23,9	16,6	11,0	3,7	7,4	7,4	13,5	7,4	3,1	100,0
2001	0,0	1,7	3,4	6,9	6,9	17,2	19,0	22,4	15,5	6,9	100,0

Tabla 4. Número de observaciones (arriba) e importancia relativa de cada tipo de ratio (abajo), por año y para cada categoría de “ratio” en intervalo de 10%, usadas en los análisis de GLM de CPUE en biomasa para el Atlántico Norte, aplicando el *modelo 2* que incluye el efecto de direccionamiento de la pesca. (R1= % de SWO entre 0-10%,..., R10= % de SWO entre 90-100%).

Sin embargo, la comparación de ambos ANOVA muestra que el modelo 2, que incluye el factor “ratio” (*Rat1*) entre ambas especies dirigidas, permite obtener un mejor ajuste con un valor de  $R^2$  incrementado en un 58% sobre el ajuste del modelo 1. Además pone de manifiesto la gran importancia de este factor “ratio” frente a los otros factores también significativos, asumidos empíricamente como más importantes para explicar la variabilidad de la CPUEw (tabla 7).

AÑO	AREA	Q1	Q2	Q3	Q4	total	AÑO	AREA	Q1	Q2	Q3	Q4	total
1989	7	0	0	0	0	0	1995	7	17	14	10	35	76
1989	9	0	0	0	0	0	1995	9	65	2	0	7	74
1989	11		1	3	3	1	1995	11	4	33	3	1	41
1989	12	11	17	15	14	57	1995	12	2	62	71	48	183
1990	7	0	0	0	0	0	1996	7	15	31	17	17	80
1990	9	0	0	0	1	1	1996	9	37	2	1	4	44
1990	11	1	21	25	5	52	1996	11	6	18	0	2	26
1990	12	15	13	18	53	99	1996	12	8	64	97	82	251
1991	7	0	0	0	6	6	1997	7	27	15	5	23	70
1991	9	0	0	0	2	2	1997	9	103	7	3	6	119
1991	11	10	33	25	11	79	1997	11	21	47	4	8	80
1991	12	6	9	22	50	87	1997	12	6	69	122	84	281
1992	7	4	4	1	15	24	1998	7	11	9	2	4	26
1992	9	3	2	0	1	6	1998	9	78	3	0	14	95
1992	11	11	70	1	4	86	1998	11	42	29	2	0	73
1992	12	0	17	54	55	126	1998	12	4	51	73	55	183
1993	7	15	15	7	30	67	1999	7	6	3	2	4	15
1993	9	1	2	1	2	6	1999	9	32	2	1	1	36
1993	11	67	49	2	3	121	1999	11	31	29	0	2	62
1993	12	4	24	107	69	204	1999	12	11	39	51	18	119
1994	7	20	16	14	27	77	2000	7	0	1	0	3	4
1994	9	27	5	1	3	36	2000	9	7	1	0	2	10
1994	11	45	27	0	0	72	2000	11	15	9	1	0	25
1994	12	0	26	69	70	165	2000	12	7	16	21	8	52
<b>total</b>		<b>240</b>	<b>351</b>	<b>365</b>	<b>424</b>	<b>1374</b>	<b>total</b>		<b>555</b>	<b>556</b>	<b>486</b>	<b>428</b>	<b>2025</b>

Tabla 5. Número de observaciones (mareas o submareas= 3399), por año, área y trimestre (Q) consideradas en los GLM finales del pez espada del Atlántico Sur aplicando el *modelo 2* definido como más apropiado para el Atlántico Norte, que incluye “ratios”, extendido hasta el año 2000.

Capítulo 4. Datos científicos básicos e indicadores de abundancia.

North Atl.Span.LL SWO, CPUE bio Kg. RW. General Linear Models Procedure. **Modelo 1: YR AR QT AR\*QT,**

Dependent Variable: CPUE1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	31	873.11909771	28.16513218	<b>107.60</b>	0.0
Error	6729	1761.44427069	0.26176910		
Corrected Total	6760	2634.56336841			

R_Square	C.V.	Root MSE	CPUE1 Mean
<b>0.331409</b>	9.839971	<b>0.5116338</b>	5.19954540

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
CYR	12	528.95804076	44.07983673	168.39	0.0
QTR	3	170.66491126	56.88830375	217.32	0.0001
AREA	4	135.10625655	33.77656414	129.03	0.0001
QTR*AREA	12	38.38988914	3.19915743	12.22	0.0001

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
CYR	12	384.04963332	32.00413611	122.26	0.0001
QTR	3	258.90658981	86.30219660	329.69	0.0001
AREA	4	135.10625655	33.77656414	129.03	0.0001
QTR*AREA	12	38.38988914	3.19915743	12.22	0.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
CYR	12	<b>384.04963332</b>	32.00413611	122.26	0.0001
QTR	3	101.68958706	33.89652902	129.49	0.0001
AREA	4	70.03558691	17.50889673	66.89	0.0001
QTR*AREA	12	38.38988914	3.19915743	12.22	0.0001

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >  T	Std Error of Estimate	
INTERCEPT	5.769715209 B	89.35	0.0	0.06457173	
CYR	1	-0.672932814 B	21.18	0.0001	0.03177917
	2	-0.820183246 B	27.27	0.0001	0.03007469
	3	-0.655476507 B	21.88	0.0001	0.02995732
	4	-0.424242830 B	14.01	0.0001	0.03027654
	5	-0.474100973 B	14.97	0.0001	0.03166624
	6	-0.356525535 B	10.56	0.0001	0.03374854
	7	-0.232571250 B	6.98	0.0001	0.03333352
	8	-0.198625853 B	6.07	0.0001	0.03273099
	9	-0.210050843 B	6.47	0.0001	0.03248584
	10	-0.274473558 B	8.00	0.0001	0.03432608
	11	-0.198065296 B	5.39	0.0001	0.03676512
	12	-0.040936417 B	1.13	0.2584	0.03621555
	13	0.000000000 B	.	.	.
QTR	1	0.056823869 B	0.66	0.5065	0.08552572
	2	-0.126040453 B	1.39	0.1638	0.09051136
	3	-0.165291464 B	1.71	0.0871	0.09658276
	4	0.000000000 B	.	.	.
AREA	1	0.271655701 B	3.30	0.0010	0.08229850
	2	-0.042814593 B	0.68	0.4963	0.06293485
	3	-0.024517011 B	0.39	0.6940	0.06230567
	4	0.006313803 B	0.10	0.9239	0.06613879
	5	0.000000000 B	.	.	.
QTR*AREA	1 1	-0.283869784 B	2.13	0.0332	0.13326108
	1 2	-0.137644136 B	1.43	0.1530	0.09630528
	1 3	-0.275223089 B	3.11	0.0019	0.08862230
	1 4	-0.206242558 B	2.18	0.0294	0.09468877
	1 5	0.000000000 B	.	.	.
	2 1	-0.316804489 B	2.91	0.0036	0.10884003
	2 2	-0.751131958 B	7.57	0.0001	0.09917546
	2 3	-0.445782693 B	4.67	0.0001	0.09539535
	2 4	-0.265917141 B	2.68	0.0073	0.09906778
	2 5	0.000000000 B	.	.	.
	3 1	-0.072366835 B	0.64	0.5242	0.11361036
	3 2	-0.248725013 B	2.46	0.0140	0.10117057
	3 3	-0.230091531 B	2.19	0.0285	0.10502064
	3 4	-0.049925492 B	0.47	0.6383	0.10619925
	3 5	0.000000000 B	.	.	.
	4 1	0.000000000 B	.	.	.
	4 2	0.000000000 B	.	.	.
	4 3	0.000000000 B	.	.	.
	4 4	0.000000000 B	.	.	.
	4 5	0.000000000 B	.	.	.

Tabla 6. Resumen del ANOVA obtenido para el procedimiento GLM realizado para los datos de CPUE del Atlántico Norte y aplicando el *modelo 1* a los datos del periodo 1986-1998.

Capítulo 4. Datos científicos básicos e indicadores de abundancia.

North Atl.Span.LL SWO, CPUE bio Kg. General Linear Models Procedure. **Modelo 2: YR AR QT RAT AR\*QT**

Dependent Variable: CPUE1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	40	1377.9704223	34.4492606	<b>184.23</b>	0.0
Error	6720	1256.5929461	0.1869930		
Corrected Total	6760	2634.5633684			

R\_Square **0.523036** C.V. 8.316628 Root MSE **0.4324269** CPUE1 Mean 5.19954540

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
CYR	12	528.95804076	44.07983673	235.73	0.0
QTR	3	170.66491126	56.88830375	304.23	0.0001
AREA	4	135.10625655	33.77656414	180.63	0.0001
RATIO	9	521.25895954	57.91766217	309.73	0.0
QTR*AREA	12	21.98225423	1.83185452	9.80	0.0001

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
CYR	12	76.41413644	6.36784470	34.05	0.0001
QTR	3	99.73729520	33.24576507	177.79	0.0001
AREA	4	93.41138323	23.35284581	124.89	0.0001
RATIO	9	504.85132464	56.09459163	299.98	0.0
QTR*AREA	12	21.98225423	1.83185452	9.80	0.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
CYR	12	76.41413644	6.36784470	34.05	0.0001
QTR	3	50.94784929	16.98261643	90.82	0.0001
AREA	4	62.37154122	15.59288530	83.39	0.0001
<b>RATIO</b>	<b>9</b>	<b>504.85132464</b>	<b>56.09459163</b>	<b>299.98</b>	<b>0.0</b>
QTR*AREA	12	21.98225423	1.83185452	9.80	0.0001

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	6.239402130 B	111.25	0.0	0.05608678
CYR	1 0.285398475 B	-10.17	0.0001	0.02807425
	2 -0.369610001 B	-13.73	0.0001	0.02691925
	3 -0.318326465 B	-12.10	0.0001	0.02630798
	4 -0.125383951 B	-4.69	0.0001	0.02673382
	5 -0.239103357 B	-8.71	0.0001	0.02744689
	6 -0.212563731 B	-7.36	0.0001	0.02888469
	7 -0.087635348 B	-3.05	0.0023	0.02872900
	8 -0.072637130 B	-2.59	0.0097	0.02807170
	9 -0.087412471 B	-3.15	0.0016	0.02776332
	10 -0.103442506 B	-3.53	0.0004	0.02933903
	11 -0.131610038 B	-4.22	0.0001	0.03121596
	12 -0.047140397 B	1.54	0.1244	0.03067731
	13 0.000000000 B	.	.	.
QTR	1 -0.033989732 B	-0.47	0.6394	0.07253511
	2 -0.327353773 B	-4.26	0.0001	0.07676535
	3 -0.190370962 B	-2.33	0.0198	0.08166125
	4 -0.000000000 B	.	.	.
AREA	1 -0.168197847 B	-2.39	0.0167	0.07029435
	2 -0.316989983 B	-5.89	0.0001	0.05380041
	3 -0.372863490 B	-6.96	0.0001	0.05357475
	4 -0.210237266 B	-3.74	0.0002	0.05618428
	5 0.000000000 B	.	.	.
RATIO	1 -1.459116819 B	-41.92	0.0	0.03480775
	2 -0.980340164 B	-36.76	0.0001	0.02666670
	3 -0.759783322 B	-29.45	0.0001	0.02580344
	4 -0.680089607 B	-26.65	0.0001	0.02551820
	5 -0.519616663 B	-21.95	0.0001	0.02366977
	6 -0.418082756 B	-18.36	0.0001	0.02276841
	7 -0.347624872 B	-15.94	0.0001	0.02180419
	8 -0.266991904 B	-12.85	0.0001	0.02077807
	9 -0.140277390 B	-6.85	0.0001	0.02047319
	10 0.000000000 B	.	.	.
QTR*AREA	1 1 -0.101943312 B	-0.90	0.3664	0.11285363
	1 2 -0.148735181 B	-1.82	0.0687	0.08170046
	1 3 -0.160602299 B	-2.14	0.0326	0.07513116
	1 4 -0.156462951 B	-1.95	0.0511	0.08020530
	1 5 0.000000000 B	.	.	.
	2 1 0.111282000 B	1.20	0.2291	0.09252619
	2 2 -0.293985042 B	-3.48	0.0005	0.08443192
	2 3 -0.093439120 B	1.15	0.2514	0.08145773
	2 4 -0.051864584 B	-0.62	0.5366	0.08392156
	2 5 0.000000000 B	.	.	.
	3 1 0.061351334 B	0.64	0.5233	0.09612036
	3 2 -0.099654802 B	-1.16	0.2443	0.08559053
	3 3 -0.039637507 B	0.45	0.6559	0.08895583
	3 4 0.053339281 B	0.59	0.5526	0.08980245
	3 5 0.000000000 B	.	.	.
	4 1 0.000000000 B	.	.	.
	4 2 0.000000000 B	.	.	.
	4 3 0.000000000 B	.	.	.
	4 4 0.000000000 B	.	.	.
	4 5 0.000000000 B	.	.	.

Tabla 7. Resumen del ANOVA obtenido para el procedimiento GLM realizado para los datos de CPUE del Atlántico Norte y aplicando el modelo 2, que incluye el factor “ratio” a los datos del periodo 1986-1998.

Capítulo 4. Datos científicos básicos e indicadores de abundancia.

Atl. Norte. Pez espada. 1986-1998, CPUE bio Kg. GLM **Modelo 1**: YR AR QT QT\*AR

YR	LSMEAN	STDERR	UCPUw	CPUw	LCPUw
98	4.93090	0.021857	144.601	138.537	132.727
97	4.78365	0.019433	124.204	119.562	115.094
96	4.94835	0.020577	146.774	140.972	135.400
95	5.17959	0.021850	185.425	177.652	170.204
94	5.12973	0.023809	177.093	169.019	161.313
93	5.24730	0.026454	200.237	190.120	180.513
92	5.37126	0.025619	226.286	215.204	204.665
91	5.40520	0.025635	234.107	222.635	211.725
90	5.39378	0.025270	231.280	220.103	209.467
89	5.32936	0.027353	217.749	206.382	195.609
88	5.40576	0.030173	236.360	222.788	209.994
87	5.64477	0.029624	299.846	282.931	266.971
86	5.60383	0.024301	284.791	271.544	258.913

Atl. Norte. Pez espada. 1986-1998, CPUE bio Kg. GLM **Modelo 2**: YR AR QT RAT AR\*QT

YR	LSMEAN	STDERR	UCPUw	CPUw	LCPUw
98	5.01252	0.018769	155.941	150.309	144.880
97	4.92830	0.016803	142.791	138.164	133.688
96	4.97959	0.017571	150.533	145.437	140.513
95	5.17253	0.018821	183.020	176.392	170.003
94	5.05881	0.020303	163.827	157.436	151.294
93	5.08535	0.022613	169.005	161.678	154.668
92	5.21028	0.022005	191.263	183.189	175.456
91	5.22528	0.022023	194.160	185.958	178.101
90	5.21050	0.021695	191.188	183.229	175.601
89	5.19447	0.023312	188.752	180.322	172.268
88	5.16630	0.025945	184.471	175.325	166.632
87	5.34505	0.025881	220.548	209.639	199.270
86	5.29791	0.021578	208.604	199.966	191.685

Tabla 8. Parámetros estimados mediante GLM, error estándar, CPUE relativa en biomasa kg peso vivo (CPUw) y límites del intervalo de confianza (95%), obtenidos usando el *modelo 1* (arriba) o el *modelo 2* (abajo), para el periodo de años (YR) 1986-1998.

Las tendencias de las CPUEw estandarizadas obtenidas a partir de ambos modelos muestran además diferencias significativas (tabla 8, figura 37). Mientras que el modelo 1 predice caídas importantes de la CPUEw a lo largo de los años, el modelo 2 proporciona una visión más optimista de las tendencias del stock.

Un análisis de la información básica manejada permite explicar estas diferencias. Los cambios en la estrategia de pesca de la flota a lo largo de la serie analizada, pasando de priorizar la captura de pez espada a desarrollar una pesca claramente biespecífica, se muestran como un elemento capital para interpretar la CPUE y explicar los resultados obtenidos por ambos modelos. La mayor importancia relativa de la qualla frente al pez espada a los largo de los años se observa claramente en el análisis de los “ratio” y, de forma especial, para algunos de ellos (tabla 4, figura 38).

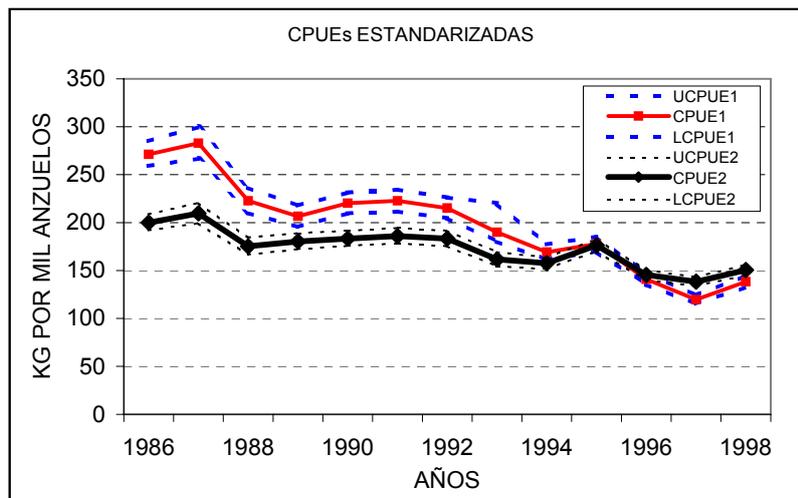


Figura 37. Tendencia de la CPUE estandarizada (kg peso vivo por cada mil anzuelos largados) e intervalos de confianza (95%) obtenidos a partir de la aplicación de dos modelos alternativos de GLM (*modelo 1* vs. *modelo 2*) a las observaciones de CPUE obtenidas de la pesquería española de pez espada en el Atlántico Norte usando el palangre tradicional, durante el periodo 1986-1998.

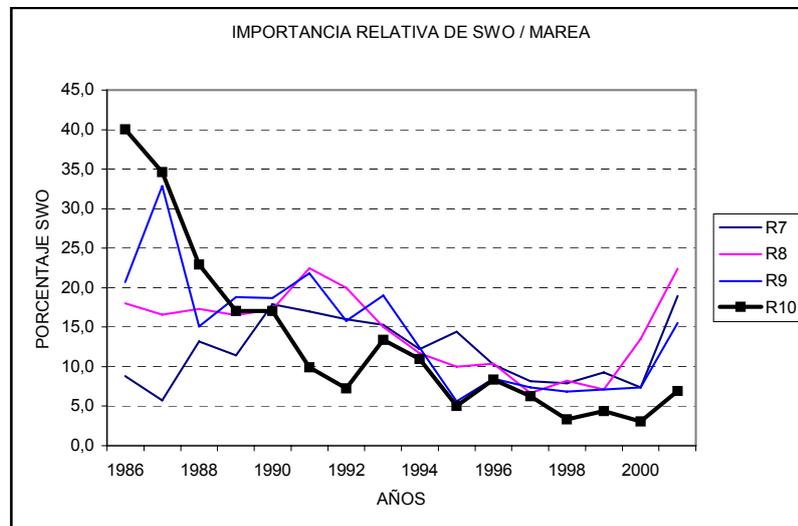


Figura 38. Evolución del número relativo (%) de observaciones anuales con ratios de pez espada comprendidos entre el 70% (R7) y 100% (R10) en relación al número de observaciones totales anuales disponibles durante el periodo 1986-1998 (ver tabla 4 para información adicional).

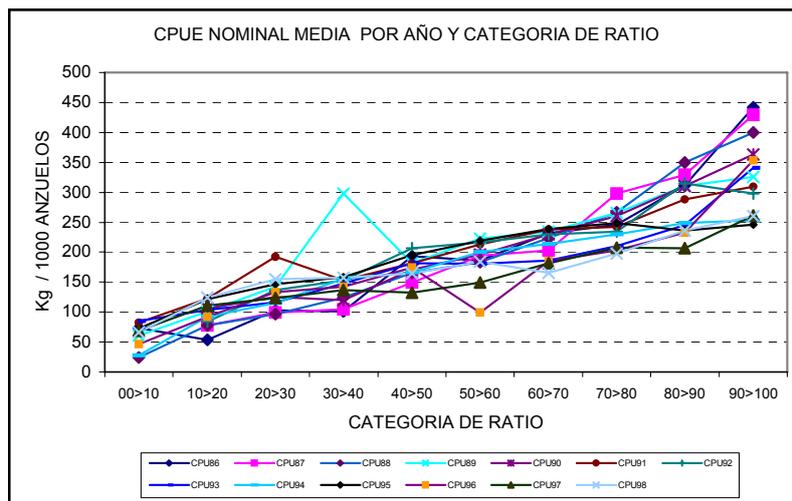


Figura 39. CPUE nominal media anual de pez espada (en kg peso vivo) para el periodo 1986-1998, observada en cada categoría de “ratio” definida (en categorías de 10%).

Sin embargo esto quizás no explicaría suficientemente las diferentes tendencias de CPUE estandarizadas obtenidas por ambos modelos. La figura 39 aporta información capital en este sentido. La CPUE nominal de pez espada es menor cuanto mayor sea el porcentaje de quella desembarcada, es decir, cuanto menor sea el grado de direccionamiento hacia el pez espada y mayor hacia la quella, si asumimos el efecto “ratio” como medidor de la intensidad de direccionamiento.

Este fenómeno se explica por el comportamiento de ambas especies y su respectivas distribuciones geográficas a nivel de área para un mismo tiempo. Ambas especies, pez espada y quella, no ocupan exactamente las mismas áreas ni se distribuyen en rangos de temperatura idénticos, aunque existe un claro solapamiento entre sus distribuciones.

La temperatura óptima para ambas especies en zonas templadas parece diferir en aguas templadas en unos dos °C (MEJUTO & IGLESIAS, 1988). Al priorizar el buque de pesca la captura de una especie sobre otra se realizan sutiles modificaciones en las operaciones de pesca o en la selección del área (en ocasiones a nivel microescala). Esto implica que la intención de seleccionar áreas más óptimas para la captura de la quella por parte del patrón del buque lleva implícita la selección de áreas generalmente menos favorables para la captura del pez espada, lo que se manifiesta en las menores CPUE obtenidas. Este hecho se observa de forma consistente entre los años 1986 y 1998 (figura 39).

Por tanto el GLM modelo 1 se comporta interpretando los descensos de CPUE observados a los largo de los años como, sobre todo, debidos a variabilidad interanual (tabla 5), cuando realmente la mayor parte de esta variabilidad no es debida a tal factor sino a otros factores no considerados en el modelo 1. La incorporación de un nuevo factor en el GLM modelo 2, el cual considera las variaciones anuales en el direccionamiento de la actividad hacia una u otra especie, tal como fue observado empíricamente, claramente modifica esta percepción y asigna a este nuevo factor la mayor importancia a la hora de explicar la variabilidad de la CPUE frente a otros factores también significativos, e incrementa el grado de ajuste del modelo de forma muy considerable (+58%) (tabla 7). Por tanto, el modelo 2 debe considerarse como una opción más realista para el análisis de esta pesquería y la obtención de CPUEs estandarizadas, sobre todo si éstas desean ser interpretadas como indicadores de la abundancia del stock.

La comparación de la CPUE nominal y de las CPUEs estandarizadas obtenidas a partir de los modelos 1 y 2 pone de manifiesto que la predicción del GLM modelo 1 se ajusta mejor a las observaciones de CPUE nominal (figura 40). Esto sería esperable en este supuesto, ya que el elevado volumen de información manejada y el diseño metodológico establecido en la obtención de los datos de base de la pesquería presupone una óptima representatividad espacio-temporal de los datos de base en relación al comportamiento espacio-temporal de la flota. En similares supuestos puede ser esperable que los datos de CPUE nominal y estandarizada (asumiendo sólo factores espacio-temporales) muestren escasas discrepancias en sus tendencias a lo largo del tiempo.

Estos resultados validan indirectamente el diseño y procedimiento establecido para el seguimiento científico de la pesquería (RIM) ya que la tendencia de CPUE nominal es similar a la CPUE estandarizada obtenida mediante la aplicación de un método robusto para el tratamiento de componentes espacio-temporales de la pesquería.

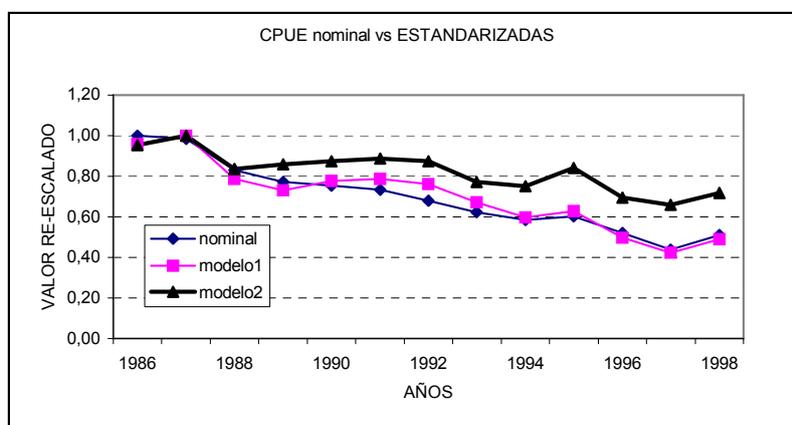


Figura 40. Comparación gráfica de las tendencias de CPUE entre los años 1986-1998: CPUE nominal vs. CPUE estandarizadas obtenidas mediante GLM, modelos 1 y 2, respectivamente. Los valores han sido re-escalados sobre sus respectivos máximos para facilitar la comparación.

No obstante, la CPUE nominal y la CPUE estandarizada obtenida por el modelo 1 adolecen del mismo defecto a la hora de que estos valores puedan ser asumidos como “índices de abundancia del stock”, ya que los datos de CPUE de pez espada se ven afectados por cambios en la estrategia de pesca a lo largo del tiempo que no son considerados ni por la CPUE nominal ni en la predicción realizada por el GLM usando el modelo 1. En este caso, los resultados del GLM modelo 2 deben considerarse como más adecuados y estadísticamente más consistentes a efectos de identificar las tendencias del stock y asumirlas como tendencias de abundancia relativa.

Estos análisis muestran las importantes repercusiones que el criterio de direccionamiento seguido por el buque de pesca, hacia una u otra especie, pueden tener sobre la interpretación de las tendencias de la CPUE y su asunción como indicadores de abundancia relativa del stock. Aspectos tales como la configuración del arte, cambios a microescala en la selección del espacio-tiempo de faena de pesca, cambios batimétricos en la largada del arte, etc, pueden tener un considerable impacto en las tendencias y representatividad de las CPUEs obtenidas, especialmente cuando estos cambios son progresivos y sistemáticos. El conocimiento de la pesquería y de su historia, así como su seguimiento a lo largo del tiempo, previenen de enfoques metodológicos poco apropiados y contribuyen a minimizar estas deficiencias.

Por otra parte, ante la falta de ciertos “factores” que puedan afectar a la CPUE observada, por limitación de detalles en los datos de base disponibles, parece recomendable el intentar buscar indicadores alternativos que puedan aglutinarlos y modelarlos para explicar la variabilidad interanual de la CPUE, si desea asumirse ésta como indicador de abundancia del stock.

Posteriormente, los análisis del GLM modelo 2 se aplicaron extendidos hasta los años 2001 para el Atlántico Norte y extendidos hasta el año 2000 para el Atlántico Sur (tabla 8). En el stock del Atlántico Norte, después de un periodo de al menos 12 años con tendencia descendente de la CPUEw estandarizada (asumida como indicador de abundancia en biomasa) aparece una nueva etapa reciente con incrementos considerables y sorprendentes, alcanzando un máximo histórico en el año 2000 (figura 41).

Esta tendencia, recientemente observada, es interpretada como una importante recuperación del stock del pez espada del Atlántico Norte, desde niveles de clara sobre-explotación ( $B < B_{RMS}$ ) hasta niveles próximos al equilibrio ( $B \approx B_{RMS}$ ), (ANÓNIMO, 2002). Para el stock del Atlántico Sur se estabiliza la CPUEw estandarizada después de un periodo inicial descendente.

STOCK	Modelo	TIPO	AÑOS	EDAD	Nº OBSER.	R-Square	RMSE	F-Stat.
Norte	2	Biomasa	1986-2001	todas.	7399	0.5073	0.4420	176.15
Sur	2	Biomasa	1989-2000	todas.	3406	0.5634	0.3529	124.23
Norte	1	Edad	1983-2001	1	7546	0.3536	0.9704	111.00
Norte	1	Edad	1983-2001	2	8141	0.2448	0.7696	71.01
Norte	1	Edad	1983-2001	3	8154	0.2320	0.7141	66.26
Norte	1	Edad	1983-2001	4	7958	0.2875	0.6957	86.36
Norte	1	Edad	1983-2001	5+	7848	0.3520	0.7477	114.67

Tabla 9. Resumen de los diagnósticos estadísticos básicos de los diferentes ANOVA obtenidos bajo los procedimientos GLM aplicados a los datos de CPUE, en biomasa usando el *modelo 2*, y por edad usando el *modelo 1*, para el periodo 1986-2001 (Atlántico Norte) y en biomasa usando el *modelo 2* para el periodo 1986-2000 (Atlántico Sur).

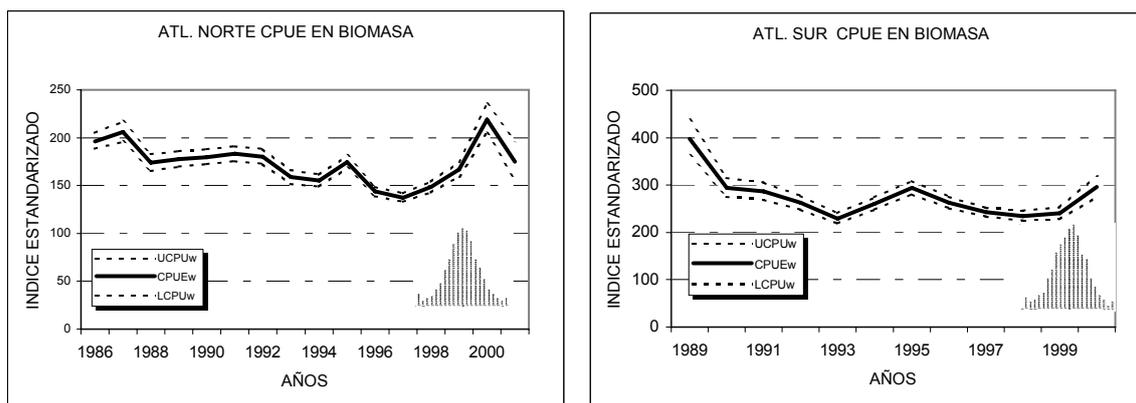


Figura 41. Cambio anual de las tasas de captura estandarizadas (CPUE estandarizada) en kilogramos por cada mil anzuelos largados de la flota española de palangre de superficie de pez espada, en el océano Atlántico Norte (izquierda) y Atlántico Sur (derecha), usando un *modelo 2* e intervalos de confianza (95%). Los histogramas dentro de las gráficas indican las distribuciones obtenidas de sus residuos estandarizados.

Para ayudar a explicar la tendencias obtenidas de CPUEw estandarizadas del stock del Norte, fueron realizados GLMs adicionales (usando el modelo 1) pero modelando los valores de CPUE en nominales por edad (figura 42). Es decir, ¿el incremento del indicador de biomasa observado en los últimos años de la serie es debido a un incremento general de las fracciones del stock o a sólo algunas fracciones?.

La CPUE en la edad 1, asumida como indicador de los reclutamientos, ha sufrido un cambio drástico a partir de 1996, sin precedentes en la serie histórica disponible. Esto ha modificado la dinámica del stock de forma que estas cohortes reclutadas ya se han incorporado a diversas edades de la población, incluso hasta las edades mayores de 4 años, contribuyendo al incremento global de la biomasa del stock. Este incremento de la abundancia de varias cohortes ha sido oportunamente detectado por el indicador de abundancia relativa en biomasa, la CPUEw estandarizada mediante GLM (modelo 2).

Por tanto, las recientes tendencias de la CPUEw del stock del Atlántico Norte, asumida como indicadora de la tendencia de la biomasa del stock, se explican por un cambio de escenario en sus niveles de reclutamiento en los años más recientes, frente a periodos anteriores generalmente menos favorables, quizás por cambios medioambientales (ver capítulo 5).

Este último enfoque pone de manifiesto la complementariedad de este tipo de análisis (CPUE biomasa vs. CPUE por edad) cuando los datos de base son suficientemente consistentes desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo.

Por otra parte, debido a la amplia distribución geográfica del pez espada, es recomendable comparar los resultados obtenidos con los observados por científicos que trabajan con datos de flotas de otros países (ANÓNIMO, 2000, 2003). La integración de esta información dentro de modelos calibrados (modelos de producción o de análisis de población virtual), en el marco científico de las Organizaciones Regionales de Pesca, parece la fórmula más eficaz para hacer un adecuado diagnóstico de la situación de los stocks, proyectar sus tendencias esperables y proponer estrategias de gestión.

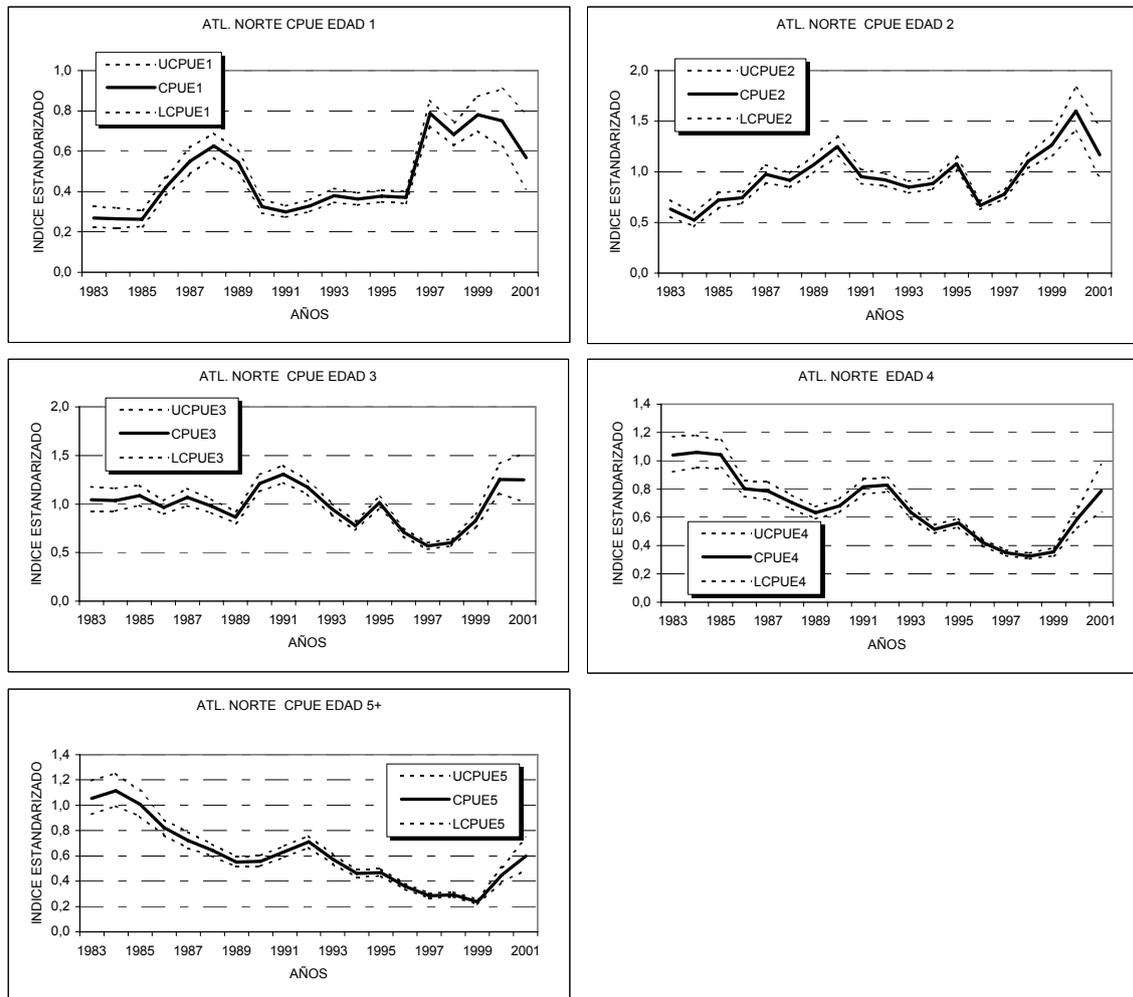


Figura 42. Cambio anual de las tasas de captura estandarizadas (CPUEn estandarizada) en número de peces por edad, por cada mil anzuelos largados, de la flota española de palangre de superficie de pez espada, en el Océano Atlántico Norte usando un *modelo 1* (línea continua), e intervalos de confianza del 95% (líneas punteadas).



**CAPÍTULO 5. LA INFLUENCIA DEL MEDIOAMBIENTE Y SUS EFECTOS  
SOBRE LA DINÁMICA DE LAS POBLACIONES DE PEZ ESPADA.**



## **CAPÍTULO 5 . LA INFLUENCIA DEL MEDIOAMBIENTE Y SUS EFECTOS SOBRE LA DINÁMICA DE LAS POBLACIONES DE PEZ ESPADA.**

### **5.1. INTRODUCCIÓN.**

En el capítulo 4 se describían las fluctuaciones en las abundancias relativas del stock del pez espada del Atlántico Norte entre los años 1983 y 2001 las cuales, en ocasiones, eran difícilmente interpretables biológicamente para un stock que se creía, hasta hace pocos años, sometido a una fuerte sobrepesca. En este capítulo se hace una discusión sobre estos indicadores previamente obtenidos en un escenario de posible relación con indicadores ambientales. Además, se pretende valorar, mediante la simulación de una población no explotada, durante casi un siglo, cual podría haber sido el potencial impacto de ciclos o fases de algunos índices ambientales tanto sobre los reclutamientos históricos del stock del pez espada del Atlántico Norte como sobre las tendencias de su biomasa a largo plazo, proponiéndose hipótesis que serían suficientes para explicar tales variaciones a lo largo de las décadas más recientes.

#### **5.1.1. La importancia del medio ambiente en la dinámica y comportamiento de las poblaciones de pez espada.**

Dentro de las especies de peces teleósteos de grandes migradores, las especies de túnidos (tribu Thunnini) y las denominadas especies de comportamiento “afín” (suborder Xiphioidei) presentan distribuciones geográficas generalmente muy amplias basadas en sus migraciones. La temperatura es uno de los elementos abióticos clave que condicionan sus respectivas áreas de distribución según sus límites de tolerancia térmica. Esto es así debido a los procesos de termorregulación que presentan estas especies, tanto mediante la termorregulación o alteraciones de sus sistemas fisiológicos internos como mediante la termorregulación por su comportamiento a partir de migraciones (en latitud, longitud y profundidad) y la selección de temperaturas dentro de rangos óptimos (BRILL, 1994). Además, en cada individuo, su mayor o menor capacidad de termorregulación y tolerancia a la temperatura externa frecuentemente depende de su biomasa corporal, de forma que los individuos más jóvenes (de menor biomasa corporal y menor capacidad de termorregulación interna) tienden a requerimientos térmicos externos más cálidos y restrictivos que en el caso de los adultos y grandes adultos. Estos requerimientos fisiológicos condicionan los límites de la distribución del conjunto de los individuos en el espacio (latitud-longitud-profundidad) y en el tiempo, según las condiciones oceanográficas existentes. La fisiología y comportamiento de estas especies es el fruto de su largo proceso evolutivo desarrollado durante millones de años, en equilibrio con el sistema pelágico en el que viven.

Aunque estas especies tienden a distribuirse preferentemente dentro de “hábitats oceanográficos ideales”, sin embargo sus fronteras no son estrictas y pueden variar dependiendo de la edad o de su biomasa corporal. Por tanto, sus distribuciones geográficas son variables según los condicionantes de temperatura del medio y de sus variabilidades interanuales o interdecadales en las capas superficiales (COLLETE & NAUEN, 1983). Si bien algunas de estas especies como el atún blanco (*Thunnus alalunga*) o el pez espada (*Xiphias gladius*) son muy cosmopolitas, sin embargo prefieren normalmente aguas cálidas o templadas según sea su periodo vital, usando preferentemente las aguas templadas para los procesos de crecimiento y alimentación intensiva (ganancia intensiva de biomasa corporal y energía) y las aguas cálidas para los procesos reproductivos y de desarrollo de las fases larvarias y juveniles. Por ello con frecuencia en estas especies, como es el caso del pez espada, se detectan claras segregaciones espaciales según su talla-edad y sexo (ver capítulo 7 para más detalle).

Los factores oceanográficos, a nivel local, regional o global, juegan un papel crítico en la distribución y comportamiento de estas especies y en su variabilidad espacio-temporal. En ocasiones, su disponibilidad local o regional a la actividad pesquera está condicionada por factores abióticos como las isotermas en las capas superficiales donde viven (GOUVEIA *et al.*, 1990, 2001; PEREIRA 1987; SANTANA *et al.*, 1987) o con indicadores oceanográficos a gran escala como es el índice de la Corriente del Golfo (GOUVEIA & MEJUTO, 2003).

### 5.1.2. La importancia del reclutamiento (R) en la dinámica del pez espada.

La producción dentro de los stocks de peces marinos está determinada por un complejo sistema de interacciones entre factores físicos, químicos y biológicos, con efectos positivos o negativos correlacionados. La metodología tradicional de dinámica de poblaciones de peces ha tratado de explicar el nivel de los reclutamientos anuales (R) en función de la fracción reproductora del stock (SSB) como factor único, o al menos el más determinante. Las aproximaciones metodológicas para definir la relación SSB/R han ido en general en dos direcciones, según se considere o no el efecto densodependiente del stock adulto sobre sus reclutamientos. Esta relación SSB/R ha sido estudiada y discutida en un gran número de stocks de peces teleósteos tanto pelágicos costeros como demersales. Las conclusiones alcanzadas en algunas de estas especies han sido con frecuencia generalizadas a otros stocks-especies muy alejadas biológicamente y estas asunciones usadas en sus evaluaciones y simulaciones (CADIMA, 2000; GULLAND, 1977; SPARRE & VENEMA, 1997). Un resumen de este debate ha sido descrito recientemente (LARRAÑETA, 1996), así como en los documentos previamente citados.

Varios autores han realizado una revisión de estos conceptos y expresado sus ideas en relación con otros factores, posiblemente más importantes, que podrían explicar la variabilidad interanual de los reclutamientos y de las tendencias de la biomasa de los stocks, al menos en algunas especies (BEARMISH, 1995; MARAVELIAS *et al.* 2000; TROMP, 1980). Después de examinar dichos trabajos, es evidente que una de las mayores dificultades en los estudios biológico-pesqueros es determinar y predecir el éxito o el fracaso de los procesos que condicionan los reclutamientos. Entre las variables postuladas por RUSSELL (1931) como condicionantes de la biomasa de una cohorte, posiblemente tres de ellas, el reclutamiento (R), la mortalidad natural (M) y el crecimiento individual (G), dependerían en mayor o menor medida de las condiciones ambientales, especialmente las dos primeras de ellas en el caso de las especies de grandes peces pelágicos migradores, como es el caso del pez espada.

Aunque la variabilidad interanual de los factores oceanográficos es frecuentemente asumida como aleatoria, con efecto menor o despreciable a largo plazo sobre la dinámica del stock, sin embargo esta variabilidad interanual de las condiciones oceanográficas es aceptada como una causa importante de la mayor o menor supervivencia de huevos, larvas y otras fases de prerrecluta, lo que contribuye de manera clave a la variabilidad interanual de los reclutamientos.

Los modelos de evaluación de stocks pocas veces tienen en consideración variables ecológicas o medioambientales las cuales, en ocasiones, podrían predecir mejor los reclutamientos anuales que la biomasa reproductora del stock. Además, estos cambios oceanográficos interanuales suelen estar incluidos dentro de fluctuaciones cíclicas o fases (interdécadas o multidécadas) las cuales frecuentemente no son coincidentes con las cortas series de datos pesqueros normalmente disponibles. Abundante información sobre la relación entre el clima y las tendencias de las poblaciones de peces ha sido recientemente acumulada (BEARMISH, 1995; BEARMISH & MCFARLANE, 1989) y da una idea de la importancia y la complejidad que supone su interpretación (<http://www.pfel.noaa.gov/research/climatemarine/cmffish/cmffishery.html>).

Los niveles absolutos de los reclutamientos (R) de algunas especies de túnidos de zonas templadas, tales como el atún blanco (*Thunnus alalunga*) y el atún rojo (*Thunnus thynnus*), estimados indirectamente a partir de Análisis de Población Virtual (VPA), han sido postulados como asociados con procesos atmosféricos como la Oscilación del Atlántico Norte o índice NAO (BORJA & SANTIAGO, 2003; SANTIAGO, 1998, 1999). Sin embargo estudios más recientes discuten la significación de estas correlaciones espurias en el caso de usar las estimaciones de reclutamientos obtenidas a partir de VPA (ver capítulo 5.3.2.), ya que los niveles absolutos de reclutas estimados mediante este modelo están sometidos a numerosas fuentes de variabilidad y error debidas a los múltiples parámetros de entrada y a las asunciones usadas (KELL *et al.* 2005). Las capturas de atún blanco juvenil (*Thunnus alalunga*) del Atlántico NE han sido también asociadas con el índice de la Corriente del Golfo, (ORTIZ DE ZARATE *et al.*, 1998). Las capturas históricas de atún rojo (*Thunnus thynnus*) en las ancestrales almadrabas establecidas sobre todo en el Mediterráneo, no pudieron ser correlacionadas con algunos de los índices atmosféricos a gran escala, pero sí fueron correlacionadas negativamente con las tendencias a largo plazo de la temperatura del aire, usada esta como una aproximación de la temperatura superficial del mar (RAVIER & FROMENTIN, 2004).

Aunque el índice atmosférico NAO es un indicador complejo que está conectado con variables atmosférico-oceanográficas de otras áreas geográficas lejanas, sin embargo NAO podría resumir una combinación de factores atmosférico-oceanográficos que afectan a la variabilidad del medioambiente marino y, por ello, a la dinámica oceanográfica y a la biología de las especies presentes en cada región. Las fluctuaciones de NAO han sido ligadas a un gran número de fluctuaciones en especies terrestres, de aguas dulces y especies marinas diversas, así como a las fluctuaciones en los reclutamientos de algunas especies. Por otra parte, estudios recientes en otras especies sugieren que las relaciones entre SSB/R muestran variabilidad significativa durante diferentes regímenes, los cuales deberían ser considerados para un gestión más eficaz de los stocks (CHEN, 2001).

### 5.1.3. Antecedentes sobre el reclutamiento del pez espada y el medioambiente.

Estudios iniciales sobre el pez espada del Atlántico Norte sugerían una llamativa coincidencia entre ciertos indicadores ambientales, resumidos por NAO, con los niveles de reclutamiento anual del pez espada estimados “directamente” a partir de abundante información procedente de la flota comercial. Esta hipótesis partía de sugerir la posible influencia de NAO, o más probablemente de factores atmosférico-oceanográficos asociados con este índice, en la conducta reproductiva del pez espada y/o en las tasas de mortalidad en las fases de prerreclutas (huevos, larvas y fases postlarvarias). La primera de ambas propuestas llevaría implícita el asumir, en alguna medida, una relación entre la fracción reproductora (SSB) y sus respectivos reclutamientos anuales (R). La segunda, por el contrario, proponía la influencia prioritaria de medio-ambiente sobre los niveles de reclutamiento, al menos para un amplísimo rango de variación de la SSB (MEJUTO, 1999).

Estos estudios iniciales, usando periodos muy cortos, sugerían esta llamativa coincidencia entre los valores del índice invernal de NAO (“winter NAO” o NAOw) y los respectivos niveles anuales de reclutamiento del pez espada del Atlántico Norte. Los valores bajos de NAOw (en torno a cero o negativos) parecían coincidir con valores relativamente altos o incluso muy altos de los reclutamientos del pez espada del Atlántico Norte estimados a partir de las tasas normalizadas de captura anual de la edad 1 (CPUE1), obtenidos para un periodo inicial de años en los que existían datos de la pesquería con el necesario nivel de fiabilidad y detalle.

Por otra parte, las amplias fluctuaciones anuales del índice NAOw estaban incluidas dentro de fluctuaciones o ciclos a medio y largo plazo (multidecadales) que podían ser identificados como ciclos o fases de aproximadamente 20-25 años (HURRELL, 1995), por lo que tales fases podrían tener

impactos importantes, no sólo sobre los niveles de reclutamiento anuales, sino también sobre los ciclos de los reclutamientos y, por tanto, sobre la tendencia de la biomasa acumulada del stock a lo largo de las décadas (MEJUTO, 1999).

Ciertamente parece complejo poder establecer una correlación estadísticamente robusta entre indicadores ambientales como NAO (u otros) y los niveles absolutos de reclutamiento (R) basándose en series de datos de la pesquería relativamente cortas. El objetivo de este capítulo no pretende definir la existencia o no de tales correlaciones, sino discutir algunos de estos aspectos que podría orientarnos en la interpretación de los datos de esta pesquería, entender la dinámica de este stock del pez espada y orientarnos en futuros trabajos en los que se intente explicar la relación entre variables ambientales y los reclutamientos. Por otra parte, se pretende también ayudar a explicar las posibles causas de los inusualmente altos reclutamientos del pez espada del Atlántico Norte observados en los años más recientes, pese a que los niveles de biomasa del stock reproductor fueron los más bajos de toda la serie histórica conocida, así como simular en base a ciertos supuestos las tendencias históricas a largo plazo de biomasa del stock, que serían esperables bajo escenarios de diferentes fases o ciclos ambientales.

#### **5.1.4. El índice atmosférico NAO y la estrategia reproductiva del pez espada.**

El objetivo de cualquier estrategia reproductiva es tratar de alcanzar la mayor biomasa posible dentro de los condicionantes bióticos y abióticos del ecosistema donde habita, en equilibrio con el medioambiente y con el nivel trófico que ocupa. La biomasa reproductora de un stock (SSB) ha sido generalmente definida como la fracción de biomasa de las hembras con igual o mayor talla- edad que la de primera madurez, la cual puede ser definida por diferentes umbrales o métodos según la especie. Sin embargo, en el caso de los peces gran migradores, como el pez espada, este concepto debe modificarse para ajustarse a su comportamiento biológico. Aunque la estrategia reproductiva del pez espada aún no es completamente conocida (ver capítulo 8), se podrían definir dos límites o hipótesis entre las cuales debería encontrarse:

- a) Un “regreso a casa” mecánico de los reproductores (“natal homing”) y de fidelidad a la puesta (“spawning site fidelity”) mediante migraciones estacionales y mecánicas para la reproducción, a partir de un aprendizaje filogenético, condicionado por los factores oceanográficos.
- b) Una distribución aleatoria de los individuos adultos y puesta oportunista, según las condiciones oceanográficas reinantes donde se encuentre.

En el caso del pez espada, y posiblemente en otras especies de peces grandes pelágicos, su comportamiento migratorio es complejo y multifactorial, lo que seguramente es la clave de su éxito en el ecosistema durante millones de años. Por una parte, los datos de marcado-recaptura (BURNET *et al.*, 1987; GARCÍA-CORTES *et al.*, 2000, 2003; JONES, 1997; SEDBERRY & LOEFER, 2001) no apoyarían que su comportamiento migratorio sea estrictamente “mecánico”. Además, la CPUE nominal por trimestre y área de los peces adultos (potencialmente reproductores) capturados por la flota española indican que los adultos son capturados en zonas inapropiadas para la puesta y con gónadas en reposo, en cualquier trimestre del año (GARCÍA-CORTES *et al.*, 2006; GARCÍA & MEJUTO, 1988; MEJUTO *et al.*, 1999, 2005). Por tanto, debería descartarse una migración mecánica del stock reproductor, de patrón estacional o temporal para efectuar la reproducción.

Por otra parte, los análisis genéticos recientes (ALVARADO-BREMER *et al.*, 1995, 1996, 1998, 1999, 2005a, 2005b; CHOW & NOHARA, 2003; CHOW *et al.*, 1997; CHOW & TAKEYAMA, 2000; GREIG *et*

al.,1999, 2000; KOTOULAS *et al.*, 1995, 2003; REEB *et al.*, 2000) sugieren una compleja estructuración de los diferentes stocks de pez espada dentro de los diferentes océanos, con cierta mezcla entre individuos de los diferentes stocks, pero probablemente con tasas de mezcla muy escasas o despreciables entre los stocks reproductores y sus áreas de puesta respectivas, lo que apoyaría una “estrategia reproductiva fiel” en la selección de sus áreas de puesta. Tal como se ha indicado, el comportamiento migratorio del pez espada (en latitud, longitud y profundidad) está condicionado por factores interrelacionados:

- a) Factores exógenos que condicionan su fisiología: condiciones medioambientales tales como T<sup>a</sup> del medio en el que vive (no sólo en superficie) y hace sus migraciones, disponibilidad de alimento, luminosidad, etc.
- b) Factores endógenos tales como requerimientos alimenticios (energía) y reproducción, relacionadas directamente con la estrategia de supervivencia como individuo y como especie (BRILL, 1994; MEJUTO *et al.*, 1998; MEJUTO & HOEY, 1991).

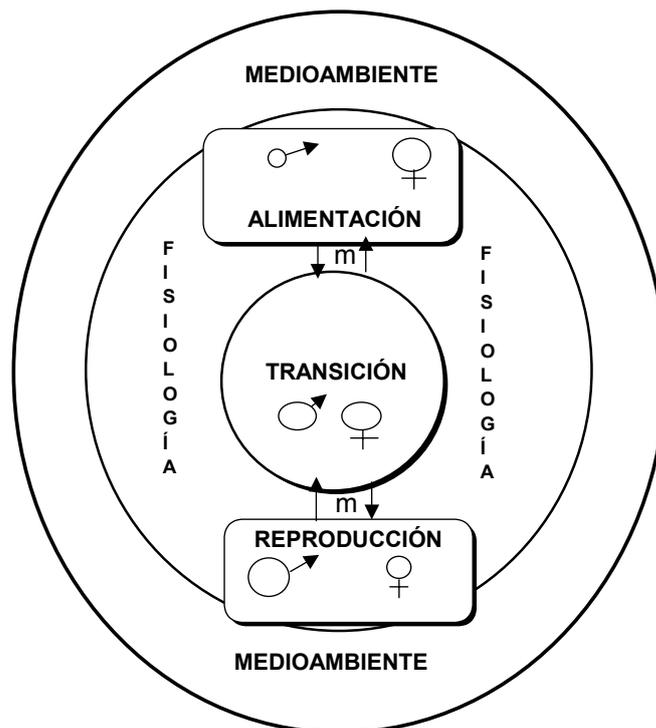


Figura 43. Diagrama de los principales factores que afectarían a la vida y al comportamiento del pez espada y a sus regiones biológicas consideradas (alimentación, reproducción y transición). En las zonas de reproducción, la abundancia de los machos suele ser varias veces superior a la abundancia de las hembras. m = procesos migratorios entre regiones biológicas. (Figura tomada y traducida de MEJUTO, 1999).

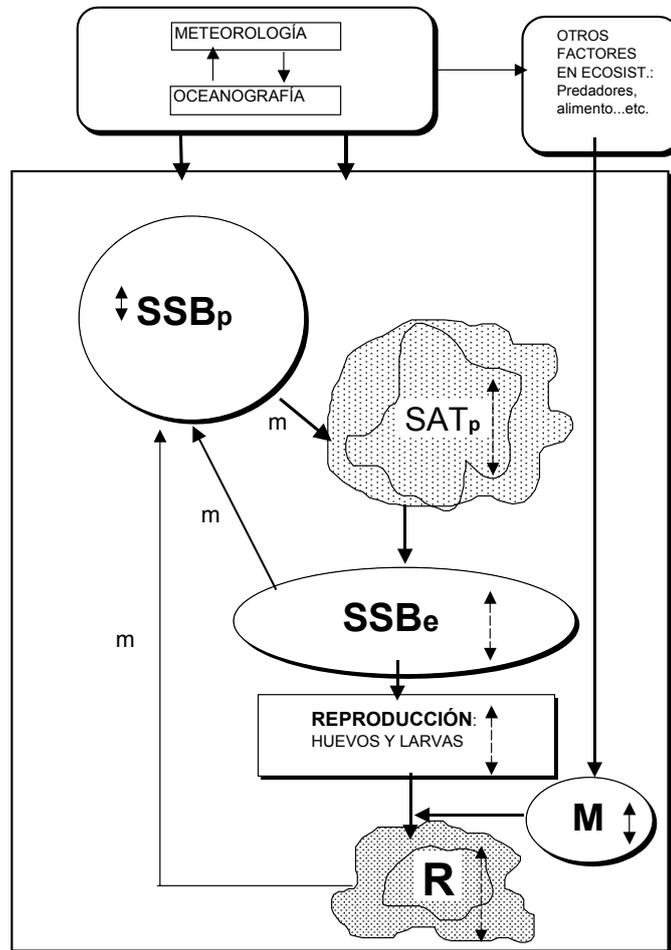


Figura 44. Hipótesis de los factores medioambientales, bióticos y abióticos, que afectan a las estrategias, a las tácticas reproductivas del pez espada y a sus valores absolutos de reclutamiento anual. SSBp = biomasa potencialmente reproductora del stock. SATp = áreas-épocas potencialmente aptas para la reproducción. SSBe = biomasa efectiva del stock reproductor. M = mortalidad natural. m = procesos migratorios. (Figura tomada y traducida de MEJUTO, 1999).

Esta generalización sin embargo no debe aplicarse *sensu stricto*, inflexiblemente al 100% de los individuos incluidos en la fracción SSB y mucho menos en base al calendario. En caso contrario, la actividad de las flotas comerciales persiguiendo a la fracción adulta de los stocks hubiera sido mucho más eficaz a lo largo de la historia de la pesquería, ya que ésta es la fracción precisamente más demandada comercialmente y deseada por las flotas.

El comportamiento migratorio del pez espada debería esperarse geográficamente más amplio en las zonas con altos gradientes térmicos y con corrientes fuertes que en otras zonas menos demandantes de energía, dada la alta termodependencia de esta especie. Por ello, a menor biomasa corporal del pez espada existe una mayor termodependencia y menor capacidad para compensar las pérdidas de calor que le provoque el estar en un medio térmicamente hostil. Este condicionante de la temperatura del medio sobre sus migraciones es limitante tanto a nivel de las capas más superficiales (latitud y longitud) como en sus migraciones y persistencia en profundidad (figura 43).

Por ello, la talla de primera madurez en el pez espada es un indicador que debe considerarse sólo necesario, pero no suficiente, para que se inicie el proceso de la reproducción. De ahí lo relativamente restringidas que fueron descritas hasta ahora sus áreas de reproducción en el Atlántico Norte y Sur, ligadas a regiones oceánicas occidentales, tanto en éste como en otros océanos (ver capítulo 8 para más información).

Este proceso de inicio de la reproducción estaría condicionado por un grupo de factores correlacionados, algunos de los cuales son endógenos (tales como su talla-edad y procesos hormonales, su energía corporal disponible o índice de condición, factores genéticos, etc.) y otros factores abióticos exógenos (tales como la  $T^a$  en la zona-profundidad donde habita, la distribución de la termoclina, la estratificación de las capas superficiales, corrientes y deriva de las masas de agua, oxígeno disuelto, etc.). Por otra parte, la influencia de factores bióticos exógenos, tales como la concentración de machos en las áreas de puesta y sus comportamientos sociales reproductivos, debería tenerse en especial consideración en esta especie como factores adicionales en el proceso de inducir la reproducción en las hembras (figura 44).

Estas variaciones ambientales, que se manifiestan a una escala espacio-temporal, tienen considerables implicaciones en la organización de los flujos migratorios y en la variabilidad de la dimensión de las áreas-épocas con condiciones óptimas para la realizar la puesta (*SATp=potential spawning areas-times*). Además, los factores abióticos y bióticos del medioambiente en estas zonas *SATp*, y en las zonas adyacentes a donde derivan los huevos y las larvas, tendrían un efecto considerable sobre la mortalidad natural (*M*) de las fases de prerreclutas. Es precisamente en estas fases cuando el problema de la supervivencia se hace más crítico y donde son esperables tasas de mortalidad natural relativamente superiores a las de fases vitales posteriores (CADIMA, 2000).

Las hembras en reposo reproductivo y con tallas en torno o superiores a la talla de primera madurez para las hembras, cuyo peso gonadal en reposo se correspondería con unos 300 gr, ya tienen disponibles millones de ovocitos en sus fases primordiales, pero están bloqueados en su desarrollo (GARCÍA & MEJUTO, 1988). El proceso de maduración de los ovocitos para la puesta (ARROCHA, 2002) es activado por un complejo proceso hormonal (POTTS & WOOTTON, 1984) que se inicia cuando los factores endógenos y los exógenos le son favorables. En el caso del pez espada, cuando una fracción adulta (*SSBp*) se encuentra en una zona con condiciones potencialmente adecuadas (*SATp*) se desencadenarían en escasos días los procesos hormonales para las fases de la maduración de los ovocitos y para la puesta. Esta fracción de la *SSBp* que se encuentra en una *SATp* en un momento dado, se convierte en la fracción efectiva de la biomasa del stock reproductor (*SSBe*). De ella dependerían los aportes para los reclutamientos, así como los

niveles de los reclutamientos si se asumiera una relación  $SSBe/R$ . Por tanto, esta primera aproximación implicaría asumir una relación  $SSBe/R$ , pero no necesariamente una relación  $SSB/R$  como en otras muchas especies de teleósteos, especialmente de las especies demersales.

El amplio periodo de puesta junto con las relativamente restringidas zonas de puesta descritas hasta ahora para el pez espada del Atlántico (ARROCHA, 2002; AROCHA & LEE, 1996; MEJUTO & GARCÍA, 1997; TAYLOR & MURPHY, 1992), la mayor abundancia de machos en las zonas de reproducción que producen un patrón característico de sex-ratio por talla (ver capítulo 7) así como la distribución espacio-temporal de los adultos, apoyarían esta estrategia reproductiva del pez espada del Atlántico, ligada normalmente con áreas restringidas en las regiones occidentales de ambos hemisferios, con características oceanográficas muy características.

La puesta tiene lugar por lotes, aproximadamente una puesta por cada dos días, con un promedio de 92 lotes durante el principal periodo de puesta (ARROCHA, 2002; AROCHA & LEE, 1996). Por tanto, el periodo de maduración y puesta de la fracción  $SSBe$  continuaría en esa área-época (SSTp) en la medida que las hembras dispongan de suficiente energía.

Dado que las SATp pueden variar entre años o fases, se esperarían cambios temporales en la  $SSBe$ , incluso para los mismos niveles de  $SSBp$ . Por tanto, ¿la expansión o contracción de las SATp podrían inducir cambios sustanciales en los niveles absolutos de los reclutamientos anuales?

Por otra parte, y como segunda alternativa, dado que en las fases de prerrecluta (huevos, larvas y fases post-larvianas) existe una mayor mortalidad natural como consecuencia de factores bióticos y abióticos, es evidente que  $R$  estará altamente condicionado por dichos factores. Por tanto, las posibles relaciones  $SSB/R$ , de existir, se esperarían en principio bastante imprecisas (CADIMA, 2000). Ciertamente, la supervivencia de los prerreclutas durante sus fases críticas serían altamente sensibles a los cambios medioambientales (variaciones oceanográficas tales como temperatura, deriva por vientos y corrientes superficiales, profundidad de la termoclina, estratificación de las capas superficiales, etc.), o por otros factores importantes como la disponibilidad de alimento y la depredación, tanto en las SATp como en las áreas adyacentes a las cuales las larvas y prerreclutas derivan. En este sentido, las hipótesis de “áreas de retención” y de “hábitats adecuados” (ILES & SINCLAIR, 1982; SHARP, 1980; citados por LARRAÑETA, 1996) quizás servirían para explicar cambios importantes en la mortalidad natural ( $M$ ) sobre estas fases de prerreclutas en ciertos años, provocando incrementos o descensos de los reclutamientos bajo ciertas condiciones ambientales (¿ligadas con el índice NAO?) las cuales podrían tener mayor influencia que el tamaño del stock reproductor. Consecuentemente, ¿un valor anual o una fase negativa de NAO podría ir asociada a fenómenos ambientales positivos que jugarían a favor de los reclutamientos, en beneficio de la biomasa del stock?

Por contra, si valores bajos o negativos de NAO coincidieran con los mayores reclutamientos observados en la serie, ¿esto podría indicar que cierta relajación en la circulación atmosférica y los cambios en los factores oceanográficos asociados podría tener efectos beneficiosos sobre los niveles absolutos de los reclutamientos anuales, bien a través de incrementos en la SATp- $SSBe$  y/o por descensos en la  $M$  de los prerreclutas y de los individuos menores de un año?

Si la relación entre el índice NAO (o sus factores oceanográficos ligados) y  $R$  fuera confirmada y dado que el periodo 1982-1995 fue en su conjunto con NAO altamente positivo, ¿sería esperable que los reclutamientos durante dicho periodo hubieran estado por debajo de los niveles medios esperados a largo plazo? Si este fuera el caso, ¿altas tasas de mortalidad por pesca junto con bajos reclutamientos sostenidos en el tiempo podrían haber sido la causa de la caída repentina de la

biomasa del stock reproductor y de su biomasa total debido a las pérdidas acumuladas de biomasa a través de los años más recientes? Estas y otras preguntas se tratan de responder en este capítulo.

#### **5.1.5. La Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y su importancia.**

La Oscilación del Atlántico Norte, conocida por sus siglas inglesas NAO (North Atlantic Oscillation), es una variable atmosférica a gran escala de interés para todos los meteorólogos, oceanógrafos y paleoclimatólogos que tengan interés en estudiar y comprender la variabilidad interanual, multidecadal y su predictibilidad.

Es también de interés para aquellos científicos que estudian los impactos de la variabilidad del clima en los aspectos biológicos y socio-económicos más diversos. Esta Oscilación, que es medida mediante su índice denominado NAO (HURRELL, 1995), domina los patrones de circulación atmosférica en el Atlántico Norte. Una porción importante de la variabilidad climática en el Atlántico está asociada con este índice NAO, que es un patrón dominante en la variabilidad de la circulación atmosférica y por tanto del clima asociado.

De ahí su reconocida importancia, no sólo en el clima local sino también sobre los múltiples ecosistemas, con impactos sobre sus comunidades terrestres y marinas (HURRELL *et al.*, 2003).

El índice NAO se refiere a la oscilación meridional en las masas atmosféricas que tienen sus centros de acción respectivos cerca de Islandia y sobre la región subtropical del Atlántico desde las Islas Azores hasta la Península Ibérica. Afecta por tanto a los campos de alta presión subtropical y de baja presión subpolar del Atlántico Norte, respectivamente (HURRELL, 1995, 1996; HURRELL & DICKSON, 2003; HURRELL & VAN LOON, 1997).

El índice NAO se calcula a partir de la diferencia entre las anomalías normalizadas de la presión a nivel del mar en ambos centros de acción. Aunque NAO puede ser normalizado a partir de diferentes periodos de tiempo y a partir de observaciones de presión obtenidas en diferentes estaciones meteorológicas de ambos centros de acción, lo cierto es que los diferentes índices NAO no difieren significativamente entre ellos en sus tendencias (STEPHENSON, com. pers.).

Este índice atmosférico puede ser definido con carácter anual, mensual o estacional, aunque normalmente se calcula para los meses invernales (conocido como “winter NAO” o NAOw) por ser en este periodo cuando su intensidad es mayor, mostrando una significativa variabilidad interanual e interdecadal. El clima en este sector del Atlántico Norte, y en el entorno de sus continentes, presenta normalmente una variabilidad muy considerable en un amplio rango de escalas temporales. Mejorar el conocimiento de esta variabilidad parece esencial para evaluar el impacto potencial del cambio climático debido a los factores antropogénicos.

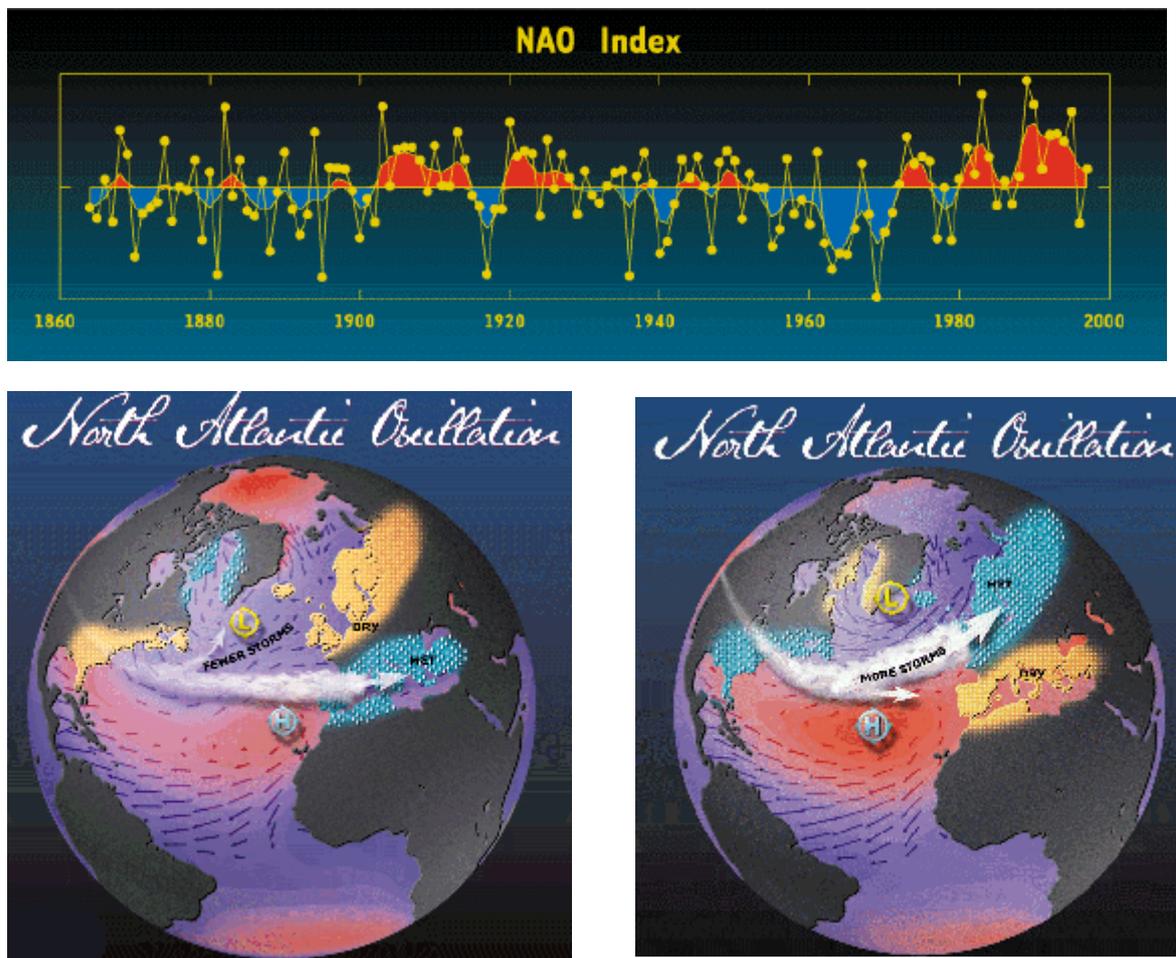


Figura 45. Evolución del índice de Oscilación del Atlántico Norte (NAO) entre 1862 y 1998 (arriba) y situaciones atmosféricas resumidas de sus fases negativa (abajo izquierda) y positiva (abajo derecha), (según <http://www.ldeo.columbia.edu/>).

Un hecho remarcable de NAO, que ha motivado muchos de los estudios más recientes, fue su llamativa tendencia altamente positiva - fase muy positiva- observada en la mayoría de los últimos 30 años del siglo pasado, sin precedentes en la serie histórica observada o incluso en la reconstruida a partir de la paleoclimatología de varios siglos. La mayor anomalía positiva se registró a partir del año 1989 cuando se alcanzó el record positivo de NAO. Sin embargo, en alguno de los últimos años del siglo XX se observó un cambio llamativo de NAO, concretamente en el invierno de 1995-1996, pasando a valores muy negativos que estarían ligados con cambios climáticos en las latitudes medias del Atlántico Norte, así como en los ecosistemas terrestres y marinos de la región. Después de este valor tan negativo de NAO se pasó a una fase de valores moderadamente positivos o negativos, sugiriendo la ruptura del ciclo tan positivo observado a partir del año 1989 (figura 45).

Cuando NAO está en su fase positiva, las anomalías de bajas presiones en las regiones sobre Islandia y a través del Ártico se combinan con anomalías de altas presiones a lo largo de la

región subtropical del Atlántico Norte, provocando mayores vientos de componente Oeste, o más persistentes, a lo largo de las latitudes medias del Atlántico Norte, cambios en la corriente cálida del Golfo, condiciones más frías en las regiones del Atlántico NW, un clima más cálido que su promedio en el Norte de Europa, condiciones más frías y secas en el Sur de Europa, así como condiciones más húmedas desde Islandia hasta Escandinavia, entre otras. Este patrón de anomalía positiva es conocido desde los años treinta del siglo pasado. Por el contrario, la fase negativa de NAO implica vientos de componente Oeste más débiles o menos persistentes, más frío y sequía en el Norte de Europa y más calidez y humedad en el Sur de Europa, etc, (DICKSON, 1997; HURRELL *et al.*, 2003).

Como resumen de algunos de los efectos descritos como ligados a la fase positiva de NAO cabrían destacar: Una mayor fuerza de los vientos subpolares de componente Oeste, desde la superficie de la tierra hasta capa más baja de la estratosfera; inviernos más suaves en Europa a la vez que inviernos más severos en Canadá y en el NW del Atlántico; cambios pronunciados en las precipitaciones a nivel local, con avances de los glaciares en las regiones del Norte de Europa y la reducción de los glaciares alpinos; cambios en el grosor del hielo en los mares de Labrador y Groenlandia; descensos de la presión media a nivel del mar en la región Ártica y cambios en las condiciones físicas de sus masas de agua; cambios en la intensidad de las corrientes de convección en los mares de Labrador, Groenlandia e Islandia con influencia negativa sobre la circulación de retorno del Atlántico Meridional; cambios en la altura de las olas; cambios en las cosechas de Europa; cambios en la producción de zooplancton y la distribución de algunas especies de peces; cambios en la dinámica de poblaciones de algunos mamíferos terrestres; cambios en los consumo humano de hidrocarburos, etc. Todos estos fenómenos, y otros muchos, parecen relacionarse en alguna medida con la tan positiva y reciente fase de NAO.

Por otra parte, los niveles tan positivos y sin precedentes de NAO, observados en las décadas recientes, han contribuido al debate sobre el origen natural y/o antropogénico del cambio climático. Este ciclo tan positivo de NAO se ha postulado como el factor más importante que explicaría en calentamiento superficial sobre Europa y Asia en dicho periodo, así como el enfriamiento superficial en las regiones continentales del Atlántico NW. El índice NAO explicaría también un tercio de la varianza interanual de la temperatura superficial observada en los últimos 60 ó 70 inviernos del siglo pasado.

Dado que NAO es un indicador natural de la variabilidad atmosférica en el Atlántico Norte, se podría argumentar que la mayoría del calentamiento observado recientemente, en las últimas décadas del siglo pasado a nivel global, podría no estar relacionado con el aporte de gases de efecto invernadero durante el pasado siglo. Sin embargo, este punto de vista ignoraría la posibilidad de que los factores antropogénicos puedan influir significativamente sobre los modos de la variabilidad natural climática, incluso más que el hecho de encontrarnos en una u otra fase del ciclo natural de NAO. La superficie terrestre, la estratosfera e incluso las causas antropogénicas pueden influir tanto sobre su fase como sobre su amplitud. Sin embargo, hasta el momento, parece no existir consenso sobre el proceso, o procesos, que son responsables de la baja frecuencia de variación de NAO durante esa fase tan positiva, incluyendo su tendencia al alza, sin precedentes, de las últimas décadas del siglo pasado. En todo caso, parece evidente que el índice NAO durante ese periodo tan positivo mostró un alto grado de significación estadística en relación a la variabilidad interanual que excede la variabilidad interdecadal observada durante más de 100 años de registros meteorológicos instrumentales. Al igual que los datos paleoclimáticos sugieren sin lugar a duda la existencia en el pasado de claras fases positivas y negativas de NAO, los datos extremadamente positivos de este índice durante ese periodo reciente de unos 30 años carecerían de precedentes en los pasados 5 siglos.

Ha sido reconocido que las fluctuaciones de la temperatura superficial del mar (SST) y la fuerza de NAO están relacionadas, de forma que las SST interactúan con las fuerzas atmosféricas en una escala temporal de sólo unos meses y que el estado de la superficie oceánica tiene a su vez influencia en las variaciones atmosféricas. Los procesos terrestres son responsables de los cambios decadales de NAO, encontrándose que el cambio hacia una fase más positiva de NAO durante el periodo invernal del año 1989 fue acompañado por importantes cambios en la cubierta nevada de las regiones de Eurasia y América del Norte. Todo esto ha permitido que estudios recientes se enfoquen hacia la posibilidad de predecir con un año de antelación la fase de NAO esperable a partir fenómenos atmosféricos ligados con las temperaturas superficiales del mar observadas meses antes, de forma que en este momento ya es posible predecir cual será la fase de NAO un año más tarde con una probabilidad de acierto del 67% (RODWELL *et al.*, 1999) (más información en <http://www.metoffice.com/research/seasonal/regional/nao/index.html>).

En resumen, el índice NAO, calculado de forma anual, estacional o mensual, es capaz de resumir en alguna medida muchos de los complejos sistemas atmosférico-oceanográficos que interactúan en el Atlántico Norte y que son la causa de fenómenos asociados que actúan teleconectados sobre los diferentes ecosistemas, tanto terrestres como marinos. Sin embargo, el índice NAO no debe interpretarse como la causa directa, en sí mismo, de los fenómenos bióticos y abióticos observados, sino sólo un síntoma que indica y aglutina efectos atmosférico-oceanográficos, por lo que podría ser muy útil para ayudar a interpretar fluctuaciones en las poblaciones marinas debido a la combinación de factores naturales (bióticos y abióticos) ajenos a la actividad pesquera y que son difíciles de identificar individualmente. En el caso del pez espada que nos ocupa, y concretamente en el del stock del Atlántico Norte, se observan cambios recientes en sus niveles de reclutamiento anuales (ver capítulo 4.3.) que resultan difícilmente explicables a partir de la propia dinámica intrínseca del stock con los enfoques metodológicos tradicionales.

#### **5.1.6. El índice invernal de NAO (NAOw).**

El índice invernal de NAO (conocido como *winter NAO*), cuyo acrónimo será NAOw, se obtiene para cada año a partir de las diferencias de presión atmosférica a nivel del mar (SLP) observadas durante los meses entre diciembre y marzo, previa normalización a partir de la división de cada presión estacional por la desviación estándar observada. En este caso, los valores de SLP usados para la definición de este índice se basan en la diferencia de la presión normalizada a nivel del mar (SLP) entre Lisboa (Portugal) y Reykiavik (Islandia), cuya normalización en este caso ha sido realizada en relación al periodo de 120 años (1864-1983). Este periodo invernal de NAO se ha definido como crítico para explicar los fenómenos atmosférico-oceanográficos asociados de los meses inmediatamente posteriores, con considerable efecto sobre los vientos y las corrientes superficiales dominantes en el Atlántico Norte y por tanto sobre su clima. La relación entre NAOw y las anomalías en la temperatura superficial del mar (SST) de algunas áreas del Atlántico Norte han sido recientemente sugeridas (KROVNIN, 1995), incluidas aquellas zonas del Atlántico NW en las que se han descrito procesos de reproducción del pez espada.

#### **5.1.7. El problema de la definición del índice NAO.**

Entre otros muchos elementos que contribuyen a las diferentes definiciones e incertidumbre de NAOw, que seguramente podrían ser ampliamente debatidos por los expertos, se pueden detectar algunos elementos que pueden dificultar la definición de dichas relaciones. Es evidente que NAO puede ser definido a partir de las observaciones SLP obtenidas en diferentes estaciones terrestres (Lisboa, Azores, Cádiz, Bermudas, etc.). Diversos trabajos han comparado las diferentes series

obtenidas encontrándose en algunos casos ciertas diferencias entre los índices anuales y consistencias entre otras, aunque las tendencias y fases de todas ellas no muestran diferencias significativas. No obstante es muy posible que la selección de las estaciones para la definición de NAOw y su relación con factores oceanográficos deba adaptarse a las características biológicas de las diferentes especies y a los aspectos espacio-temporales de los parámetros oceanográficos asociados que se sospecha que influyen en la variabilidad del reclutamiento.

El periodo temporal usado por diferentes autores para la normalización de las anomalías SLP no es el mismo. En algunos casos, las anomalías de SLP de cada estación fueron normalizadas relativas a un periodo de 120 años (1864-1983), como el usado en nuestro caso, mientras que otros autores normalizan frente a periodos diferentes, tales como 1864-1994 (HURRELL, 1995).

Es evidente que NAO podría resumir globalmente la variabilidad de ciertos parámetros atmosféricos-oceanográficos de determinadas áreas del Atlántico Norte. No obstante es importante indicar que un cambio geográfico en la localización de los focos que sirven para definir a NAO puede reducir o aumentar los efectos oceanográficos asociados esperables. Por ello, aunque es difícil la predicción de ciertos parámetros oceanográficos y biológicos de áreas concretas sólo a partir de los simples valores de NAO, en cualquier caso podría ser útil para identificar el tipo de fase dentro del cual nos encontramos.

#### 5.1.8. Efectos ligados con NAO.

Cuando se definen este tipo de indicadores atmosféricos como NAO y su posible relación con variables biológicas, en una primera fase suele existir una cierta euforia o predisposición a tratar de explicar cualquier tipo de fenómeno en base a ellos, seguido generalmente de un segundo periodo de incredulidad absoluta. Los ciclos de NAO han sido relacionados con multitud de fluctuaciones atmosféricas y con cambios en los ecosistemas naturales terrestres, marinos y de aguas dulces, con los ciclos de producciones agrícolas, calidad de los vinos de determinadas zonas y hasta con las fluctuaciones del consumo y los precios de ciertos combustibles usados para la calefacción. Algunos de estos efectos oceanográficos y atmosféricos asociados ha sido resumidos en publicaciones de varios autores (DICKSON, 1997; LAVIN *et al.*, 2000) o en presentaciones orales (OTTERSON, 2000<sup>1</sup>; GREENE, 2000<sup>1</sup>; STRAILE, 2000<sup>1</sup>; ENFIELD, 2000<sup>1</sup>; ATKINGSON, 2000<sup>1</sup>).

Durante la reunión AGU2000<sup>1</sup> sobre NAO fueron apuntados algunos fenómenos oceanográficos asociados que deberían ser investigados en relación con los aspectos biológicos y de reclutamiento de algunos stocks. Ciertos cambios atmosféricos y oceanográficos son explicados en base a NAO, pero produciendo efectos distintos según la región geográfica. Desde el punto de vista oceanográfico, varios autores postulan la correlación estrecha entre las fluctuaciones de NAO y las anomalías de SST (más información en [www.met.rdg.ac.uk/cag/NAO/bibliotit.html](http://www.met.rdg.ac.uk/cag/NAO/bibliotit.html)).

Para este tipo de estudios pesqueros parece conveniente establecer estas relaciones definiendo previamente ventanas espacio-temporales adecuadas relacionadas con el comportamiento y la distribución de la especie para la reproducción, así como definiendo las áreas-épocas estimadas de reclutamiento. En cualquier caso, la definición de este tipo de relaciones implica una línea de investigación continuada en el tiempo que difícilmente puede ser abordable unilateralmente ya que precisa de equipos multidisciplinares y series temporales muy largas.

---

<sup>1</sup> Presentaciones orales en la Conferencia Internacional sobre NAO (Ourense, España, 2000) de la American Geophysical Union (AGU), 2000 Florida Avenue N.W. Washington, DC 20009-1277 USA.

Los ciclos de NAO han sido bien relacionados con los regímenes de vientos dominantes y con variaciones de los giros oceánicos, presuntamente afectando al transporte de calor, a la deriva de las capas superficiales y la consiguiente deriva de huevos y larvas. Por tanto, ciclos positivos o negativos de NAO condicionarían la dirección y fuerza de los mismos.

Pero quizás uno de los puntos de mayor interés sea la relación de NAO con índices de transporte de masas de agua, posición de la termoclina, el calentamiento o enfriamiento del giro subpolar, con la disponibilidad de zooplanton de algunas especies y con la posición del sistema formado por las corrientes de Labrador y del Golfo, entre otros. Algunos de estos efectos ya han sido postulados como los causantes principales de la variabilidad de los reclutamientos y crecimiento de algunas especies (DRINKWATER, 2000<sup>1</sup>; MARAVELIAS *et al.*, 2000).

### **5.1.9. La corriente del Golfo, el índice de la Corriente del Golfo (GSNW) y su importancia.**

La Corriente del Golfo juega el papel principal en la distribución del calor en el hemisferio Norte y es una parte esencial del sistema climático del Atlántico Norte. Por tanto, su variabilidad puede tener un impacto decisivo en la variabilidad del clima en este hemisferio. La estructura de esta corriente, la cantidad o masa de agua que transporta y sus propiedades físico-químicas, muestran variaciones geográficas y temporales, con fases de naturaleza estacional, interanual e interdecadal (TRACEY & WATTS, 1986)

El índice de la Corriente del Golfo, cuyo acrónimo es GSNW -del inglés Gulf Stream NW index-, da idea de las alteraciones que sufre esta importante corriente cálida en cuanto a sus desplazamientos (anomalías) hacia el Norte o hacia el Sur en relación a su posición media en el Atlántico Noroeste (TAYLOR, 1996; TAYLOR & STEPHENS, 1980). Estos cambios latitudinales de la posición de la Corriente del Golfo han sido asociados con cambios en la temperatura, cambios en la abundancia de zooplancton en varias regiones, incluyendo aquellas muy alejadas situadas en el Atlántico Nordeste (TAYLOR, 1995, 1996; TAYLOR & STEPHEN, 1980). Varios autores (TAYLOR, 1996; WILLIS *et al.*, 1995; WU & GORDON, 2002) han indicado que estas variabilidades podrían estar ligadas con efectos climáticos locales.

Por otra parte, las fluctuaciones de GSNW se correlacionan en cierto modo con valores encontrados dos años antes en las variaciones de índice del Niño (ENSO) del Océano Pacífico (TAYLOR *et al.*, 1998). La posición de la Corriente del Golfo, al menos en las 3 ó 4 últimas décadas, también se correlaciona claramente con el índice invernal de NAO (NAOw), de forma que NAOw podría explicar el 60% de la varianza observada en la posición de esta corriente durante el periodo indicado (figura 46). Valores positivos y elevados del índice NAOw apoyarían el desplazamiento del GSNW hacia el Norte con un cierto desfase temporal que, según los autores, se ha estimado entre 1 y 2 años (FRANKIGNOUL *et al.*, 2001; JOYCE *et al.*, 2000; TAYLOR & STEPHENS, 1998).

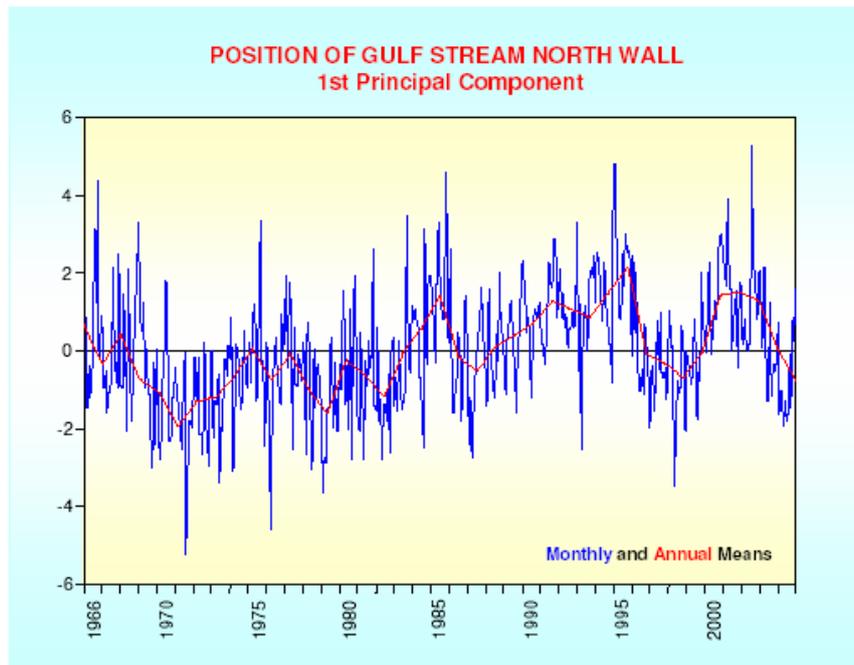


Figure 46. Valores medios mensuales (línea azul) y anuales (línea roja) del Índice de la Corriente del Golfo (índice GSNW), (según <http://www.pml.ac.uk/gulfstream/Position%20of%20Gulf%20Stream.pdf>).

A lo largo de las décadas pasadas recientes han sido observados importantes cambios en la Corriente del Golfo, particularmente al inicio de los años setenta del siglo pasado, siendo incluso más pronunciados a principio de los años ochenta, de cuyos niveles no se conocían precedentes. Como resultado de ello, en los años recientes de finales del siglo pasado, la Corriente del Golfo se ha desplazado considerablemente hacia el Norte en relación con sus niveles de posición media, de forma que estos valores son los más altos registrados durante la segunda mitad del siglo pasado (FRANKIGNOUL *et al.*, 2001).

Por ello estos cambios interanuales e interdecadales en el índice GSNW podrían tener mucha repercusión sobre la dinámica oceánica del Atlántico Norte (GREENE, 2001; SATO & ROSSBY, 1995) y de forma especial sobre los procesos de transporte de las capas superficiales y sus anomalías, que tendrían impacto sobre la dinámica biológica de los stocks de peces (DRINKWATER, 2000; DRINKWATER *et al.*, 2002; GOMES *et al.*, 1995; MONTEVECCHI & MYERS, 1997; MURAWSKI, 1993; VALLIN *et al.*, 1999), y por tanto sobre su distribución geográfica y rutas migratorias altamente dependientes de los aspectos térmicos de las capas más superficiales así como sobre las fases pre-reclutas con comportamiento pasivo.

## 5.2. MATERIAL Y MÉTODOS.

Los análisis iniciales se realizaron seleccionando un primer periodo temporal entre 1983-1998 con datos pesqueros adecuados durante el cual, en general, existe un alto grado de estabilidad en la fase altamente positiva del índice invernal de NAO (sin precedentes conocidos en los últimos 5 siglos). Sin embargo, dentro de esta fase tan positiva, se observaron también algunos años puntuales con índices negativos, o incluso muy negativos en alguno de los últimos años de esa serie, los cuales sirvieron como contraste para ver el comportamiento de los reclutamientos.

El índice invernal de NAO (conocido como *winter NAO* o *NAOw*), (HURRELL, 1995), normalizado al periodo 1864-1983, fue usado en estos análisis para intentar establecer su relación con los niveles de reclutamiento observados. Este índice NAOw ha sido usado por otros autores en estudios similares sobre especies de túnidos templados (BORJA & SANTIAGO, 2003; SANTIAGO, 1998, 1999).

Para este periodo inicial seleccionado entre 1983-1998, se calculó el índice de reclutamiento de la edad 1 (CPUE1) a partir de unas 7000 mareas realizadas por la flota española de palangre de superficie dirigida al pez espada en el stock del Atlántico Norte, siguiendo la misma metodología de estandarización previamente descrita (ver capítulo 4.2.).

El valor NAOw del año  $y$  fue contrastado contra la CPUE1 del año  $y+1$ . Un ajuste polinómico de tercer grado fue ajustado a estos pares de valores para su posterior uso en el modelado de la dinámica de una población simulada durante casi un siglo, partiendo del año 1900. Además, una regresión local suavizada tipo “loess” S-plus® fue ajustada a los pares de observaciones CPUE1-NAOw a efectos descriptivos de los patrones observados.

El periodo entre 1900 y 1998 fue el usado para simular cuales serían las tendencias de una población a largo plazo bajo ciertas asunciones. Asumiendo la relación polinómica obtenida entre los pares de índices de NAOw y sus reclutamientos anuales (CPUE1), se simuló cuales serían las tendencias de una población no sometida a explotación durante casi un siglo. La reconstrucción retrospectiva de los valores absolutos de los reclutamientos anuales ( $R_y$ ) durante ese periodo simulado se obtuvo a partir de:  $R_y = R_s * (CPUE1_{y+1} / CPUE1_{s+1})$ , donde  $R_y$ = reclutamiento en el año  $y$ ,  $R_s$ = reclutamiento observado en el año estándar (1982).

Este reclutamiento estándar del año 1982 fue estimado en torno a 1 millón de peces a partir de los resultados del VPA para este stock (ANÓNIMO, 1997, 1998, 2000, 2003). La selección de este año estándar se basó en la convergencia retrospectiva que el VPA realiza hacia los años iniciales de la serie histórica analizada mediante ese modelo, lo que a priori ofrece mayores garantías sobre la estimación de los niveles de reclutamientos absolutos. En todo caso, esta asunción carecería de impacto sobre los resultados aquí mostrados, ya que sólo afectaría a las estimaciones obtenidas en cuanto a los niveles absolutos de los reclutamientos y las biomásas, pero no a los niveles relativos entre años, por lo que las conclusiones no se verían cualitativamente afectadas.

Las tasas instantáneas de mortalidad natural ( $M$ ) asumidas en la simulación fueron 0,3 y de 0,2 para las edades entre 0 y 2 años y para edades mayores, respectivamente. Los supervivientes de cada cohorte al año siguiente ( $N_{t+1}$ ) se calcularon a partir de la ecuación  $N_{t+1} = N_t \cdot e^{-M}$  (GULLAND, 1977).

*Capítulo 5. Influencia del medioambiente y efectos sobre las poblaciones de pez espada.*

Para describir las tendencias del stock simulado a lo largo del siglo XX, fue usado un periodo más restringido, comprendido entre 1920-1998, en el que todas las cohortes reclutadas a principio de siglo ya estarían plenamente incorporadas al stock al cabo de 20 años, por lo que el número de cohortes contribuyendo a la biomasa anual del stock simulado ya sería el mismo durante todo este periodo considerado.

Los pesos medios por edad fueron obtenidos a partir de las ecuaciones de crecimiento en talla por sexo (EHRHARDT *et al.*, 1996), asumiendo un sex-ratio del 50% dentro de cada edad y la relación talla peso:  $\text{Peso vivo} = 0,0000038 \times \text{Talla}^{3,242775}$  (GARCÉS & REY, 1984), obtenida a partir de 2.306 observaciones en un amplísimo rango de tallas 84 - 279 cm (4 - 331 kg).

A efectos descriptivos, también se establecieron las relaciones obtenidas entre el índice NAOw y las respectivas CPUE1 mediante una regresión local suavizada tipo “loess” (S-plus®). El periodo inicial se amplió a periodos más amplios, desde 1983 hasta los años 1999 y 2001, respectivamente, para evaluar la sensibilidad de esta relación con el incremento de los años incluidos en la serie.

En este último caso, los datos de CPUE1 fueron obtenidos a partir de unas 7500 mareas disponibles entre 1983-2001 (ver capítulo 4.3). Los índices actualizados tanto de NAOw como del índice anual de la Corriente del Golfo (GSNW), (TAYLOR & STEPHENS, 1980), (en [www.pml.ac.uk/gulfstream/](http://www.pml.ac.uk/gulfstream/)) del año  $y$  fueron contrastados con esta serie obtenida de CPUE1 del año  $y+1$ .

### 5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los índices de reclutamiento o CPUE estandarizada de las edades 1 (CPUE1) y de la fracción adulta de las edades 5+ (CPUE5+) del pez espada del Atlántico Norte, para el periodo inicialmente seleccionado (1983-1998), mostraron tendencias muy diferentes. Por un lado, el índice estandarizado de CPUE1 mostró una tendencia relativamente estable en torno a 0,3 - 0,4 peces por cada mil anzuelos, excepto durante el periodo intermedio 1986-1989 en el que se alcanzaron valores puntuales de hasta 0,6 peces. Esta CPUE1 alcanzó su nivel máximo de 0,8 peces en 1997 y decreció ligeramente en 1998 aunque manteniéndose en los niveles más altos de la serie.

Por el contrario, la CPUE estandarizada de la fracción adulta (CPUE5+) mostró una tendencia generalmente decreciente desde el inicio de la serie, aunque con un cambio de tendencia y ligero incremento sobre 1992, coincidiendo con la fuerza de las cohortes reclutadas en torno a 1986-1989 (figura 47). Ambas tendencias comparadas, si bien sugieren una buena continuidad entre las fuertes cohortes reclutadas a mediados de los años ochenta y los respectivos incrementos de la fracción adulta algunos años más tarde, sin embargo no permiten establecer una relación entre la CPUE5+ (en el año  $y$ ) y la correspondiente CPUE1 (en el año  $y+1$ ) que sirva para sustentar una relación biológicamente coherente entre el número de individuos reproductores (o sus biomásas) y sus respectivos reclutamientos, ya que en todo caso parecería que a mayor número de reproductores se esperarían menores reclutamientos (figura 48).

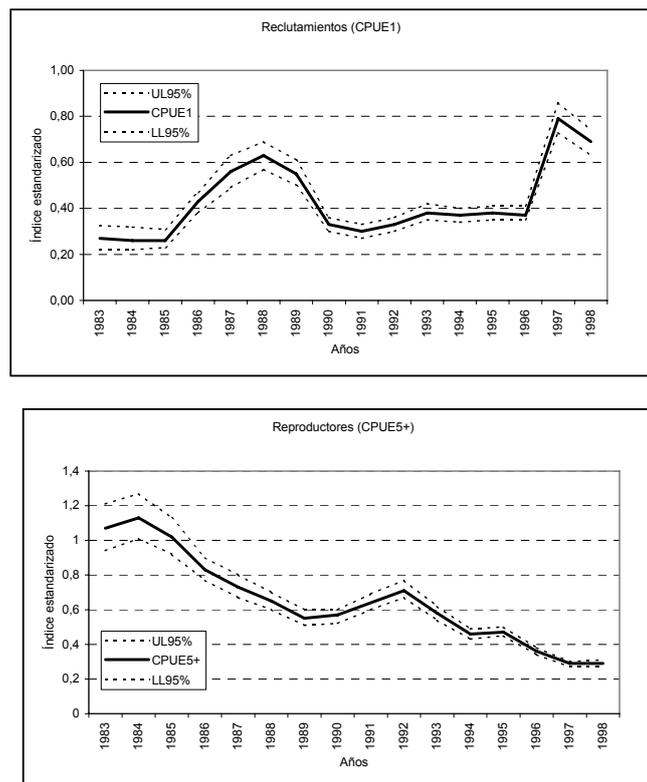


Figura 47. Tendencias en el reclutamiento anual (CPUE1) –arriba- y de la fracción reproductora del stock (CPUE5+) –abajo- del pez espada del Atlántico Norte, en número de peces, durante el periodo inicial 1983-1998. Valores medios anuales (línea continua) y sus respectivos intervalos de confianza del 95% (línea punteada).

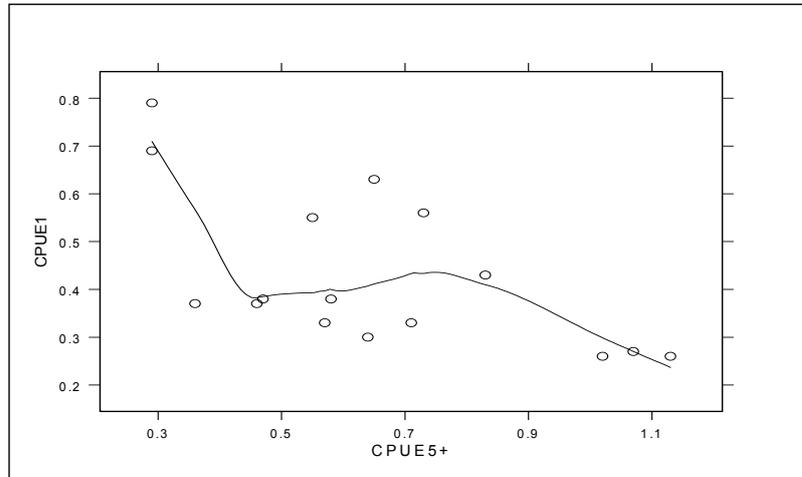


Figura 48. Relación entre el número de reproductores (CPUE5+) en el año  $y$  y con sus reclutamientos anuales respectivos (CPUE1) en el año  $y+1$ .

La figura 49 muestra la evolución del índice NAOw durante el periodo 1900-1998, así como dos posibles ajustes de suavización de los datos. Podrían ser definidas varias fases multianuales y multidécadales para casi un siglo de observaciones atmosféricas disponibles. Las amplias fluctuaciones anuales de NAOw podrían ser además enmarcadas dentro de fases o ciclos multidécadales de aproximadamente 20-25 años de duración. A partir de cualquiera de ambas suavizaciones es evidente que:

- ✓ El periodo de los 25 primeros años de la serie, el índice NAOw estuvo en general por encima (fase positiva) de los valores medios observados históricamente.
- ✓ Entre 1925 y 1950 el índice NAOw fluctuó de forma considerable en torno a cero.
- ✓ Entre los años desde 1950 hasta inicios de los años setenta, NAOw mostró una tendencia generalmente decreciente, con valores mínimos alcanzados en torno al año 1970.
- ✓ Por el contrario, los periodos entre mediados de los años ochenta y mediados de los noventa NAOw mostró los valores más positivos observados durante casi un siglo.
- ✓ Los periodos 1950-1970 y 1970-1995 fueron fases opuestas, muy negativa y muy positiva, respectivamente.
- ✓ El año 1996 (invierno 1995-1996) fue un punto de clara discontinuidad en el ciclo tan positivo de las décadas más recientes, mostrando el valor más negativo de los últimos 30 años, después de la fase histórica más positiva tanto sobre la serie observada como sobre la reconstruida por la paleoclimatología de cinco siglos. El valor de NAOw de 1996 produjo una reorganización oceánica a gran escala en los años siguientes (ANÓNIMO, 2001).

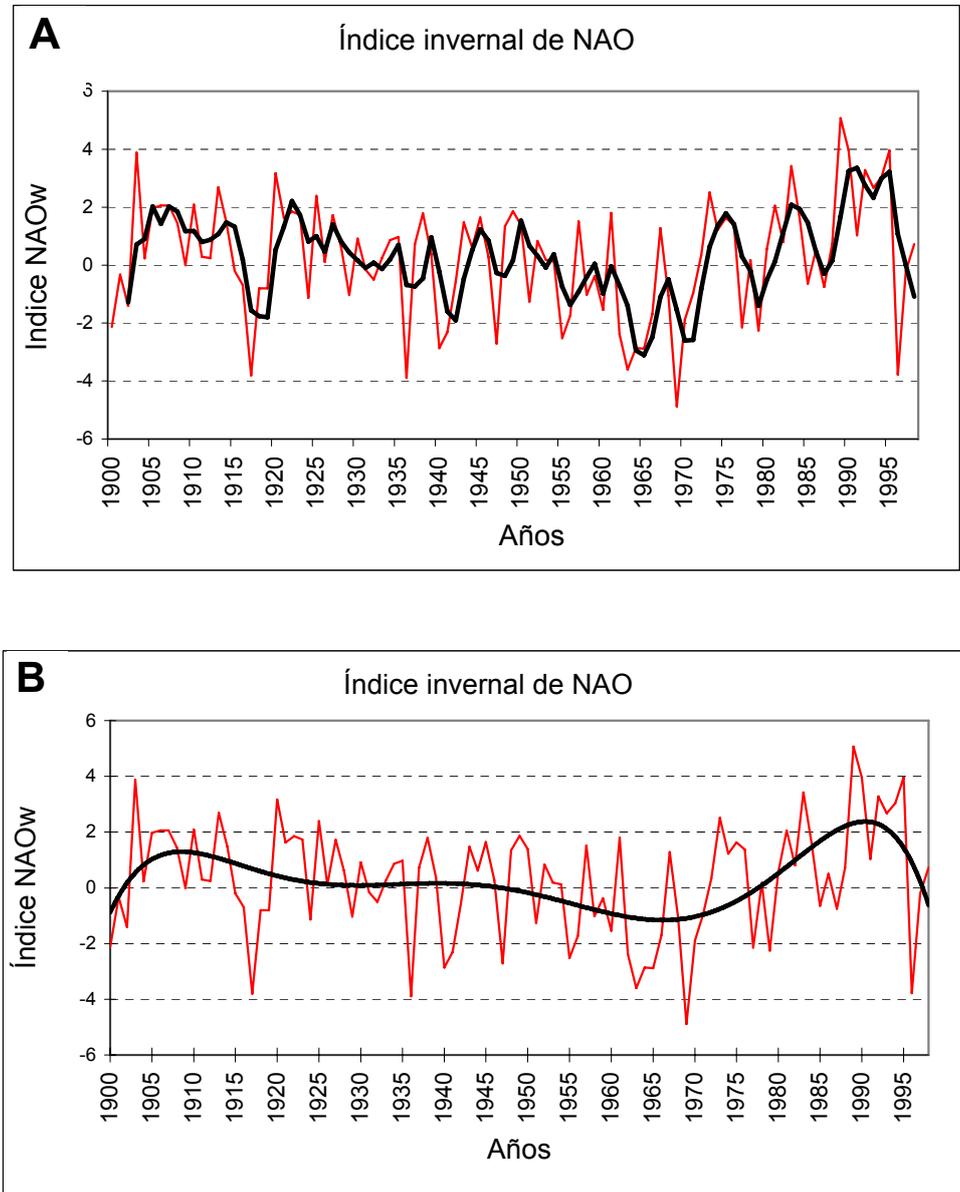


Figura 49. Tendencias del índice invernal de NAO (NAOw) durante el periodo 1900-1998. A: variabilidad multianual (media móvil de 3 años). B: variabilidad multidecadal (ajuste polinómico de sexto grado).

La evolución de NAO durante el periodo 1980-1997, en el que se enmarca el periodo con datos pesqueros inicialmente usados, así como la posible suavización de las observaciones anuales, indica que el periodo 1982-1995 fue marcadamente positivo (media de NAOw= +2,04), especialmente durante el sub-periodo 1989-1995 (media de NAOw = +3,29).

Aunque la serie con datos de CPUE1 usados en este análisis inicial es muy corta como para poder generalizar conclusiones, sin embargo, es llamativo observar que los valores más altos de CPUE1 habrían coincidido con los valores más bajos de NAOw, próximos a cero o negativos.

La CPUE1 de mediados de los años ochenta se incrementa coincidiendo con valores bajos de NAOw durante dicho periodo. La CPUE1 de 1997 es la mayor observada en toda la serie y coincide con el valor más bajo de NAOw, observado en 1996 (figura 50). Por otra parte, el valor de CPUE1 del año 1998 fue en torno al valor esperado a partir del valor de NAOw de 1997.

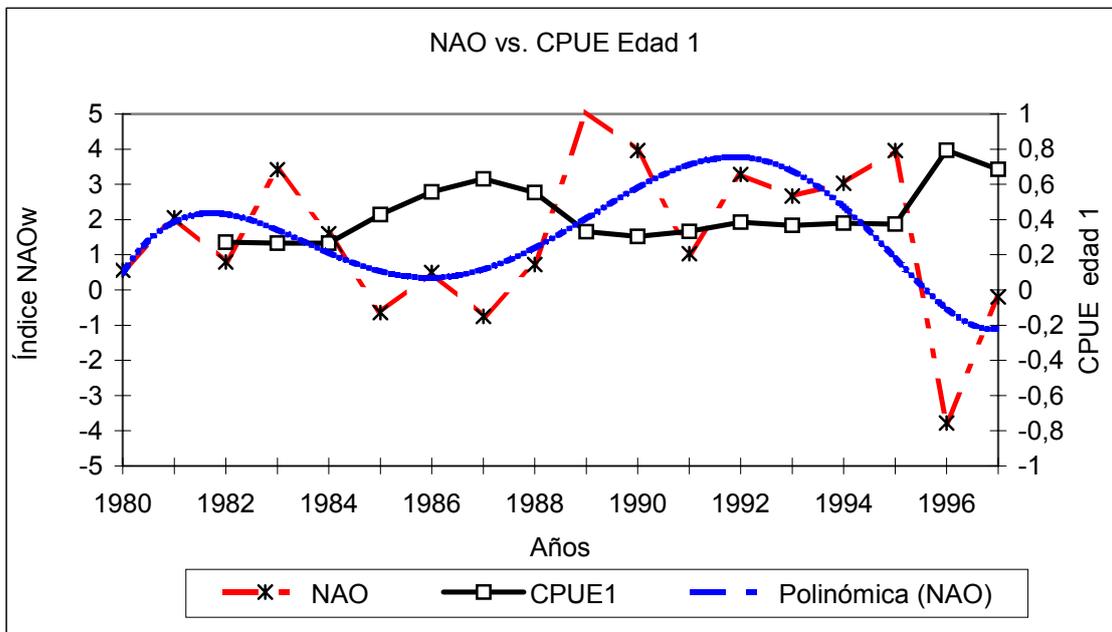


Figura 50. Valores del índice invernal NAO (NAOw) durante el periodo 1980-1997 (año y), suavización polinómica de NAOw e índice de reclutamiento (CPUE1), entre los años 1983-1998.

Un ajuste polinómico de estos pares de valores indica que NAOw explicaría el 66% de la variabilidad observada en la CPUE1 durante ese periodo analizado (figura 51). Adicionalmente, la regresión local suavizada tipo “loess” corroboraría esta visión en cuanto a que los valores negativos de NAOw favorecerían, con alta probabilidad, mayores índices de reclutamiento (figura 52).

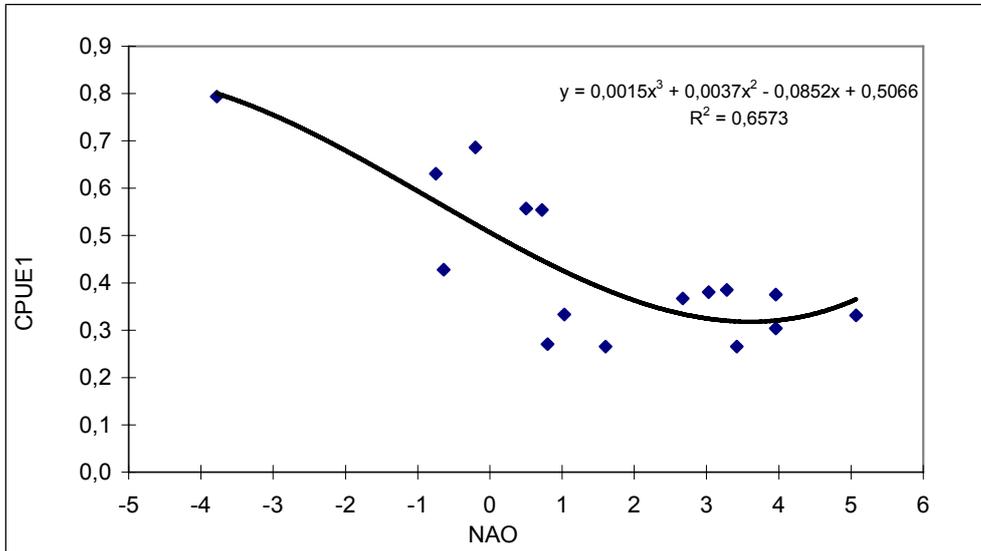


Figura 51. Ajuste polinómico de tercer grado de los pares de valores de NAOw entre los años 1982-1997 (año  $y$ ) y los reclutamientos (CPUE1) del periodo inicial analizado 1983-1998 (año  $y+1$ ).

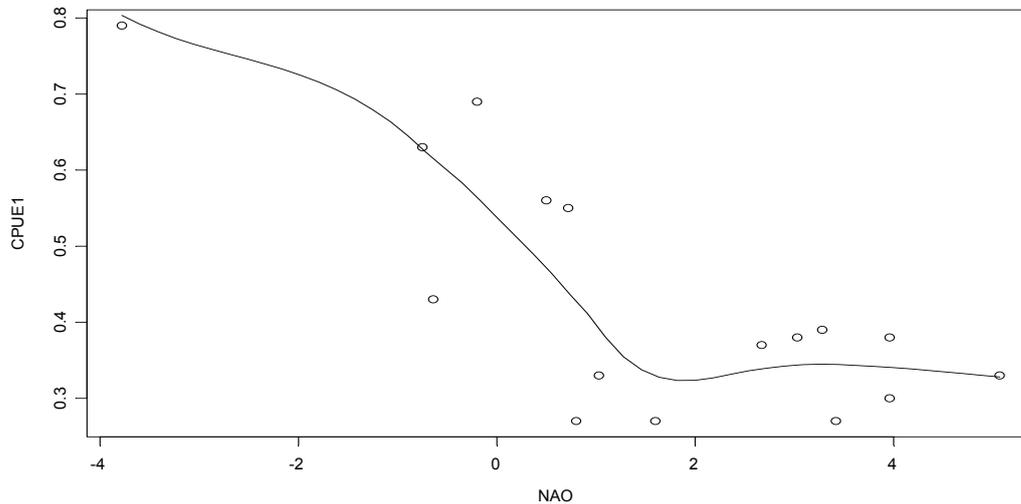


Figura 52. Valores esperados de CPUE1 estandarizada (línea continua) del pez espada del Atlántico Norte en relación con el índice invernal de NAO (NAOw) un año antes, usando una regresión suavizada tipo "loess" para el ajuste de los pares de valores observados (círculos). Los periodos de NAO y CPUE1 considerados fueron los mismos de la figura 51.

Los niveles anuales de reclutamiento absoluto a lo largo del siglo pasado, estimados en base a asumir esta relación polinómica entre R y NAOw, sugerirían fluctuaciones anuales y ciclos multidecadales en la población simulada durante el siglo XX. Los reclutamientos más altos del siglo se esperarían en torno a los años setenta y los más bajos en torno a los años noventa, con excepción de los últimos años del siglo XX en los que se detectan valores de NAOw negativos o moderadamente positivos debido a un esperado cambio o suavización de ciclo (HALPERT & BELL, 1997), lo cual permitiría augurar, bajo tales premisas y para los años posteriores a 1997, incrementos considerables de los reclutamientos sobre niveles próximos anteriores, esperándose niveles de reclutamientos similares a los estimados para los años setenta (figura 53).

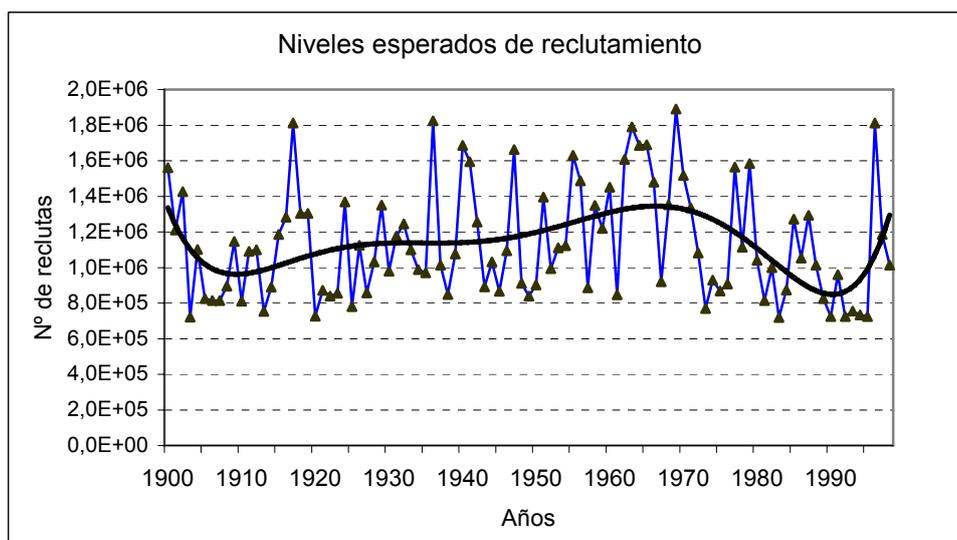


Figura 53. Reclutamientos anuales esperados entre 1900 y 1998 (línea azul) y fases multidecadales (línea gruesa negra) asumiendo la relación obtenida entre el índice invernal de NAO (NAOw) y los reclutamientos anuales.

Es decir, bajo ese escenario, los últimos 25 años de la fase positiva o incluso muy positiva de NAOw podrían haber sido muy negativos en la tendencia general de los niveles de reclutamiento del pez espada del stock del Atlántico Norte, alcanzándose los mínimos reclutamientos del siglo a principios de los años noventa. El fenómeno contrario podría haber sucedido justo en la fase anterior, 1950-1970, cuando se podrían haber alcanzado los niveles más altos de los reclutamientos durante ese siglo.

Partiendo de estos niveles de reclutamientos anuales, se construyeron las tendencias de la población, en número de peces, en biomasa y sus pesos medios anuales. Bajo estas premisas, en un escenario sin explotación pesquera, se esperaría un incremento moderado y progresivo de la abundancia absoluta en número de peces de las edades 0-15 años desde el año 1920 hasta 1960, con una subida muy significativa en los años inmediatamente posteriores, alcanzándose los valores máximos de abundancia en número de peces en torno al año 1970. A partir de esos años, existiría una progresiva e importante caída en la abundancia absoluta en número de peces motivada por los bajos niveles de reclutamientos anuales durante dicha fase, hasta alcanzar los niveles más bajos de ese siglo a mediados de los años noventa (figura 54). Sin embargo, en los últimos años de este siglo XX ya se vislumbraría un incremento de la abundancia absoluta de estas edades 0-15 años.

Similar conclusión podría obtenerse para los individuos de edades reproductoras (5-15 años de edad) aunque con tendencias lógicamente más suavizadas y con el desfase temporal que le correspondería, no detectándose aún incremento alguno en los años más recientes de la serie al no haberse incorporado, de forma significativa, los abundantes reclutamientos de los años más recientes a las respectivas edades adultas (figura 54).

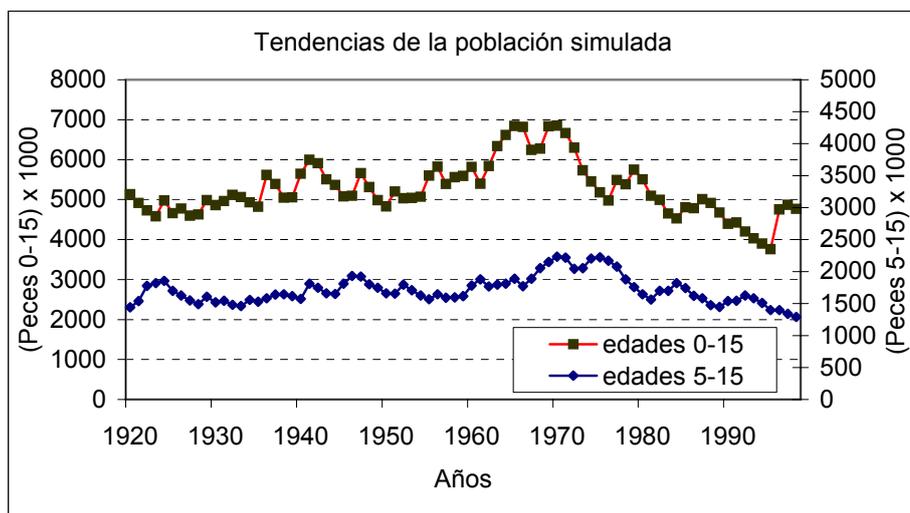


Figura 54. Tendencias de la población simulada en el periodo entre 1920-1998, en número de peces de edades 0-15 años (escala izquierda) y de edades 5-15 años (escala derecha).

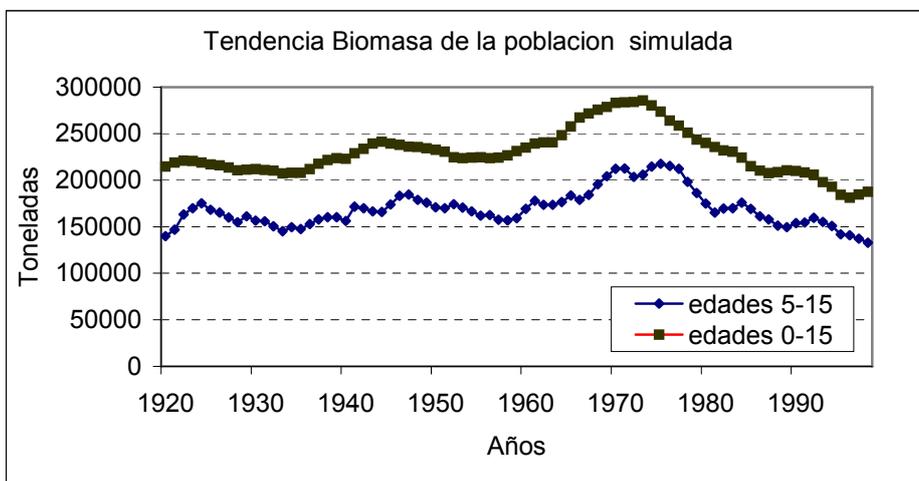


Figura 55. Tendencias de la población simulada en el periodo entre 1920-1998, en biomasa absoluta, de las edades entre 0-15 años y entre 5-15 años, respectivamente.

Como consecuencia de ello, la biomasa global del stock se habría incrementado suavemente y progresivamente, con fluctuaciones, desde el año 1920 hasta mediados de los años sesenta, alcanzándose en los años inmediatamente posteriores los máximos de biomasa del siglo a mediados de los años setenta.

A partir de estos años, sucedería una disminución progresiva y continua de la biomasa de la población hasta alcanzar su mínimo nivel durante los años noventa (figura 55). Similar conclusión se obtiene cuando esta biomasa es expresada en valor relativo, re-escalando los valores de la serie sobre sus respectivas biomasa medias durante todo el periodo (figura 56).

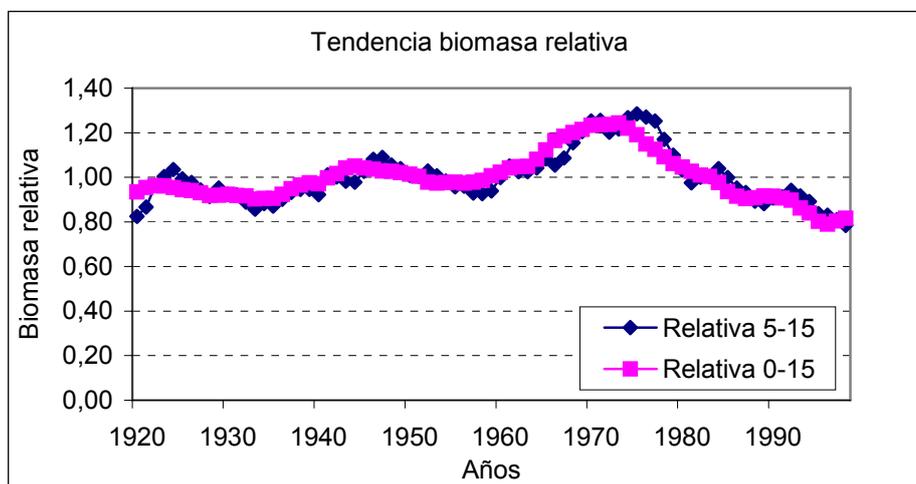


Figura 56. Tendencias de la población simulada, durante el periodo 1920-1998, en biomasa relativa, reescalada sobre sus respectivos valores medios, para las edades entre 0-15 años y entre 5-15 años, respectivamente.

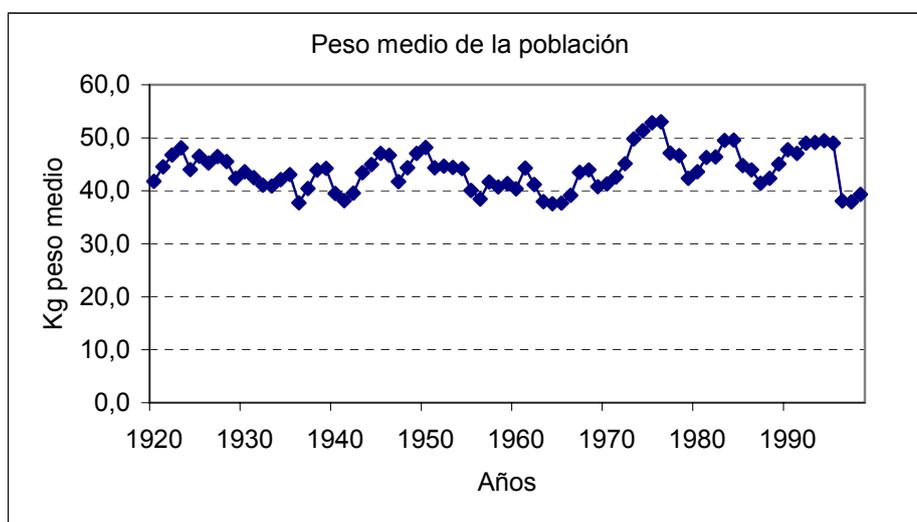


Figura 57. Tendencias del peso medio anual de la población simulada, durante el periodo 1920-1998 para las edades entre 0-15 años.

El peso medio de la población durante todo el periodo simulado fluctuaría con mayor probabilidad dentro del rango 40-50 kg (peso vivo individual). Los reclutamientos ocurridos en los diferentes periodos habrían tenido cierto impacto sobre los pesos medios de la población virgen.

Durante el periodo 1950-1970, de altos reclutamientos, los pesos medios anuales rondarían con mayor probabilidad los 40 kg mientras que en el período entre 1970-1995 el peso medio sería en general algo superior, sobrepasando en algunos años los 50 kg.

Los altos reclutamientos de los tres últimos años de esta serie habrían producido un descenso sustancial en el peso medio del stock hasta alcanzar niveles similares a los de las décadas 1950-1970 (figura 57).

Por ello, asumiendo la relación entre NAOw y R descrita y dado que el periodo 1982-1997 tuvo en su conjunto valores muy positivos de NAOw, los reclutamientos habrían estado durante ese periodo muy por debajo de los valores medios esperados a largo plazo. Si ese fuera el caso, los bajos reclutamientos sostenidos durante las décadas recientes, partiendo de una situación altamente favorable de abundancia de este stock sobre los años setenta, coincidiendo además con elevada intensidad pesquera en los años ochenta y noventa de expansión de las pesquerías (capítulo 3) podrían explicar la rápida reducción de la abundancia del stock durante esas últimas décadas del siglo, especialmente de su fracción asumida como reproductora (edades 5+) que es observada por la drástica caída de la CPUE5+ obtenida a partir de los datos de la flota española y que es confirmada por otras flotas que faenan en el Atlántico Norte. Este índice CPUE5+ indica que entre 1983 y 1998 se habría producido un descenso en la abundancia en número de peces reproductores del orden del 73%.

Sin embargo, los datos de la población simulada para ese mismo periodo, sin aplicar mortalidad por pesca alguna, indicarían que la abundancia en número de reproductores podría haber descendido en aproximadamente un 24%. Por tanto, si ambas estimaciones se comparan, se podría deducir que el descenso del stock reproductor durante ese breve periodo de años quizás podría haber sido causado sobre todo por la actividad pesquera, pudiendo haber contribuido el medioambiente en sólo una parte al descenso en la abundancia de reproductores CPUE5+ durante dicho periodo (figura 58). Además, la simulación sugiere que en ningún caso, incluso bajo un escenario sin pesca, se podría haber producido una recuperación de la abundancia de los peces reproductores durante ese periodo, con esos niveles de reclutamiento anual.

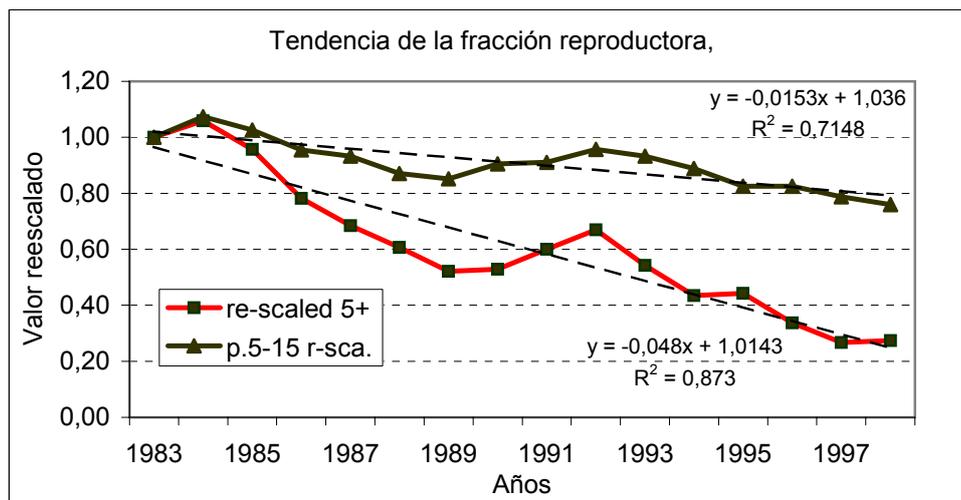


Figura 58. Tendencias de la fracción reproductora del stock, en número de peces, para una población simulada no sometida a explotación pesquera (línea negra) y para la fracción reproductora (peces de edades 5+) a partir de la CPUE de la flota comercial (línea roja), con sus correspondientes tendencias, a partir de valores reescalados sobre sus respectivos valores iniciales (1983).

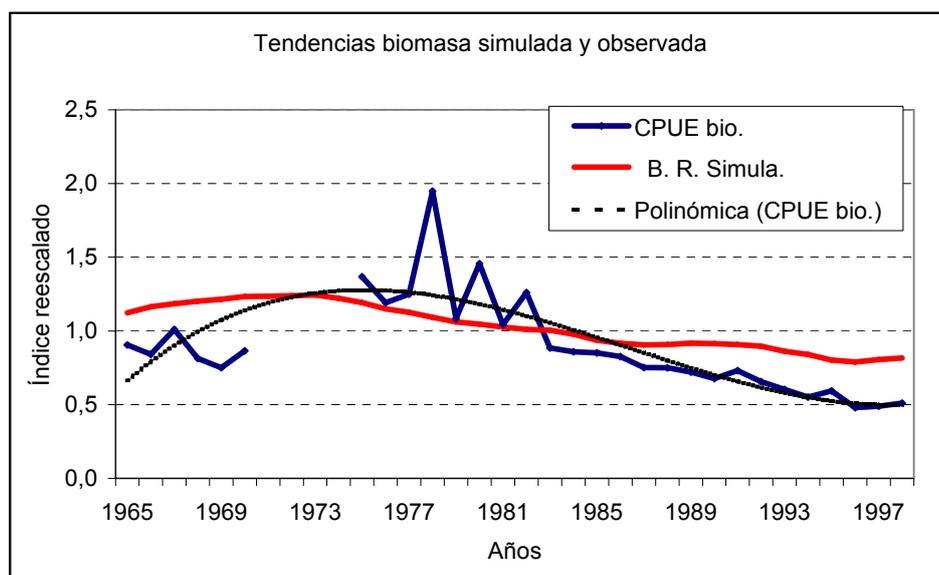


Figura 59. Tendencias de la biomasa relativa del stock (edades combinadas) obtenidas a partir de la simulación de la población no sometida a explotación pesquera (línea roja). Tendencia de la biomasa relativa a partir del índice combinado de biomasa de las flotas más importantes que faenan en el Atlántico Norte (España+EEUU+Canadá+Japón), (Hoey *et al.*, 2003), (línea continua azul), y ajuste polinómico de su tendencia durante ese período (línea discontinua negra).

De forma similar, la tendencia relativa de la biomasa de la población para todas las edades combinadas, obtenida a partir de la estandarización de datos de CPUE en peso (índice de biomasa) combinando datos de las flotas más importantes (España+EEUU+Canada+Japón) que faenan en el Atlántico Norte (HOEY *et al.*, 2003) confirmarían abundancias relativamente altas de este stock durante los años setenta, después de un periodo sin actividad pesquera en las flotas más importantes del Atlántico Oeste (EEUU y Canadá) durante esos años debido a sus regulaciones nacionales por el contenido de mercurio (ver capítulo 3). Por este motivo no es posible conocer con precisión lo que sucedió en la pesquería, a nivel de índices de biomasa, durante los años setenta. Además, los datos de éstas dos flotas, durante los años inmediatamente posteriores a este periodo de prohibiciones de pesca, deben considerarse con cierta cautela por ciertas inercias en las practicas ilegales de pesca. En todo caso, a partir de esta información combinada, después de los valores altos de los años setenta parece que la biomasa empezó a descender de forma continua hasta aproximadamente finales de los años ochenta, con una cierta estabilización en los últimos años de la serie.

Similar tendencia la mostraría la biomasa del stock simulado durante ese periodo, aunque lógicamente más moderado en su descenso debido a que no se asumió explotación pesquera alguna. Mientras el índice de CPUE combinado mostró una caída del 42% entre el año 1983 y 1998 (HOEY *et al.*, 2003), la biomasa de la población simulada habría mostrado un descenso del 19%, lógicamente más moderado. Esta comparación de tendencias permitiría concluir que el medio ambiente podría haber jugado un papel más importante de lo esperado en el descenso de la biomasa total del stock, estimada a partir de la CPUE en biomasa combinando datos de varias flotas (figura 59).

Por todo ello y bajo estas premisas, ¿los cambios de NAOw en los años de finales del siglo XX y principio de siglo XXI, que han sido anunciados como indicios de una nueva fase de NAOw (HALPERT & BELL, 1997) permitirían ser optimistas y esperar incrementos de los reclutamientos a partir del año 1996 (CPUE1 del año 1997) sobre los niveles medios del periodo inicialmente analizado? Si esto fuera así, ¿sería esperable una mejora en la situación del stock a partir del año 1996? La extensión de los periodos temporales de los pares CPUE1 y NAOw, ajustados mediante una regresión tipo “loess” hasta los años 1999 y 2001, respectivamente, no modifican sustancialmente los patrones y las conclusiones alcanzadas a partir de la serie inicialmente considerada (figuras 60 y 61).

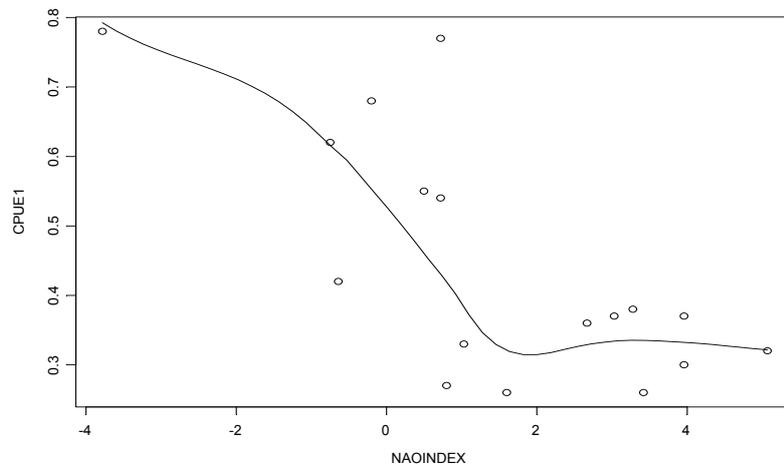


Figura 60. Valores esperados de CPUE1 estandarizada (línea continua) del pez espada del Atlántico Norte en relación con el índice invernal de NAO (NAOw) un año antes, usando una regresión suavizada tipo “loess” para el ajuste de los pares de valores observados (círculos). El periodo de NAO considerado fue 1983-1998 y el de CPUE1 fue 1983-1999.

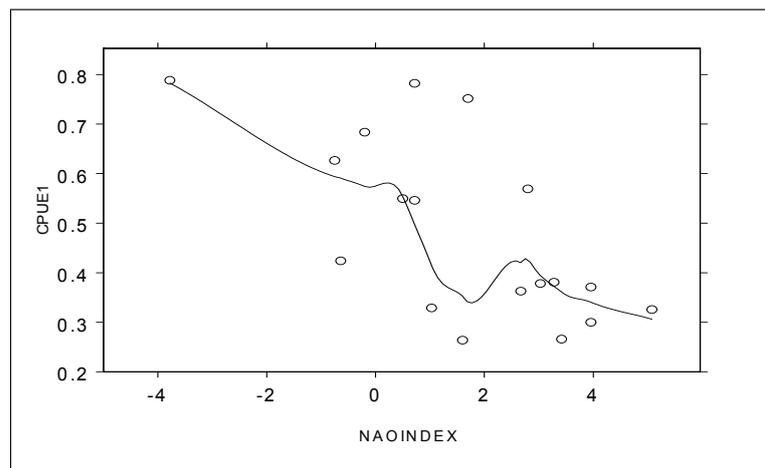


Figura 61. Valores esperados de CPUE1 estandarizada (línea continua) del pez espada del Atlántico Norte en relación con el índice invernal de NAO (NAOw) un año antes, usando una regresión suavizada tipo “loess” para el ajuste de los pares de valores observados (círculos). El periodo de NAO considerado fue 1983-2000 y el de CPUE1 fue 1983-2001.

Por otra parte, los resultados de los análisis de CPUE estandarizadas para la serie completa de datos disponibles, 1983-2001 confirmarían los altos reclutamientos observados en la flota española de palangre de superficie en los años posteriores a 1996, así como sugieren una clara mejoría general de las tendencias de abundancia del stock, que ya es detectada tanto en varias de las clases de edad como en la tendencia de la biomasa total (ver capítulo 4.3). Por tanto, esta mejoría en los patrones de reclutamiento y en la dinámica general del stock quizás podría ser explicada en base a los cambios ambientales teleconectados con NAOw, pese a que la biomasa reproductora del stock (CPUE5+) en los años inmediatamente posteriores a 1996 aún no había dado signos sustanciales de recuperación.

Por otra parte, la recuperación del stock sólo sería posible en un escenario general y sostenido de reclutamientos más favorables que los observados entre los años ochenta y mediados de los noventa, probablemente los más bajos del siglo pasado. Este es precisamente el escenario reciente que creemos ha motivado la mejoría en el estado de este stock del pez espada del Atlántico Norte después de 1996. Sin esta mejoría en los reclutamientos no habría sido posible el incremento de la biomasa del stock reproductor ni la recuperación del stock, incluso en un escenario sin pesca, ya que los reclutamientos no parecen estar íntimamente relacionados con el tamaño del stock reproductor.

### 5.3.1. Factores oceanográficos ligados con NAO que podrían favorecer o perjudicar las fases de los reclutamientos.

Tal como se ha indicado, el índice NAOw es un importante índice atmosférico que resume un conjunto de factores atmosférico-oceanográficos teleconectados. Por tanto, la variabilidad natural de los reclutamientos anuales podría estar relacionada con factores oceanográficos específicos teleconectados con NAO. La variabilidad de la Corriente del Golfo está claramente relacionada con las fluctuaciones de NAO. Esta corriente, y sus efectos ligados, tienen una importancia capital en todos los procesos oceanográficos del Atlántico Norte. Ambos índices, NAOw y el índice de la Corriente del Golfo (GSNW), muestran similar tendencia desde mediados de los años setenta hasta años recientes, aunque con una cierta asincronía entre ambos (figura 62).

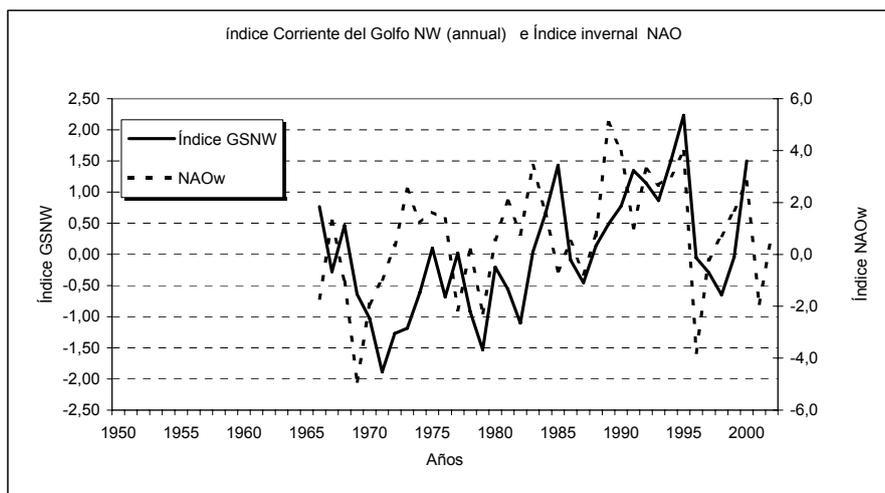


Figura 62. Tendencias del índice de la Corriente del Golfo NW (GSNW) durante el periodo 1966-2000 y el índice invernal de NAO (NAOw) durante el periodo 1966-2002.

En general, y como cabría esperar, los periodos que mostraron valores bajos o negativos en ambos índices (GSNW y NAOw) en un año  $y$  coinciden con valores relativamente altos de la CPUE1 en los años  $y, y+1$ , respectivamente. Este patrón, al igual que el ya sugerido en el caso de NAOw, es especialmente evidente en el caso del índice GSNW cuando analizamos la serie completa de CPUE1 asumiendo un desfase de un año entre ambos índices (figura 63).

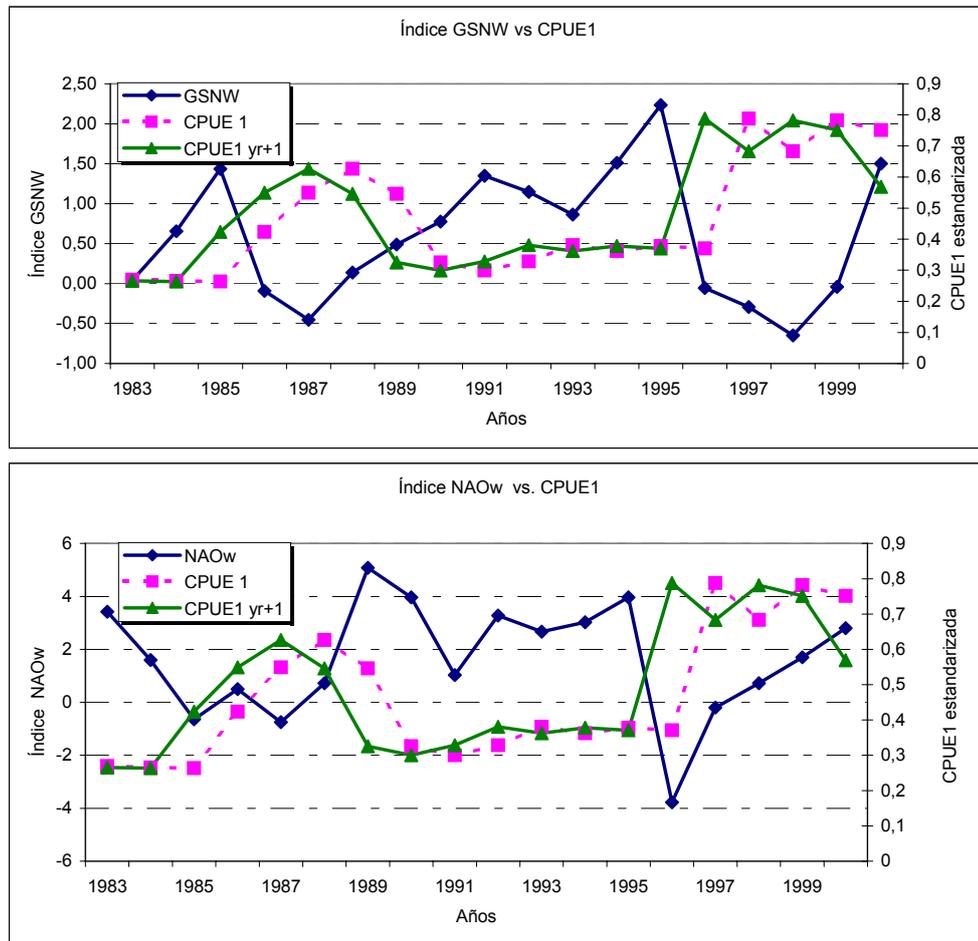


Figura 63. Tendencias del índice de la Corriente del Golfo del Oeste (GSNW) y del índice invernal de NAO (NAOw) en el año  $y$ , contra la CPUE de la edad 1 en los años  $y, y+1$ ; respectivamente.

Los ajustes de estos pares de valores mediante una regresión local confirman igualmente este patrón general de relación entre el índice GSNW anual y los índices de reclutamientos anuales de este stock, similar al observado en el caso de NAOw (figura 64). Los mayores reclutamientos observados coinciden, con alta probabilidad, con valores bajos o negativos del índice GSNW, debido a la relación existente entre NAOw y GSNW. El mejor ajuste se obtiene entre los pares de valores del índice GSNW y CPUE1 en los años  $y, y+1$ ; respectivamente. El ajuste polinómico de tercer grado sugiere que el índice GSNW explicaría el 54% de la variabilidad observada en la CPUE1 (figura 65). El mejor ajuste obtenido cuando se asume un desfase de un año entre los pares GSNW y CPUE1 sugiere además que los elementos clave para condicionar los reclutamientos anuales (CPUE1) probablemente actuarían sobre todo durante las fases de pre-reclutas, y reclutas menores de 1 año de edad, más que sobre la fracción reproductora del stock.

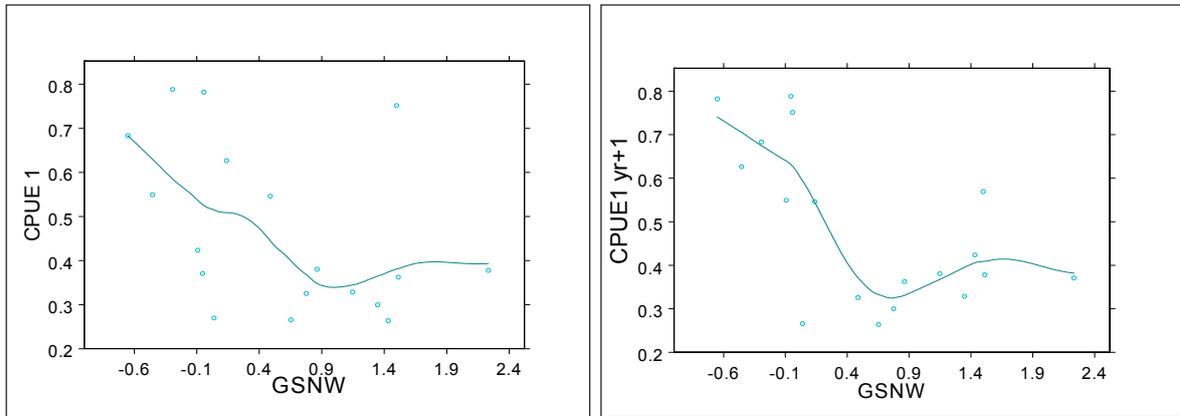


Figura 64. Valores esperados de la CPUE de la edad 1 (línea continua) en el año  $y$  (izquierda) y en el año  $y+1$  (derecha) del pez espada del Atlántico Norte, en relación con el índice de la Corriente del Golfo del NW (índice GSNW) en el año  $y$ , usando una regresión local tipo “loess” para el ajuste de los pares de valores observados (puntos).

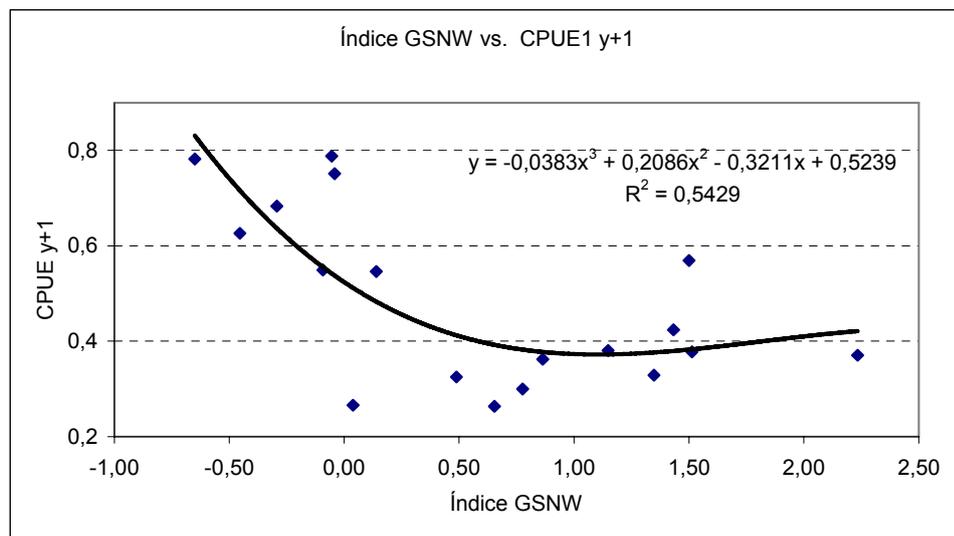


Figura 65. Ajuste polinómico de tercer grado de los pares de valores de GSNW (en el año  $y$ ) y los índices de reclutamiento (CPUE1), (en el año  $y+1$ ).

Si bien la corriente cálida del Golfo juega por si misma un papel capital en la distribución del calor en el hemisferio Norte, la estructura de esta corriente, la cantidad de masa de agua que transporta y las propiedades de estas masas de agua muestran variaciones geográficas y temporales así como fluctuaciones interanuales e interdecadales. Su papel es además fundamental en la formación de las anomalías térmicas en las capas superficiales, en las que vive el pez espada y sus larvas. Sin embargo su importancia no se restringe a sus factores oceanográficos intrínsecos, sino a un conjunto de efectos teleconectados a nivel físico y químico, nutrientes y variaciones en corrientes, de cuyo equilibrio depende la variabilidad oceanográfica del Atlántico Norte y, especialmente, de las regiones del Atlántico Noroeste. De forma específica, el periodo entre 1950 y principio de los años setenta estaría ligado con transportes más bajos o moderados del complejo Corriente del Golfo-Corriente del Atlántico Norte, conocido como “Transporte Baroclínico de la Corriente del Golfo y de la Corriente del Atlántico Norte” (BTGSNAC o EBTGSNAC, según los autores) con las correspondientes temperaturas más altas en las “Aguas de Convección Profunda en el Mar de Labrador” (DCWLS). Por el contrario, el periodo de los años ochenta y noventa, muy negativos para los reclutamientos del pez espada, habría sido de una fase opuesta, es decir, con abundante transporte BTGSNAC y menores temperaturas de DCWLS (figura 66). El transporte BTGSNAC es un índice oceanográfico análogo al índice atmosférico NAO (SPALL, 1996).

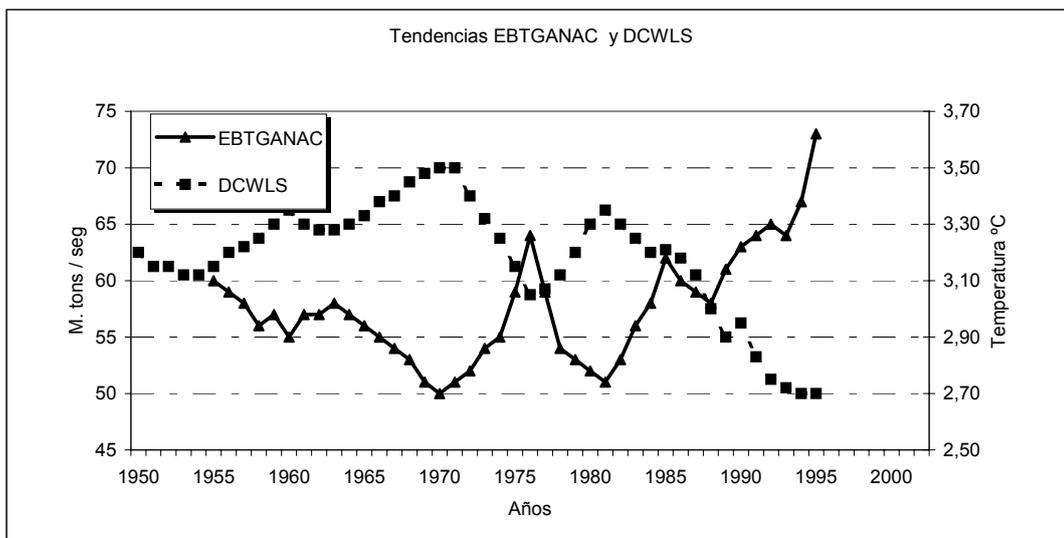


Figura 66. Tendencias entre el transporte baroclínico de la Corriente del Golfo y la corriente del Atlántico Norte (BTGSNAC) expresada como índice (transporte en Mtoneladas/segundo) y la variación de la temperatura en las aguas de convección profunda en el Mar de Labrador (DCWLS).

Se ha indicado antes que la reproducción del pez espada del Atlántico Norte se ha descrito como restringida a zonas de aguas cálidas subtropicales, con estructura térmica relativamente estable en las capas superficiales en las regiones del giro del Atlántico Noroeste. En el Atlántico Norte, estas áreas de reproducción descritas están restringidas a las regiones subtropicales próximas a las islas caribeñas y La Florida (AROCHA & LEE, 1996; MEJUTO & GARCÍA, 1997; TAYLOR & MURPHY, 1992) donde la corriente del Golfo juega un papel decisivo. Los individuos adultos de pez espada tienen facilidad para realizar amplias migraciones, pueden compensar las anomalías en el medioambiente y pueden ajustar su distribución según sus requerimientos fisiológicos.

Sin embargo, los huevos y las larvas son pasivos a la dinámica y a las características físicas de las masas de agua, estando a su merced, condicionando su viabilidad y supervivencia.

Las regiones del Atlántico Noroeste son especialmente susceptibles a cambios en el sistema climático (PERSHING *et al.*, 2001). Los modos de algunas de las corrientes más importantes de esta región están claramente ligadas a las fases de NAOw, de forma que los ecosistemas responden a los aspectos físicos y biológicos del modo o fase que muestren estas corrientes (ANÓNIMO, 2001; GREENE, 2001; GREENE & PERSHING, 2003; VISBECK *et al.*, en prensa).

Por tanto, las condiciones oceanográficas y los movimientos de estas masas de agua, y sus variaciones, que ocurren en las áreas de reproducción y áreas adyacentes del Atlántico Noroeste donde derivan las fases de prerreclutas, tienen un impacto muy importante en la viabilidad de huevos y larvas (GOVONI *et al.*, 2000) y en sus reclutamientos anuales. Por ello, los eventos oceanográficos en el Atlántico Noroeste ligados con NAOw-GSNW requieren una atención muy especial (ver <http://www.clivar.org> para información adicional).

Tal como se ha indicado, la relación descrita entre los índices NAOw y GSNW, así como el índice oceánico del sistema de la Corriente del Golfo-Corriente del Atlántico Norte (EBTGSNAC), y las variaciones en la temperatura de las Masas de Convección Profunda en el Mar de Labrador (DCWLS), entre otros múltiples procesos oceanográficos (McCARNEY *et al.*, 1997) tienen una influencia capital en la región del Atlántico Noroeste. Por ese motivo, los ciclos positivos / negativos de NAOw están relacionados con mayores / menores transportes de la EBTGSNAC, así como con valores menores / mayores en las temperaturas asociadas de la DCWLS (figura 67).

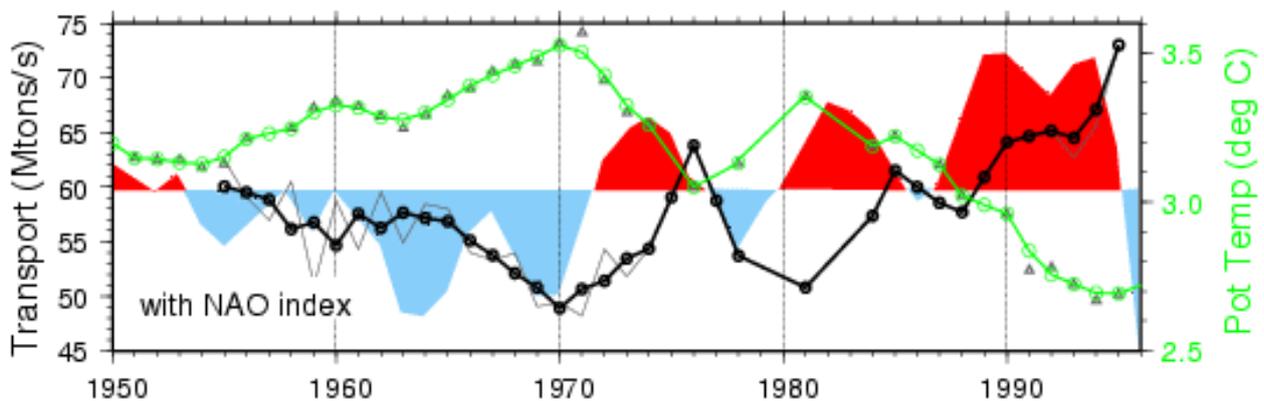


Figure 67. Temperaturas y transportes del océano relacionados con NAOw en sus fases positivas (en rojo) y negativas (en azul). Un índice invernal NAO correspondiente a los inviernos pasados (Hurrell, 1995) se relacionó contra la variación en la temperatura de las aguas de profunda convección en el Mar del Labrador (DCWLS) (línea verde claro, escala derecha) y con la variación en el transporte baroclínico hacia el Este del sistema de la Corriente del Golfo / Corriente del Atlántico Norte (EBTGSNAC) tal y como aparece en su índice (línea negra gruesa, escala izquierda), debido a las diferencias potenciales de anomalías de energía entre el mar del Labrador y Bermudas (índice análogo oceánico del índice atmosférico NAO). Las temperaturas más cálidas de DCWLS antes de 1970 (índice NAO bajo) y su posterior enfriamiento (índice NAO alto) también se reflejan en la SST (temperatura de la superficie del mar), (según <http://www.clivar.org/>).

Todo esto sugiere que la Corriente del Golfo y los complejos factores oceanográficos del Atlántico Noroeste, asociados con NAOw, juegan un papel fundamental en los procesos de reproducción y/o reclutamiento del pez espada del Atlántico Norte. Estudios recientes sobre la distribución larvaria de pez espada en zonas ligadas a la Corriente del Golfo del Atlántico Noroeste, con rangos de SST muy característicos, indican que la variabilidad en la velocidad de deriva de las larvas hacia el Norte esta ligada a las anomalías estructurales de esta corriente, de forma que las anomalías afectan al mayor o menor retraso de la deriva larvaria (GOVONI *et al.*, 2000). Por tanto, la deriva y la viabilidad de los huevos y las larvas, a partir de su mayor o menor retención en las zonas óptimas para su desarrollo, probablemente sean los principales factores de los que dependen las fases previas a los reclutamientos.

Un escenario de NAOw y GSNW moderado (próximo a cero o negativo) iría ligado a factores oceanográficos favorables, tanto del medio como para la retención de los huevos y larvas en las zonas óptimas para su desarrollo en el Atlántico Noroeste. Por el contrario, un escenario positivo de NAOw y de GSNW, sugiere vientos mas fuertes y persistentes de componente Oeste, mayor transporte de masa de agua hacia el NE y la deriva prematura de huevos y larvas más hacia el Norte o hacia áreas inadecuadas con mayor aporte desde el Norte de aguas frías, cambios desfavorables en las SST, etc., lo que produciría incrementos de su mortalidad natural. En tal caso, las hipótesis de “áreas de retención” y “habitats apropiados” (ILEX & SINCLAIR, 1982; SHARP, 1980, citados por LARRAÑETA, 1996) serían aplicables y plausibles bajo tales circunstancias, también al pez espada del Atlántico Norte.

Basándose en todo ello, los estudios sobre las variables oceanográficas del Atlántico Noroeste deberían priorizarse en el futuro para poder explicar la variabilidad de los reclutamientos del pez espada del Atlántico Norte. Sus niveles de reclutamiento, de los que depende la dinámica del stock, podrían ser interpretados mejor a partir de estas u otras variables oceanográficas, debidamente identificadas, que a partir del tamaño del stock reproductor. Si eso fuera así, conocer si se está en una fase positiva o negativa de estos índices atmosférico-oceanográficos puede indicarnos la fase esperada para los reclutamientos, lo que puede ayudar no sólo en la adecuada evaluación del stock sino también a establecer los escenarios de las proyecciones y a los enfoques de ordenación pesquera más o menos precautorios.

### 5.3.2. Otras consideraciones.

Es importante indicar que, con cierta frecuencia, han sido postuladas relaciones entre variables ambientales y los reclutamientos en varias especies de peces. Sin embargo, también con cierta frecuencia se ha visto que estas relaciones se mantienen sólo durante años, o durante largos periodos, pero más tarde, en algunos casos, desaparecen por razones que se desconocen, afectando a la credibilidad de los científicos que las han propuesto. En cualquier caso, este ejercicio aquí presentado, por su limitado periodo temporal de datos pesqueros, no pretende demostrar tales correlaciones, sino sólo demostrar que los factores ambientales ligados con índices atmosféricos (NAOw) u oceanográficos a gran escala (GSNW - EBTGSNAC) serían suficientes para explicar la dinámica del pez espada observada en el stock del Atlántico Norte en las décadas de la última mitad del siglo XX, y especialmente en las décadas más recientes del siglo que están adecuadamente documentadas con datos pesqueros consistentes, tanto en su fase de conocida abundancia de los años setenta como en su fase de recesión más reciente de los años ochenta y noventa (HOEY *et al.*, 2003).

Por otra parte, estas condiciones ambientales serían también suficientes para explicar el escenario de reclutamientos tan positivos observados en los años más recientes de la serie, produciéndose

una mejoría general en la situación del stock a partir del año 1996, constatada no sólo por los indicadores aquí mostrados de la flota española, sino también a partir de los índices obtenidos de otras importantes flotas palangreras que faenan en el Atlántico Noroeste, como la de Canadá (STONE & PORTER, 2000), la de EE.UU. (ORTIZ & SCOTT, 2003) y de varias flotas combinadas (HOEY *et al.*, 2003), los cuales dan indicios de la recuperación del stock a partir del año 1996.

En cualquier caso, la serie histórica de CPUE1 analizada en esta tesis (capítulo 4) no es lo suficientemente larga como para poder concluir sobre una posible relación entre los reclutamientos e índices ambientales. Sería necesario examinar a mucho mayor largo plazo las condiciones oceanográficas y los factores bióticos asociados, ligados con NAO u otros indicadores ambientales, que podrían afectar a la configuración de la SATp y/o de las fases de pre-reclutas (huevos, larvas y reclutas edad 0), los cuales podrían explicar la variabilidad del índice de reclutamiento (edad 1) del pez espada del Atlántico Norte.

En este complejo proceso de combinación de datos pesqueros y de indicadores ambientales es necesario tener presente en el futuro algunas cautelas y limitaciones de los datos que eviten establecer relaciones espurias. Para ello es necesario hacer previamente una selección meticulosa de los indicadores más adecuados.

Tal como se ha indicado, como valores del reclutamiento absoluto anual (R), frecuentemente han sido usados estimaciones del número de reclutas obtenido a partir de modelos como los VPA. Estos modelos de cálculo retrospectivo, integran, entre otra información, matrices de capturas y tasas estandarizadas de captura por unidad de esfuerzo. Por tanto, las estimaciones de los valores absolutos de R son el resultado de combinar informaciones distintas de muchas flotas, cuyos datos y comportamientos son muy dispares desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo. Las asunciones incluidas en el modelo (como la propia funciones SSB/R) tienen influencia sobre estas estimaciones absolutas de R. Además, bajo estas metodologías, las estimaciones de R para los años más recientes de la serie histórica usada, suelen asumirse como las estadísticamente menos precisas debido al proceso de convergencia retrospectiva del VPA. Esto ha llevado a que recientemente esta aproximación de R no se haya considerado recomendable para su correlación con variables ambientales (KELL *et al.*, 2005).

Otro posible enfoque para establecer tales relaciones y valorar los niveles de R, a falta de indicadores directos independientes de la actividad pesquera, es estimar la abundancia relativa de R a partir indicadores específicos del reclutamiento de una o varias flotas/edades que se asumen como de cierta fiabilidad. Esta segunda opción fue la seleccionada en este caso. El uso de esta opción frente a la primera se sustenta en el tipo e intensidad de muestreo realizado sobre la flota indicadora, la consistencia en la actividad de pesca a lo largo de la serie disponible y el control científico sobre ciertos aspectos cualitativos de los datos básicos (incluyendo el control sobre sesgos potenciales provocados por las medidas de regulación de talla mínima en vigor o el mercado ilegal de peces juveniles). No obstante, el hecho de que esta segunda opción fuera considerada como la más adecuada para esta flota/especie no debería implicar necesariamente su idoneidad con carácter general o para otras flotas/especies. La selección adecuada de variables para intentar establecer estas correlaciones debe realizarse atendiendo en cada especie/flota/stock, a la limitación de los datos disponibles, al tipo de pesquerías, al conocimiento de las mismas, etc, pero sobre todo considerando la confianza cualitativa que se tenga en las variables seleccionadas.

En la estimación de R, en ambas opciones antes descritas, los datos de CPUE usados como indicadores de abundancia parecen básicos, no sólo para la evaluación precisa de los stocks, sino también para poder establecer cualquier tipo de relación entre abundancias absolutas o relativas con factores ambientales. Hasta ahora, en el caso del pez espada, hemos usado datos de CPUE1 del

Atlántico Norte aprovechando, entre otros aspectos mencionados, la relativa consistencia a lo largo del tiempo de la actividad de esta flota española. Sin embargo, esta flota ha introducido recientemente importantes modificaciones en el palangre de forma que en el periodo de pocos años el palangre tradicional ha sido ampliamente sustituido por el tipo de palangre americano (“Florida style”), por lo que son esperables en el futuro escasas observaciones pertenecientes a los palangres tradicionales. El cambio de arte de pesca será una limitación adicional que debe ser estudiada cautelosamente para poder continuar con fiabilidad las series históricas de CPUE hasta ahora disponibles y su posible correlación con indicadores ambientales.

Es importante destacar que recientemente han sido detectadas relaciones de NAOw con las variaciones de la salinidad-temperatura del mar, lo que influye en la densidad de las masas de agua. Si esto fuera así, en las áreas de reproducción y reclutamiento se podrían producir cambios en la flotabilidad de los huevos y larvas cuyo efecto, combinado con otros elementos físicos citados, podría contribuir a explicar la viabilidad larvaria (NISSLING & VALLIN, 1996; VALLIN *et al.*, 1999; GOVONI *et al.*, 2000). Este cambio de flotabilidad podría tener varios efectos combinados: (a) favorecer más o menos las condiciones de transporte por medio de las corrientes y los vientos de los huevos y larvas; (b) poner a los huevos y larvas en condiciones más o menos favorables de concentraciones de oxígeno; (c) favorecer más o menos la disponibilidad de alimento para las fases larvarias, (d) otros efectos. Muchos de estos factores citados contribuirían también a poder explicar las hipótesis de “áreas de retención” y de “habitat apropiado” (ILES & SINCLAIR, 1982; SHARP, 1980, citadas por LARRAÑETA, 1996) propuestas como hipótesis plausibles para explicar las fluctuaciones cíclicas de R en el pez espada del Atlántico Norte causadas como consecuencia de los ciclos de mortalidad (M) de huevos, larvas y otras fases de pre-reclutas.

Otros autores sugieren también la importancia de ciertos factores del medio ambiente sobre los reclutamientos de otras especies (CARDINALE & ARRHENIUS, 2000). Estos usaron el término “reproductive volumen (RV)”, previamente introducido por McKENZIE *et al.* (2000), donde RV representa el volumen de agua susceptible de un desarrollo exitoso de los estados larvarios, definido dentro de unos rangos óptimos de condiciones oceanográficas ( $T^a$ ,  $S_{0/00}$ ,  $O_2$ , etc.). Este concepto RV parece ir en la misma línea que la hipótesis inicialmente presentada sobre la estrategia reproductiva del pez espada (MEJUTO, 1999), en la cual se introducía el concepto de contracción y expansión espacio-temporal de las SATp (potential spawning areas-times) con posible influencia sobre el tamaño de la SSBe (effective spawning stock biomass) y/o de las áreas óptimas para la viabilidad de las fases larvarias y de prerreclutas afectando la variabilidad de M sobre esas fases en dichas áreas.

**CAPITULO 6. AGUDEZA VISUAL Y SENSIBILIDAD OLFATIVA DEL PEZ  
ESPADA PARA LA DETECCIÓN DE SUS PRESAS.**



## **CAPITULO 6. AGUDEZA VISUAL Y SENSIBILIDAD OLFATIVA DEL PEZ ESPADA PARA LA DETECCIÓN DE SUS PRESAS EN EXPERIENCIAS REALIZADAS EN EL MEDIO NATURAL CON PALANGRE DE SUPERFICIE, USANDO DIFERENTES TIPOS DE CEBOS .**

### **6.1. INTRODUCCIÓN.**

Los grandes peces teleósteos pelágicos, como los marlines y agujas (Istiophoridae), el pez espada (Xiphiidae) y los grandes escombriformes (Scombridae), son activos migradores y predadores que dependen en gran medida de la visión para poder capturar a sus presas y obtener la enorme energía requerida para sus migraciones. Sin embargo, la detección de sus presas y el ataque final está basado en un complejo sistema de sensaciones usando múltiples sentidos. Su sentido olfativo parece estar también bien desarrollado, pudiendo ser capital para poder cubrir esta necesidad trófica. Diferentes autores han sugerido que los grandes peces poseen una agudeza visual mayor que la de los peces pequeños (KAWAMURA *et al.*, 1981, citado por FRITSCHES *et al.*, 2003), describiendo además estructuras específicas y mecanismos que explicarían esta mayor agudeza visual (TAMURA & WISBY, 1963; FRITSCHES *et al.*, 2003).

Según esa regla, los grandes teleósteos y los elasmobranchios, que ocupan habitats pelágico-oceánicos, como los Xiphioides, deberían poseer en general una mayor agudeza visual que otras muchas especies de peces. El gran tamaño de los ojos de los marlines, pez espada y atunes y sus bien desarrollados sistemas visuales asociados, han sido por tanto propuestos como los elementos clave para sugerir que la visión es probablemente el sentido más importante usado para la detección y captura de sus presas (KAWAMURA *et al.*, 1981). Si esto fuera así, sería especialmente cierto en el caso del pez espada, cuyo tamaño de ojo es relativamente más grande que en la mayoría de los teleósteos, bien adaptado a la predación diurna en la oscuridad de las capas a cientos de metros de profundidad, o bien a la predación nocturna en las capas más superficiales, según sugiere el comportamiento observado usando métodos de marcado electrónico tipo “pop-up” (MATSUMOTO *et al.*, 2003).

Estudios posteriores han moderado en cierta medida la importancia de la agudeza visual para esta función, sugiriendo una sorprendente baja resolución visual del marlín azul pese al tamaño considerable de su ojo, indicando sin embargo que este ojo está específicamente adaptado para poder usarse con los bajos niveles de luminosidad que encuentra durante sus profundas inmersiones, de forma que estas especies de Xiphioides probablemente tendrían una de las mayores sensibilidades ópticas absolutas de entre los teleósteos (FRITSCHES *et al.*, 2003). Los mismos autores indican que, debido a la imposibilidad de constricción de la pupila de los peces, una de sus estrategias es alargar los fotorreceptores.

Otros trabajos han indicado además que, el promedio de acomodación en la dirección del eje visual de alguna de estas especies, se considera aproximadamente entre 2-4 dioptrías; esto es, desde infinito hasta los 50-25 cm (TAMURA & WISBY, 1963). Esto sugeriría a priori que, si bien la localización de las presas podría ser básicamente visual, sin embargo la decisión final de atacar o no a una potencial presa posiblemente no sea tomada prioritariamente en base a los estímulos de agudeza visual, sino a una combinación de estímulos procedentes de varios sentidos, como sucede en la mayoría de los animales.

La respuesta olfativa de los teleósteos gran pelágicos al olor de sus presas fue estudiada en el caso específico del atún rabil *Thunnus albacares* (ATEMA *et al.*, 1980). Estos autores concluyeron que esta especie, y probablemente las de comportamiento biológico y trófico similar, pueden detectar y distinguir entre los diferentes olores de sus presas naturales intactas, respondiendo según la calidad del

olor de la “presa estímulo” y en base a sus diferentes perfiles de aminoácidos presentes, indicando además que la calidad del olor determina la intensidad de la respuesta del depredador. La fracción química de un olor propio de una presa natural y las mezclas sintéticas de aminoácidos fueron descritas por estos autores como menos eficaces que los estímulos de presas naturales. Estos autores proponen además que el sistema olfativo de los atunes y especies de comportamiento similar probablemente forman “imágenes de búsqueda química” (chemical search images) las cuales pueden ir modificando dependiendo de la abundancia local de las respectivas presas. La similitud fisiológica del pez espada con algunos atunes, como el atún patudo (*Thunnus obesus*), sugiere la posibilidad de similares adaptaciones evolutivas y comportamientos en algunos aspectos de ambas especies (BRILL, com. pers.).

La mayoría de los trabajos descritos previamente para estudiar estos aspectos han sido realizados a partir de individuos mantenidos en cautividad o a partir de estudios teóricos, histológicos, ópticos y electrofisiológicos. Sin embargo, en este estudio se aprovechan experiencias realizadas en el medio natural. Aunque estas fueron inicialmente diseñadas para valorar la eficacia de usar distintos tipos de cebos (naturales vs. artificiales) para la captura comercial del pez espada con palangre de superficie, sin embargo la comparación de los resultados obtenidos en esta experiencia puede ayudar a interpretar los estudios previamente realizados usando otras estrategias, o a diseñar experimentos futuros, ofreciendo información sobre la importancia de los estímulos visuales y del olor para localizar y decidir el ataque final del pez espada a su enorme variedad de presas.

## 6.2. MATERIAL Y MÉTODOS.

Un total de 20 lances fueron realizados con palangre de superficie entre noviembre y diciembre de 1997 en aguas templadas del Atlántico NE (SST entre 21,0 y 24,5 °C) en posiciones comprendidos entre 22° 11' N y 23° 50' N de latitud y entre 16° 59' W y 20° 08' W de longitud. El experimento fue realizado en un buque comercial usando un palangre de superficie tradicional tipo español como arte de pesca en el cual la línea madre es mantenida a cierta profundidad por la acción conjunta de plomos y elementos de flotación. De esta línea madre penden las brazoladas que están empatadas con sus respectivos anzuelos (HOEY *et al.*, 1988).

En el conjunto de la campaña fueron ensayados 5 diferentes tipos de cebos: Cebo 1: caballa (cebo natural y cebo control). Cebo 2: imitación plástica de caballa. Cebo 3: imitación plástica de pota. Cebo 4: imitación plástica de caballa (cebo 2) rellena con una esponja impregnada con aceites de sardina. Cebo 5: imitación plástica de caballa (cebo 2) rellena con ½ pieza de caballa natural.

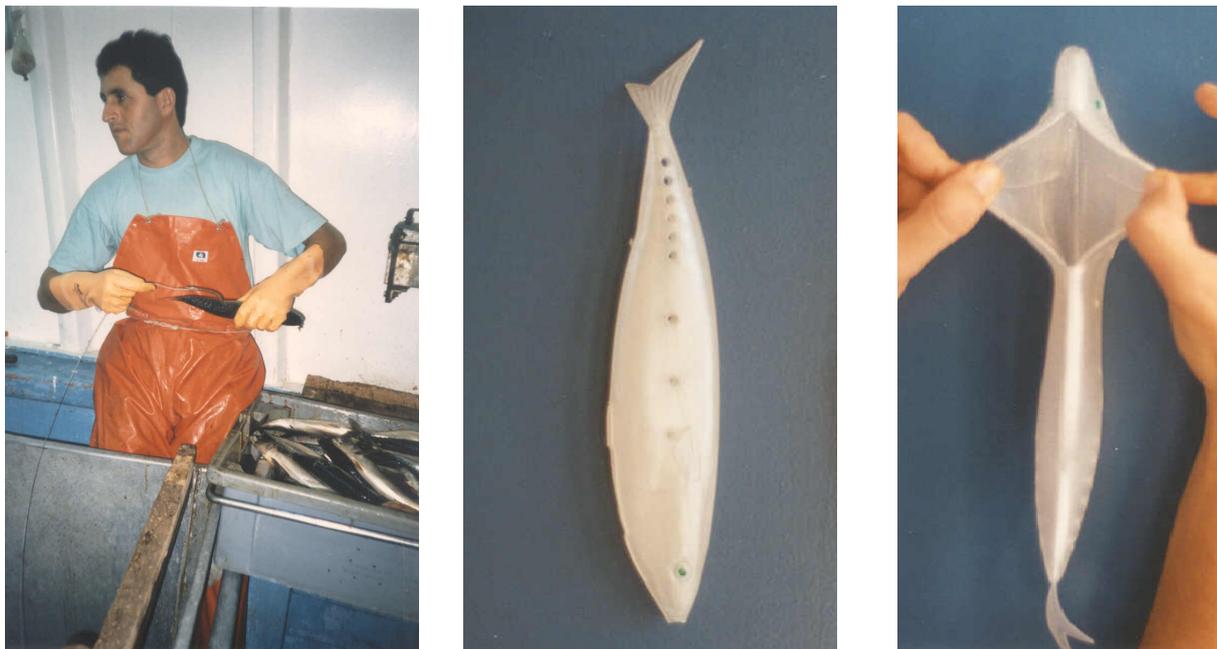


Figura 68. Cebo tipo 1: Caballa (*Scomber scombrus*) usada tradicionalmente como cebo en la pesquería española de pez espada en aguas templadas (izquierda). Cebo tipo 2: Cebo artificial o caballa plástica provista de agujeros para evacuar agua y olor (centro) y mostrando la abertura lateral usada para introducir algún otro elemento para formar otros tipos de cebo ensayados (derecha).



Figura 69. Cebo tipo 3: Cebo artificial o pota plástica, mostrando la disposición del cebo y anzuelos (izquierda) y de las brazoladas antes de ser usadas en el lance (derecha).



Figura 70. Cebo tipo 4: Cebo artificial formado de caballa plástica (tipo 2) con relleno de esponja impregnada en aceites derivados de sardina. Configuración de la brazolada (izquierda) y proceso de impregnación en aceite antes de ser usada en el lance (derecha).

Los individuos de caballa natural (*Scomber scombrus*) usados en el cebo 1 tenían un peso aproximado de 350 grs por pieza (figura 68). La caballa es uno de los cebos naturales más utilizados por el conjunto de la flota de palangre de superficie y fue considerado como cebo “control” frente a los otros tipos de cebos ensayados, ya que la caballa ha mostrado ser muy eficaz para la captura del pez espada, sobre todo en aguas templadas. El cebo 2 artificial pretendía ser una imitación plástica de la forma de la caballa, aunque de color blanco brillante, sin imitación de su color natural, ligeramente traslúcido, confeccionado con un tipo de plástico flexible hueco dotado de unos agujeros para la introducción del anzuelo y la evacuación de agua (figura 68). Por tanto, este cebo 2 sólo tenía cierto parecido con la caballa en su silueta, carecía de cualquier color que lo asemejara a la caballa natural y carecía de cualquier estímulo olfativo (olor) para ser considerado como presa potencial. El cebo 3 artificial era una simulación plástica de pota (*Illex spp.*) de tamaño medio que pretendía imitar su coloración natural (figura 69). El cebo 4 estaba formado por el cebo tipo 2 al que se introducía un trozo de esponja impregnada de un tipo de aceite obtenido de subproductos de sardina, dotándole de una potencial capacidad de atracción por el olor (figura 70). El cebo 5 fue diseñado durante la marea a la vista de los malos o moderados resultados obtenidos desde los primeros lances con los otros cebos ensayados. Consistía en un cebo 2 al que se le introducía en su interior aproximadamente media caballa natural no visible, lo que indirectamente permitía estimar la importancia del estímulo olfativo en la estrategia de captura de esta especie frente al cebo plástico (cebo 2) que carece de dicho estímulo, o frente al cebo natural (cebo 1). Por tanto, el cebo 5 era de naturaleza semi-artificial o mixta y estaba confeccionado a partir de los cebos 1 y 2. A la vista de las primeras experiencias positivas con el cebo 5 mixto fue decidido incorporarlo al experimento desde el lance 8 hasta el lance 20 (13 lances). La utilización de los distintos tipos de cebo en el transcurso del estudio estuvo en parte condicionada por la disponibilidad de ellos y por los resultados obtenidos en los lances previos. Los cebos 1 y 2 fueron utilizados en la totalidad de los lances realizados.

El palangre fue estructurado en diferentes tramos o puentes separados por boyas coloreadas para facilitar su identificación. Para minimizar otros posibles factores que podrían influir en la capturabilidad del arte-cebo y debido al limitado número de lances para realizar este experimento, los diferentes tipos de cebos fueron establecidos en tramos dentro de cada lance, alternando los tramos con cebo 1 natural (control) con tramos al azar con los otros cebos alternativos. De esta forma se ensayaron en un mismo lance diferentes tipos de cebo, pero siempre separados por un tramo con cebo natural. Para evitar la posible influencia positiva del cebo 1 natural sobre la eficacia de los otros cebos situados en los tramos contiguos, fueron separados estos tramos dejando 4 brazoladas sin anzuelo y sin cebo, lo que resultaba en una separación de unos 125 m entre estos tramos-cebos consecutivos.

El número de tramos largados por lance fue de 23 ó 24, lo que hacía un total de unos 2200 ó 2300 anzuelos por lance o día de pesca. La disposición de los diferentes tipos de cebo en el aparejo se varió hacia la mitad de la marea de forma que fueron ensayados dos esquemas generales según el número de tramos y el éxito obtenido según el tipo de cebo usado, quedando definidos dos tipos de estructuras o disposiciones del aparejo y tipo de cebo. La disposición (A), con 23 tramos: Cebo 1 = 12 tramos, 1152 anzuelos, 52%. Cebo 2 = 4 tramos, 384 anzuelos, 17%. Cebo 3 = 4 tramos, 384 anzuelos, 17%. Cebo 4 = 3 tramos, 288 anzuelos, 13%. La disposición (B), con 24 tramos: Cebo 1 = 11 tramos, 1056 anzuelos, 46%. Cebo 2 = 4 tramos, 384 anzuelos, 17%. Cebo 5 = 9 tramos, 864 anzuelos, 37%. La disposición de los tramos dentro del palangre con los distintos tipos de cebo se hacía alternando aleatoriamente su posición.

Los datos de captura (C) en número de individuos (n) y peso vivo (w) y el esfuerzo nominal en miles de anzuelos (f) fueron obtenidos por lance (s) y tipo de cebo (b). La Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) por lance y tipo de cebo fue definida como:  $CPUE_{n_{sb}} = C_{n_{sb}} / f_{sb}$ , y la  $CPUE_{w_{sb}} = C_{w_{sb}} / f_{sb}$ . Con objeto de mejorar la normalización de la CPUE se realizaron y analizaron las transformaciones logarítmicas  $LN(CPUE+1)$  mediante GLM para detectar la significación del factor cebo en la CPUE obtenida. Análisis basados en ANOVA Múltiple Range Test fueron ensayados para detectar diferencias significativas entre las combinaciones de pares de CPUE medias obtenidas según los distintos tipos de cebo ensayados.

### 6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Durante los 20 lances fueron usados un total de 45.792 anzuelos, de los cuales 22.464, 7.392, 2.880, 2.784 y 10.272 anzuelos usaron cada tipo de cebo ensayado, de 1 a 5 respectivamente. La tabla 10 resume los estadísticos básicos de la CPUE obtenida con cada tipo de cebo usado. La figura 71 muestra los diagramas de caja -box plots- de la CPUE para cada tipo de cebo usado (bait).

Los valores medios de CPUE sugieren al cebo 1 (natural o control) como el más eficaz, con valores superiores y próximos en eficacia al cebo tipo 5, seguidos ambos por los cebos tipo 4 de gran variabilidad en su eficacia y el cebo 3, ambos con una clara menor eficacia media que los anteriores. El cebo 2 tuvo una eficacia prácticamente nula en la mayoría de los lances, lo que contrasta con la moderadamente buena eficacia del cebo 5 que presentaba la misma constitución y presencia externa.

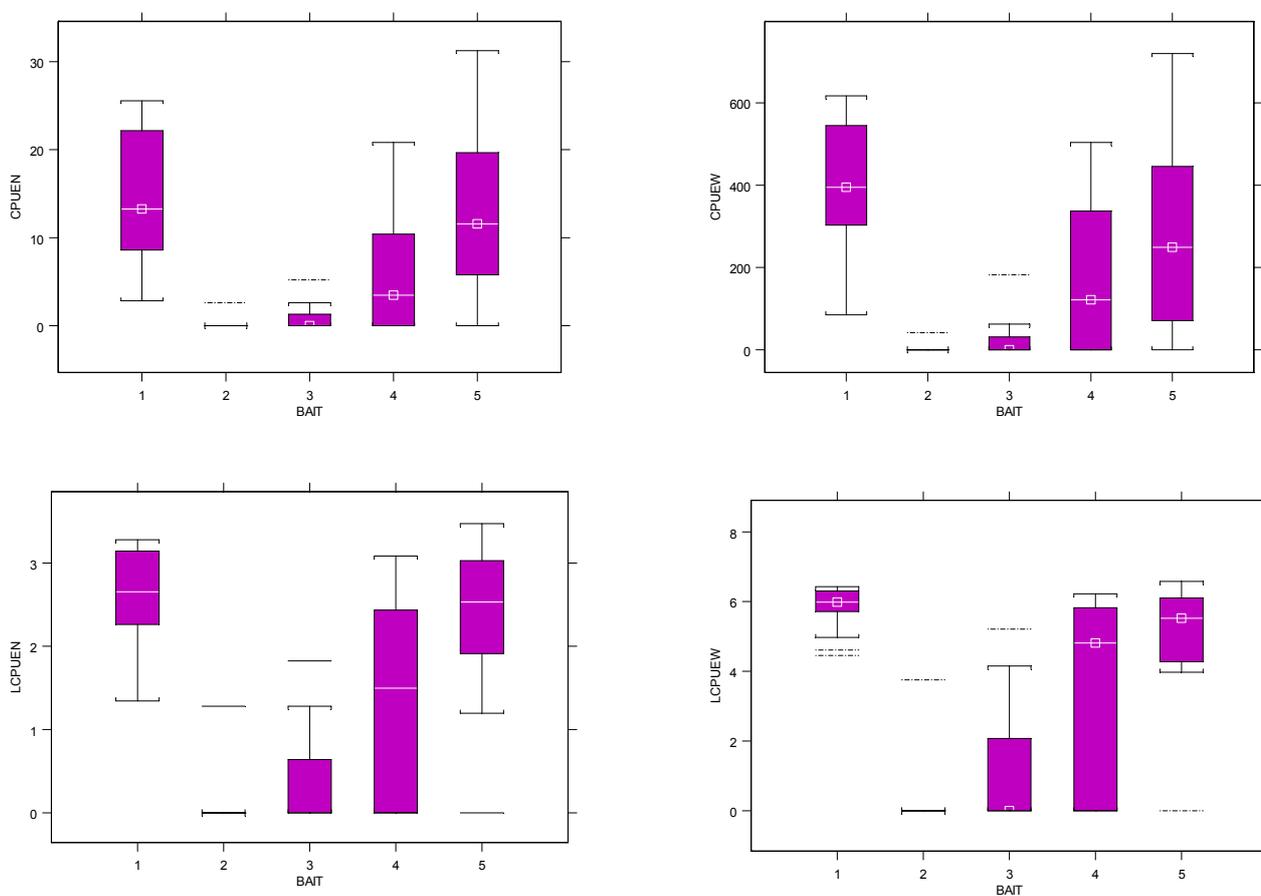


Figure 71. Diagramas “box-plots” de la CPUE<sub>N</sub> y CPUE<sub>w</sub>, y de la transformación logarítmica de ambas CPUE [LN (CPUE<sub>N</sub>+1) y LN (CPUE<sub>w</sub>+1)], para cada uno de los cinco tipos de cebos ensayados (bait) durante la campaña.

Aunque la posibilidad de realizar sólo 20 lances durante la experiencia limita en parte la significación de los resultados obtenidos y afecta a la normalidad de los datos observados, sin embargo los resultados sugieren diferencias significativas entre las CPUEs obtenidas, según el tipo de cebo usado.

Los F-test de los análisis de GLM realizados para LN(CPUE<sub>n</sub>+1) y LN(CPUE<sub>w</sub>+1) indican que existen diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) entre las CPUE medias obtenidas, según el tipo de cebo usado. El tipo de cebo y el número del lance explicarían el 88% y 86 % de la variabilidad observada en la CPUE en número y peso, respectivamente, siendo el cebo el factor significativo ( $p < 0,01$ ) claramente más importante que contribuye a explicar la variabilidad de la CPUE observada.

Tipo de cebo	Dato	Esfuerzo	CPUE <sub>n</sub>	CPUE <sub>w</sub>
1	Min.	1056,00	2,84	85,22
1	Media	1123,20	14,67	385,58
1	Mediana	1056,00	13,26	394,88
1	Max.	1248,00	25,56	617,18
1	Lances	20	20	20
1	D. Típica	82,99	7,14	165,73
1	Sum.	22464,00	----	----
2	Min.	96,00	0,00	0,00
2	Media	369,60	0,13	2,08
2	Mediana	384,00	0,00	0,00
2	Max.	384,00	2,60	41,66
2	Lances	20	20	20
2	D. Típica	64,40	0,58	9,31
2	Sum.	7392,00	----	----
3	Min.	288,00	0,00	0,00
3	Media.	360,00	0,97	30,60
3	Mediana	384,00	0,00	0,00
3	Max.	384,00	5,20	182,29
3	Lances	8	8	8
3	D. Típica	44,44	1,93	65,08
3	Sum.	2880,00	----	----
4	Min.	288,00	0,00	0,00
4	Media.	309,33	6,56	180,17
4	Mediana	288,00	3,47	121,52
4	Max.	384,00	20,83	503,47
4	Lances	9	9	9
4	D. Típica	42,33	7,85	188,96
4	Sum.	2784,00	----	----
5	Min.	288,00	0,00	0,00
5	Media.	790,15	14,00	300,14
5	Mediana	864,00	11,57	248,84
5	Max.	864,00	31,25	719,90
5	Lances	13	13	13
5	D. Típica	184,47	10,71	252,79
5	Sum.	10272,00	----	----

Tabla 10. Resumen de los estadísticos básicos (dato) del esfuerzo de pesca ejercido (en número de anzuelos largados) y de las CPUE<sub>n</sub> y CPUE<sub>w</sub>, para los cinco cebos (bait) ensayados durante el experimento.

Los análisis de ANOVA “Múltiple Range Test” realizados, según el tipo de cebo usado, detectaron diferencias significativas entre las medias de la mayoría de valores de LN(CPUEn) y LN(CPUew), sugiriendo además diferencias significativas entre los pares de valores medios comparados, al nivel del 95% de límite de confianza, excepto en el caso de los pares 1-5 y 2-3 (tabla 11).

LN (CPUEn+1). Método: 95% LSD.

Tipo de cebo	Número de lances (sets)	Valor medio	Grupo homogéneo
2	20	0,064	x
3	8	0,388	x
4	9	1,435	x
5	13	2,346	x
1	20	2,633	x

Contraste	Diferencia	+ / - Limites
1-2	* 2,568	0,467
1-3	* 2,245	0,618
1-4	* 1,197	0,593
1-5	0,287	0,526
2-3	-0,324	0,618
2-4	* -1,371	0,593
2-5	* -2,282	0,526
3-4	* -1,047	0,718
3-5	* -1,958	0,663
4-5	* -0,910	0,641

LN (CPUew+1). Método: 95% LSD.

Tipo de cebo	Número de lances (sets)	Valor medio	Grupo homogéneo
2	20	0,188	x
3	8	1,170	x
4	9	3,617	x
5	13	5,026	x
1	20	5,827	x

Contraste	Diferencia	+ / - Limites
1-2	* 5,640	0,964
1-3	* 4,657	1,276
1-4	* 2,210	1,224
1-5	0,801	1,086
2-3	-0,983	1,276
2-4	* -3,430	1,224
2-5	* -4,839	1,086
3-4	* -2,447	1,482
3-5	* -3,856	1,370
4-5	* -1,409	1,322

Tabla 11. Resultados obtenidos del análisis de ANOVA- Multiple Range Test, para los valores de LN(CPUEn+1) y LN(CPUew+1), para cada tipo de cebo usado (bait), homogeneidad entre cebos y contraste entre pares de cebos. El “\*” en la columna “diferencia” indica una diferencia significativa, al nivel de 95%, entre los pares de cebos contrastados. La alineación vertical del signo “x” en la columna “grupo homogéneo” indica homogeneidad entre grupos.

Los tipos de cebos 1 (natural) y 5 (mixto) se mostraron ambos bastante eficaces para la captura del pez espada, no mostrando diferencias estadísticamente significativas entre ellos, pese a su diferente constitución y propiedades. El cebo tipo 4 se mostró moderadamente eficaz, especialmente en algunos lances, y los cebos 2-3 se mostraron muy ineficientes y sin diferencias significativas entre ellos.

Los resultados obtenidos con los cebos 1 y 5 son especialmente destacables si se comparan a su vez con los resultados obtenidos con el cebo tipo 2. Tal como se indicó, el cebo 2 artificial se mostró completamente ineficaz para la captura del pez espada, sin prácticamente poder de captura alguno sobre esta especie. Sin embargo esta situación cambia drásticamente cuando se usa el cebo 5 cuya diferencia sustancial consiste en dotar al cebo 2 de una porción no visible de caballa en su interior. Por tanto, podría suponerse que la diferencia obtenida entre la CPUE de ambos cebos 2 y 5 podría ser debida casi exclusivamente a la ausencia o la presencia del factor “olor” entre ambos cebos. Podrían existir otros factores no considerados en el experimento que afectarían en menor grado a las CPUE obtenidas con estos dos tipos de cebo, como la diferente flotabilidad entre tramos, ya que el peso del cebo tipo 5 es menor que el cebo 1 natural. Además, la caballa plástica usada en el cebo 5 ofrecería protección al fragmento de cebo natural colocado en su interior frente a pequeñas especies predatoras, evitando así en algunos casos puntuales que fuera devorado el fragmento de cebo natural en pocos minutos y antes de resultar efectivo para pescar el pez espada. No obstante, estos dos últimos factores citados se consideran empíricamente con efecto menor o despreciable sobre la capturabilidad del arte usando cada tipo de cebo y en su CPUE obtenida.

Por tanto, es probable que tanto el cebo 2 como el 5 sean inicialmente detectados por el pez espada mediante la visión o, seguramente, por una combinación de estímulos, pero el cebo artificial 2 no resultaría finalmente atacado al carecer de olor reconocible. Por el contrario, el cebo tipo 5 es atacado con inferior pero similar eficacia que el cebo natural tipo 1, no detectándose en esta experiencia diferencias estadísticamente significativas entre ambos tipos de cebo, lo que sugiere al olor como el factor capital en la decisión final de atacar a la potencial presa. En este sentido, trabajos previos realizados en cautividad con *Thunnus albacares* ya sugieren que esta especie pelágica es también capaz de detectar diluciones pequeñas con aminoconstituyentes de olores de presas (ATEMA *et al.*, 1980), facultad por otra parte también bien conocida para el caso de los grandes tiburones pelágicos.

Estas conclusiones obtenidas al comparar los resultados entre los cebos 2 y 5 se ven además confirmadas por la positiva, aunque más moderada, eficacia del cebo tipo 4, el cual está compuesto por el cebo tipo 2 al que sólo se le ha incorporado en su interior aceite obtenido de derivados de sardina (*Sardina pilchardus*), lo que también confirma las observaciones realizadas en cautividad por otros autores cuando indican la menor efectividad de las fracciones químicas frente a los olores de sus presas naturales (ATEMA *et al.*, 1980). En este sentido debe considerarse además que la sardina, de distribución relativamente costera, no es una presa observada con frecuencia en los contenidos estomacales del pez espada del Atlántico, por lo que el olor de sus productos derivados probablemente sólo sea moderadamente eficaz como cebo, aunque la variedad de presas del pez espada es enorme, estando adaptada a las disponibilidades locales de las profundidades donde se encuentre.

Los resultados obtenidos sugieren que la decisión final para el ataque a una presa por parte del pez espada podría estar sobre todo influenciada por los estímulos olfativos más que por los visuales. Estos últimos posiblemente jueguen un papel importante en la detección inicial de su potencial presa en las situaciones límite de luminosidad de las capas por encima de los 300-500 m de profundidad donde suele vivir y alimentarse con más frecuencia el pez espada, pero posiblemente tiene menor efecto que el olor en la decisión final de atacar o no una potencial presa.

Los resultados animan a realizar nuevas experiencias en el medio natural aplicando una mayor intensidad de pesca, en diferentes condiciones del medio natural y con diseños y tecnologías específicamente diseñadas para este fin. Diseños experimentales para futuros experimentos realizados

en condiciones de cautividad con otras especies manejables en estas circunstancias podrían tener presentes los resultados aquí obtenidos.

Además, los resultados animan a ensayar en el futuro cebos obtenidos a partir de subproductos y residuos industriales de la pesca que tengan un menor coste que el natural y además menor impacto biológico sobre los stocks de las especies usadas como cebos naturales, alternativa por otra parte ya experimentada en algunas flotas europeas para la captura con palangre de fondo dirigido a algunas especies de teleósteos demersales. No obstante, en tal decisión, debería valorarse adecuadamente, y en todo caso evitarse, el impacto medioambiental por usar materiales plásticos u otros productos contaminantes como componentes de los nuevos cebos diseñados.

**CAPÍTULO 7. EL SEX-RATIO DEL PEZ ESPADA COMO INDICADOR DE SUS REGIONES BIOLÓGICAS.**



## CAPÍTULO 7. EL SEX-RATIO DEL PEZ ESPADA COMO INDICADOR DE SUS REGIONES BIOLÓGICAS.

### 7.1. INTRODUCCIÓN.

La mayoría de los estudios sobre los sex-ratios (proporción de individuos de cada sexo) de poblaciones de peces teleósteos han sido realizados sobre especies de pequeños pelágicos o demersales debido a la facilidad para su muestreo. Esos estudios han sido generalmente enfocados para poder identificar la prevalencia de cada sexo en la captura, conocer la estructura demográfica de la población por sexo, incorporar estos datos en la evaluación de la fracción de hembras reproductoras del stock para estimar su biomasa, estimar los niveles absolutos de puesta anual (huevos), establecer la posible relación SSB/R y evaluar el nivel de explotación de esta fracción de hembras reproductoras (GULLAND, 1983).

Sin embargo, en el caso de peces teleósteos grandes migradores pelágico-oceánicos, es especialmente complejo realizar este tipo de observaciones de sex-ratio debido a la dificultad para obtener y manejar ejemplares de gran tamaño que pueden superar los 100 kg de peso individual, para los cuales raramente es posible afrontar su compra por el elevado precio unitario. Disponer de amplios muestreos sobre estas especies presenta una dificultad añadida.

Además de los usos antes indicados para los estudios biológicos y de evaluación de los stocks, los datos de sex-ratio de los grandes migradores pueden aportar información sobre el comportamiento diferencial entre sexos -segregación por sexos, distribución en manchas por sexo, etc, (POTTS & WOOTTON, 1984)- sugiriendo la posible estructuración espacio-temporal de sus fracciones según su sexo, con impacto sobre la evaluación y la ordenación de ambas fracciones del stocks.

El comportamiento diferencial por sexo, que es conocido en muchas especies de diferentes grupos zoológicos, se observa también en varias especies de peces gran migradores taxonómicamente distantes, como los elasmobránquios (p.e. *Prionace glauca*, *Isurus oxyrinchus*) y los teleósteos (p.e. túnidos, xíphidos e istiophóridos), lo que sugiere que este comportamiento podría ser fruto de una convergencia durante millones de años adaptada al sistema pelágico oceánico.

La identificación de la variabilidad del sex-ratio en el pez espada no es una cuestión que se haya puesto de manifiesto recientemente, sino que su posibilidad fue apuntada al menos desde mediados del siglo pasado (RICH, 1947). Uno de los primeros documentos que señalaba este fenómeno, se refería a las capturas realizadas en las proximidades de Cuba, donde no sólo se describía una llamativa diferencia de sex-ratio en relación con otras áreas conocidas del Atlántico Noroeste, sino también su característica variabilidad estacional que el autor relacionaba con la elevada presencia de machos de mediana talla junto con grandes hembras para su reproducción en esas áreas (GUITART-MANDAY, 1964). Otras investigaciones iniciales realizadas en el Atlántico Noroeste usaban registros históricos de las pesquerías locales de arpón y de palangre de EEUU y Canadá, relativamente costeras, relacionando los patrones de sex-ratio encontrados con la temperatura de las masas de agua superficial (BECKETT, 1974; HOEY, 1986). En base a todos esos estudios, el segundo de estos autores resumía los trabajos anteriores y postulaba por primera vez una tesis para explicar y generalizar el motivo de esta variabilidad en el sex-ratio por talla observada en algunas regiones del Atlántico Noroeste, proponiendo comportamientos migratorios diferentes para machos y hembras bajo la hipótesis “*size-temperature mediated sexual segregation*”, sugiriendo que la talla de los peces (su biomasa corporal) y la temperatura de las capas superficiales del mar eran los factores que condicionaban la mayor o menor segregación entre tallas-sexos (HOEY, 1991).

Trabajos posteriores, realizados con una mayor cobertura geográfica y de muestreo en el Atlántico Norte, confirmaron similares patrones de sex-ratio por clase de talla también en amplias regiones templadas del Atlántico Noreste (GARCÍA y MEJUTO, 1988).

En general, el conjunto de esos trabajos realizados hasta esa fecha, subrayaban la naturaleza del problema y permitían sugerir una serie de conclusiones comunes:

- a) El valor de sex-ratio global (hembras:machos) quizás no era un buen indicador para detectar diferencias de estratificación espacio-temporal entre sexos, ya que este ratio parecía afectado por el rango de tallas objeto de observación.
- b) Podría existir cierta segregación espacio-temporal por sexos motivada por la segregación espacio-temporal entre tallas.
- c) Los sex-ratio de las hembras presentaban patrones característicos. Valores de sex-ratio entre 40-50% se mantenían generalmente para tallas interiores a 150 cm (LJFL). A partir de esa talla, el porcentaje de hembras se incrementaba progresivamente con el incremento de la talla hasta alcanzar valores próximos al 100% a partir de las tallas 200-215 cm (LJFL).
- d) Parecía necesario crear bases de datos con mayor cobertura geográfica que permitiera estudiar y explicar esta variabilidad observada.

Como consecuencia de ello, desde mediados de los años ochenta del siglo pasado, se iniciaron algunas actividades de investigación en varios países de ambos lados del Atlántico entre las que se incluía el muestreo de talla-sexo del pez espada, aprovechando la expansión geográfica de varias flotas en el Atlántico Norte y Sur, incorporando incluso observaciones de otros océanos cuando esto fue posible (AROCHA & LEE, 1993; AROCHA & LEE, 1996; AROCHA *et al.*, 1994; HOEY, 1991; LEE, 1992; MEJUTO & DE LA SERNA 1997; MEJUTO *et al.*, 1991; MEJUTO *et al.*, 1994; MEJUTO *et al.*, 1995; DE LA SERNA *et al.*, 1992b, 1993; STONE & PORTER, 1997; TURNER *et al.*, 1996; TURNER *et al.*, 1997).

Aunque los diferentes trabajos realizados señalaban algunos patrones similares de sex-ratio por talla entre algunas de las regiones-flotas observadas, a la vez mostraban en otros casos una llamativa variabilidad espacial en el sex-ratio por clase de talla entre otras regiones. Sin embargo, no era posible identificar cuales eran las causas de esta llamativa variabilidad. Una parte de esa variabilidad entre los sex-ratios por talla dentro de una misma región parecía explicarse suficientemente a partir del crecimiento diferencial entre sexos (RESTREPO, 1991) ya que las hembras alcanzan mayor talla máxima ( $L_{max}$  y  $L_{00}$ ) y presentan mayores tasas de crecimiento ( $K$ ) que los machos a partir de alcanzar su talla de primera madurez.

Como consecuencia de ello, los peces de mayor talla observados en las capturas presentan mayor probabilidad de ser hembras, ya que los individuos machos, que alcanzan menor talla máxima, se concentran entre rangos de tallas menores, acumulando más edades dentro de una menor número de clases o rangos de talla. Aunque mediante modelado la diferencia de crecimiento explicaba suficientemente los patrones característicos de sex-ratio entre tallas observados dentro de algunas de las regiones templadas, sin embargo no era suficiente para explicar otra variabilidad observada entre zonas para los mismo rangos de tallas (sex-ratio por clase de talla entre áreas o regiones). Además, había otros patrones de sex-ratio extremadamente dispares y característicos, posteriormente descubiertos, que quizás sólo podrían explicarse por patrones migratorios complejos y diferenciales entre sexos, motivados probablemente por requerimientos fisiológico-oceanográficos diferentes, lo que sugería cierta segregación o estratificación por sexos en ciertas áreas o, al menos, en las capturas realizadas por las flotas.

## 7.2. MATERIAL Y MÉTODOS.

A partir del año 1986, se estableció un programa intensivo de muestreo de talla y sexo del pez espada en buques españoles de palangre de superficie. Las observaciones fueron obtenidas mayoritariamente a partir de las flotas comerciales del Atlántico y, en menor medida, en buques del Mediterráneo y de los océanos Pacífico e Índico.

El sexo del pez espada fue identificado de visu mediante disección y muestreo biológico realizados en diferentes puertos de desembarco o mediante observaciones realizadas a bordo en aquellos buques en los que los ejemplares no eran desembarcados con sus vísceras (figura 72).



Figura 72. Gónadas de peces espada de ambos sexos, sobre 150 cm de talla LJFL. (A): ambas gónadas femeninas de unos 300 gramos (arriba) y ambas gónadas masculinas (abajo). (B): corte transversal de la gónada femenina en estado de reposo (no madura). (C) corte transversal de la gónada masculina en estado de reposo (no madura).

Para asegurar que los criterios de identificación del sexo estaban adecuadamente estandarizados entre equipos de muestreo, se trabajó conjuntamente sobre cientos de ejemplares de un amplio rango de tallas, comprobándose que no existía discrepancia entre las respectivas identificaciones realizadas.

Las observaciones obtenidas fueron identificadas junto con su procedencia geográfica en cuadrículas de 5°x5°, fecha de captura, puerto, etc. Más tarde fueron acumuladas por regiones, año y fecha de muestreo. A efectos analíticos, las diferentes regiones fueron analizadas para años combinados y por semestres (enero-junio, julio-diciembre). Las regiones fueron definidas atendiendo a la actividad de la flota, al comportamiento migratorio del pez espada y a factores oceanográficos asociados (MEJUTO & HOEY, 1991; MEJUTO & GARCÍA, 1997). La variable “año” no fue considerada en los análisis, asumiéndose este factor con efecto aleatorio menor a largo plazo (TURNER *et al.*, 1996).

Adicionalmente, en algunos de los análisis realizados, fue posible incorporar observaciones cedidas por otros investigadores (AROCHA *et al.*, 1994; SCOTT, com. pers.), aunque estas venían acumuladas por grandes regiones, sin identificar el área 5°x5° de procedencia original, y estaban adjudicadas todas ellas como pertenecientes a sólo 3 cuadrículas de 5°x5°, lo que limita su representatividad geográfica y dificulta su interpretación analítica.

La talla de cada pez fue medida con calibre al centímetro inferior desde la mandíbula inferior hasta la horquilla (LJFL) y clasificada en intervalos de talla de 5 cm. Sólo los peces entre 115 y 200 cm LJFL fueron incluidos en los análisis iniciales, pero este rango se amplió a 110-215 en los análisis finales. Los peces fuera de esos rangos de tallas presentan normalmente escasas observaciones por lo que sus patrones de sex-ratio observados suelen ser erráticos. Además, los peces menores de 110-115 cm usualmente muestran un sex-ratio sobre el 50%, mientras que los individuos superiores a 200 cm presentan valores de sex-ratios para las hembras próximos al 100%. Por tanto, la mayor variabilidad de sex-ratios es esperada dentro de los rangos de tallas

seleccionados, especialmente entre 120-175 cm. Los sex-ratios (SR), tanto global (SRo) como por talla (SRs) fueron definidos como:

$$SR = [N^{\circ} \text{ de hembras} / (N^{\circ} \text{ de machos} + N^{\circ} \text{ de hembras})].$$

Los SRs y sus valores medios fueron expresados en porcentaje a efectos gráficos o descriptivos. Una vez definidos los diferentes patrones de sex-ratio por talla, fueron calculados sus respectivos intervalos de confianza 95%, según la metodología descrita por RESTREPO (1998).

Los patrones de sex-ratio por talla (SRs) observados entre 1986-1994 para las diferentes regiones fueron inicialmente analizados mediante diferentes métodos de cluster aglomerativo-jerárquicos (DIGBY & KEMPTON, 1991; JONGMAN *et al.*, 1987; PIELOU, 1984) usando diferentes procedimientos "cluster" de SAS<sup>®</sup>: "average linkage", "single linkage", "centroid hierarchical", "Ward's minimum variance", (SAS, 1988).

En los análisis finales, los sex-ratios por talla (SRs) fueron obtenidos para cada región usando observaciones acumuladas entre los años 1986 y 1999, las cuales fueron catalogadas en 16 regiones del Atlántico. En ese caso, los análisis descriptivos y de tipo cluster se realizaron para dos rangos de tallas diferentes: (1): Valores de SRs para tallas  $110 \leq L_{JFL} \leq 215$ . (2): Valores de SRs para tallas  $120 \leq L_{JFL} \leq 170$ , rango sobre el que se observa la mayor variabilidad entre regiones. A ambos rangos de talla se aplicaron similares procedimientos cluster bajo S-plus<sup>®</sup> (S-PLUS 1997) con objeto de identificar patrones comunes entre regiones.

### 7.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El primer análisis afronta una visión geográfica relativamente amplia del SR del pez espada en el Atlántico y utiliza 65.346 observaciones de talla-sexo obtenidas entre los años 1986 y 1993 a partir de 3.502 operaciones de muestreo realizados a bordo o durante los desembarcos de la flota española de palangre de superficie (MEJUTO *et al.*, 1994). Los datos fueron inicialmente catalogados, según su procedencia, en 14 regiones (figura 73) y semestre de muestreo. Las regiones sin observaciones, o con escaso número de ellas, fueron excluidas de los análisis por lo que finalmente se consideraron a estos efectos analíticos preliminares 20 estratos de región-semestre (tabla 12).

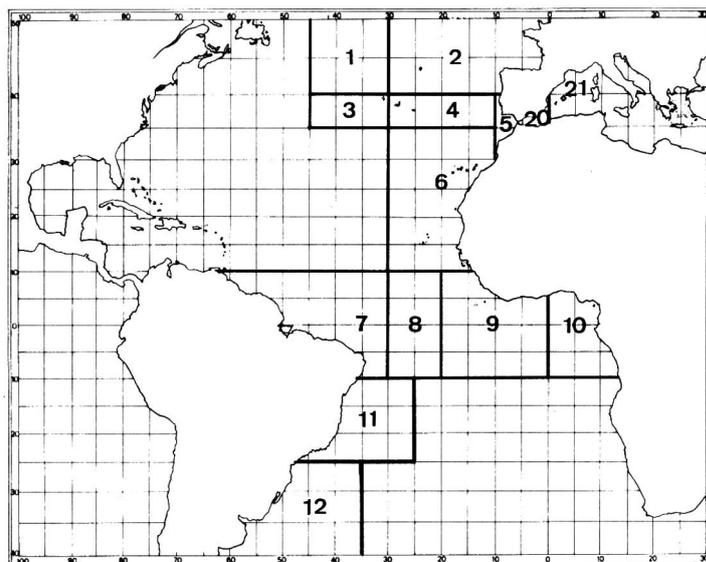


Figura 73. Definición de las regiones geográficas usadas en los análisis iniciales, incluyendo las observaciones obtenidas entre 1986 y 1993 (tomado de MEJUTO *et al.*, 1994).

Región	Semestre	SRo	SRs																	
			T115	T120	T125	T130	T135	T140	T145	T150	T155	T160	T165	T170	T175	T180	T185	T190	T195	T200
01	01	0.484	37.805	38.889	38.333	36.283	28.736	45.528	37.956	38.060	38.298	46.939	51.923	49.412	62.500	68.000	86.275	86.364	100.000	100.000
01	02	0.502	39.535	56.757	49.057	43.860	41.270	42.683	32.877	44.118	49.254	45.098	47.059	47.500	53.571	71.429	64.706	77.273	92.857	100.000
02	01	0.505	30.435	41.667	35.714	30.435	61.905	47.619	43.478	33.333	43.333	48.000	53.846	58.333	66.667	60.000	100.000	75.000	100.000	100.000
02	02	0.542	53.125	54.054	50.000	58.182	51.786	53.191	52.830	50.000	49.206	47.692	46.667	51.064	48.387	56.250	77.778	60.000	90.476	91.667
03	02	0.565	42.857	66.667	70.000	37.500	50.000	53.333	60.000	50.000	55.000	20.000	50.000	33.333	33.333	80.000	66.667	66.667	75.000	75.000
04	01	0.561	44.660	42.437	46.693	47.791	47.451	50.455	56.459	54.357	63.212	62.562	61.979	70.000	69.421	76.596	78.462	82.090	82.609	86.842
04	02	0.625	36.441	44.578	51.351	45.205	55.022	51.695	62.992	62.185	66.204	70.089	67.241	71.667	72.067	76.159	80.142	78.571	81.944	91.398
05	01	0.490	23.962	28.849	30.503	34.653	44.800	52.101	50.681	63.496	72.660	74.232	76.658	79.118	84.416	86.512	84.314	87.121	91.781	92.241
05	02	0.615	42.258	40.203	38.860	46.537	49.280	54.167	65.157	68.056	72.404	75.982	81.905	82.659	82.772	84.188	85.057	87.218	93.043	97.902
06	01	0.598	43.089	52.055	48.682	55.474	60.624	58.882	66.419	62.554	64.108	67.916	67.225	75.427	76.446	74.479	82.424	88.785	90.000	95.146
06	02	0.663	52.560	47.799	57.382	62.044	57.045	64.964	68.085	69.118	70.103	76.201	77.839	84.932	80.827	82.063	85.535	88.489	88.421	96.296
07	01	0.164	25.373	9.333	7.273	10.738	6.341	5.747	4.367	2.087	3.610	6.695	16.902	22.275	38.028	56.364	78.667	88.095	90.323	100.000
07	02	0.146	33.333	23.810	5.556	7.692	0.000	1.471	2.632	4.902	4.082	3.297	16.364	22.222	64.000	81.250	88.889	87.500	100.000	100.000
08	01	0.322	33.333	28.125	25.714	15.217	17.308	11.268	8.475	15.238	15.385	18.391	28.571	38.095	61.224	76.667	83.333	85.000	100.000	95.455
08	02	0.382	41.176	28.571	19.643	10.638	12.903	6.849	7.921	12.097	15.686	16.667	26.250	47.826	59.091	76.471	89.189	93.750	90.323	100.000
09	02	0.571	53.191	50.602	34.722	26.087	36.283	39.735	37.324	36.471	36.810	38.983	51.176	58.373	64.972	78.235	90.833	90.698	97.196	97.872
10	02	0.681	58.333	67.089	75.439	54.762	76.316	60.784	65.000	67.857	62.500	60.000	73.913	71.605	78.873	91.837	85.714	84.375	93.333	94.737
12	01	0.518	100.000	30.000	53.333	42.105	43.750	27.586	34.091	34.884	32.857	32.727	31.579	31.169	52.941	50.704	47.436	63.636	68.333	65.517
20	02	0.514	47.619	44.068	51.111	51.807	66.000	50.000	47.059	78.378	67.857	100.000	81.250	81.250	86.667	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
21	02	0.490	41.121	43.155	49.580	44.000	52.212	55.779	57.955	71.000	63.918	77.778	78.261	85.366	78.571	87.500	95.238	100.000	100.000	100.000

Tabla 12. Valores de sex-ratio global (SRo) y sex-ratio por clase de talla en porcentaje (SRs) obtenidos a partir de 65.346 observaciones talla-sexo muestreadas entre los años 1986 y 1993 y comprendidas entre las tallas 115-200 cm, para cada uno de los estratos de región-semestre definidos (según MEJUTO *et al.*, 1994).

Los resultados permiten identificar grupos con patrones de SRs característicos entre ciertas regiones-épocas, con elevada similaridad entre ellos, los cuales a su vez presentaban disimilaridades muy significativas con otros grupos (figura 74). Pese a los diferentes procesos de cluster ensayados, aparecen patrones consistentemente y característicos de SRs que permiten catalogar en grupos las diferentes regiones del Atlántico, según los patrones observados.

Las regiones 04, 05, 06, 10, 20 y 21 forman un grupo similar entre sí, relativamente distante de otros. La región 05 y las regiones 20-21, a ambos lados del Estrecho de Gibraltar (Atlántico y Mediterráneo, respectivamente), muestran elevada similaridad pese a asumirse como pertenecientes a diferentes stocks (ANÓNIMO, 1997). Las regiones 01, 02, 03 y 09 pueden considerarse como un grupo, moderadamente homogéneo.

Las regiones 07 y 08 fueron especialmente interesantes, al mostrar patrones de SRs no descritos previamente, muy disimilares con todos los patrones de SRs conocidos (tabla 12).

Los porcentajes de hembras en ambas regiones 07 y 08 aparecen inusualmente bajos para ciertos rangos de talla, confirmándose que este patrón es consistente entre diferentes muestreos realizados y para diferentes épocas, descartándose errores de observación. En ambas regiones, predominan claramente los machos en ciertos rangos de talla. Las hembras capturadas son relativamente escasas y con elevado desarrollo gonadal o en puesta. Ambas regiones presentan similar SST que otras regiones tropicales próximas situadas más al Este, o incluso las próximas a África (regiones 09 y 10), pero su termoclina está situada a mayor profundidad que en las regiones tropicales más al Este (figura 75). Estos aspectos podrían ser suficientes para explicar la preferente selección de unas u otras áreas para procesos biológicos diferentes, tanto por los machos como por las hembras.

Estos resultados además confirman en general que SRo no es un buen indicador para detectar la estratificación geográfica por sexos del pez espada, aunque en algunas de las regiones claramente disimilares (como las regiones 07 y 08) este valor es capaz de identificar sus enormes diferencias con otras.

Por otra parte, pese a los diferentes métodos de cluster ensayados, los resultados sugieren que la variable semestral es claramente menos importante que la componente geográfica para explicar la variabilidad de los SRs. Otros estudios realizados con datos del Atlántico Noroeste usando técnicas de modelado también valoraron la importancia de diferentes factores espacio-temporales sobre los SRs, concluyendo que la variable “área” sería al menos unas diez veces más importante que el efectos “año” o “trimestre” en la variabilidad observada del SRs. Las variables estacionales (plurimensuales) ensayadas no fueron detectadas como estadísticamente significativas o de efecto relativamente menor (TURNER *et al.*, 1996, 1997).

En análisis posteriores se añadieron observaciones obtenidas durante 1994, incluyendo observaciones de otros Océanos e incorporando además muestreos de regiones del Atlántico Noroeste (regiones 91, 92, 93) aportados por otros autores. En conjunto, se analizaron 111.816 datos de talla-sexo del Atlántico, Mediterráneo, Índico y Pacífico.

Un total de 100.944 observaciones se obtuvieron de buques españoles (50.372 machos y 50.572 hembras). Un total de 10.872 observaciones (4417 machos y 6455 hembras) proceden de muestreos realizados a partir del año 1990 por investigadores de EEUU y Venezuela en las regiones del Atlántico Noroeste (regiones 91, 92 y 93). En conjunto se definieron 36 estratos de región-semestre (figura 76, tabla 13).

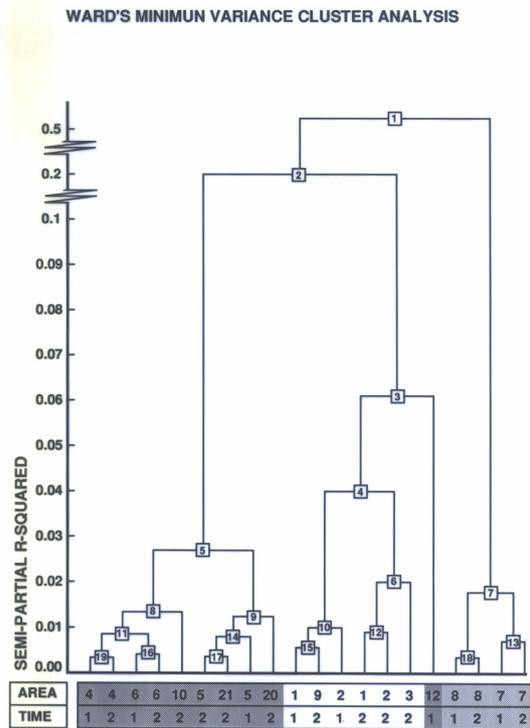
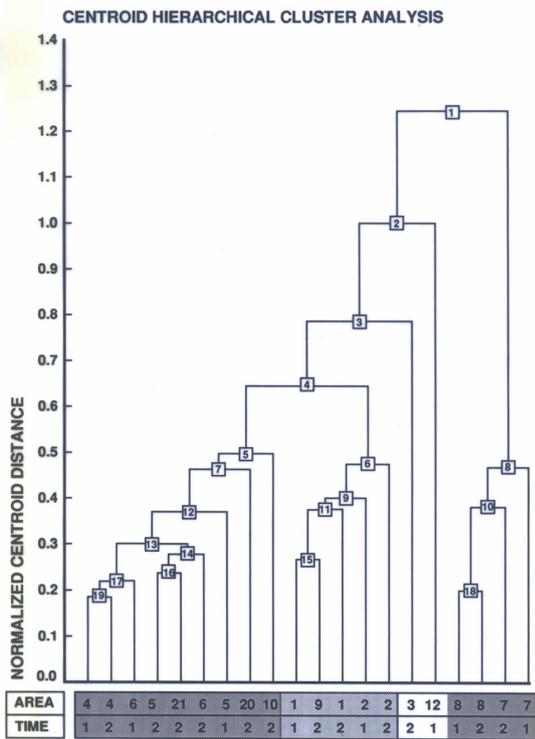
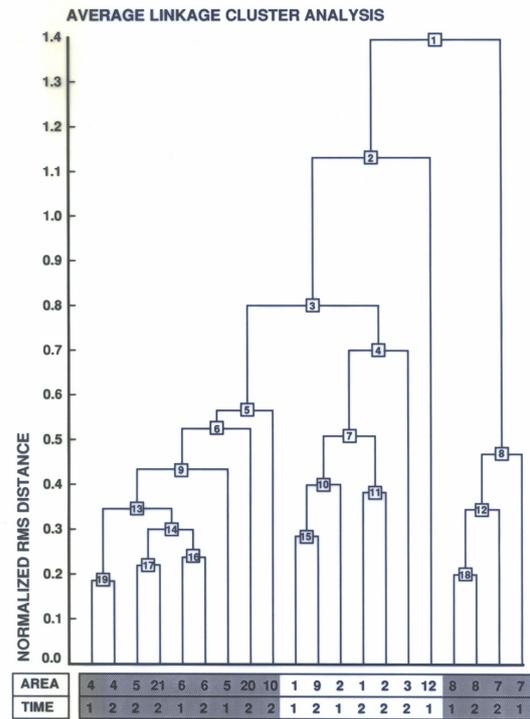
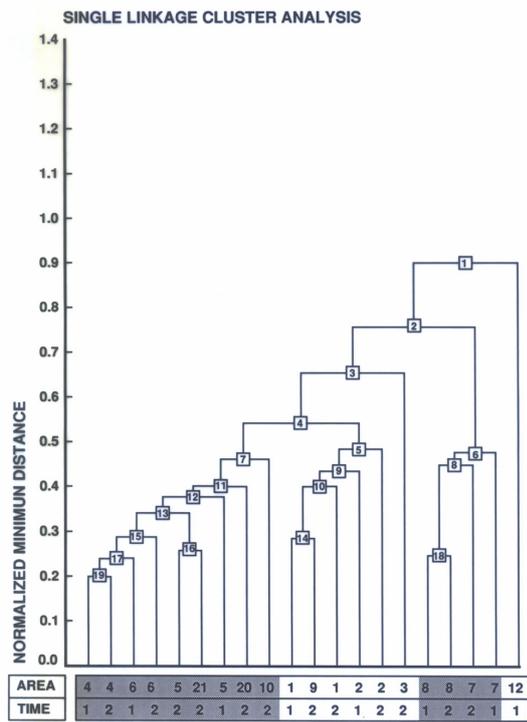


Figura 74. Distancias entre los patrones de sex-ratio por talla (SRs) obtenidos para los diferentes estratos de región-semestre (area-time en la figura) usando varios tipos de cluster (según MEJUTO *et al.*, 1994).

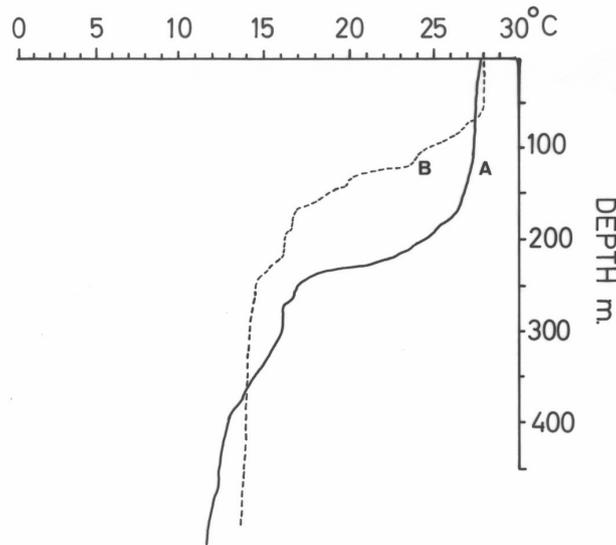


Figura 75. Variación de la temperatura (°C) con la profundidad en metros (depth), a partir de datos tomados con XBT en dos estaciones tropicales donde fueron obtenidos datos de talla-sexo del pez espada, durante una marea comercial. (A): posición 00° 07' N/31° 11' W en fecha 25.03.1990. (B): posición 01° 17' N/20° 23' W en la fecha 14.05.1990 (según MEJUTO *et al.*, 1994).

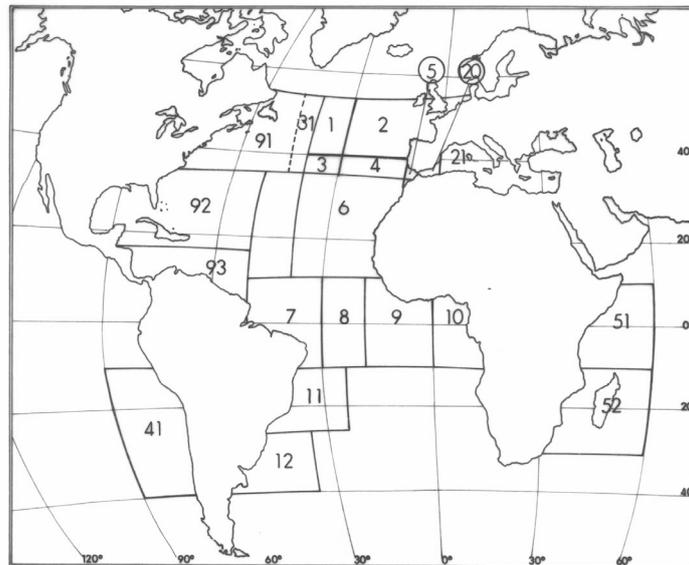


Figura 76. Definición de las regiones geográficas usadas en los análisis incluyendo las observaciones obtenidas entre 1986 y 1994 (tomado de MEJUTO *et al.*, 1995).

Capítulo 7. El sex-ratio del pez espada y sus regiones biológicas.

Región	Semestre	SRs																		
		SRo	T115	T120	T125	T130	T135	T140	T145	T150	T155	T160	T165	T170	T175	T180	T185	T190	T195	T200
01	01	0.496	38.961	36.893	38.318	37.615	24.359	46.602	38.462	38.532	45.283	50.476	53.846	53.030	64.865	75.610	92.105	87.805	100.000	100.000
01	02	0.467	31.915	47.826	41.667	36.559	44.186	44.086	39.326	42.105	50.649	50.000	52.632	42.500	53.846	70.588	72.222	76.471	77.778	100.000
02	01	0.488	36.111	48.718	44.186	36.111	48.387	46.429	40.000	28.125	45.161	48.148	48.485	50.000	70.000	62.500	60.000	62.500	87.500	87.500
02	02	0.507	50.000	44.643	44.828	54.667	50.000	50.769	48.684	47.436	40.698	46.591	50.847	50.000	50.000	55.882	75.862	66.667	86.957	91.667
03	02	0.380	22.222	36.000	56.522	37.500	21.538	26.786	43.396	40.984	42.553	22.222	37.500	33.333	33.333	80.000	75.000	66.667	75.000	75.000
04	01	0.552	43.460	41.935	44.912	47.426	47.260	50.826	56.466	53.282	62.687	62.500	62.755	68.750	69.421	76.596	78.788	82.857	83.333	87.500
04	02	0.624	36.441	45.614	51.327	46.018	55.172	52.675	62.308	62.241	66.204	70.089	67.241	71.429	72.067	75.658	79.577	78.571	81.944	91.398
05	01	0.489	23.917	28.756	30.503	34.653	44.800	52.101	50.543	63.171	72.660	74.232	76.658	79.118	84.052	86.512	84.314	87.121	91.781	92.241
05	02	0.614	42.173	40.203	38.760	46.537	49.280	54.167	65.157	68.056	72.404	75.982	81.905	82.659	82.772	84.188	85.057	87.218	93.043	97.902
06	01	0.599	42.391	51.247	48.776	56.274	60.526	59.175	66.990	63.596	66.038	68.564	68.462	76.000	75.225	75.281	83.226	88.660	89.062	94.681
06	02	0.657	50.809	47.633	56.452	61.268	55.965	63.657	67.333	68.360	70.316	75.551	75.926	84.314	81.227	81.498	85.714	88.811	88.421	96.396
07	01	0.163	25.373	9.091	7.207	10.526	6.311	5.650	4.348	2.076	3.597	6.681	15.902	22.275	38.028	56.364	78.667	88.095	90.323	100.000
07	02	0.181	63.158	32.000	15.000	17.021	5.660	6.757	3.750	5.556	4.950	3.191	16.667	27.586	65.385	81.250	90.000	88.889	100.000	100.000
08	01	0.305	34.375	20.000	20.339	11.429	12.329	9.524	7.831	14.907	11.111	17.188	27.523	35.714	55.882	74.419	85.106	91.176	100.000	93.548
08	02	0.323	36.000	29.412	17.822	9.524	9.402	6.289	6.542	9.158	11.157	11.245	23.958	37.821	48.951	70.370	76.923	90.361	90.000	95.918
09	01	0.516	51.142	45.374	45.192	36.243	40.000	43.794	35.266	39.583	40.000	34.561	43.094	51.007	48.110	54.676	71.552	74.863	88.889	88.983
09	02	0.578	49.002	54.188	50.444	49.922	48.905	49.719	48.649	48.446	43.594	47.006	58.264	61.967	70.250	74.083	84.309	86.667	94.928	94.422
10	02	0.619	53.275	60.825	60.736	55.944	46.939	61.272	62.722	63.314	57.241	58.182	68.263	71.765	66.667	69.799	77.600	81.553	82.692	91.935
12	01	0.491	41.176	40.000	51.111	36.735	40.206	33.981	31.008	28.226	35.165	34.197	30.317	36.283	50.000	44.444	48.039	62.130	66.142	73.016
12	02	0.629	41.667	42.105	56.522	48.276	59.091	44.118	50.000	55.172	53.125	30.769	59.459	46.154	58.537	53.659	68.750	73.529	80.952	93.548
20	01	0.472	52.308	54.000	48.387	53.125	50.000	47.826	73.684	90.000	66.667	66.667	100.000	100.000	75.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
20	02	0.514	47.619	44.068	51.111	51.807	66.000	50.000	47.059	78.378	67.857	100.000	81.250	81.250	86.667	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
21	01	0.470	41.414	45.643	41.206	44.920	50.955	63.121	72.917	58.442	79.221	67.797	69.643	76.000	70.000	81.818	85.714	100.000	100.000	100.000
21	02	0.490	41.121	43.155	49.580	44.000	52.212	55.779	57.955	71.000	63.918	77.778	78.261	85.366	78.571	87.500	95.238	100.000	100.000	100.000
31	01	0.417	20.000	47.619	40.000	27.027	32.432	35.000	30.233	38.983	29.412	41.379	50.000	40.625	61.290	43.750	77.778	66.667	100.000	100.000
31	02	0.568	50.000	45.455	50.000	30.000	50.000	16.667	29.412	33.333	66.667	25.000	50.000	71.429	75.000	85.714	60.000	71.429	100.000	100.000
41	02	0.563	33.333	52.632	42.308	48.062	55.039	60.204	63.934	72.549	61.702	72.340	60.000	64.151	67.568	52.381	39.535	44.898	52.941	63.889
51	01	0.244	37.405	21.711	10.300	7.692	3.324	6.610	9.131	9.799	19.244	31.527	41.935	55.435	77.966	80.702	97.297	97.222	96.000	100.000
52	02	0.342	33.333	30.128	20.264	15.234	18.662	15.827	18.930	25.714	33.133	46.032	65.306	66.667	77.358	86.842	88.571	93.103	100.000	100.000
52	01	0.487	53.571	45.192	27.778	26.471	27.545	33.766	36.242	45.860	55.034	58.491	59.091	63.291	68.056	76.271	87.500	93.333	90.476	94.118
91	01	0.775	79.167	63.415	63.636	68.966	63.077	73.810	68.571	75.281	76.923	64.815	74.138	85.714	83.333	78.571	92.105	79.412	95.652	95.000
91	02	0.738	55.652	66.026	69.118	75.610	68.519	70.342	73.180	72.614	69.677	71.429	77.273	80.488	84.459	88.776	88.776	91.139	95.714	91.228
92	01	0.440	50.000	46.154	40.000	33.333	35.979	30.102	22.535	28.495	30.496	29.375	27.742	33.333	35.606	45.669	60.194	68.000	82.258	82.353
92	02	0.455	49.231	51.190	38.393	37.069	42.727	39.080	28.947	31.667	32.353	36.364	51.351	52.174	74.074	54.167	60.000	66.667	80.000	83.333
93	01	0.570	55.556	45.714	43.478	36.170	51.429	60.870	46.154	47.222	62.500	61.538	79.487	82.353	53.846	75.000	86.667	91.667	100.000	88.889
93	02	0.539	48.624	57.009	49.180	53.333	40.000	46.000	45.714	66.667	62.963	50.000	71.795	66.667	82.609	69.565	80.000	66.667	87.500	100.000

Tabla 13. Valores de sex ratio global (SRo) y sex-ratio por clase de talla en porcentaje (SRs) obtenidos para los estratos de región-semestre definidos, a partir de 111.816 observaciones de talla-sexo muestreadas entre los años 1986 y 1994 (según MEJUTO *et al.*, 1995).

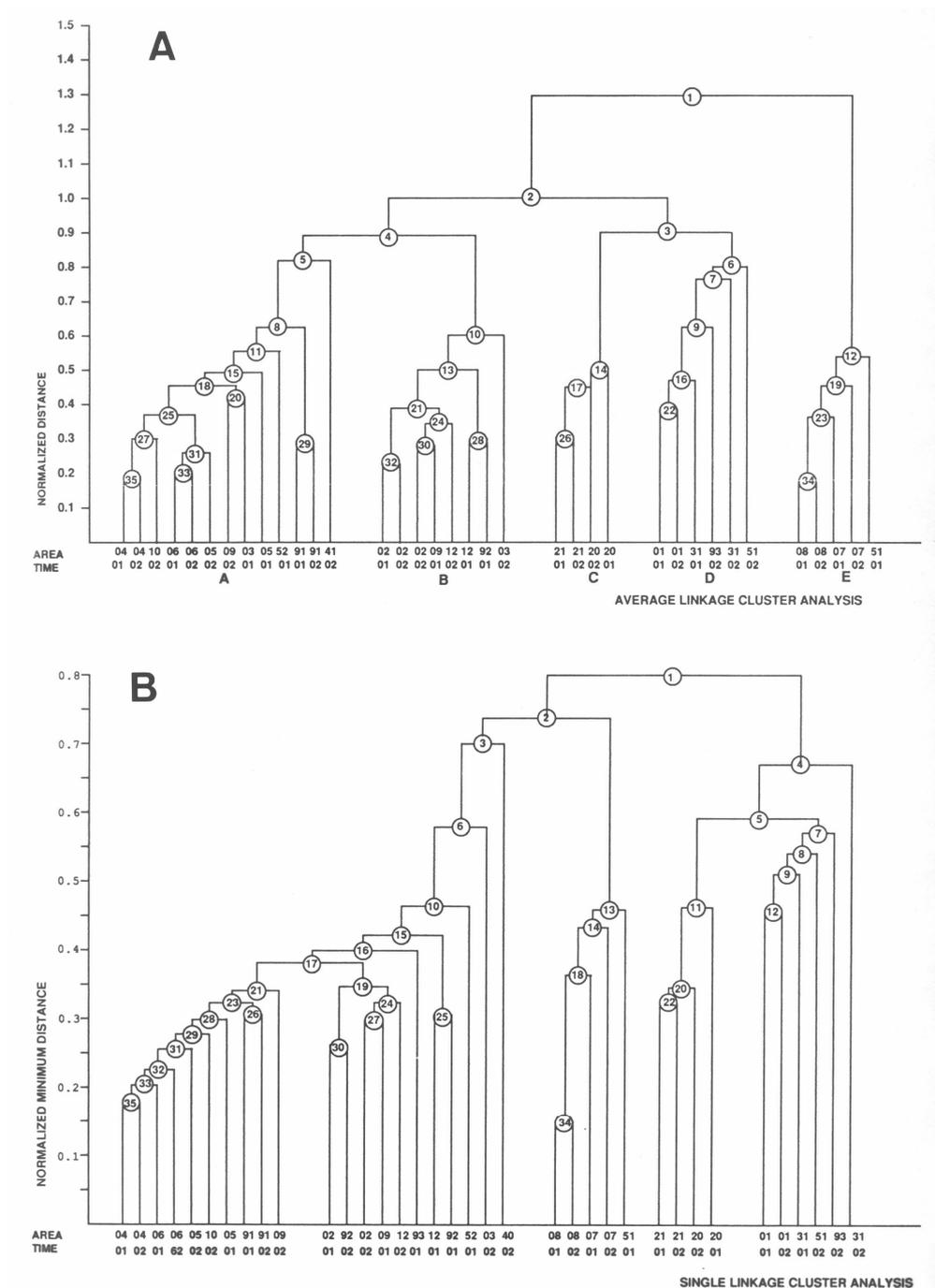


Figura 77. Distancias entre los patrones de sex-ratio por clase de talla (SRs) obtenidos para los diferentes estratos de región-semestre (area-time en la figura), usando varios tipos de procesos de cluster del tipo aglomerativo-jerárquicos (SAS, 1988). A, B y C: para todos los estratos definidos. C: Considerados sólo los estratos del Atlántico y Mediterráneo (según MEJUTO *et al.*, 1995).

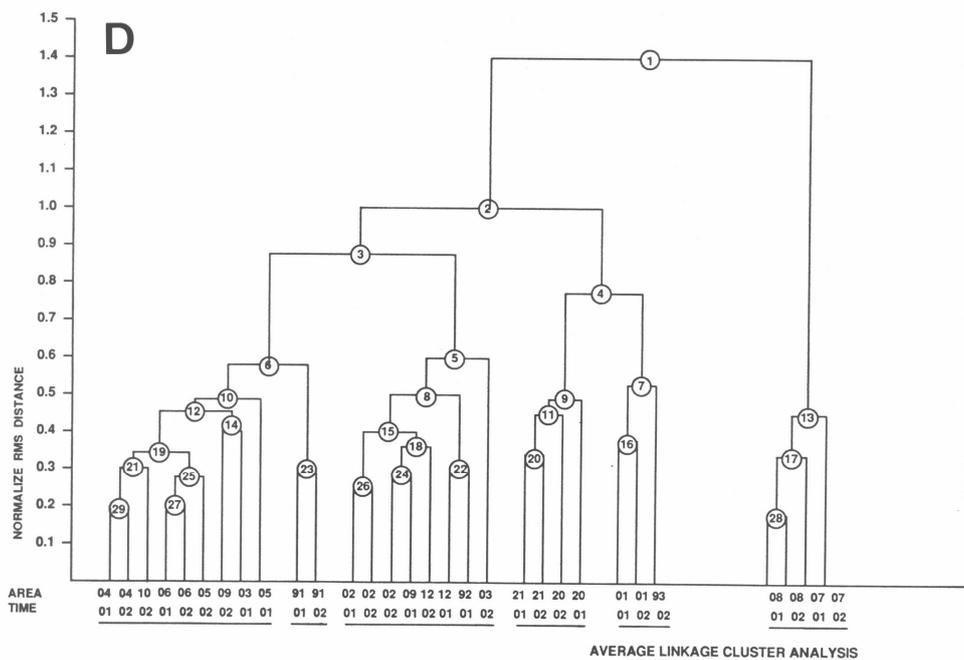
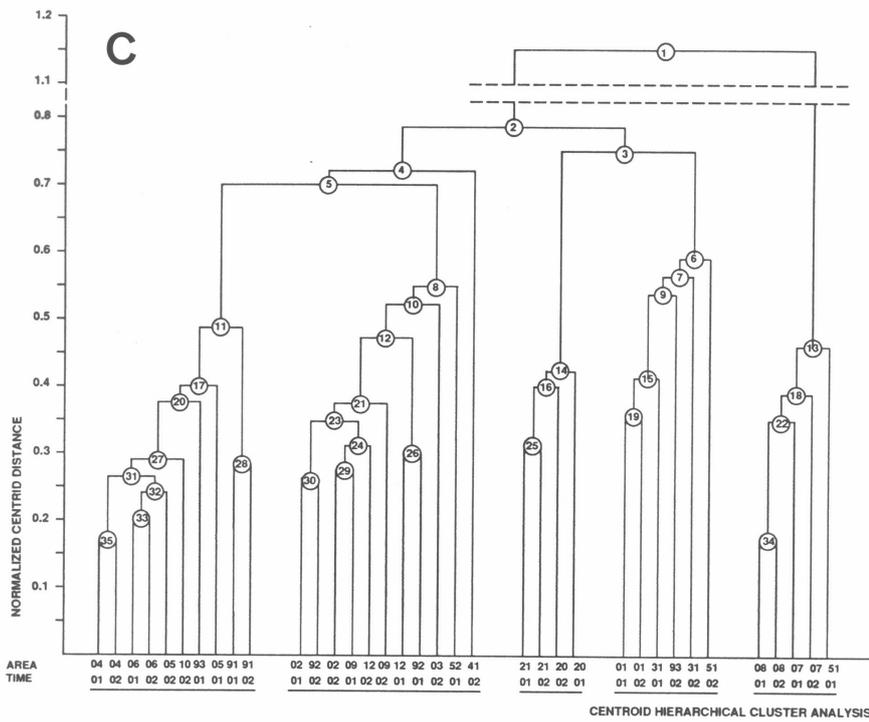


Figura 77 (continuación). Distancias entre los patrones de sex-ratio por clase de talla (SRs) obtenidos para los diferentes estratos de región-semester (area-time en la figura), usando varios tipos de cluster de tipo aglomerativo-jerárquico. A, B y C: para todos los estratos definidos. D: Considerados sólo los estratos del Atlántico y Mediterráneo (según MEJUTO *et al.*, 1995).

Los resultados confirmaron las conclusiones previas al sugerir posibles agrupamientos de regiones en cuando a sus patrones de SRs. Cuando se consideraron todos los estratos, tanto del Atlántico como de fuera de él, podrían sugerirse varios posible clusters (tabla 14, figura 77 a, b, c).

<i>Cluster</i>	<i>Región - Semestre</i>	<i>Comentario</i>
A	04, 05, 06, 10, 91, <u>52</u>	Posiblemente también la <u>41</u> del Pacífico.
B	02, 03, 09, 12, 92	
C	20, 21	Mediterráneo.
D	01, 31, 93, <u>51-02</u>	51-02 = Índico-2º semestre.
E	07, 08, <u>51-01</u>	51-01 = Índico-1º semestre.

Tabla 14. Clusters sugeridos para el conjunto de estratos “región-semestre” definidos. Se incluyen observaciones del Atlántico, Mediterráneo, Índico y Pacífico entre 1986 y 1994. Cuando en la tabla se incluye sólo “región”, indica que ambos periodos semestrales están incluidos en el mismo cluster. Las regiones subrayadas corresponden al Índico o al Pacífico (tomado de MEJUTO *et al.*, 1995).

El análisis de estos datos, incluyendo sólo las áreas del Atlántico y Mediterráneo (omitiendo la subregión 31), confirmaron los resultados obtenidos usando los diferentes métodos de cluster, independientemente del método usado. El método “*Average Linkage Cluster*” (ALC) fue considerado el más idóneo a efectos de representar los resultados obtenidos (figura 77d).

Como en los análisis anteriores, se confirman los característicos patrones de SRs y, de forma especial, para las regiones 07 y 08 las cuales curiosamente muestran un patrón similar al observado en el estrato 51-01 del océano Índico, donde también fue descrita recientemente la escasa presencia de hembras, maduras o en puesta, con una clara prevalencia de machos en la captura (MEJUTO *et al.*, 2006).

El incremento del número de observaciones de años posteriores permite afrontar análisis adicionales basados en una estratificación geográfica más amplia y con ligeros ajustes en la definición de las regiones al disponer de nuevas observaciones (figura 78). Con ello se pretende regionalizar la mayoría del Atlántico donde se distribuye el pez espada, aunque las observaciones de las regiones 91, 92 y 93 siguen teniendo las mismas limitaciones, por lo que la interpretación de sus resultados debe considerándose con precaución.

Para el periodo 1986-1999, en total se dispuso de 163.550 observaciones de talla-sexo (todos los océanos combinados), de las cuales 122.004 corresponden a regiones del Atlántico, 66.653 hembras y 55.351 machos (tabla 15). Los análisis en este caso se restringieron a las 16 regiones del Atlántico con observaciones disponibles, combinando ambos semestres, ya que este factor temporal se mostró de efecto menor sobre los patrones de SRs obtenidos, confirmando los resultados de otros autores usando otras metodologías (TURNER *et al.*, 1996, 1997).

Capítulo 7. El sex-ratio del pez espada y sus regiones biológicas.

Region	Semestre	SEXO	NUMUES	T110	T115	T120	T125	T130	T135	T140	T145	T150	T155	T160	T165	T170	T175	T180	T185	T190	T195	T200	T205	T210	T215	total
01	ambos	F	1339	23	49	63	75	82	65	99	91	84	94	86	71	59	43	46	52	54	13	34	28	32	14	1257
02	ambos	F	1429	57	80	93	105	117	104	96	81	92	77	74	57	42	35	32	31	18	33	21	27	18	7	1297
03	ambos	F	663	15	30	37	43	57	48	43	48	52	47	28	30	19	7	12	15	10	19	11	13	11	7	602
04	ambos	F	7434	260	290	376	482	479	507	469	489	481	444	409	374	314	281	246	215	177	128	151	77	81	50	6780
05	ambos	F	11496	325	412	484	587	597	573	599	629	723	780	893	705	731	531	497	365	298	214	318	146	93	45	10545
06	ambos	F	18599	780	843	951	1056	1260	1219	1210	1281	1196	1085	1126	970	833	697	577	448	389	270	331	138	119	94	16873
07	ambos	F	970	22	20	15	10	21	15	24	25	24	36	42	70	68	76	85	76	49	36	30	17	19	10	790
08	ambos	F	1377	25	29	30	30	16	20	20	27	49	42	50	76	84	108	108	120	106	94	76	51	33	20	1214
09	ambos	F	5670	203	167	161	151	131	168	227	231	205	218	268	289	330	330	331	336	296	267	244	155	130	86	4924
10	ambos	F	6336	342	309	261	205	206	259	365	377	386	307	357	386	372	316	278	215	199	135	125	102	91	38	5631
11	ambos	F	2003	11	41	40	66	70	64	79	74	102	103	103	101	113	107	112	110	105	84	109	74	77	46	1791
12	ambos	F	1644	6	14	24	49	44	48	44	44	52	64	75	77	91	117	103	102	107	92	97	77	85	40	1452
13	ambos	F	408	1	4	6	8	7	5	7	4	7	5	14	14	31	24	26	25	22	40	34	31	18	17	350
91	ambos	F	4260	64	112	171	226	298	301	307	296	295	170	235	217	208	193	143	144	112	112	86	76	68	55	3889
92	ambos	F	1829	39	71	91	99	97	115	93	70	72	54	63	62	53	67	71	77	57	59	52	41	39	32	1474
93	ambos	F	1196	73	93	77	50	49	56	51	40	41	42	30	59	32	26	31	21	15	12	17	11	5	9	840
01	ambos	M	1429	44	84	101	114	132	113	119	141	122	110	84	63	56	30	19	8	9	2	0	0	0	1	1352
02	ambos	M	1305	80	93	96	113	97	88	74	86	83	89	70	55	44	35	30	11	12	6	2	2	2	1	1169
03	ambos	M	782	47	56	56	48	69	79	68	75	65	58	35	31	20	11	3	4	6	1	2	1	1	0	736
04	ambos	M	5279	340	383	445	459	440	412	372	305	302	210	217	188	133	115	77	57	45	28	22	7	5	2	4564
05	ambos	M	9126	808	834	896	955	794	590	470	405	330	261	256	178	157	101	81	57	37	19	15	8	4	5	7261
06	ambos	M	11358	905	851	888	862	858	836	710	620	588	508	430	377	248	202	160	101	52	41	26	11	9	1	9284
07	ambos	M	4979	59	65	100	152	202	295	478	613	760	696	583	345	207	108	54	20	7	3	0	0	0	0	4747
08	ambos	M	2975	47	53	88	130	138	170	244	353	385	335	327	225	142	103	43	31	11	7	4	1	0	0	2837
09	ambos	M	5560	250	240	224	269	360	376	373	388	407	383	423	321	281	209	154	66	54	15	11	4	0	1	4809
10	ambos	M	3289	237	220	173	163	207	234	206	207	183	178	141	126	93	102	69	56	32	18	9	6	1	1	2662
11	ambos	M	1750	23	40	63	75	92	86	121	117	138	120	131	124	141	116	113	66	67	35	25	6	5	4	1708
12	ambos	M	1581	10	22	45	45	69	65	67	99	94	120	130	155	145	109	124	106	65	42	36	14	6	3	1571
13	ambos	M	655	3	3	13	13	20	32	46	43	56	50	59	57	64	46	33	31	7	7	2	1	0	0	643
91	ambos	M	2028	87	103	122	151	180	195	157	158	158	106	135	87	70	49	33	21	19	5	9	7	1	1	1854
92	ambos	M	2283	62	72	97	153	181	184	190	219	174	121	141	130	93	92	80	51	27	13	11	3	2	2	2098
93	ambos	M	972	59	88	65	57	58	64	45	47	31	25	24	19	12	10	12	4	3	1	1	2	0	1	628
todas	ambos	F	66653	2246	2564	2880	3242	3531	3567	3733	3807	3861	3568	3853	3558	3380	2958	2698	2352	2014	1608	1736	1064	919	570	59709
todas	ambos	M	55351	3061	3207	3472	3759	3897	3819	3740	3876	3876	3370	3186	2481	1899	1456	1098	692	477	243	180	74	37	23	47923
01	ambos	F+M	2768	67	133	164	189	214	178	218	232	206	204	170	134	115	73	65	60	63	15	34	28	32	15	2609
02	ambos	F+M	2734	137	173	189	218	214	192	170	167	175	166	144	112	86	70	62	42	30	39	23	29	20	8	2466
03	ambos	F+M	1445	62	86	93	91	126	127	111	123	117	105	63	61	39	18	15	19	16	20	13	14	12	7	1338
04	ambos	F+M	12713	600	673	821	941	919	841	794	783	654	626	562	447	396	323	272	222	156	173	84	86	52	11344	
05	ambos	F+M	20622	1133	1246	1380	1542	1391	1163	1069	1034	1053	1041	1149	883	888	632	578	422	335	233	333	154	97	50	17806
06	ambos	F+M	29957	1685	1694	1839	1918	2118	2055	1920	1901	1784	1593	1556	1347	1081	899	737	549	441	311	357	149	128	95	26157
07	ambos	F+M	5949	81	85	115	162	223	310	502	638	784	732	625	415	275	184	139	96	56	39	30	17	19	10	5537
08	ambos	F+M	4352	72	82	118	160	154	190	264	380	434	377	377	301	226	211	151	151	117	101	80	52	33	20	4051
09	ambos	F+M	11230	453	407	385	420	491	544	600	619	612	601	691	610	611	539	485	402	350	282	255	159	130	87	9733
10	ambos	F+M	9625	579	529	434	368	413	493	571	584	569	485	498	512	465	418	347	271	231	153	134	108	92	39	8293
11	ambos	F+M	3753	34	81	103	141	162	150	200	191	240	223	234	225	254	223	225	176	172	119	134	80	82	50	3499
12	ambos	F+M	3225	16	36	69	94	113	113	111	143	146	184	205	232	236	226	227	208	172	134	133	91	91	43	3023
13	ambos	F+M	1063	4	7	19	21	27	37	53	47	63	55	73	71	88	88	72	58	53	47	41	33	19	17	993
91	ambos	F+M	6288	151	215	293	377	478	496	464	454	453	276	370	304	278	242	176	165	131	117	95	83	69	56	5743
92	ambos	F+M	4112	101	143	188	252	278	299	283	289	246	175	204	192	146	159	151	128	84	72	63	44	41	34	3572
93	ambos	F+M	2168	132	181	142	107	107	120	96	87	72	67	54	78	44	36	43	25	18	13	18	13	5	10	1468
todas	ambos	F+M	122004	5307	5771	6352	7001	7428	7386	7473	7683	7737	6938	7039	6039	5279	4414	3796	3044	2491	1851	1916	1138	956	593	107632

Tabla 15. Número de observaciones por sexo y clase de talla de los peces espada muestreados entre los años 1986 y 1999 en cada una de las regiones definidas en el Atlántico y que fueron usadas en los análisis finales. Los datos de las regiones 91, 92 y 93 fueron aportados por otros autores. F= hembras. M= machos.

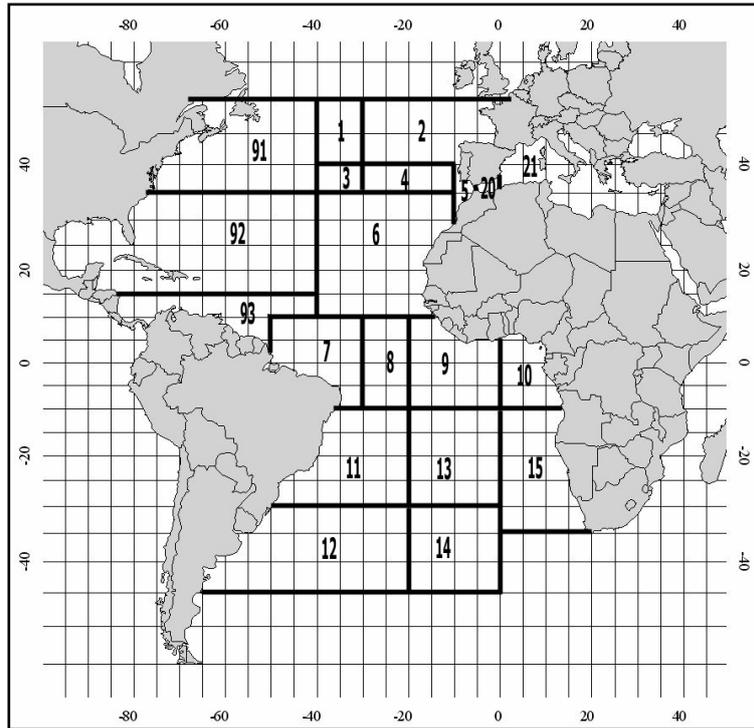


Figura 78. Definición de las regiones del Atlántico usadas en los análisis finales de SRs, con observaciones acumuladas hasta el año 1999. Sólo las áreas del Atlántico fueron consideradas en los análisis finales.

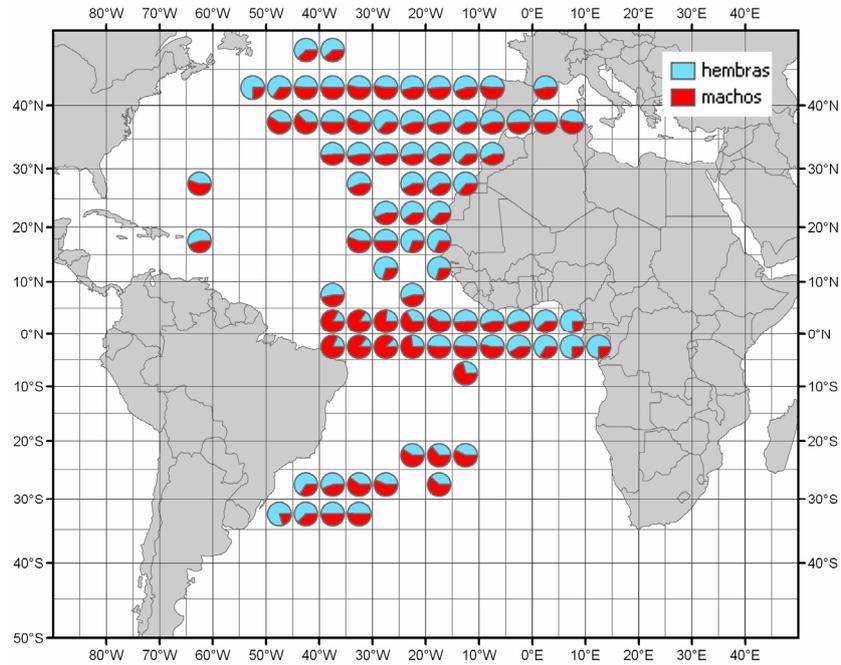


Figura 79. Localización geográfica 5°x5° de las muestras disponibles del Atlántico y del Mediterráneo (todas las tallas combinadas entre 50 y 350 cm) y por sexo (rojo = machos, azul = hembras). Sólo las áreas del Atlántico fueron consideradas en los análisis finales.

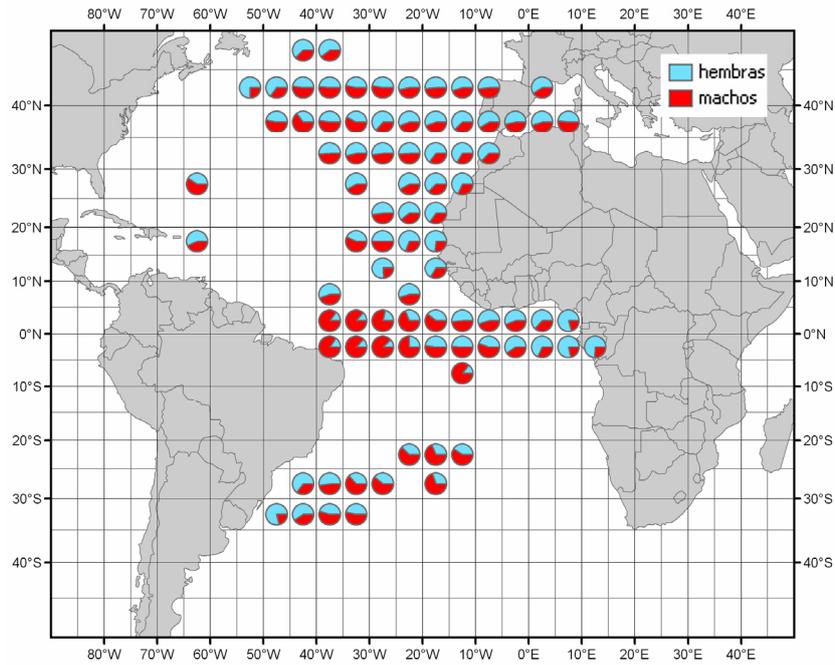


Figura 80. Localización geográfica 5°x5° de muestras disponibles del Atlántico y del Mediterráneo (para las tallas 110-215 cm) y por sexo (rojo = machos, azul = hembras). Sólo las áreas del Atlántico fueron consideradas en los análisis finales.

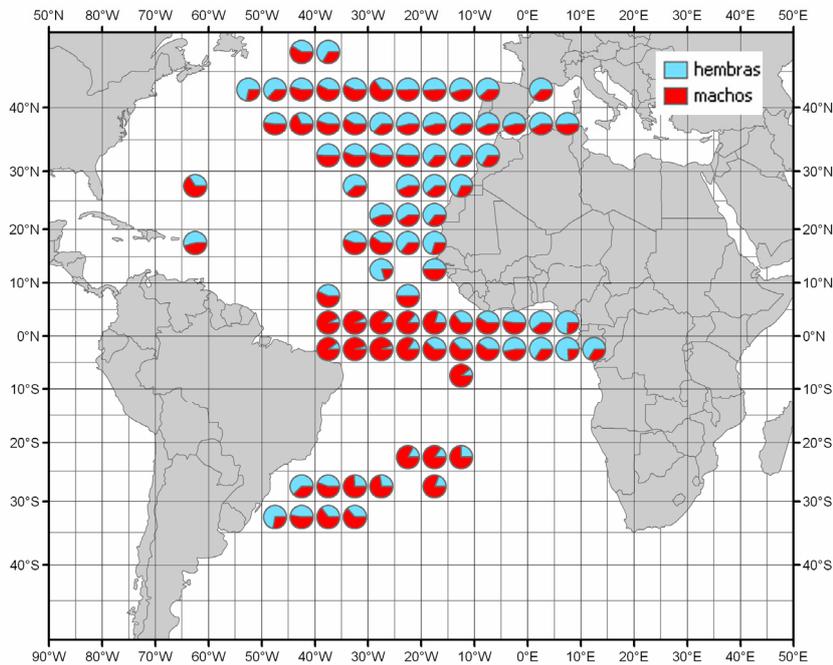


Figura 81. Localización geográfica 5°x5° de muestras disponibles del Atlántico y del Mediterráneo (para las tallas 120-170 cm) y por sexo (rojo = machos, azul = hembras). Sólo las áreas del Atlántico fueron consideradas en los análisis finales.

Las observaciones disponibles en formato 5°x5° (todas las tallas combinadas entre 50 y 350 cm LJFL), representando la fracción correspondiente a cada sexo, dan idea del esfuerzo de muestreo realizado y ayuda a interpretar los resultados por región. Las áreas del Atlántico Noroeste están insuficientemente representadas por no haber actividad pesquera de la flota española y por el tipo de asignación geográfica dada originalmente a las pocas observaciones suministradas. Las áreas del Atlántico Nordeste, Atlántico tropical y Atlántico Suroeste, donde concentra su actividad la flota española, son las mejor representadas, aunque con ciertas deficiencias en algunas áreas de las regiones 11 y 13. Las regiones 14 y 15 no se incluyen en los análisis de sex ratios por carecer de observaciones.

Estas observaciones acumuladas en áreas 5°x5° muestran una distribución diferencial entre sexos, con prevalencias de hembras o de machos (o situaciones de equilibrio) según las áreas consideradas. En las áreas de mayor latitud del Norte y del Sur, en las regiones costeras del Norte de África y en zonas próxima al Golfo de Guinea, aparece clara dominancia de hembras. Sin embargo, en las áreas cálidas-tropicales del Oeste existe clara dominancia de machos en la captura (figura 79).

Esta situación se hace quizás más patente al restringir el cartografiado a las observaciones comprendidas entre las tallas 110-215 cm y 120-170 cm, respectivamente (figuras 80 y 81). Además de la esperada dominancia de machos en las regiones 07 y 08, la disponibilidad de nuevas observaciones y la restricción del rango de tallas a 120-170 cm aporta una nueva visión en cuanto a una moderada dominancia de los machos en otras áreas cálidas del Atlántico Sur influenciadas por la corriente de Brasil (región 13 y parte de la región 11) donde no había sido descrito este fenómeno.

A la vista de estos resultados, los análisis posteriores de los SRs se enfocaron para ambos rangos de talla. (1): Valores de SRs para tallas 110 <= LJFL <=215. (2): Valores de SRs para tallas 120 <= LJFL <=170, rango sobre el que se observa la mayor variabilidad entre regiones.

Region	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	91	92	93	todas
Semestre	ambos	ambos	ambos	ambos	ambos	ambos	ambos	ambos	ambos	ambos	ambos	ambos	ambos	ambos	ambos	ambos	Media
SRO	0,48	0,52	0,46	0,58	0,56	0,62	0,16	0,32	0,50	0,66	0,53	0,51	0,38	0,68	0,44	0,55	0,50
T110	34,33	41,61	24,19	43,33	28,68	46,29	27,16	34,72	44,81	59,07	32,35	37,50	25,00	42,38	38,61	55,30	38,46
T115	36,84	46,24	34,88	43,09	33,07	49,76	23,53	35,37	41,03	58,41	50,62	38,89	57,14	52,09	49,65	51,38	43,88
T120	38,41	49,21	39,78	45,80	35,07	51,71	13,04	25,42	41,82	60,14	38,83	34,78	31,58	58,36	48,40	54,23	41,66
T125	39,68	48,17	47,25	51,22	38,07	55,06	6,17	18,75	35,95	55,71	46,81	52,13	38,10	59,95	39,29	46,73	42,44
T130	38,32	54,67	45,24	52,12	42,92	59,49	9,42	10,39	26,68	49,88	43,21	38,94	25,93	62,34	34,89	45,79	40,01
T135	36,52	54,17	37,80	55,17	49,27	59,32	4,84	10,53	30,88	52,54	42,67	42,48	13,51	60,69	38,46	46,67	39,72
T140	45,41	56,47	38,74	55,77	56,03	63,02	4,78	7,58	37,83	63,92	39,50	39,64	13,21	66,16	32,86	53,13	42,13
T145	39,22	48,50	39,02	61,59	60,83	67,39	3,92	7,11	37,32	64,55	38,74	30,77	8,51	65,20	24,22	45,98	40,18
T150	40,78	52,57	44,44	61,43	68,66	67,04	3,06	11,29	33,50	67,84	42,50	35,62	11,11	65,12	29,27	56,94	43,20
T155	46,08	46,39	44,76	67,89	74,93	68,11	4,92	11,14	36,27	63,30	46,19	34,78	9,09	61,59	30,86	62,69	44,31
T160	50,59	51,39	44,44	65,34	77,72	72,37	6,72	13,26	38,78	71,69	44,02	36,59	19,18	63,51	30,88	55,56	46,38
T165	52,99	50,89	49,18	66,55	79,84	72,01	16,87	25,25	47,38	75,39	44,89	33,19	19,72	71,38	32,29	75,64	50,84
T170	51,30	48,84	48,72	70,25	82,32	77,06	24,73	37,17	54,01	80,00	44,49	38,56	35,23	74,82	36,30	72,73	54,78
T175	58,90	50,00	38,89	70,96	84,02	77,53	41,30	51,18	61,22	75,60	47,98	51,77	27,27	79,75	42,14	72,22	58,17
T180	70,77	51,61	80,00	76,16	85,99	78,29	61,15	71,52	68,25	80,12	49,78	45,37	36,11	81,25	47,02	72,09	65,97
T185	86,67	73,81	78,95	79,04	86,49	81,60	79,17	79,47	83,58	79,34	62,50	49,04	43,10	87,27	60,16	84,00	74,64
T190	85,71	60,00	62,50	79,73	88,96	88,21	87,50	90,60	84,57	86,15	61,05	62,21	41,51	85,50	67,86	83,33	75,96
T195	86,67	84,62	95,00	82,05	91,85	86,82	92,31	93,07	94,68	88,24	70,59	68,66	85,11	95,73	81,94	92,31	86,85
T200	100,00	91,30	84,62	87,28	95,50	92,72	100,00	95,00	95,69	93,28	81,34	72,93	82,93	90,53	82,54	94,44	90,01
T205	100,00	93,10	92,86	91,67	94,81	92,62	100,00	98,08	97,48	94,44	92,50	84,62	93,94	91,57	93,18	84,62	93,47
T210	100,00	90,00	91,67	94,19	95,88	92,97	100,00	100,00	100,00	98,91	93,90	93,41	94,74	98,55	95,12	100,00	96,21
T215	93,33	87,50	100,00	96,15	90,00	98,95	100,00	100,00	98,85	97,44	92,00	93,02	100,00	98,21	94,12	90,00	95,60
Media 110-215	60,57	60,50	57,41	68,04	70,04	72,65	41,39	46,68	58,66	73,45	54,84	50,68	41,45	73,27	51,37	67,99	

Tabla 16. Sex-ratios globales (SRO) y sex ratio por clase de talla en porcentaje (SRs), y sus respectivos valores medios, para cada clase de talla considerada (110 - 215 cm LJFL), para cada una de las 16 regiones definidas y para ambos semestres combinados.

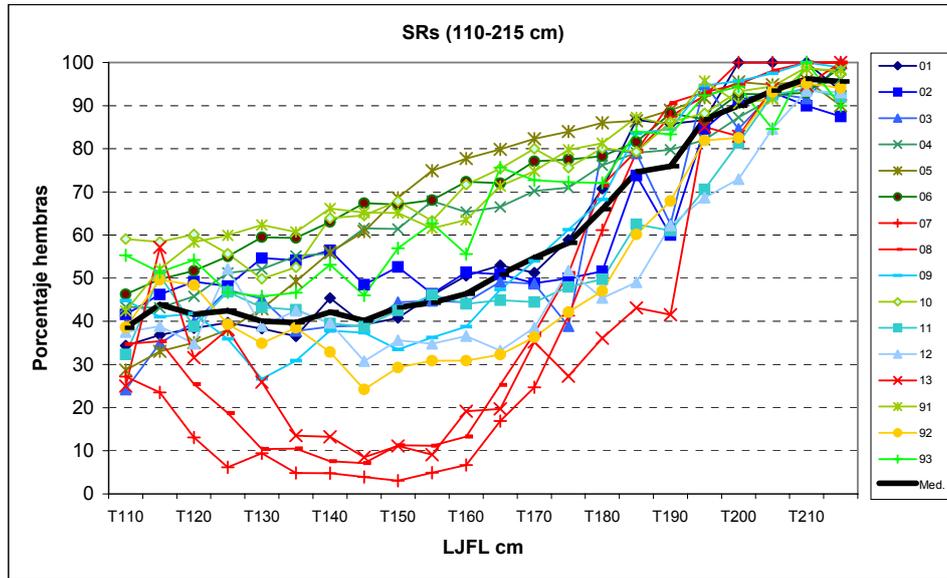


Figura 82. Sex-ratio por clase de talla (SRs) en porcentaje, y sus valores medios, para las clases de talla comprendidas entre 110 y 210 cm (LJFL), para cada una de las regiones y valor medio (Med.).

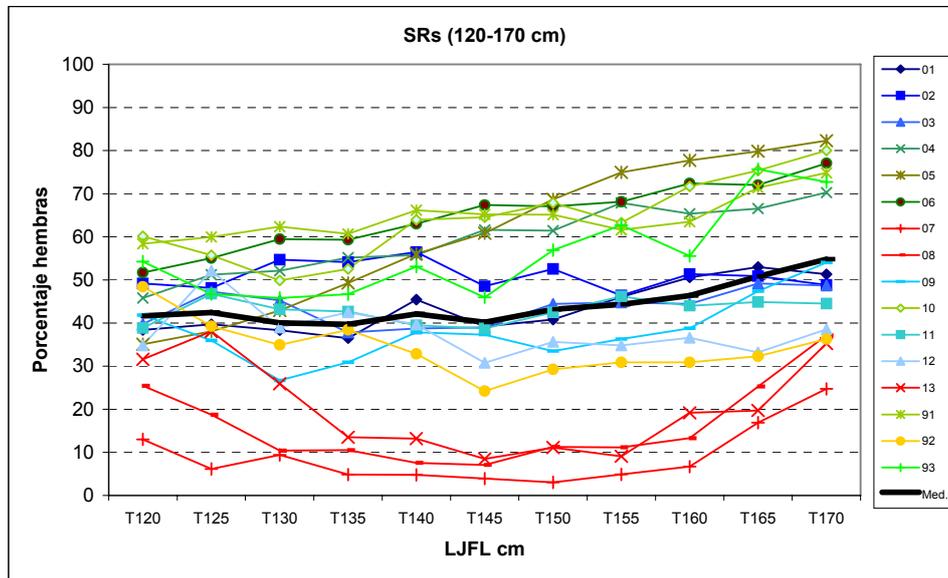


Figura 83. Sex-ratio por clase de talla (SRs) en porcentaje, y sus valores medios, para las clases de talla comprendidas entre 120 y 170 cm (LJFL), para cada una de las regiones y valor medio (Med.).

Los nuevos análisis detectan la enorme variabilidad existente en el SRs entre regiones (figura 82). El análisis visual ya permite identificar patrones similares y disimilares entre varias de las regiones definidas, más evidentes incluso cuando se restringe el análisis al rango de tallas 120-170 cm (figura 83). En este último caso, las regiones 07, 08 y 13 (en color rojo) presentan patrones especialmente característicos, con una clara predominancia de machos en la captura, con relativamente menor ocurrencia de hembras las cuales suelen ser identificadas como maduras o en puesta (ver capítulo 8). La región 92, que incluye algunas muestras de áreas del Caribe en las que han sido descritos procesos de reproducción (AROCHA & LEE, 1996), presenta un patrón de SRs próximo a las tres regiones anteriores, pero mucho más moderado probablemente como consecuencia del tipo de dato, que acumula observaciones de una gran variedad de áreas. Un segundo bloque de regiones (01, 02, 03, 09, 11, 12) presentan otro patrón característico, relativamente estable (en azul), fluctuando los SRs en torno al 50%. Un tercer bloque de regiones (04, 05, 06, 10, 91, 93) presentan otro patrón característico (en verde) en el que predominan las hembras con una tendencia linealmente creciente con el incremento de su talla.

Las observaciones de SRs acumuladas fueron además examinadas mediante clusters. Aunque el tipo “average” es considerado en principio el más indicado como argumento de robustez y consistencia (S-PLUS, 1997) sin embargo fueron ensayados varios métodos (“average”, “single” “Ward’s”, etc.) con objeto de validar los agrupamientos establecidos y verificar su consistencia según se apliquen diferentes métodos a los rangos de talla, 110-215 ó 120-170, respectivamente.

Los diferentes métodos de cluster aplicados a los SRs para el rango de tallas 110-215 cm indican robustez en la definición de los tres grupos detectados, con excepción de la región 13 (R13) que muestra una posición flotante según se aplique uno u otro método (figuras 84, 85, 86). En cualquier caso, los resultados son concluyentes a la hora de detectar 3 clusters característicos (tabla 17). Similares resultados, incluso más concluyentes, son obtenidos cuando se usan los valores de SRs restringiendo el rango de tallas a 120-170 cm (tabla 18, figuras 87-90).

<i>Cluster</i>	<i>Regiones</i>	<i>Comentario</i>
A	01, 09, 03, 02, 11, 12, 92	Consistente entre métodos.
B	04, 06, 91, 10, 93, 05	Consistente entre métodos.
C	07, 08, 13	Región 13 flotante

Tabla 17. Clusters sugeridos a partir de los valores SRs para el conjunto de regiones definidas en el Atlántico, usando observaciones acumuladas entre los años 1986 y 1999, para el rango de tallas 110-215 (ver figuras 84, 85, 86 para más información).

<i>Cluster</i>	<i>Regiones</i>	<i>Comentario</i>
A	01, 03, 11, 09, 12, 92, 02	Consistente entre métodos, ¿excepto 92?.
B	04, 06, 91, 10, 93, 05	Consistente entre métodos.
C	07, 08, 13	Consistente entre métodos, +¿posible 92?.

Tabla 18. Clusters sugeridos a partir de los valores SRs para el conjunto de regiones definidas en el Atlántico, usando observaciones acumuladas entre los años 1986 y 1999, para el rango de tallas 110-215 (ver figuras 87, 88, 89 para más información).

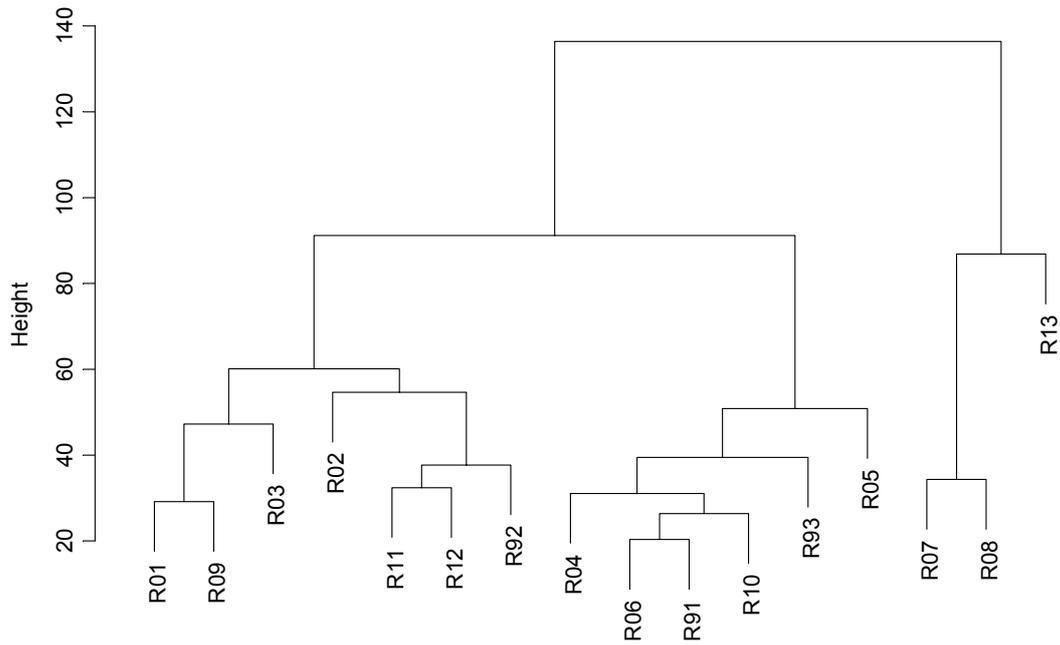


Figura 84. Cluster jerárquico aglomerativo tipo “average” de los patrones de SRs obtenidos por clase de talla 110-215 y para las regiones (R) definidas en el Atlántico (A.C.= 0,72).

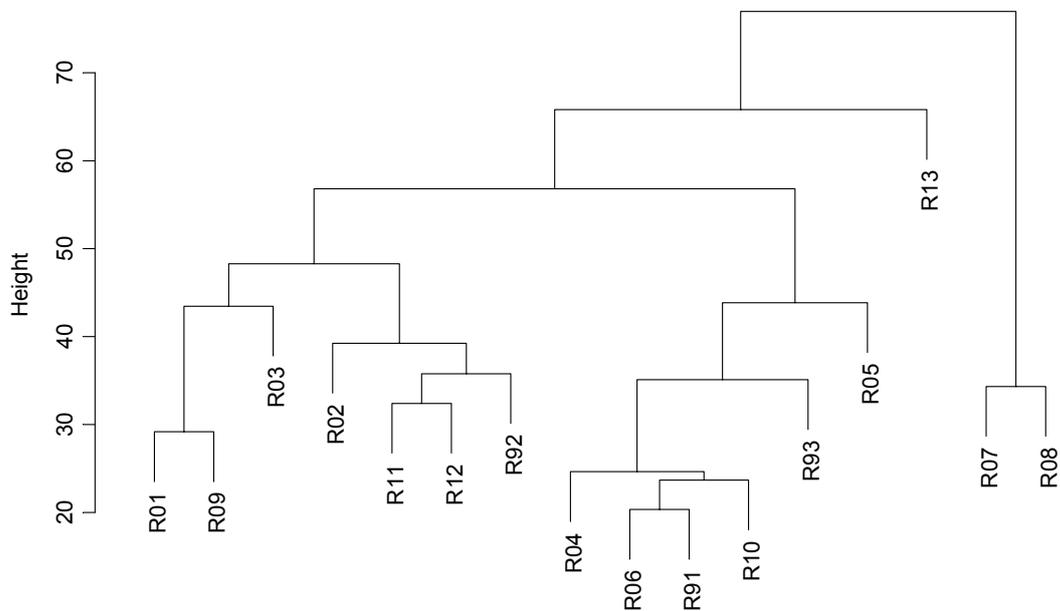


Figura 85. Cluster jerárquico aglomerativo tipo “single” de los patrones de SRs obtenidos por clase de talla 110-215 y para las regiones (R) definidas en el Atlántico (A.C.= 0,56).



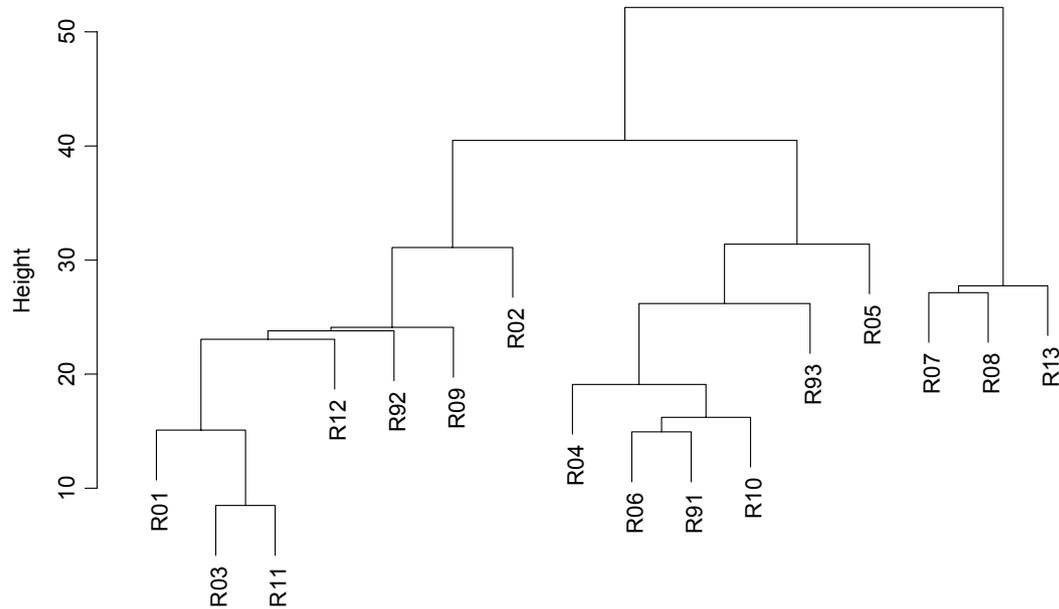


Figura 88. Cluster jerárquico aglomerativo tipo “single” de los patrones de SRs obtenidos por clase de talla 120-170, para las regiones (R) definidas en el Atlántico (A.C.= 0,59).



Figura 89. Cluster jerárquico aglomerativo tipo “Ward’s” de los patrones de SRs obtenidos por clase de talla 120-170, para las regiones (R) definidas en el Atlántico (A.C.= 0,90).

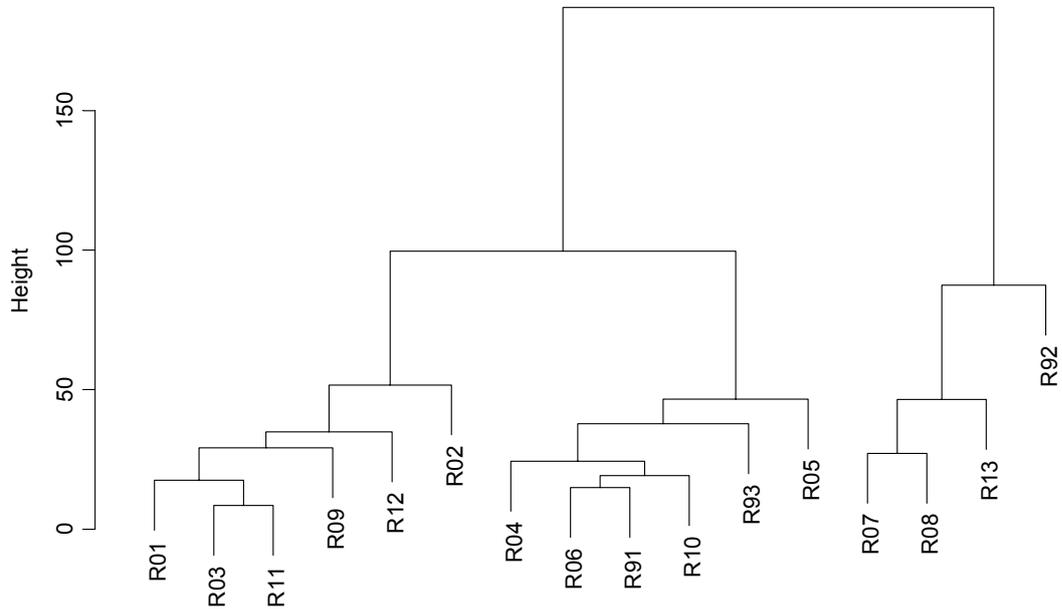


Figura 90. Cluster jerárquico tipo “divisive” de los patrones de SRs obtenidos por clase de talla 120-170, para las regiones (R) definidas en el Atlántico (A.C.= 0,83).

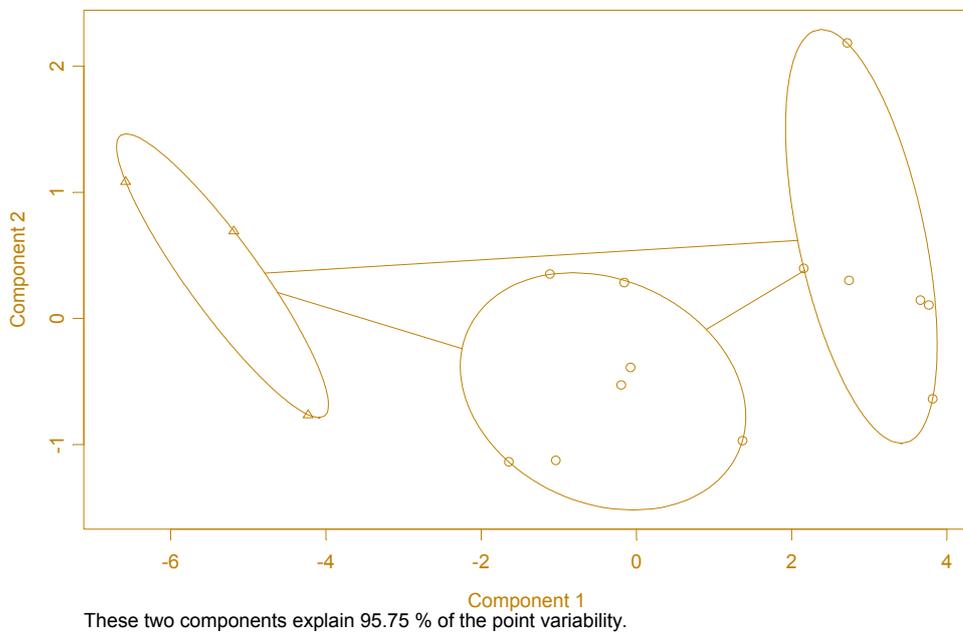


Figura 91. Modelo de partición tipo “fuzzy” (S-PLUS, 1997) de las observaciones de SRs por región y para las clases de talla entre 120 y 170 cm, a partir de medidas de la disimilaridad. Cluster A (centro: 01, 09, 03, 02, 11, 12, 92). Cluster B (derecha: 04, 06, 91, 10, 93, 05). Cluster C (izquierda: regiones 07, 08, 13).

La aplicación de dos métodos cluster de tipo partición, tipo “fuzzy” o “around medoids” (se representa sólo el primero de ellos por dar idénticos resultados) confirmaron en ambos casos que el cluster “A” (regiones 01, 03, 11, 09, 12, 92 y 02) ocuparía una posición intermedia, estando a su derecha e izquierda los clusters “B” (regiones 04, 06, 91, 10, 93 y 05) y “C” (regiones 07, 08 y 13), respectivamente (figura 91).

En definitiva, los resultados finales ratifican y amplían los análisis previos. Los patrones de SRs visualmente observados en diferentes regiones podían catalogarse dentro de 3 tipos de agrupamientos. Teniendo en consideración el comportamiento del pez espada y aspectos oceanográficos, estos grupos fueron asimilados dentro de los patrones identificados como de tipo *reproducción* o “spawning” (C), *alimentación* o “feeding” (B) y de *transición* o “transitional” (A), (MEJUTO *et al.*, 1998), los cuales permiten identificar y catalogar las áreas biológicas de esta especie en el Atlántico. Esta configuración poblacional del pez espada en regiones biológicas se ha visto recientemente apoyada por análisis genéticos basados en DNAm, al identificarse que las respectivas regiones “reproducción” y “alimentación” de dentro de un stock son enormemente próximas genéticamente y más próximas entre si que frente a muestras de cualquier otra región (ALVARADO-BREMER *et al.*, 2005a).

Por tanto, las regiones 07, 08 y, al menos parcialmente la 13, podrían catalogarse como zonas con el típico patrón de reproducción, con SRs caracterizados por la dominancia de machos en la captura. Las regiones 04, 06, 91, 10, 93, 05, tendrían un patrón propio de zonas de alimentación, mientras que las regiones 01, 03, 11, 09, 12, 92 y 02 tendrían un patrón de transición (figura 92).

Alguna de estas regiones incluidas dentro de estos patrones precisarían de muestreos específicos, revisiones posteriores y delimitaciones geográficas más precisas. Dentro de la región 92 han sido detectadas restringidas áreas de reproducción del pez espada con SRs muy similares a los observados en las regiones 07, 08 y 13 (TURNER *et al.*, 1996, 1997). Sin embargo estos patrones no fueron claramente detectados para la región 92 en la mayoría de los cluster aquí ensayados, con excepción de tipo “divisive” el cual sugiere su proximidad y posible agrupamiento con otras regiones con patrón reproductor (figura 90). La región 11 presentaría una situación a caballo entre las áreas de reproducción próximas (regiones 07, 08 y 13) y la situada más al Sur (región 12). La región 13 debe completarse en cuanto a las áreas observadas ya que en este momento sólo se dispone de observaciones de su zona occidental, con aguas más cálidas.

El patrón de SRs tan característico observado en las regiones de tipo “reproducción” no es fácilmente explicable en una especie altamente migradora. Es evidente que este patrón tan característico es motivado por un desequilibrio local entre ambos sexos, pero no estaría claro si este patrón está motivado por cambios en la abundancia local de uno o de ambos sexos.

Estudios previos realizados a partir de observaciones de captura y esfuerzo obtenidos en las regiones con patrones respectivos de reproducción y de alimentación-transición, equivalentes aproximadamente a las regiones 07+08+11 y 09+10, respectivamente, ayudan a interpretar los resultados. En las regiones de reproducción y próximas (incluyendo algunas áreas adyacentes con patrón difuso) la abundancia local de machos fue definida, en promedio, aproximadamente sobre unas tres veces superior a la observada en regiones de alimentación-transición para ese mismo sexo. Esta prevalencia de los machos se incrementaba incluso hasta cinco o seis veces cuando se consideraban en los análisis aquellas áreas donde existían procesos reproductivos muy activos. Por el contrario, la abundancia local media de las hembras en ambos tipos de regiones parecía ser similar (MEJUTO *et al.*, 1998). Esto sugería que el patrón característico de SRs obtenido en las zonas de reproducción sería motivado sobre todo por la inusual concentración de machos en esas zonas o, al menos, a la elevada prevalencia de los machos en las capturas realizadas en dichas zonas y con este arte de pesca específico.

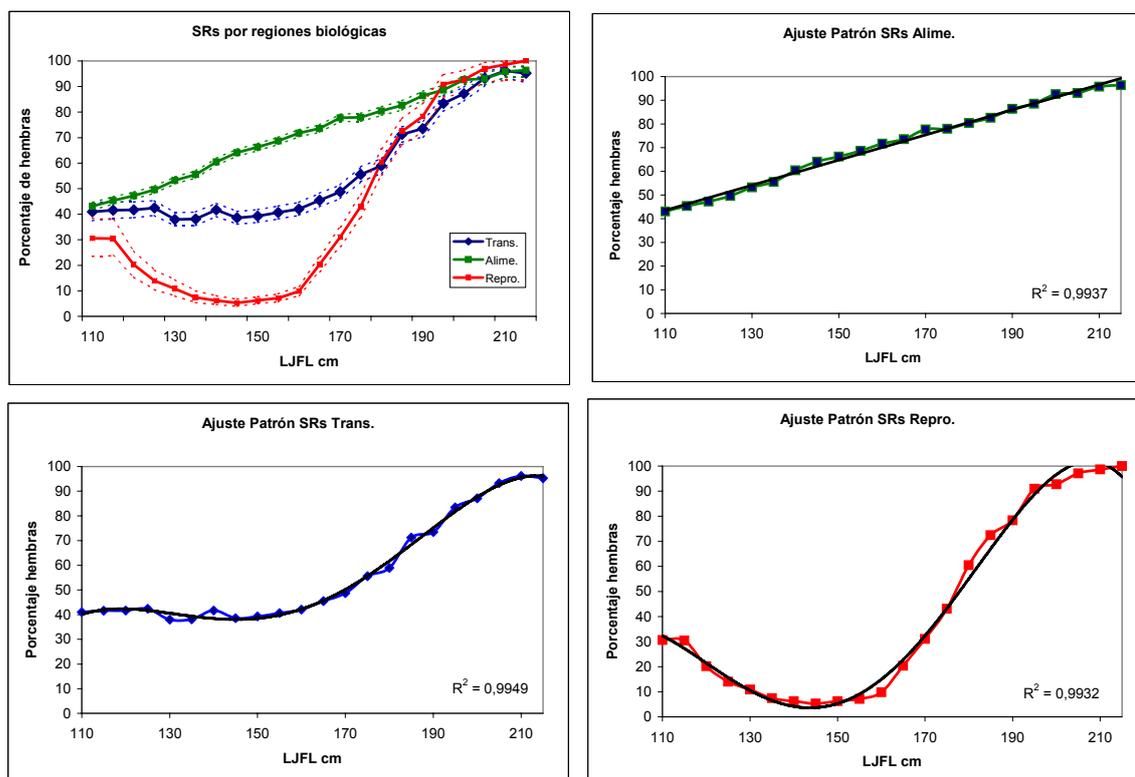


Figura 92. Patrones de SRs medios (tallas 110-215 cm) de las tres de regiones biológica definidas (líneas coloreadas continuas) y sus respectivos intervalos de confianza del 95% (líneas coloreadas discontinuas), obtenidos a partir de los grupos regiones previamente establecidos. Ajustes lineales o polinómicos de cada una de estas regiones biológicas (línea negra continua). (Trans.= transición. Alime.= alimentación. Repro.= reproducción). No se incluye la región 92 en estos cálculos.

Región Biológica	Ecuación	$R^2$
Alimentación	$y = 0,5307 x - 14,863$	0,9937
Transición	$y = -4,4568E-06 x^4 + 0,00283894 x^3 - 0,656764056 x^2 + 65,7430 x - 2370,94$	0,9949
Reproducción	$y = -7,5726E-06 x^4 + 0,00456963 x^3 - 0,990593846 x^2 + 91,4945 x - 3019,40$	0,9932

Tabla 19. Ecuaciones representativas de los patrones de SRs medios para las regiones biológicas definidas y sus correspondientes coeficientes de determinación. No se incluye la región 92 en estos cálculos.

Estos resultados se ven apoyados por recientes observaciones realizadas en áreas cálidas de occidentales en los océanos Índico y Pacífico (MEJUTO *et al.*, 2006) y en áreas del Mar Mediterráneo oriental (TSERPES *et al.*, 2001), donde estos patrones de sex-ratio típicos de “reproducción” han sido descritos para aquellas áreas y regiones con evidencia de estos procesos biológicos. En esta zona del Mediterráneo oriental, la prevalencia media de machos en las áreas de reproducción se manifiesta hasta unas seis veces superior a la de las hembras, mientras que en las otras áreas próximas, donde no son detectados procesos reproductivos, la prevalencia media de ambos sexos está prácticamente equilibrada (machos / hembras = 0,94).

Esto sugiere que la estructuración del pez espada y su comportamiento diferencial por sexo no es un fenómeno exclusivo del Atlántico, sino una característica biológica intrínseca de esta especie condicionada por sus requerimientos ambientales a las capas superficiales donde habita, de forma que éstos le permitan o favorezcan sus respectivos procesos fisiológicos básicos.

Las diferencias obtenidas en los SRs apoyan la hipótesis de que la migración espacial del conjunto de la fracción de hembras suele ser (probabilísticamente hablando) más amplia, mientras que la migración de los machos sería en general, para el conjunto de individuos de este sexo, más restringida, motivada por su menor biomasa corporal media y por los complejos comportamientos reproductivos de esta especie. En resumen, los machos, generalmente de menor talla media, se manifiestan con mayor probabilidad en las capturas obtenidas en las zonas cálidas de reproducción, mientras que las hembras aparecen con mayor probabilidad en regiones de transición y especialmente en las tróficas.

Debe considerarse que los resultados aquí presentados están basados en la combinación de observaciones obtenidas a bordo de buques comerciales que faenan exclusivamente con palangre de superficie, asumiéndose que el arte tiene la misma capturabilidad sobre sexos y tallas en las diferentes regiones. No debería descartarse la posibilidad de que, en las zonas de reproducción, las hembras maduras o en puesta muestren cambios en su comportamiento individual, o en su distribución en profundidad, que afecten negativamente a su capturabilidad con este arte de pesca. Sin embargo, a la vista de los datos, esta posibilidad no parece razonable como para explicar los patrones de SRs obtenidos, ya que no se ha detectado en estudios previos una disminución sustancial en la abundancia local de hembras en las zonas de reproducción sino, sobretodo, una elevada concentración de machos que se manifiesta en las prevalencias de cada sexo y en sus patrones de SRs. En capítulos posteriores se estudiará específicamente este fenómeno que está ligado al comportamientos reproductivos de esta especie. En todo caso, observaciones procedentes de otras artes de pesca que faenen en similares regiones oceánicas, como el palangre profundo dirigido a los atunes, podría ser de gran ayuda para realizar estudios comparativos.



**CAPÍTULO 8. INDICADORES DE LA ACTIVIDAD REPRODUCTIVA DEL PEZ ESPADA.**



## CAPÍTULO 8. INDICADORES DE LA ACTIVIDAD REPRODUCTIVA DEL PEZ ESPADA.

### 8.1. INTRODUCCIÓN.

El pez espada es una especie gonocórica, sin características externas que permitan identificar su sexo, con fecundación externa. La actividad reproductiva de las hembras se ha descrito para regiones específicas, mediante desoves múltiples, por lotes, basados en el desarrollo secuencial de sus diferentes tipos de ovocitos que se manifiestan en el gran desarrollo gonadal cuando las condiciones ambientales son adecuadas. Las gónadas son pareadas, en posición ventral, a ambos lados del paquete intestinal y de la gran vejiga natatoria, en la parte anterior anal. Aunque el pez espada es una especie de comportamiento solitario y raramente forma cardúmenes propiamente dichos, sin embargo han sido descritos procesos de “emparejamiento” ligados con la reproducción (PALKO *et al.*, 1981).

Los estudios sobre los procesos reproductivos del pez espada presentan una dificultad adicional sobre otros teleósteos debido a su carácter oceánico altamente migrador, a su amplia distribución geográfica y a su tamaño corporal. Las pesquerías oceánicas históricas de pez espada se han desarrollado desde mediados del siglo pasado sobre todo en regiones templadas, donde los procesos de reproducción normalmente no pueden ser observados (BECKETT, 1974). El acceso de flotas industriales dirigidas a esta especie a las zonas subtropicales y tropicales es relativamente reciente. Todo ello ha dificultado la realización de estudios sobre la reproducción de esta especie. La expansión geográfica de las flotas sobre todo a partir de los años ochenta del siglo pasado hacia zonas con aguas cálidas -tropicales y subtropicales- ha permitido mejorar el conociendo de la biología reproductiva de esta especie.

La mayoría de la información disponible del Atlántico es relativamente reciente y procede sobretodo de las regiones del Noroeste (AROCHA, 1997; AROCHA, 2002; AROCHA & LEE, 1995, 1996; AROCHA *et al.*, 1994; MEJUTO & GARCÍA-CORTÉS, 2003a; PALKO *et al.*, 1981; REY, 1988; TAYLOR & MURPHY, 1992). El trabajo quizás más amplio de estas regiones está enfocado sobre todo a los estudios histológicos (AROCHA, 1997), detectando áreas-épocas de reproducción en las regiones subtropicales del Atlántico Noroeste, con límite hasta los 35°N. En el Atlántico NE el primer estudio realizado con amplia cobertura espacial ponía de manifiesto la ausencia de procesos de maduración y reproducción entre los 35°-45°N y 10°-40°W, a partir de datos de microscopía e índices gonadales. Además, se identificaba la sistemática diferencia de peso y su relación biométrica entre las gónadas de las hembras, se hacían estimaciones de fecundidad y se aportaban otras variables de interés reproductivo (GARCÍA & MEJUTO, 1988). En el Atlántico Sur, los primeros indicadores de reproducción del pez espada entre 20°-33°S y 40°-50°W fueron descritos por investigadores brasileños (AMORIN & ARFELLI, 1984). Estudios posteriores ampliaron el conocimiento reproductivo en esas áreas oceánicas (MEJUTO & GARCÍA, 1997; MEJUTO & GARCÍA-CORTÉS, 2003a).

El pez espada del Pacífico ha sido estudiado en cuanto a sus procesos de desarrollo para la reproducción (HINTON *et al.*, 1997; KUME & JOSEPH, 1969; MATSUMOTO & KAZAMA, 1974; MIYABE & BAYLIFF, 1987; NAKANO & BAYLIFF, 1992; NISHIKAWA & UEYANAGI, 1974; NISHIKAWA *et al.*, 1978, 1985) o indicando ausencia de tales procesos (RAMÓN & CASTRO-LONGORIA, 1994; WEBER & GOLDBERG, 1986). En el océano Índico los estudios sobre los procesos reproductivos de esta especie son aún recientes (GARCÍA-CORTÉS & MEJUTO, 2003; MEJUTO & GARCÍA, 1997; MEJUTO *et al.*, 1994, 1995, 2006; POISSON *et al.*, 2001; POISSON & TAQUET, 2000).

Aunque algunos autores postulan que los procesos reproductivos de esta especie se producirían preferentemente dentro de la banda tropical de los diferentes océanos, sin embargo la

información disponible sugiere que los procesos reproductivos y la distribución larvaria del pez espada está sobre todo restringida a las regiones tropicales y subtropicales de los márgenes occidentales de los respectivos océanos, con temperaturas superficiales (SST) normalmente superiores a los 23°-24°C. Algunos eventos muy esporádicos y excepcionales han sido sugeridos como posibles en el mes de julio en torno a las Islas Azores (SIMOES, 2001), aunque los indicadores gonadosomáticos confirmaron en general la ausencia de actividad reproductiva durante todo el año.

La gran mayoría de estudios realizados hasta la fecha han seguido básicamente dos estrategias metodológicas: a) analizando muestras de gónadas de hembras mediante estudios microscópico-histológicos. b) analizando indicadores macroscópicos cuantitativos o cualitativos del estado de desarrollo gonadal y de madurez de las hembras. Una tercera alternativa es la identificación de las áreas-épocas de presencia larvaria (PALKO *et al.*, 1981; GOVONI *et al.*, 2000), pero dada la rápida deriva de las larvas por las corrientes, la presencia de estos estados no asegura la correcta identificación y delimitación de las áreas de maduración y puesta de esta especie, ni la identificación de los individuos adultos presentes en esas zonas como realmente reproductores.

La primera de las alternativas metodológicas presenta la ventaja de dar información sobre el grado de desarrollo de las distintas fases que presentan los ovocitos dentro de cada gónada y sus respectivas ocurrencias, así como permite realizar estimaciones de madurez, patrón temporal reproductivo, etc, (AROCHA, 2002). Es por tanto una metodología recomendable para los estudios sobre la estrategia reproductiva de esta especie. Sin embargo, presenta inconvenientes por la difícil obtención, conservación y análisis de las muestras obtenidas en una especie de gran tamaño y de difícil manipulación, por lo que generalmente la disponibilidad de muestras para este tipo de análisis realizados por diferentes autores ha sido muy limitada en cantidad y representatividad espacio-temporal (AROCHA, 1997).

La segunda alternativa metodológica presenta la ventaja de dar información sobre la situación general de maduración de las gónadas de cada hembra sin tener que conservar las muestras obtenidas y sin necesidad de su transporte o análisis posteriores. Esta segunda opción es una buena aproximación para estudiar diversas variables reproductivas de esta especie (áreas, épocas, tallas de puesta, etc.) con un enfoque poblacional amplio, para lo que se precisan tamaños muestrales muy considerables y representativos, haciendo viables estudios en buques comerciales en los cuales la conservación masiva de muestras es imposible para este tipo de especies. Este segundo enfoque es un paso especialmente útil y recomendable antes de iniciar estudios histológicos.

Estudios recientes han enfocado ambas alternativas conjuntamente con el fin de poder determinar y validar, en el caso de las hembras del pez espada, la relación existente entre las observaciones histológicas y los indicadores biométricos (peso gonadal) (HINTON *et al.*, 1997). Con esta estrategia pueden establecerse valores umbrales de los indicadores biométricos de madurez de las hembras y relacionarlos con las observaciones histológicas de una submuestra de menor tamaño.

En todo caso, la mayoría de los estudios que incluyen datos histológicos han sido realizados a partir de tamaños muestrales escasos y de áreas-épocas muy restringidas, lo que limita la representatividad de los resultados. Por otra parte, dado que las áreas de reproducción del pez espada se creen, en general, bastante restrictivas, la selección de muestras de una u otra zona podría jugar un papel importante a la hora de condicionar los resultados obtenidos.

Dentro del enfoque metodológico basado en indicadores macroscópico-biométricos para los estudios de reproducción, la mayoría de los autores han usado diferentes formulaciones de índices gonadales (IG), basados en la relación entre el peso gonadal y el peso corporal de la hembra (o su equivalente en talla). En el presente capítulo se afronta el estudio reproductivo del pez espada para amplias áreas del Atlántico Norte y Sur a las que tiene acceso la flota española

de palangre de superficie, usando indicadores macroscópico-cuantitativos (índices gonadales y abundancias por sexos entre áreas) así como mediante índices macroscópico-cualitativos (estados gonadales). Todo ello permitirá una mejor definición de las áreas de reproducción de esta especie en el conjunto del Atlántico y determinar la condición reproductora de las hembras según regiones y épocas.

## 8.2. MATERIAL Y MÉTODOS.

Los datos biológicos sobre reproducción fueron obtenidos a bordo de palangreros de superficie comerciales de la flota española entre los años 1995 y 2003. Datos de captura por sexo, esfuerzo de pesca (en número de anzuelos largados) y los datos biológicos de los peces espada capturados fueron recopilados en un total de 40.848 peces espada (machos y hembras), de los cuales 18.279 hembras fueron biológicamente analizadas en cuanto a sus parámetros de reproducción. Como en el caso de los análisis de los sex-ratios (capítulo 7) las observaciones fueron catalogadas en las mismas regiones geográficas para su posterior análisis (figura 78).

La talla mandíbula inferior-horquilla (LJFL) fue obtenida al centímetro inferior y, cuando fue necesario a efectos analíticos, agrupadas en clases de talla de 5 cm ajustadas al límite inferior de cada clase (MIYAKE, 1990).

Durante la disección del pez espada a bordo (vaciado de vísceras, agallas, aletas, cabeza, etc.) se observó el estado de las gónadas en el caso de las hembras. El peso de sus gónadas fue obtenido mediante dinamómetros con una precisión de unos +/-15 g. El estado de madurez de las hembras fue establecido mediante dos tipos de indicadores macroscópicos: cuantitativos y cualitativos.

El índice cuantitativo de madurez de cada hembra muestreada, denominado “*índice gonadal*”, se basó en el peso de ambas gónadas y su relación con la talla de la hembra, equivalente a su peso corporal. Fueron definidos dos tipos de índices gonadales para las hembras:

$IG1 = (Wg / LJFL^3) * 10^4$ , modificada de la ecuación usada para esta especie (KUME & JOSEPH, 1969) y que estaba basada originalmente en usar la talla EFL.

$IG2 = \ln Wg / \ln LJFL$ , modificada de la ecuación usada para esta especie (HINTON *et al.*, 1997) y que estaba basada originalmente en usar la talla EFL.

Wg = peso de ambas gónadas femeninas, en gramos. LJFL = longitud estándar desde la mandíbula inferior-horquilla en cm (lower jaw- fork length). EFL = longitud desde el ojo a la horquilla en cm (eye-fork length).

Estudios previos sugerían que valores de índice gonadal ( $IG \geq 3,0$  (KUME & JOSEPH, 1969) o ( $IG \geq 1,375$  (HINTON *et al.*, 1997) indicarían hembras en estados activos de maduración o puesta, según sus respectivas formulaciones basadas ambas en usar el peso de las gónadas femeninas y la talla de tipo EFL. La equivalencia de estos umbrales se correspondería respectivamente con los valores de  $IG1=2,09$  e  $IG2= 1,346$  al usar talla LJFL (MEJUTO & GARCÍA-CORTÉS, 2003b).

Valores de  $IG1$  inferiores a este valor umbral se considerarían sin actividad significativa de desarrollo gonadal, maduración o puesta, mientras que valores iguales o superiores indicarían desarrollo gonadal, maduración y actividad reproductiva.

Los valores de  $IG1$  fueron cartografiados en cuadrículas de  $5^\circ \times 5^\circ$ , para diferentes rangos de tallas ( $50 \leq LJFL \leq 350$  y  $LJFL \geq 150$  cm) catalogando las observaciones obtenidas en cada área  $5^\circ \times 5^\circ$  en tres rangos: sin procesos reproductivos significativos o reposo gonadal

( $0 < IG1 < 2,09$ ), con actividad madurativa-reproductiva ( $2,09 \leq IG1 < 5$ ) y con extrema actividad madurativa-reproductiva ( $IG1 \geq 5$ ).

Los valores IG1 (máximo, mínimo, medio y sus respectivos intervalos de confianza del 95%) fueron calculados por región para cada clase de talla de 5 cm ( $50 \leq LJFL \leq 350$ ). Adicionalmente, fueron realizados análisis de IG1 mediante “box-plots” (S-PLUS, 1997) para tallas  $LJFL \geq 150$  cm y por periodos mensuales dentro de cada región, para detectar posibles patrones temporales en los valores IG1. La comparación de estos valores puede ser de gran ayuda a la hora de identificar aquellas regiones con elevada probabilidad de presentar procesos de maduración y puesta de otras donde tal actividad puede ser sólo esporádica o nula.

Los valores de IG1 de cada hembra fueron contrastados con la temperatura superficial media (SSTm) observada en el lance en el cual la hembra fue capturada. La SSTm se estimó en base a la media entre las SST inicial y final observada en el lance. Así mismo, los valores IG1 fueron contrastados en los análisis iniciales con la talla LJFL, para el conjunto de hembras disponibles.

La talla de primera madurez de las hembras ( $LJFL_{50}$ ) fue calculada a partir de la proporción de hembras consideradas maduras, por clase de talla, obtenidas en aquellas regiones que presentaron un elevado y consistente patrón reproductivo a lo largo del año. Un modelo lineal de tipo secuencial, iniciando el ajuste incorporando observaciones desde las tallas menores hasta alcanzar el valor  $LJFL_{50}$ , fue aplicado a los pares de valores LJFL y  $LN((1 / \% \text{ maduras}) - 1)$  para definir los parámetros de la ojiva de madurez. La probabilidad de madurez estimada para una talla dada de la hembra viene expresada por:  $p_m = 1 / (1 - e^{-(a(LJFL - LJFL_{50}))})$ , (SPARRE & VENEMA, 1997). Este método de incorporación secuencial de las observaciones presenta la ventaja de evitar el sesgo que se produciría como consecuencia de incorporar en el ajuste observaciones de grandes hembras en estado temporal de reposo gonadal y que serían interpretadas a efectos de ajuste como que no habrían alcanzado nunca su madurez sexual.

Los datos de captura por unidad de esfuerzo nominal (CPUE), por sexo, en número (CPUE<sub>n</sub>) y en peso (CPUE<sub>w</sub>) por cada mil anzuelos largados, para el conjunto de observaciones, fueron calculados para cada una de las regiones definidas. La CPUE<sub>n</sub> fue dividida en 4 grupos o rangos de tallas, etiquetados como L1, L2, L3 y L4, respectivamente: ( $50 \leq LJFL < 125$ ), ( $125 \leq LJFL < 170$ ), ( $170 \leq LJFL < 205$ ), ( $205 \leq LJFL \leq 350$ ). El primero de ambos grupos definiría a los individuos más juveniles de ambos sexos, con similar proporción esperada de ambos. El segundo, definiría a las hembras juveniles y a la mayoría de los machos en fase potencialmente reproductiva. El tercero, a las hembras potencialmente reproductoras y a los grandes machos. El cuarto, casi exclusivamente a las grandes hembras.

Los ratios de CPUE ( $R\_CPUE$ ) entre machos (M) y las hembras (F) y las anomalías en cuando a la presencia de cada sexo (Anomalía  $R\_CPUE_n$ ), para cada región, fueron definidos como: ( $R\_CPUE$ ) = CPUE machos / CPUE hembras, y la Anomalía  $R\_CPUE = R\_CPUE - 1$ .

El índice subjetivo-cualitativo denominado “estado gonadal”, fue establecido en 6 niveles según criterios visuales: 1: “primordial”; 2: “en desarrollo”; 3: “desarrollado, hidratado con ovocitos opacos ya visibles”; 4: “muy desarrollado, ovocitos sobre 1 mm, transparentes”; 5: “puesta evidente-espontánea en el momento de la captura, al eviscerar”; 6: “post-puesta, gónadas flácidas y sanguinolentas, lumen interior visible, residuos post-puesta”.

### 8.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 8.3.1. Indicadores cuantitativos.

##### 8.3.1.1. Índices gonadales.

Un total de 18.279 hembras de pez espada fueron analizadas para obtener sus índices gonadales. La mayoría de las regiones presentan un elevado número de observaciones, con excepción de las regiones 01, 04, 92 (tabla 20). Aunque las regiones 91 y 93 presentan 1.005 y 673 observaciones, respectivamente, la mayoría de ellas pertenecen a sus áreas más orientales, por lo que no deberían considerarse como representativas de la situación esperada en el conjunto de esas regiones. El escaso acceso que la flota española ha tenido históricamente a las regiones del Atlántico NW limita la disponibilidad de muestras de esas regiones, por lo que las conclusiones alcanzadas sobre ellas deben considerarse con cautela, sujetas a disponer de muestras más representativas. Las regiones 01, 02 y 04 soportan alta intensidad de pesca de la flota española y han sido cubiertas en el pasado por investigaciones específicas, no detectándose en ellas procesos reproductivos (GARCÍA & MEJUTO, 1988). Por este motivo, los mayores esfuerzos de muestreo se dirigieron sobre todo hacia otras regiones, especialmente sobre aquellas potencialmente reproductivas de las cuales se carecía de información o esta era escasa.

El rango de tallas cubierto por las muestras es muy amplio, representativo de las tallas capturadas por las flotas de palangre de superficie, cubriendo desde hembras juveniles hasta grandes hembras adultas (figura 93). La cobertura geográfica de las observaciones representa la mayor parte de las áreas de distribución del pez espada del Atlántico en las cuales se desarrolla la mayor actividad pesquera, con la excepción de las área del Atlántico NW, por los motivos antes indicados (figura 94).

Un primer análisis descriptivo de las observaciones de IG1 permite identificar su relación con la talla de la hembra y con la temperatura del mar, en este caso representada por la temperatura media superficial (figura 95). Los valores de IG1 son, con alta probabilidad, inferiores a 2,0 en el caso de las hembras menores de 145-150 cm LJFL. Los peces mayores de esa talla pueden presentar tanto valores de IG1 inferiores a ese valor, en la mayoría de las observaciones, como valores superiores o muy superiores a ese valor (figura 96). Esto subraya la importancia de discernir entre dos conceptos definidos previamente (*SSB<sub>p</sub>* y *SSB<sub>e</sub>*). La talla de la hembra debe considerarse condición necesaria pero no suficiente para poder iniciar los procesos de maduración y desarrollo gonadal (ver capítulo 5).

Por otra parte, IG1 presenta una clara relación con la temperatura superficial del mar. En el caso de las hembras menores de 150 cm LJFL raramente aparecen IG1 altos, y estos casos se corresponden con peces próximos a esa talla, para un amplio rango de temperaturas superficiales. Sin embargo, las hembras mayores o iguales a 150 cm presentan con frecuencia índices gonadales elevados, sobre todo dentro del rango 25°-29°C. Esto sugiere que los procesos de maduración de las gónadas de las hembras adultas se produce dentro de aguas cálidas, con temperatura superficial entre 25°-29°C. Las esporádicas y llamativas observaciones con IG1 elevados en temperaturas sobre los 14°C se corresponden con hembras de cierto tamaño que presentan sus gónadas atrésicas, con procesos de maduración abortados, procesos tumorales, etc. Sus pesadas gónadas, cargadas de huevos desarrollados y resacos, forman una masa compacta visible al corte transversal.

El análisis de los valores IG1 por clase de talla y región identifica patrones característicos de índices gonadales.

Capítulo 8. Indicadores de actividad reproductiva.

TALLAS	R01	R02	R03	R04	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R13	R15	R91	R92	R93	Total
T050	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T055	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T060	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	4
T065	0	0	0	0	3	0	0	4	0	3	0	1	0	0	0	0	11
T070	0	0	0	1	10	0	2	19	3	5	0	1	0	2	0	0	43
T075	0	0	0	0	7	2	5	37	7	5	0	1	0	13	1	0	78
T080	0	1	1	3	5	6	4	60	23	5	0	3	4	15	2	0	132
T085	0	6	4	6	6	3	10	67	32	6	0	11	2	28	1	0	182
T090	2	1	30	4	15	12	13	66	69	11	0	6	1	53	0	4	287
T095	2	2	38	6	29	9	11	91	63	19	0	6	2	48	0	8	334
T100	6	4	36	2	37	19	11	140	99	12	1	5	8	60	3	32	475
T105	5	11	43	2	66	12	28	167	172	14	1	8	11	49	0	46	635
T110	3	7	57	3	69	6	26	220	234	22	0	12	11	45	1	51	767
T115	6	25	49	3	72	13	24	178	227	48	2	20	8	61	1	53	790
T120	2	14	65	3	61	5	24	158	192	38	4	22	7	77	2	52	726
T125	5	21	66	5	61	5	12	156	172	64	6	37	5	68	0	52	735
T130	2	19	87	3	74	3	15	132	166	78	6	23	2	74	1	41	726
T135	2	20	78	4	73	2	13	152	225	65	6	34	2	64	1	37	778
T140	1	19	83	1	93	9	8	201	269	71	11	30	7	55	0	45	903
T145	0	25	81	0	81	6	17	209	288	78	6	29	4	45	0	26	895
T150	0	13	67	0	67	12	20	177	310	106	12	21	6	40	1	31	883
T155	1	19	46	0	52	12	33	242	252	88	18	18	3	29	1	45	859
T160	1	10	38	0	56	10	23	259	284	126	11	28	5	38	1	28	918
T165	2	12	28	0	49	14	37	221	290	118	7	37	4	37	0	30	886
T170	2	7	27	0	33	15	41	234	284	150	13	51	1	23	0	20	901
T175	0	4	24	0	38	8	30	211	220	151	11	66	3	11	1	14	792
T180	0	4	25	0	24	20	33	219	183	165	11	65	3	13	1	17	783
T185	2	5	18	0	23	8	28	196	139	152	9	62	1	10	0	7	660
T190	1	6	21	0	14	7	30	160	129	145	8	58	1	12	0	5	597
T195	0	0	11	0	17	9	20	108	100	124	10	64	0	6	0	6	475
T200	0	5	9	0	9	6	28	105	86	138	5	62	1	13	0	2	469
T205	0	4	18	0	5	4	18	77	56	99	4	63	0	3	0	7	358
T210	2	3	8	0	10	0	13	62	51	106	2	45	0	4	0	2	308
T215	1	4	6	0	3	1	8	45	28	62	1	37	1	2	0	1	200
T220	0	2	2	0	4	7	13	32	18	65	2	28	0	2	0	3	178
T225	0	5	4	0	2	3	7	31	21	61	3	18	0	1	0	1	157
T230	0	0	2	0	0	4	9	11	9	31	0	20	0	1	0	2	89
T235	0	2	3	0	4	2	7	12	8	35	0	12	0	1	0	0	86
T240	0	2	2	0	5	0	4	6	12	18	1	10	0	1	0	1	62
T245	0	2	1	0	1	1	3	6	7	8	1	6	0	0	0	1	37
T250	0	0	1	0	2	2	1	2	2	11	0	3	1	0	0	1	26
T255	0	0	0	0	3	1	3	0	4	3	0	1	0	0	0	0	15
T260	0	0	0	0	1	0	2	3	1	2	0	1	0	0	0	0	10
T265	0	0	0	0	1	0	0	1	2	3	1	0	0	0	0	1	9
T270	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	4
T275	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	1	1	0	1	0	0	7
T280	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
T285	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	3
T290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
T295	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
T300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
T305	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T310	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
T315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
T320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T325	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T335	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total	48	284	1080	46	1186	258	636	4479	4737	2521	174	1030	104	1005	18	673	18279

Tabla 20. Número de hembras observadas para los análisis de índices gonadales, por clase de talla de 5 cm (LJFL cm), por región (R) y total combinado.

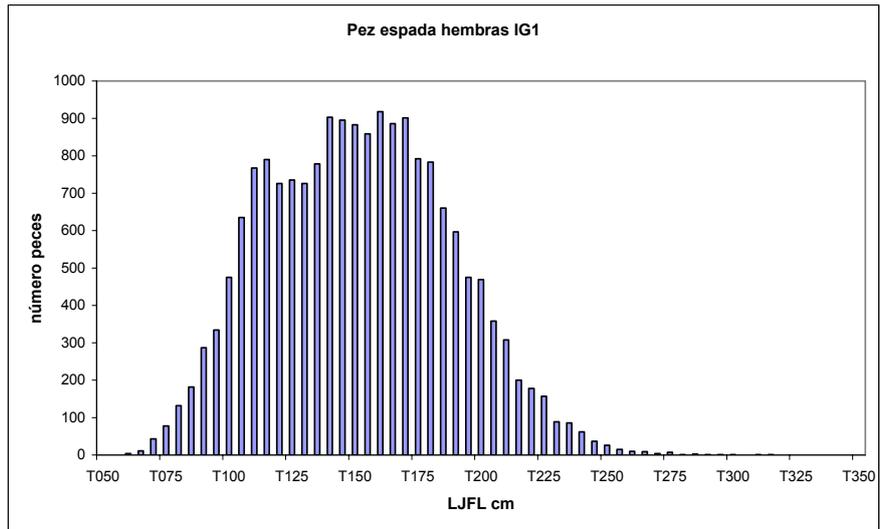


Figura 93. Histograma de frecuencia de las hembras examinadas para índices gonadales, por clase de talla y para todas las regiones combinadas (ver tabla 20 para más detalle).

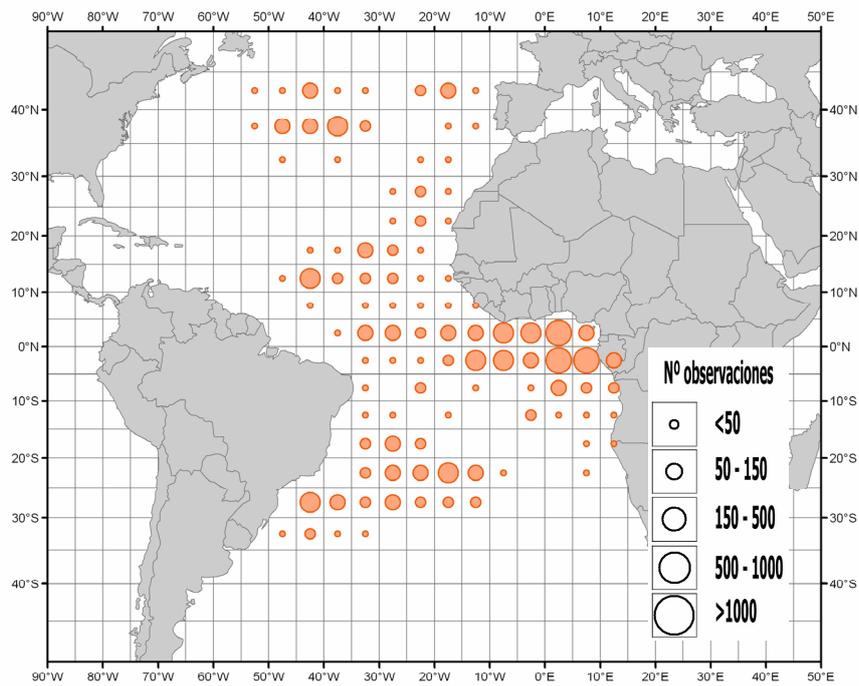


Figura 94. Ubicación geográfica y tamaño muestral, en cuadrículas 5°x5°, de las hembras con dato disponible de índice gonadal (IG1), para todos los años y meses combinados.

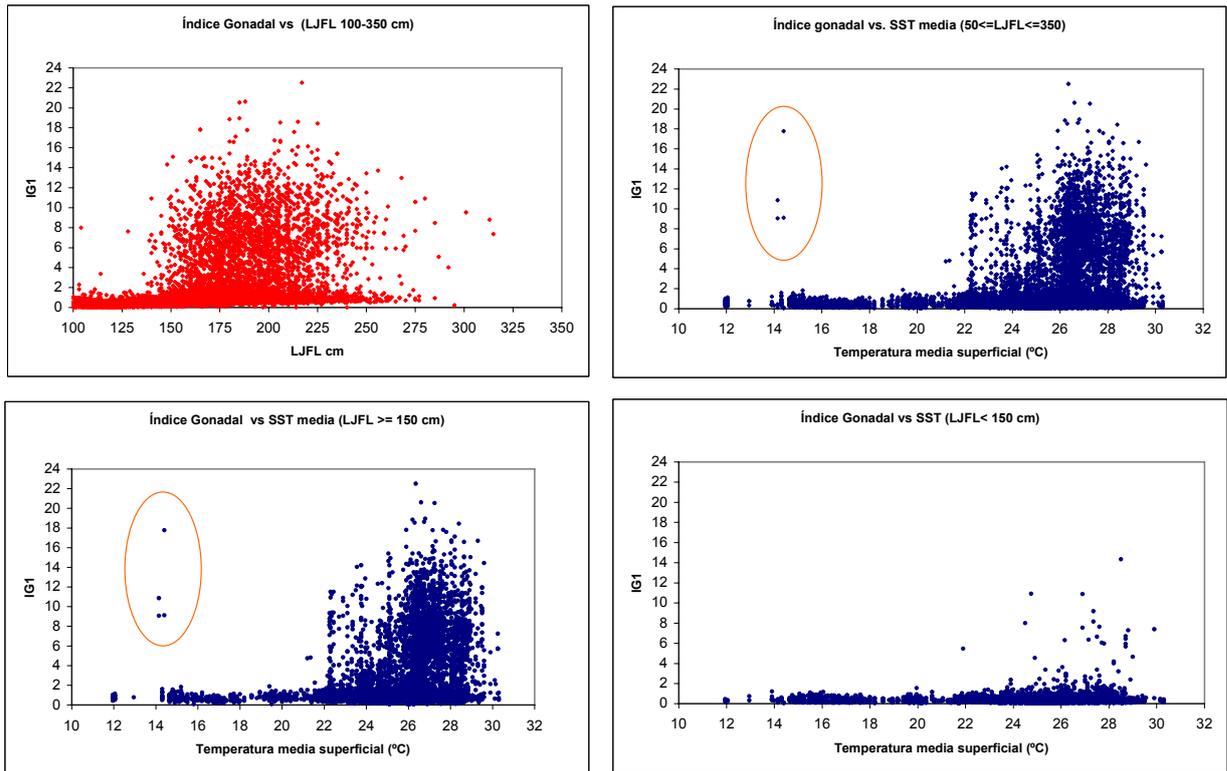


Figura 95. Valores de índice gonadal (IG1) en relación con la talla de las hembras ( $100 \leq LJFL \leq 350$ ) y con la temperatura superficial media (SSTm) en la zona de captura, para diferentes rangos de talla LJFL cm. Los puntos dentro de la elipse roja indican gónadas atrésicas.

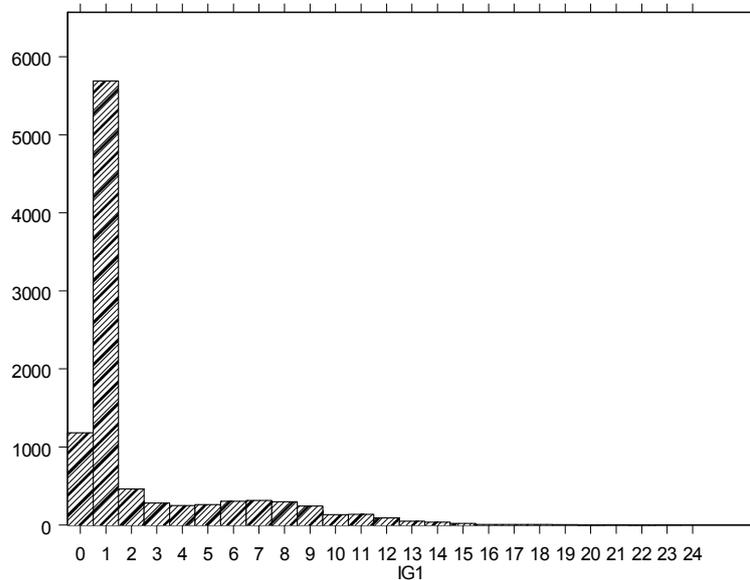


Figura 96. Histograma de las observaciones disponibles con valores de índices gonadales (IG1) de las hembras ( $LJFL \geq 150$  cm), para el conjunto de datos analizados.

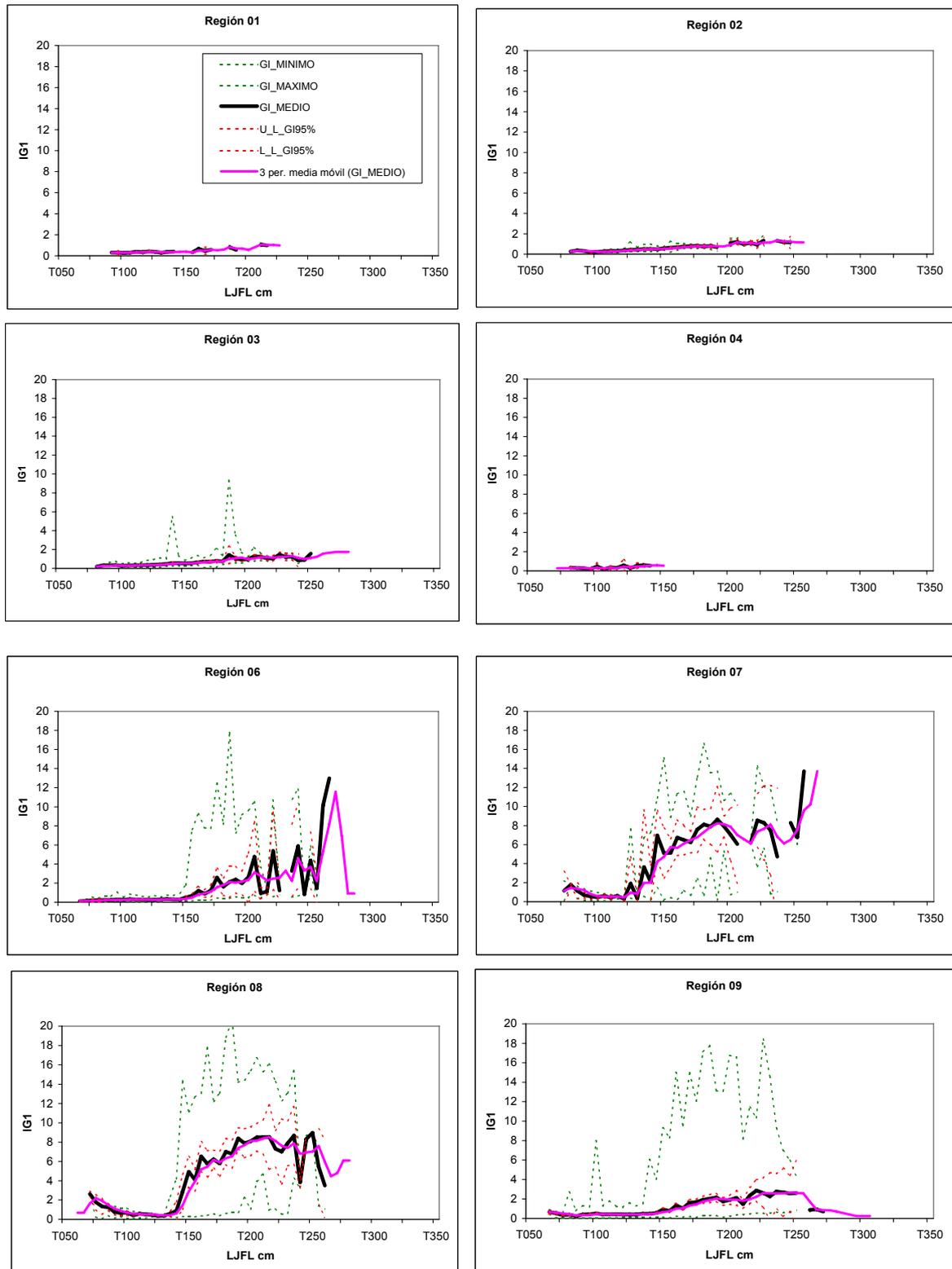


Figura 97a. Índice gonadal por clase de talla LJFL (IG1) en cada una de las regiones definidas. Valores medios (línea negra), intervalo de confianza del 95% (punteado rojo), valores mínimos y máximos (punteado verde) y media móvil (línea morada). Regiones: 01, 02, 03, 04, 08, 07, 08, 09.

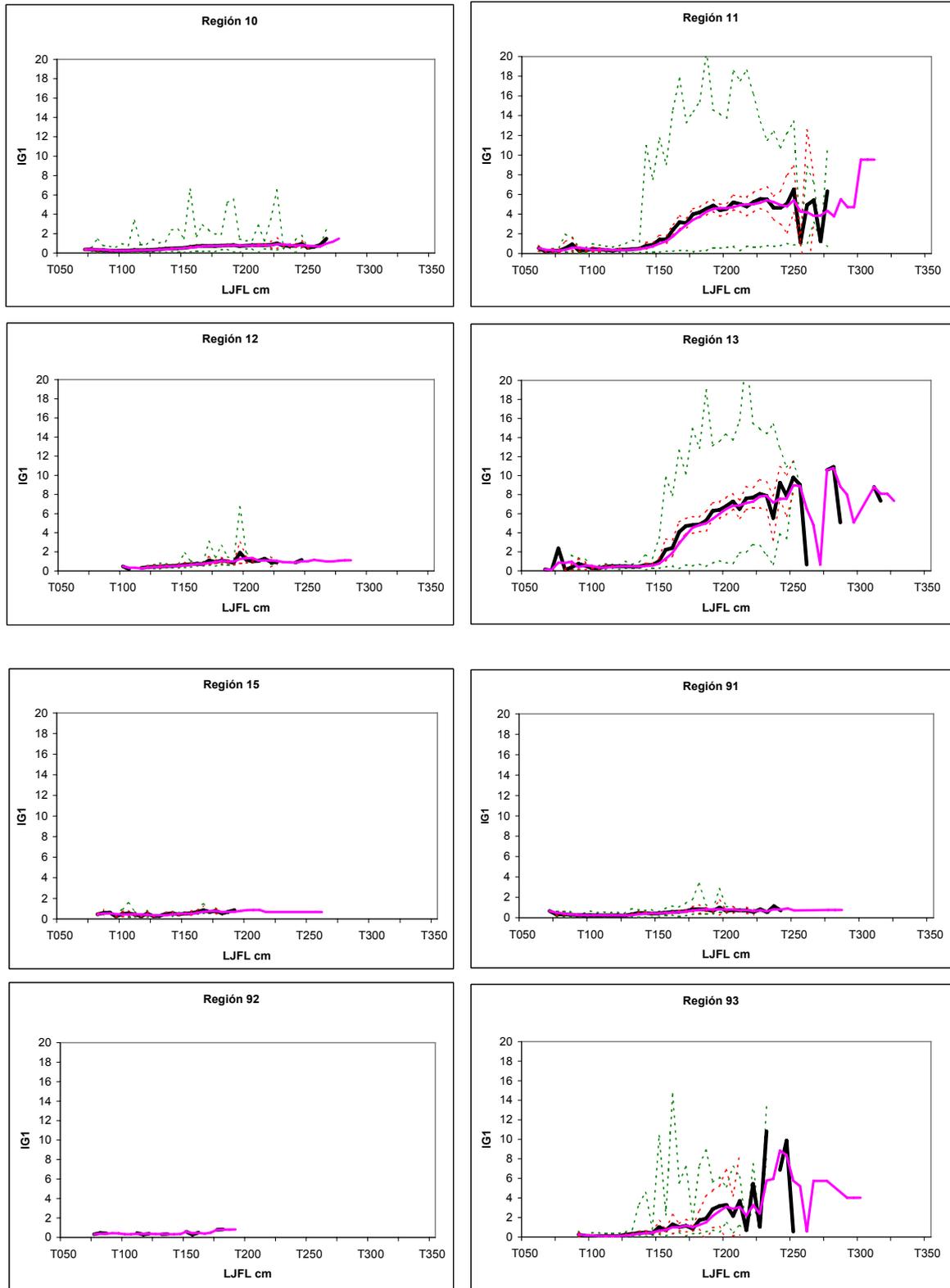


Figura 97b. Índice gonadal por clase de talla LJFL (IG1) en cada una de las regiones definidas. Valores medios (línea negra), intervalo de confianza del 95% (punteado rojo), valores mínimos y máximos (punteado verde) y media móvil (línea morada). Regiones: 10, 11, 12, 13, 15, 91, 92, 93.

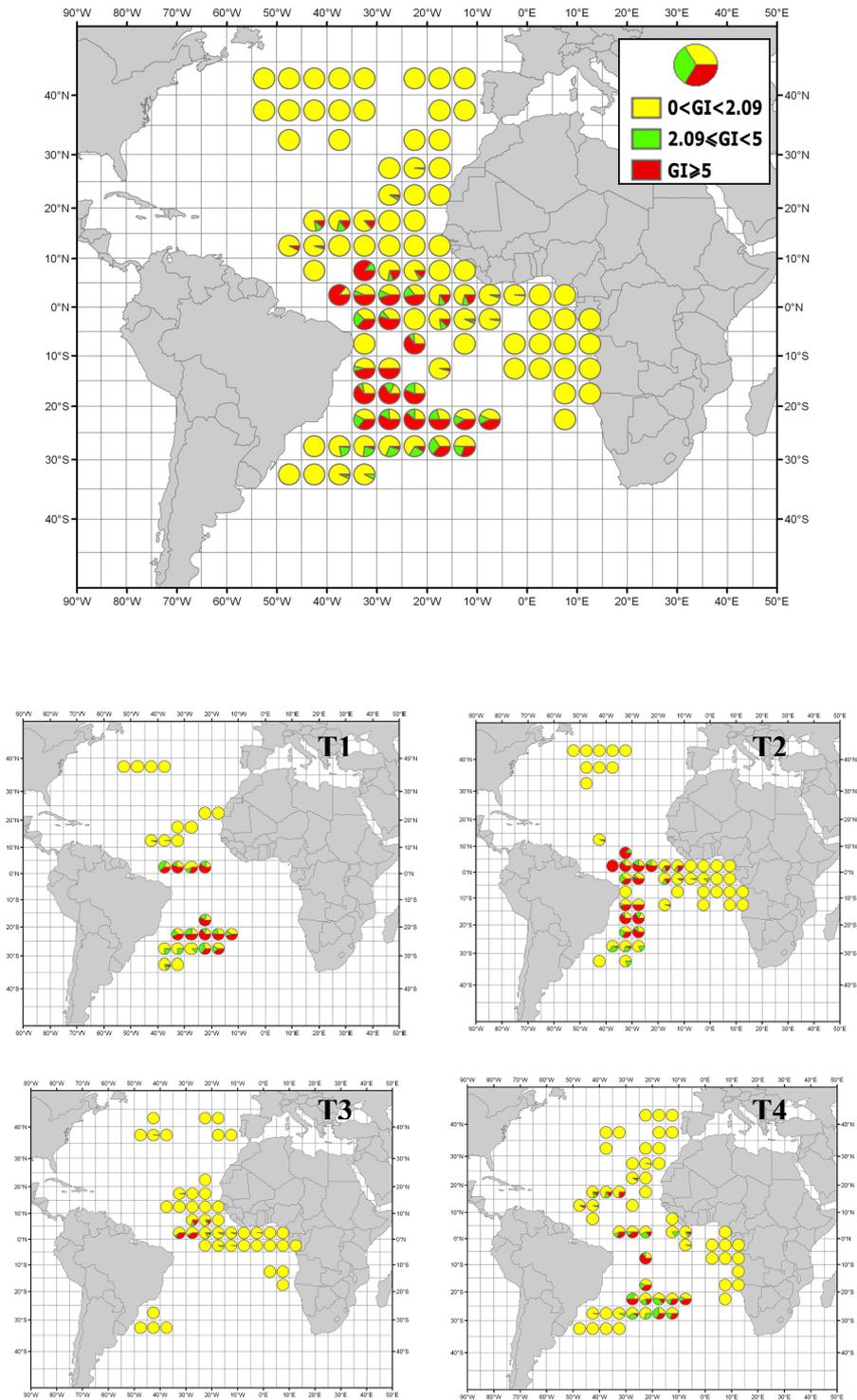


Figura 98. Ocurrencia de cada uno de los tres rangos de índices gonadales (IG1) definidos, en cada cuadrícula de 5°x5° observada, para las hembras con tallas ( $50 \leq L_{JF} \leq 350$ ). Para todas las observaciones combinadas (arriba) y para cada uno de los trimestres (abajo). Amarillo: sin actividad reproductiva significativa. Verde: con actividad reproductiva evidente. Rojo: con actividad reproductiva muy intensa.

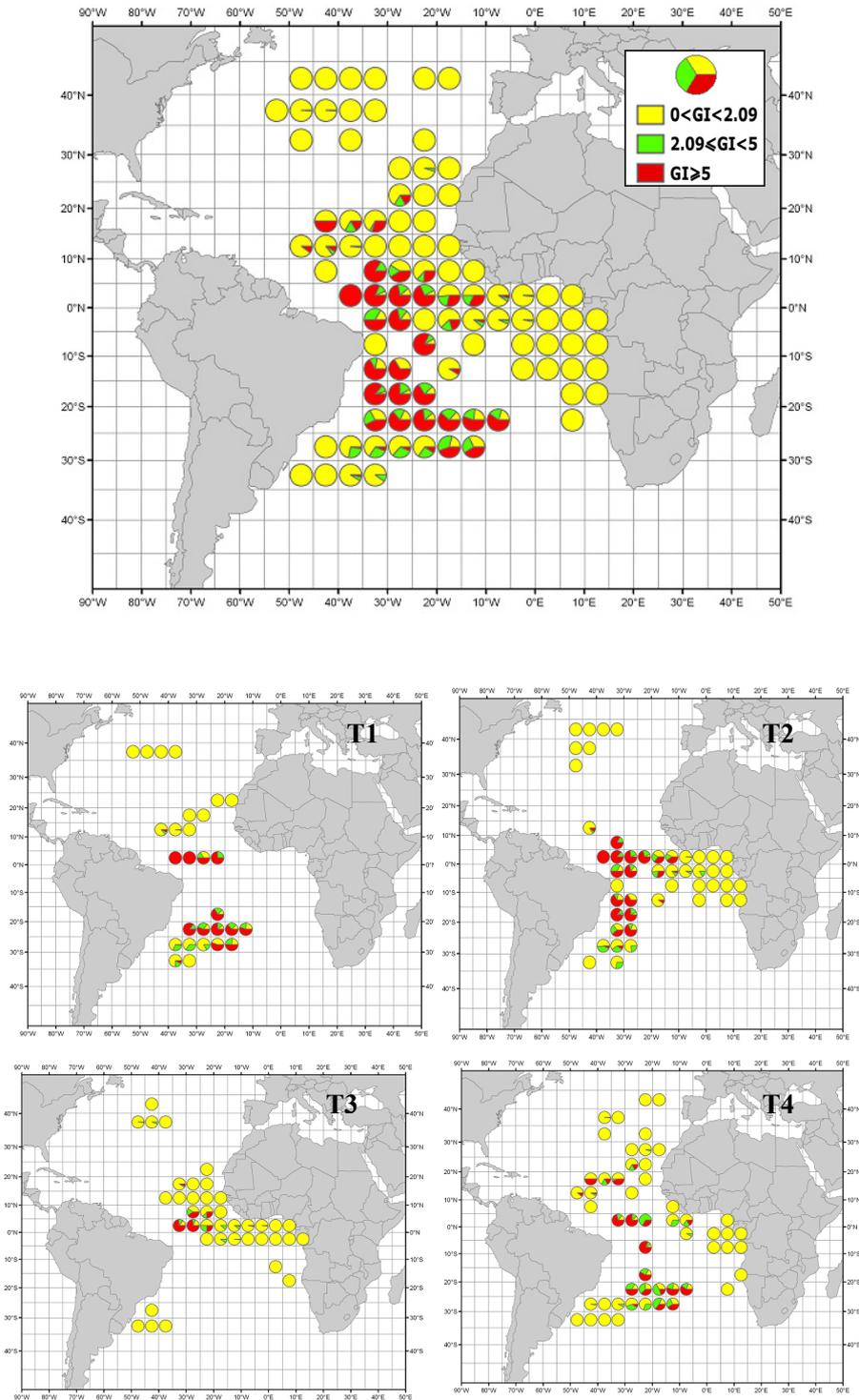


Figura 99. Ocurrencia de cada uno de los tres rangos de índices gonadales (IG1) definidos, en cada cuadrícula de  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$  observada, para las observaciones de hembras con talla  $LJFL \geq 150$  cm. Para todas las observaciones combinadas (arriba) y para cada uno de los trimestres (abajo). Amarillo: sin actividad reproductiva significativa (reposo). Verde: con actividad reproductiva evidente. Rojo: con actividad reproductiva extremadamente intensa.

Comparando los valores IG1 medios, máximos y mínimos, por región, se puede discriminar entre regiones en las cuales no se detectaron procesos de maduración-reproducción en las hembras de aquellas otras regiones en las que se detectan procesos de maduración frecuentes o esporádicos (figura 97a y b). Algunas de las regiones no dan indicios de que en ellas se produzcan significativos procesos de maduración-reproducción (p.e. Regiones 01, 02, 03, 12, 15, 91 y 92). Otras sugieren que su actividad de maduración-reproducción puede ser esporádica, con valores medios relativamente bajos pero con presencia de algunos valores máximos elevados (p.e. Regiones 06, 09, 11 y 93). Otras sugieren maduración-reproducción muy considerable tanto desde el punto de los IG1 medios como de sus máximos (p.e. Regiones 07, 08 y 13).

Con este análisis podría concluirse que las regiones 07, 08 y 13 son las que muestran la mayor actividad gonadal, junto con moderada actividad en algunas de sus regiones adyacentes, sobre todo la 11 y, en menor medida, en la 09, 06 y 93.

Por otra parte, la ocurrencia dentro de cada cuadrícula  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$  de cada una de las categorías de índices gonadales definidos, permite identificar las áreas en las cuales se produce la mayor actividad de maduración de las hembras (figura 98). Las áreas  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$  comprendidas en el margen occidental del Atlántico entre los  $10^{\circ}N$  y  $25^{\circ}S$  y al Oeste de  $10^{\circ}W$  son las de mayor actividad de maduración gonadal, junto con alguna actividad en otras áreas adyacentes más al Sur. El análisis de la misma información, pero restringida a peces de talla  $LJFL \geq 150$  cm (figura 99) hace incluso más patentes estas conclusiones, poniendo de manifiesto que la gran mayoría de las hembras con tallas  $LJFL \geq 150$  cm presentes en esas áreas están en fase de maduración gonadal avanzada o muy avanzada.

Merece especial atención la falta de actividad madurativa observada al Este de  $10^{\circ}W$ , descartando lo generalizado previamente sobre que la reproducción de esta especie en el Atlántico se produce en toda la franja tropical (REY, 1988). Pese a que la temperatura superficial en esa banda tropical es bastante homogénea, motivo que llevó a tal asunción, la diferencia térmica observada entre las capas superficiales de ambos lados del Atlántico tropical es muy considerable. Este factor térmico sería suficiente para explicar los resultados aquí alcanzados.

El análisis de los datos IG1 por región usando diagramas tipo “box-plot” y restringido a las hembras con talla  $LJFL \geq 150$  cm, sugiere diferencias significativas entre regiones. Los resultados obtenidos ofrecen similares conclusiones a las ya alcanzadas en los análisis anteriores por clase de talla, pero aporta información adicional sobre la distribución de las observaciones obtenidas en las diferentes regiones (figura 100). Las regiones 07, 08 y, en menor medida la 13, se manifiestan con un patrón reproductivo importante, consistente y bastante homogéneo, mientras que sus regiones adyacentes 06, 09, y 93 presentan valores IG1 normalmente bajos pero con una considerable cantidad de IG1 elevados tipo “outliers”. Esto sugiere que en estas regiones adyacentes lo más frecuente es la presencia de hembras en reposo o poco maduras, pero en ocasiones con episodios madurativos esporádicos, quizás de naturaleza estacional, que deben ser analizados. Los procesos estacionales, expansivos y contractivos, de las capas superficiales de agua cálida podría tener importancia a la hora de explicar la presencia o no de fenómenos reproductivos en algunas de estas regiones-meses.

Las observaciones de la región 93 presentan el interés de sugerir en general valores bajos de IG1, aunque con presencia de procesos madurativos esporádicos, en hembras grandes (figura 97b), probablemente como consecuencia de ser un área adyacente a las regiones 07 y 08, o de las áreas de reproducción de las hembras grandes definidas para esta especie en el Atlántico NW, al Sur del Mar de los Sargazos y al Norte del arco Antillano (AROCHA, 1997).

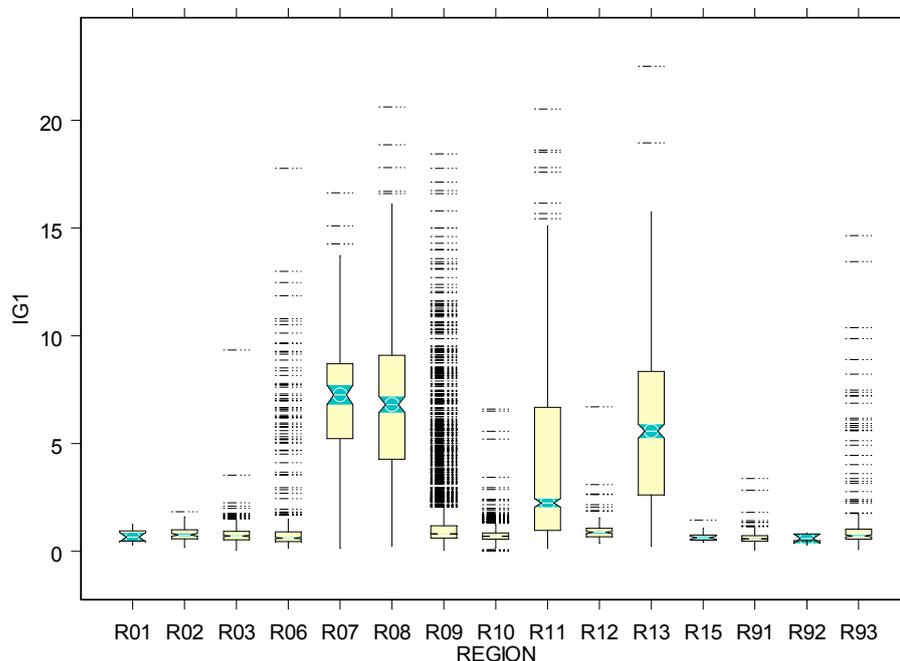


Figura 100. Análisis tipo “box-plot” de los valores IG1, por región, para hembras con talla LJFL $\geq$ 150, para todos los meses combinados. Los rayados negros horizontales representan observaciones consideradas “outliers” (S-PLUS, 1997).

El análisis de los datos de IG1 por mes para las regiones 06, 07, 08, 09, 11, 13 y 93 sugieren comportamientos reproductivos estacionales en algunas de ellas (figuras 101a y b).

Las regiones 07 y 08 muestran elevados valores de IG1 durante todos los meses muestreados, no detectándose diferencias significativas entre los meses con observaciones disponibles. La región 13, adyacente a la región 08, sugiere un patrón estacional con mayores IG1 en los meses de enero, febrero y diciembre (verano austral) frente a los valores relativamente bajos de los meses de marzo, abril y mayo (otoño austral). Esto sugiere que esta región podría ser potencialmente reproductiva bajo determinadas circunstancias térmicas durante el verano austral.

La región 06 muestra valores de IG1 generalmente bajos en la mayoría de los meses, aunque en noviembre y diciembre se percibe un incremento de hembras en proceso de maduración tal como sugieren el tipo de distribución. La región 09 sugiere cierta estacionalidad en beneficio de los meses de abril y mayo, aunque quizás con episodios esporádicos de maduración en los otros meses. La región 11 muestra una marcada estacionalidad, con valores elevados de IG1 durante los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo, y valores bajos en los meses posteriores aunque con algunos episodios esporádicos de hembras en maduración. Los datos de la región 93 no permiten extraer conclusiones, pero sugieren valores de IG1 generalmente bajos, aunque se confirman episodios esporádicos de maduración de hembras de gran tamaño al menos en los meses de marzo y abril.

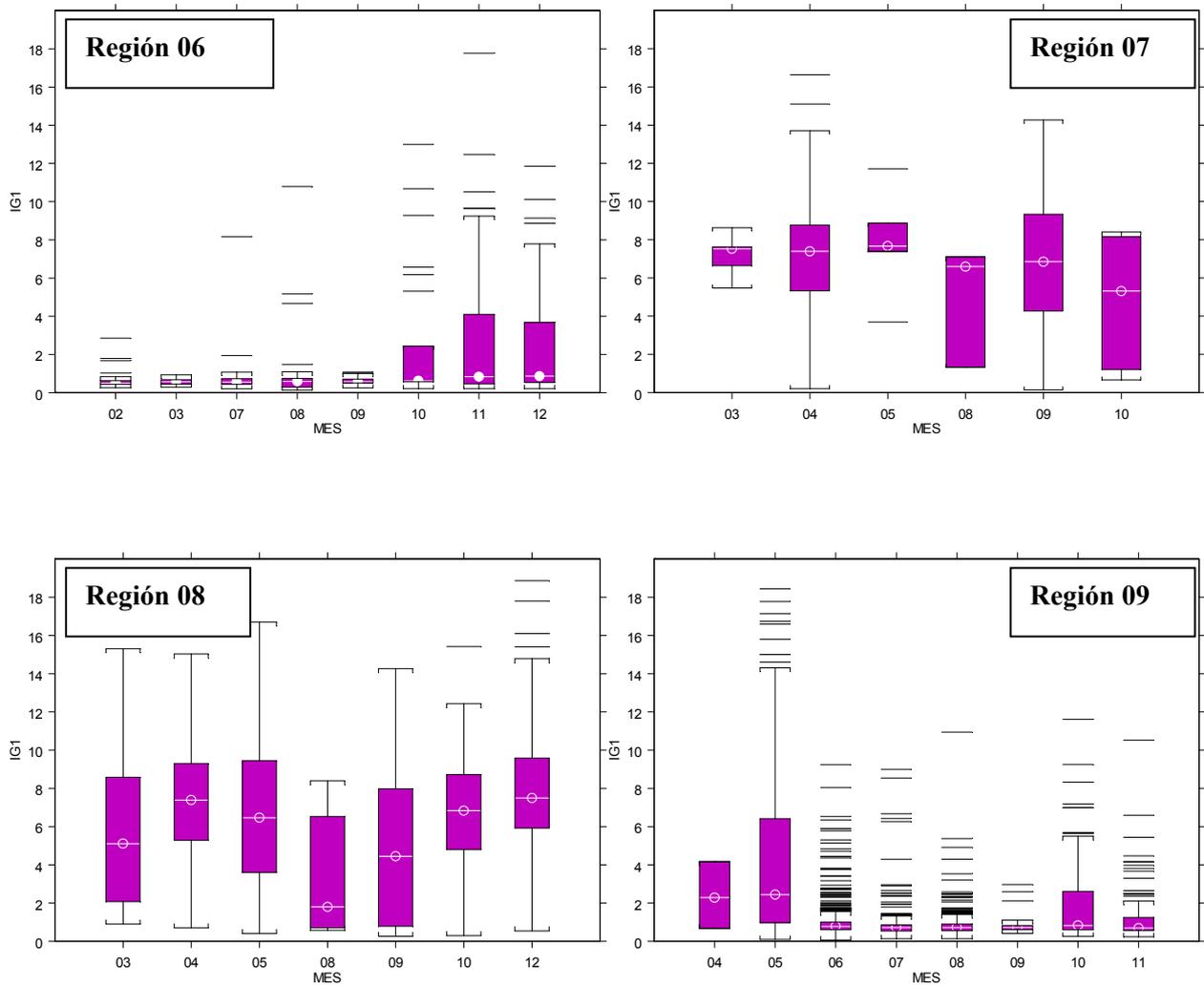


Figura 101a. Análisis tipo “box-plot” de los índices gonadales (IG1) para hembras de talla LJFL $\geq$ 150, por mes, para cada una de las regiones 06, 07, 08 y 09.

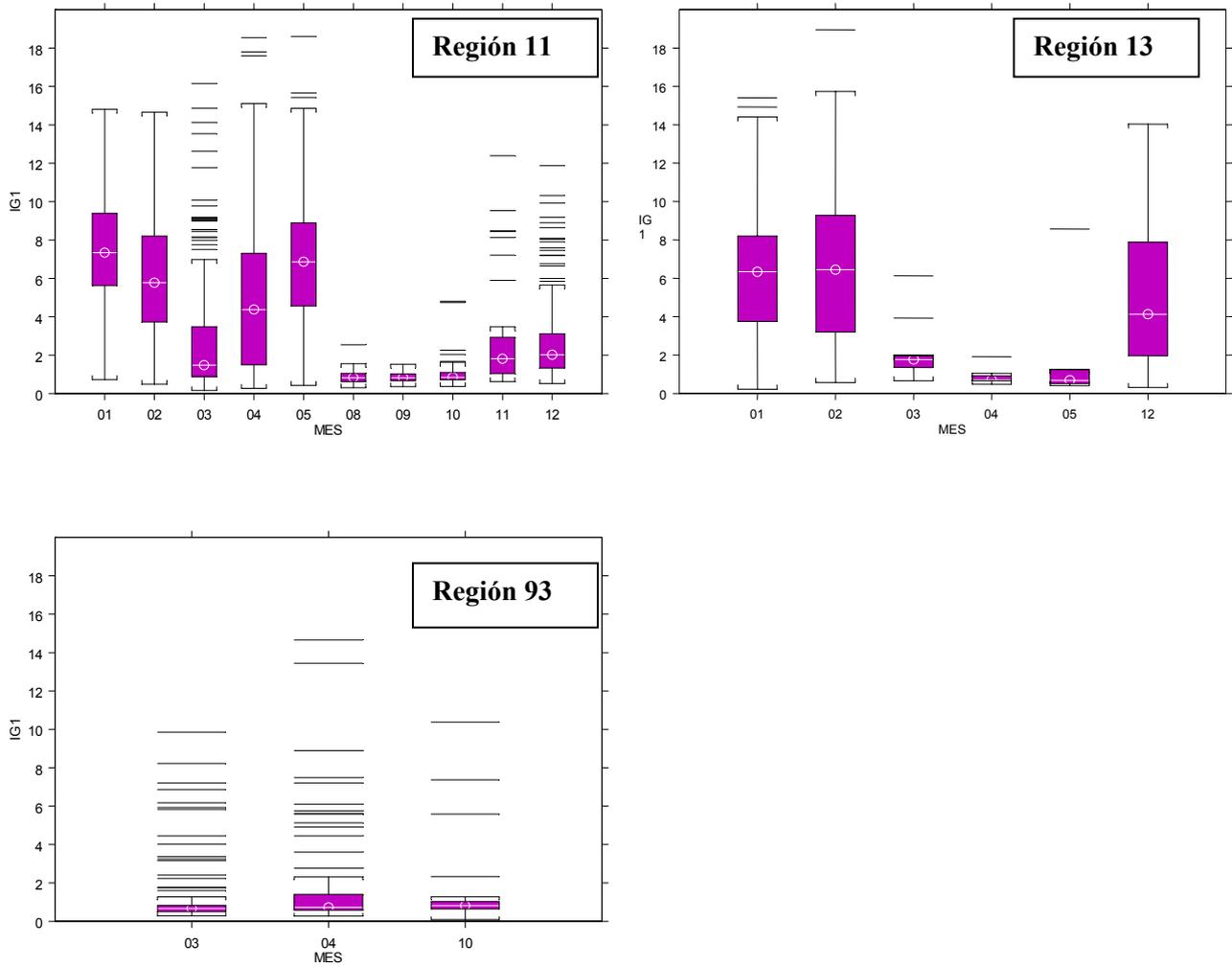


Figura 101b. Análisis tipo “box-plot” de los índices gonadales (IG1) para hembras de talla LJFL $\geq$ 150, por mes, para cada una de las regiones 11, 13 y 93.

El conjunto de observaciones permite definir un modelo gráfico tridimensional de comportamiento de los IG1. En algunas regiones, la presencia de procesos de maduración-reproducción se observa durante todos los meses muestreados, mientras que en otras regiones adyacentes se percibe estacionalidad o actividad esporádica. Las regiones 07 y 08 son las que muestran el patrón reproductivo más estable e intenso a lo largo del año. Las regiones adyacentes a las 07 y 08 presentarían mayor o menor estacionalidad o procesos esporádicos en cuanto a la presencia de hembras en procesos reproductivos (figura 102).

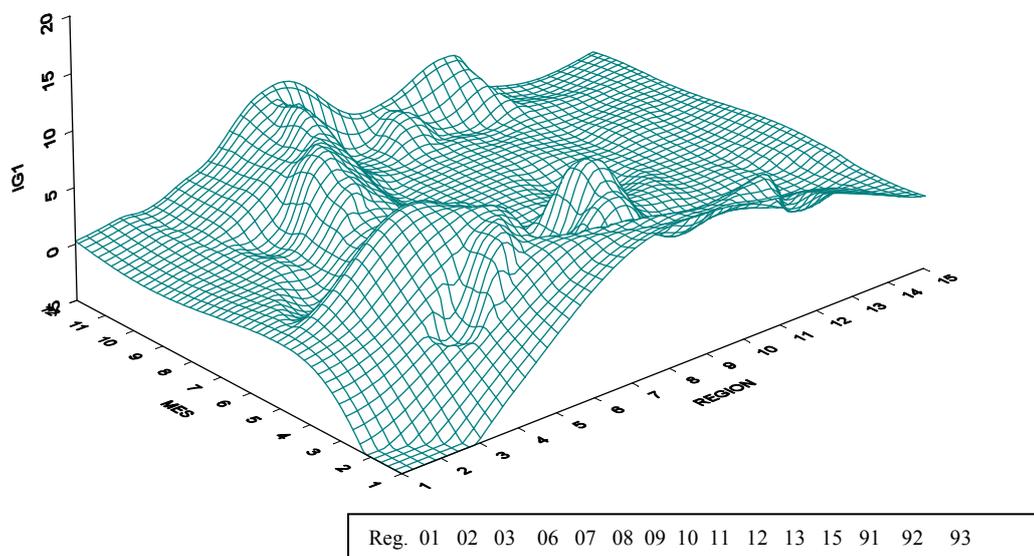


Figura 102. Modelo tridimensional del índice gonadal (IG1) de las hembras de pez espada del Atlántico. XX'= regiones. YY'= meses. ZZ'= valor IG1. (El orden de regiones desde 1 a 15 se corresponde con las regiones definidas como: 01, 02, 03, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 15, 91, 92 y 93, respectivamente).

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la consistencia de las regiones 07 y 08 en cuanto a la presencia de hembras en procesos de maduración-puesta frente a otras regiones analizadas en las que estos procesos son estacionales, esporádicos o inexistentes. Esto sugiere la conveniencia de seleccionar al grupo de hembras de las regiones 07 y 08 como las más adecuadas para estimar la talla de primera madurez a partir de la proporción de hembras presentes en ambas regiones, discriminando entre hembras con  $IG1 < 2,09$  y  $IG1 \geq 2,09$ , respectivamente. La talla  $LJFL_{50}$  (asumida como de primera madurez de las hembras) fue estimada en 146,5 cm ( $R^2 = 0,9683$ ), lo que se correspondería con la clase de talla 145 cm ( $145 \leq LJFL < 150$ ), (figura 103).

La fracción de madurez de las hembras vendría representada por:  $p_m = 1 / (1 + e^{(-0,1398 (LJFL - 146,5)})}$ . Este valor  $LJFL_{50}$  sería equivalente en las hembras a edades entre los 3 y 4 años, según la mayoría de los estudios de crecimiento realizados, tanto usando radios espinosos como datos de marcado-recaptura (ESTEVEZ *et al.*, 1995). Este valor difiere considerablemente de los previamente estimados por otros autores para el Atlántico NW usando muestras generalmente obtenidas en las zonas del Caribe, La Florida y Arco Antillano. En base a diversos estudios realizados en esas regiones, se asumía que la madurez sexual de las hembras de pez espada se

iniciaba ( $LJFL_{min}$ ) sobre los 170 cm LJFL y alcanzaba la talla de primera madurez ( $LJFL_{50}$ ) entre 170-189 cm, correspondiéndose en promedio según la mayoría de los autores al menos entre 5 y 5,5 años de edad (ANÓNIMO, 2000; AROCHA, 1997; DEMARTINI, 1999). Para el Mediterráneo, la talla de primera madurez fue definida inferior a la del Atlántico Norte, con valores  $LJFL_{50}$  entre 135 y 145 cm (DE LA SERNA *et al.*, 1992a, 1996; DEMETRIO *et al.*, 1989).

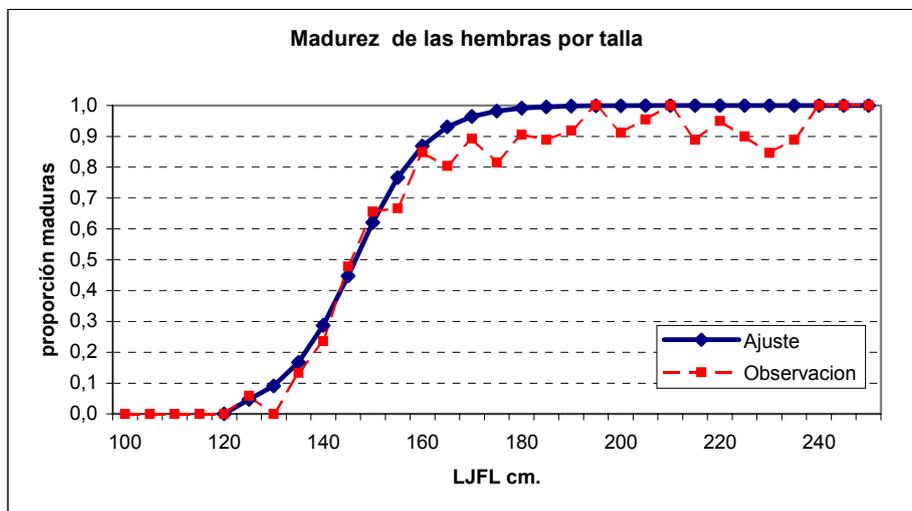


Figura 103. Porcentaje de hembras por clase de talla que presentan procesos de maduración, para las regiones 07 y 08 combinadas, para un total de 808 hembras examinadas entre las tallas 100 y 250 cm LJFL (línea discontinua roja). Ajuste de los datos (línea continua azul),  $p_m = 1 / (1 + e^{(-0,1398 (LJFL - 146,5)})}$ .

Los resultados aquí alcanzados indican que tanto  $LJFL_{min}$  como  $LJFL_{50}$  son inferiores a los valores previamente definidos para el Atlántico. La discrepancia entre estas estimaciones del Atlántico podrían ser debidas a los diferentes métodos usados y a las diferentes áreas de muestreo seleccionadas. Estudios previos generalmente usaron cortes histológicos realizados sobre hembras obtenidas en regiones-épocas concretas del Atlántico NW, donde pueden ser encontradas tanto hembras maduras como en reposo, según las áreas y épocas seleccionadas. Pero la mayoría de estos estudios son de áreas subtropicales y están limitados en el espacio y en el tiempo (AROCHA, 1997). Esto podría haber causado la sobrestimación de los valores  $LJFL_{min}$  y  $LJFL_{50}$  al haberse realizado los análisis a partir de muestras con una elevada ocurrencia de hembras en reposo gonadal o hembras maduras de mayor tamaño. En este trabajo, las muestras seleccionadas proceden exclusivamente de dos regiones con reconocida y considerable actividad madurativa-reproductiva a lo largo del año, lo que reduce considerablemente el riesgo de incorporar en los análisis hembras en reposo gonadal como consecuencia de estar sometidas a condiciones oceanográficas inadecuadas. Las regiones 07 y 08 presentan no sólo patrones de maduración-reproducción intensos y consistentes sino también condiciones térmicas más estables a lo largo del año. El incrementar el valor umbral de IG1 para estimar la talla de primera madurez no tendría impacto significativo sobre el valor de  $LJFL_{50}$  obtenido. En las regiones 07 y 08 los IG1 son extremadamente elevados, con valores de su mediana normalmente superiores a 4, por lo que los resultados no serían significativamente sensibles a incrementar dicho umbral, dentro de valores biológicamente razonables. Por otra parte, el valor umbral validado histológicamente 1,375 definido en unidades EFL (HINTON *et al.*, 1997) sería equivalente a un valor de IG2 de 1,346 (MEJUTO & GARCÍA-CORTES, 2003b). El ajuste de las observaciones IG1 e IG2 mediante regresión no lineal (S-PLUS, 1997) permite obtener la ecuación  $IG1 = 0,352699 * IG2^{5,745950}$ ,  $R^2 = 0,931$ . Es decir, el valor umbral IG2 = 1,346 sería equivalente al umbral IG1 = 1,945; que es inferior al que ha sido usado en estos análisis. Por tanto, el umbral seleccionado en nuestro caso (IG1 = 2,09) es incluso más exigente a la hora

de definir actividad de maduración en las hembras que el umbral validado mediante estudios histológicos para el Pacífico (HINTON *et al.*, 1997).

Es especialmente de interés señalar que el valor LJFL<sub>50</sub> aquí obtenido se aproxima a los valores definidos para el stock del Mediterráneo, lo que sugiere que la biología reproductiva de los stocks del Atlántico y Mediterráneo quizás no sea tan dispar como se creía hasta ahora y que tales diferencias han sido debidas a las diferentes fracciones muestreadas en cada estudio.

### 8.3.1.2. Captura por unidad de esfuerzo por región y sexo.

Los índices gonadales obtenidos por región y los valores de SRs por región indicaban que los procesos reproductivos observados, sobre todo en las regiones 07, 08 y 13, podrían ser la causa de la concentración de machos o ausencia de hembras en la captura.

Los datos de CPUE por sexo entre regiones sugieren que las CPUE de las hembras en las regiones 07 y 08 no difieren sustancialmente de las CPUE de hembras de sus regiones más próximas, aunque difiere con relación a regiones alejadas de áreas templadas. Por el contrario, la CPUE de machos en las regiones 07 y 08 se incrementa sustancialmente sobre sus regiones más próximas, aunque con valores similares a los encontrados en áreas distantes (tabla 21). Sin embargo, la comparación de CPUEs entre regiones no ayuda a una interpretación adecuada de los datos, especialmente al compararse regiones distantes, ya que las abundancias entre regiones y la capturabilidad del palangre usado en cada una de ellas podrían ser diferente. Por tanto, la comparación de ratios entre sexos (R\_CPUE) y entre regiones parece una mejor aproximación para explicar posibles procesos de segregación ligados con la reproducción de esta especie.

El análisis de los ratios de CPUE por sexo (R\_CPUE<sub>m</sub> y R\_CPUE<sub>w</sub>) muestra valores de cierto interés al comparar las diferentes regiones analizadas. Las regiones 07 y 08 muestran ratios significativamente diferentes a las otras regiones, especialmente el R\_CPUE<sub>m</sub> que alcanza valores entre 3,3 y 4,0 veces a favor de los machos, respectivamente, y valores más moderados de R\_CPUE<sub>w</sub>.

Los datos de CPUE por categoría de talla no dejan lugar a duda al señalar al grupo de tallas comprendido entre 125-165 cm LJFL (R\_CPUEL2) como el causante de las elevadas CPUE<sub>m</sub> de los machos, con valores R\_CPUEL2 entre 11,2 y 9,5 veces más machos que hembras, a la vez que con valores de CPUEL2\_F en dichas regiones inferiores al de sus regiones adyacentes. Estos valores sugieren por tanto que la abundancia/capturabilidad de las hembras de tallas 125-165 cm en las regiones con patrón de reproducción podría ser inferior, a las observadas en otras regiones y especialmente en relación con las regiones templadas. Al mismo tiempo, la abundancia/capturabilidad de machos es considerablemente mayor, de hasta 11 veces con relación a las hembras, en las regiones donde se producen procesos intensos de reproducción.

El análisis de las anomalías de R\_CPUE indica que las regiones en las cuales fueron detectados procesos madurativos-reproductivos de las hembras suelen identificarse con una anomalía positiva claramente a favor de los machos, sobre todo en el rango tallas entre 125 y 165 cm, rango que concentra la mayor parte de los machos reproductores. Estos resultados ayudan a entender los procesos reproductivos existentes en estas regiones así como los valores de SRs observados (ver capítulo 7).

En las áreas en las que se observan procesos reproductivos, las hembras maduras pueden ser atrapadas y capturadas con el palangre, permaneciendo frecuentemente uno o varios machos merodeando o cortejando a la hembra madura, incluso hasta el mismo costado del buque y hasta que es izada a bordo. Estos machos merodeadores en ocasiones son capturados fácilmente con un simple arpón (figura 104).

El comportamiento reproductivo de esta especie es por tanto mucho más complejo de lo que se creía. No deberían descartarse en esta especie estímulos externos de atracción y comportamientos de cortejo en las zonas de reproducción, confirmando las descripciones de los muchos pescadores que en ocasiones denominaban a estas zonas como “*o mar dos enamorados*”, en alusión a estos procesos de cortejo que observaban y que no eran científicamente explicados.

Los datos cuantitativos sugieren que la puesta de las hembras de esta especie ocurre en áreas específicas y en épocas más o menos prolongadas, según la región. Las zonas de reproducción intensa presentan una clara prevalencia de machos en la captura, especialmente dentro de determinados rangos de talla que incluyen la mayor parte de la fracción reproductora de los machos, la cual puede alcanzar hasta 11 veces la ocurrencia de las hembras en esas zonas. La talla de primera madurez obtenida para las hembras en este estudio, para el conjunto del Atlántico, es sensiblemente inferior a las previamente descritas por otros autores.

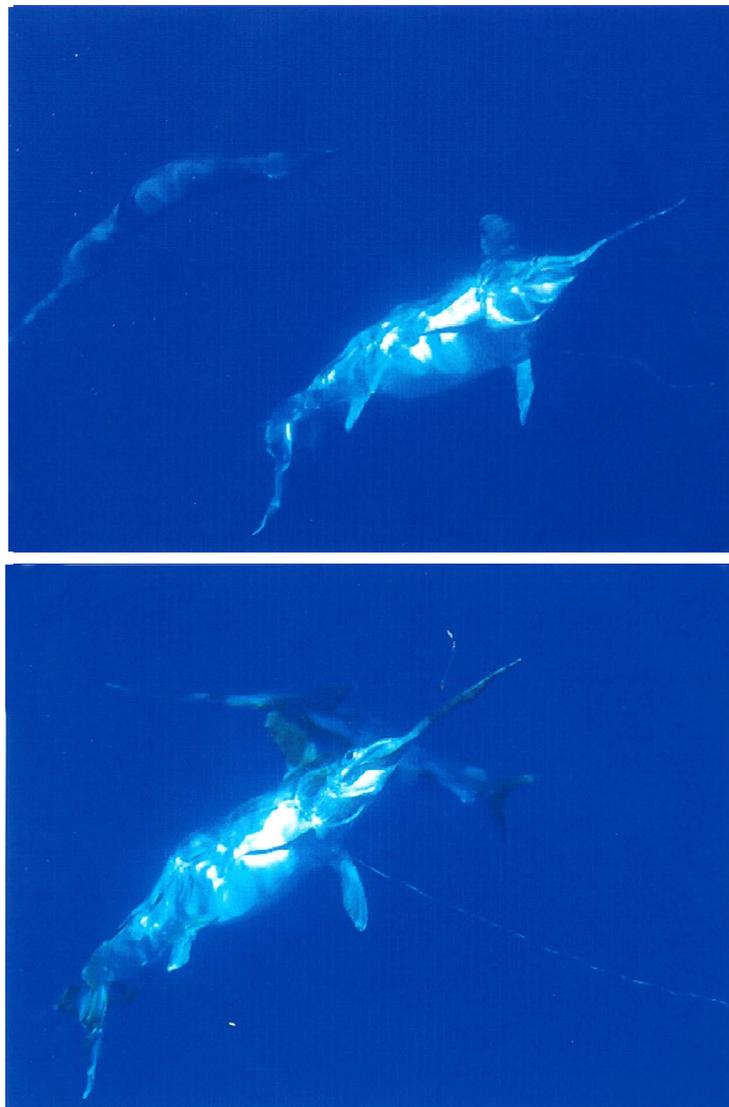


Figura 104. Macho de pez espada (en segundo término) merodeando a una hembra adulta que es capturada por un palangre de superficie (en primer término). La hembra, que presentó gónadas maduras, próximas a la puesta, con cavidad visceral visiblemente abultada, es “cortejada” por el macho merodeador (pareja) hasta su izado a bordo. Foto tomada por Gonzalo Molins en el océano Pacífico (27°S-117° W), mes de diciembre 2004, en el B/P Radoche Primero.

Región	CPUE <sub>N</sub> F	CPUE <sub>W</sub> F	CPUE <sub>L1</sub> F	CPUE <sub>L2</sub> F	CPUE <sub>L3</sub> F	CPUE <sub>L4</sub> F
R01	5,927	148,80	3,087	1,852	0,617	0,370
R02	10,154	349,42	2,431	5,756	1,073	0,894
R03	15,140	452,14	4,318	8,229	1,907	0,687
R04	2,974	36,08	2,134	0,840	0,000	0,000
R06	4,832	145,77	1,516	2,465	0,676	0,175
R07	3,210	129,08	1,082	0,883	0,933	0,311
R08	2,592	122,25	0,636	0,693	0,892	0,371
R09	3,640	137,39	0,966	1,406	1,018	0,250
R10	5,721	207,41	1,308	2,712	1,416	0,285
R11	5,126	291,73	0,372	1,591	2,089	1,074
R12	3,004	147,01	0,134	1,393	1,175	0,302
R13	4,404	259,57	0,400	1,077	1,836	1,090
R15	0,812	20,15	0,414	0,289	0,094	0,016
R91	8,468	202,03	3,682	3,884	0,758	0,143
R92	8,824	177,45	4,902	2,941	0,980	0,000
R93	8,468	239,55	2,982	4,253	0,969	0,264

Región	CPUE <sub>N</sub> M	CPUE <sub>W</sub> M	CPUE <sub>L1</sub> M	CPUE <sub>L2</sub> M	CPUE <sub>L3</sub> M	CPUE <sub>L4</sub> M
R01	7,656	128,67	4,939	2,223	0,494	0,000
R02	10,869	296,33	3,432	5,828	1,466	0,143
R03	11,748	270,71	4,738	5,972	1,023	0,014
R04	3,879	56,12	2,780	1,034	0,065	0,000
R06	8,092	246,07	1,552	5,207	1,296	0,037
R07	12,976	343,90	2,438	9,928	0,597	0,012
R08	8,602	234,42	1,512	6,585	0,497	0,008
R09	3,423	82,61	1,236	1,876	0,307	0,005
R10	2,584	61,68	0,993	1,364	0,222	0,005
R11	7,158	267,72	0,643	4,224	2,214	0,077
R12	2,920	104,11	0,269	1,880	0,722	0,050
R13	6,614	244,79	0,494	3,969	2,108	0,043
R15	0,734	14,12	0,484	0,164	0,086	0,000
R91	7,777	139,26	4,441	3,109	0,228	0,000
R92	3,922	73,53	2,941	0,490	0,490	0,000
R93	15,766	448,74	4,001	9,588	2,177	0,000

Región	R_CPUE <sub>n</sub>	R_CPUE <sub>w</sub>	R_CPUE <sub>L1</sub>	R_CPUE <sub>L2</sub>	R_CPUE <sub>L3</sub>	R_CPUE <sub>L4</sub>
R01	1,29	0,86	1,60	1,20	0,80	0,00
R02	1,07	0,85	1,41	1,01	1,37	0,16
R03	0,78	0,60	1,10	0,73	0,54	0,02
R04	1,30	1,56	1,30	1,23	NA	NA
R06	1,67	1,69	1,02	2,11	1,92	0,21
R07	4,04	2,66	2,25	11,24	0,64	0,04
R08	3,32	1,92	2,38	9,50	0,56	0,02
R09	0,94	0,60	1,28	1,33	0,30	0,02
R10	0,45	0,30	0,76	0,50	0,16	0,02
R11	1,40	0,92	1,73	2,65	1,06	0,07
R12	0,97	0,71	2,01	1,35	0,61	0,17
R13	1,50	0,94	1,24	3,69	1,15	0,04
R15	0,90	0,70	1,17	0,57	0,91	0,00
R91	0,92	0,69	1,21	0,80	0,30	0,00
R92	0,44	0,41	0,60	0,17	0,50	NA
R93	1,86	1,87	1,34	2,25	2,25	0,00

Tabla 21. CPUE en número (CPUE<sub>n</sub>), CPUE en peso (CPUE<sub>w</sub>), por sexo. Ratios entre CPUEs por sexo (machos/hembras), por región y para cada uno de los cuatro rangos de talla definidos: CPUE<sub>L1</sub> = (50<= LJFL <125), CPUE<sub>L2</sub> = (125<= LJFL<170), CPUE<sub>L3</sub> = (170<= LJFL <205), CPUE<sub>L4</sub> = (205<= LJFL <=350). Machos ="M", Hembras ="F".

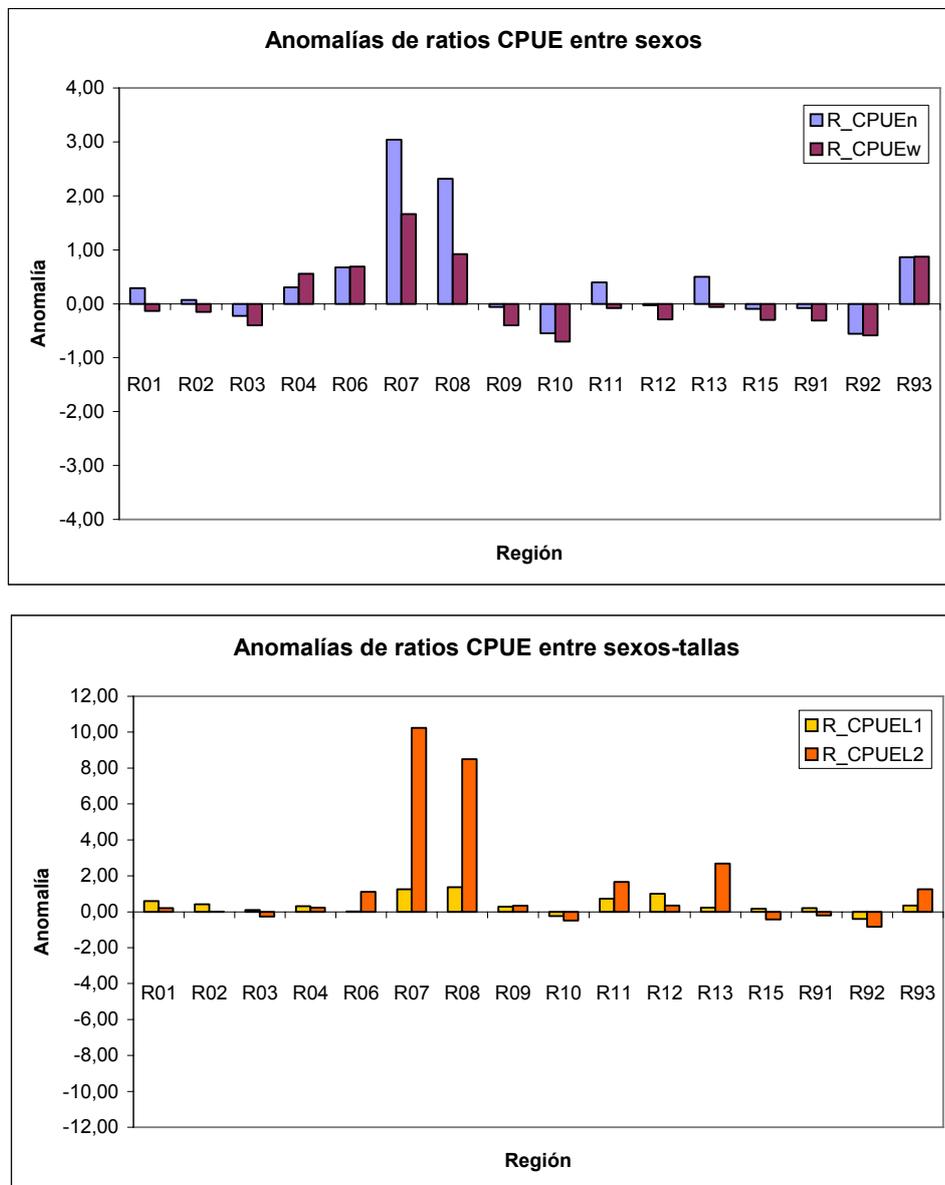


Figura 105. Anomalías por región del ratio entre las CPUEs por sexo (machos/hembras) en número de peces (R\_CPUE<sub>n</sub>), en kilogramos peso vivo (R\_CPUE<sub>w</sub>). Anomalías del ratio entre las CPUEs en número de peces, para las categorías de talla 50-120 cm (R\_CPUEL1) y 125-165 cm (R\_CPUEL2).

### 8.3.1.3. Indicadores cualitativos: Estados gonadales de las hembras.

Un total de 18.283 hembras fueron observadas en cuanto a su “estado gonadal”. Al analizar todas las tallas combinadas ( $50 \leq \text{LJFL} \leq 350$  cm) los estados primordial y sin madurez significativa (estados 1, 2 y 3) predominan en las observaciones de la mayoría de regiones, ya que existe prevalencia de hembras juveniles y de hembras adultas en reposo en todas las regiones observadas. Pese a ello, el análisis cualitativo es capaz de discriminar entre regiones con muy escasa o nula actividad de maduración y regiones con aparentemente elevada actividad reproductiva.

En las regiones 07, 08 y 13 las ocurrencias de los estados 4 y 5 suman el 37%, 33% y 14% de las hembras observadas, respectivamente. Las regiones 91 y 92 muestran una ocurrencia de actividad de maduración relativamente elevada, pero sólo 48 y 18 individuos respectivamente fueron muestreados (figura 106a y b). Otras áreas, adyacentes a las regiones 07, 08 y 13 dan muestra de cierta ocurrencia de estados 4 y 5, aunque más moderada.

Cuando este análisis se restringe a sólo a los peces mayores de 149 cm ( $\text{LJFL} \geq 150$ ) se produce un cambio significativo en los resultados (figura 107a y b). En las regiones 07, 08 y 13, la ocurrencia de los estados 4 y 5 asciende hasta valores del 64%, 51% y 28% de las hembras observadas, respectivamente. Regiones próximas o adyacentes a estas presentan ocurrencias más moderadas, pero nada despreciables, entre el 9% y 17% de las hembras observadas. Esto sugiere, por un lado la elevada actividad reproductiva en algunas de las áreas (como la 07, 08, 13) y, por otro, que en sus regiones adyacentes podría existir esporádica o moderada actividad reproductiva. La región 92 muestra valores del 100% para los estados 4 y 5. Aunque sólo 5 ejemplares han sido muestreados, no debe descartarse la posibilidad de que procesos reproductivos ocurran en algunas de las áreas muestreadas dentro de dicha región o en sus proximidades, tal como ha sido descrito por otros autores (ARROCHA, 2002).

Es especialmente llamativo el resultado de la región 01, aunque sólo 12 individuos fueron muestreados. Hasta la fecha no ha sido descrito ningún proceso reproductivo para esta especie en esas latitudes, ni es probable que ocurra a la vista de las condiciones térmicas existentes. Es posible la presencia esporádica de hembras atrésicas, o con procesos de puesta abortados, induzca al muestreador a un error de identificación.

En las áreas en las que se desarrollan procesos de maduración (como sugieren las regiones 07, 08 y 13), los estados gonadales parecen fácilmente identificables incluso con escasa experiencia, ya que existe contraste suficiente entre observaciones como para poder identificar y clasificar los diferentes estados. Sin embargo, en las regiones templadas, los estados gonadales son escasamente variables (GARCÍA & MEJUTO, 1988) haciendo que en ocasiones los observadores poco experimentados identifiquen y clasifiquen erróneamente, con mayor probabilidad, las observaciones obtenidas, al intentar discriminar entre diferentes estados que realmente no se manifiestan en el área muestreada. Al tratarse de un criterio cualitativo, la experiencia previa del observador es un elemento clave, especialmente en esas regiones carentes de contraste suficiente entre muestras. Pese a la subjetividad de la identificación de los seis estados de madurez, las observaciones sugieren que globalmente las identificaciones macroscópico-cualitativas tienen relación con los índices gonadales obtenidos (figura 108).

Los indicadores de “estados gonadales” son capaces de identificar las regiones según sus procesos reproductivos y podrían ser de cierta utilidad para aproximarse a definir el estado de desarrollo gonadal de las hembras y las zonas de maduración-reproducción, a falta de otra alternativa, mediante un método sencillo y rápido. Pero probablemente este método es menos eficaz para delimitar con precisión regiones donde no se produce contraste suficiente entre estados gonadales por ser altamente sensible al criterio y experiencia que tenga el muestreador.

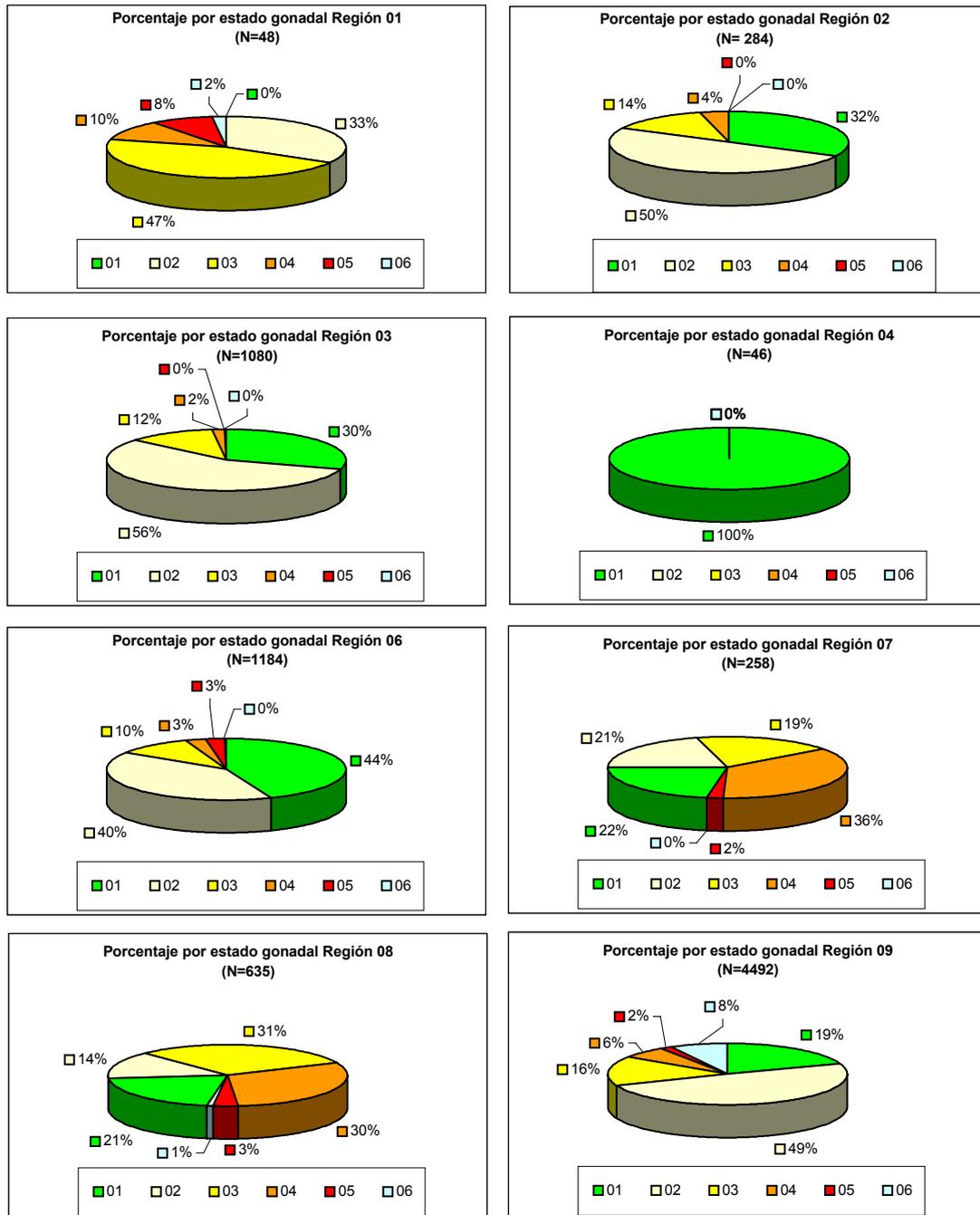


Figura 106a. Porcentaje de hembras entre 50 y 350 cm de talla (LJFL) que presentan cada uno de los seis estados gonadales, en cada una de las regiones definidas. Regiones: 01, 02, 03, 04, 06, 07, 08, 09.

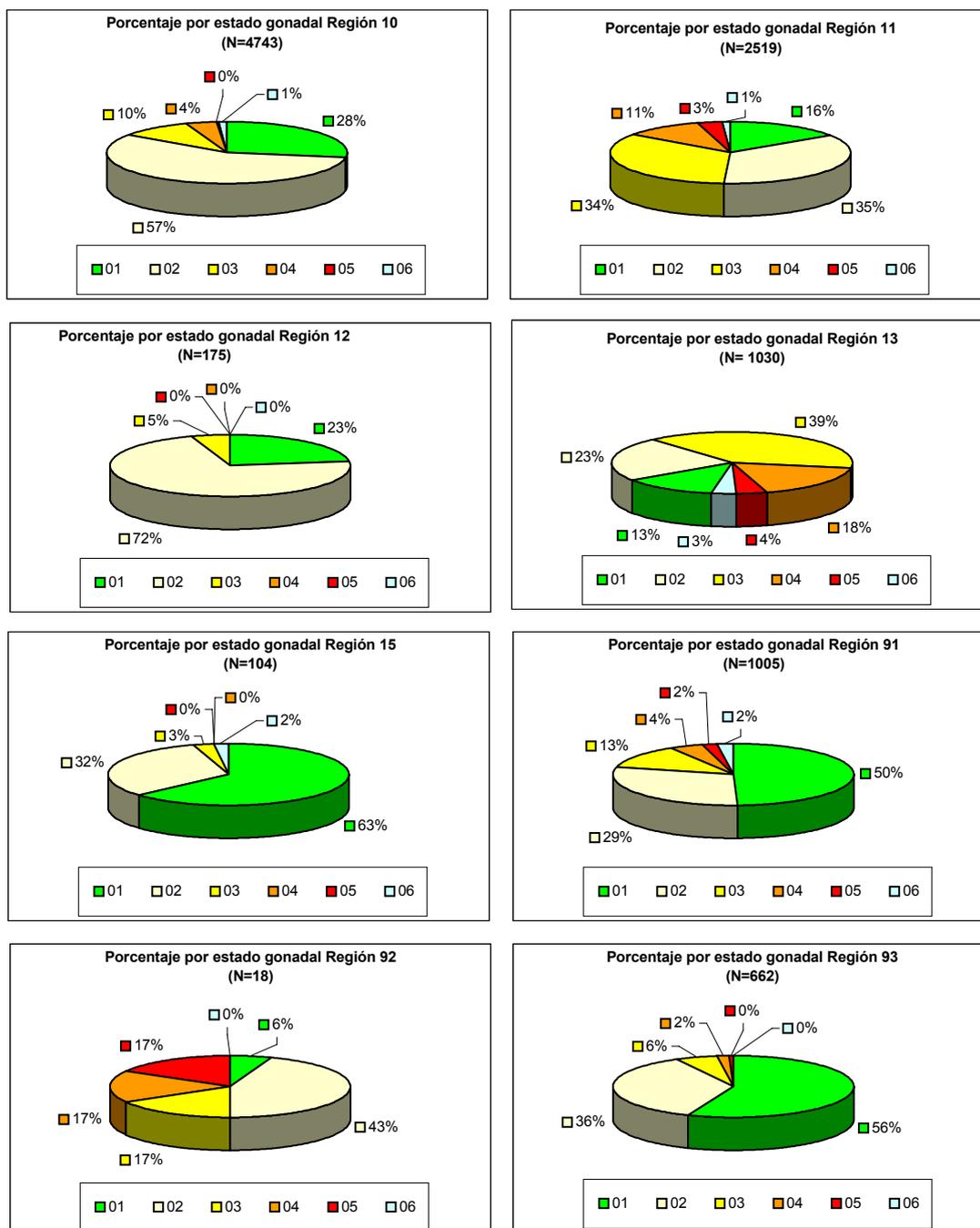


Figura 106b. Porcentaje de hembras entre 50 y 350 cm (LJFL) que presentan cada uno de los seis estados gonadales, en cada una de las regiones definidas. Regiones: 10, 11, 12, 13, 15, 91, 92, 93.

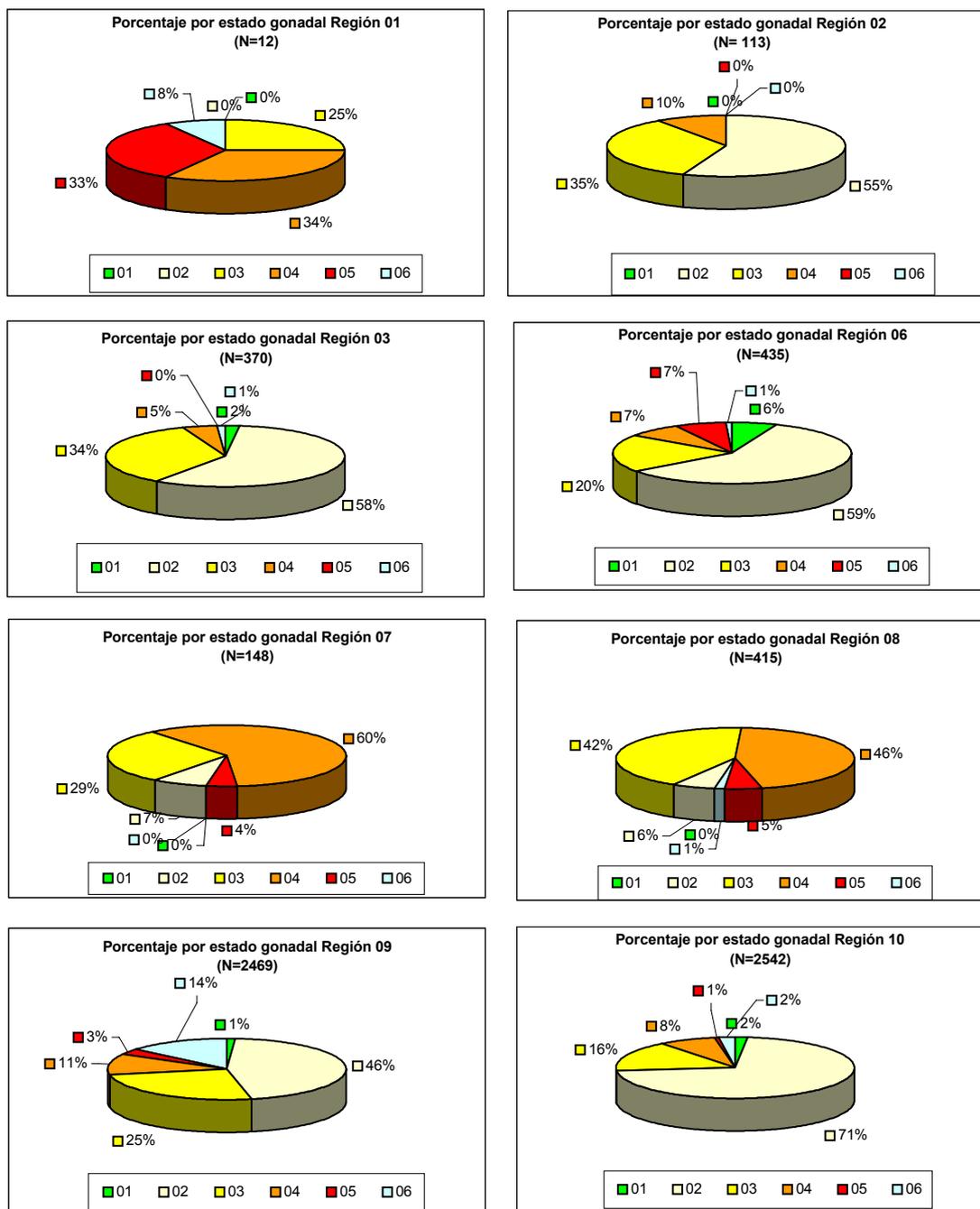


Figura 107a. Porcentaje de hembras LJFL  $\geq$  150 cm que presentan cada uno de los seis estados gonadales, en cada una de las regiones definidas. Regiones: 01, 02, 03, 06, 06, 07, 08, 09, 10.

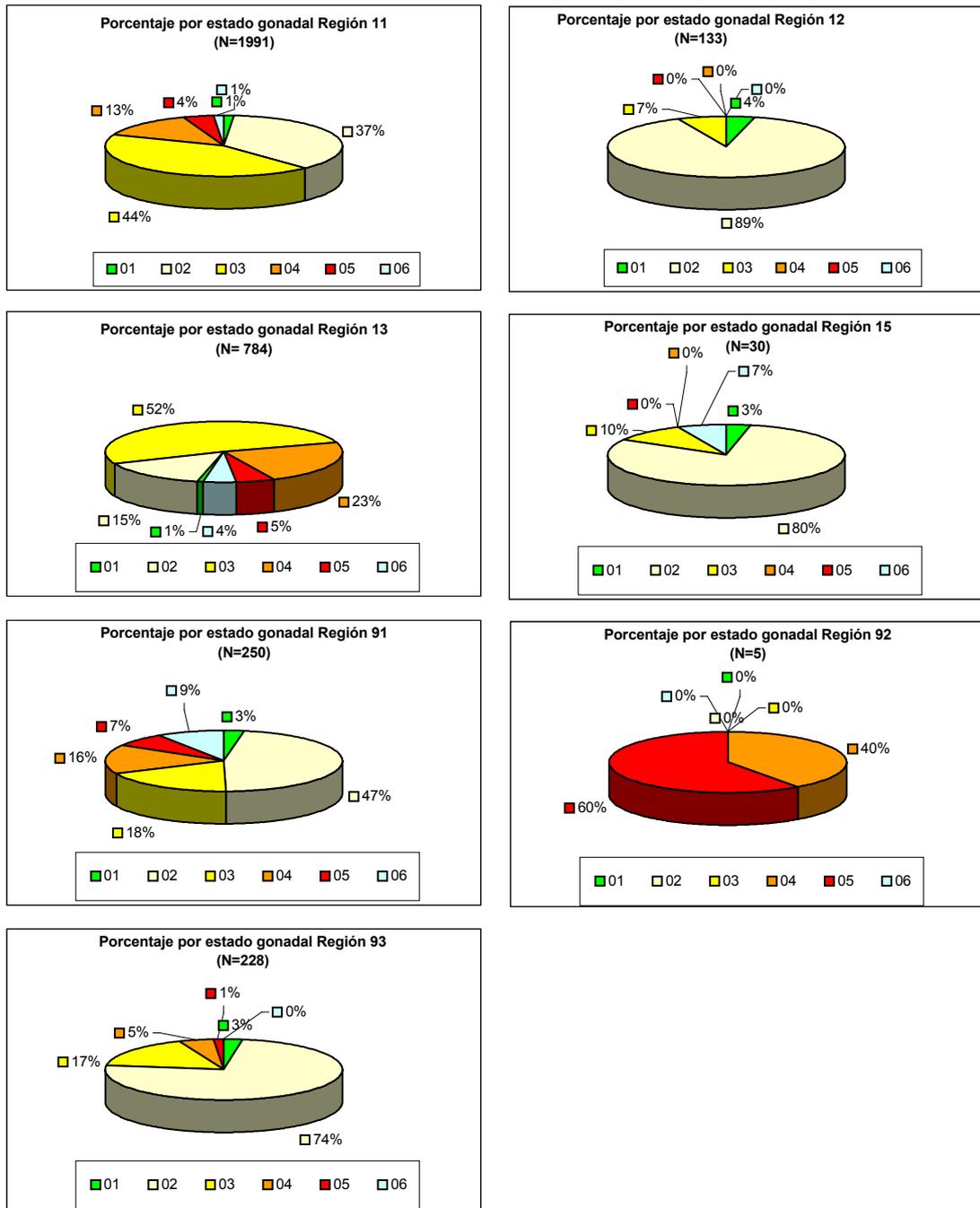


Figura 107b. Porcentaje de hembras LJFL $\geq$ 150 cm que presentan cada uno de los seis estados gonadales, en cada una de las regiones definidas. Regiones: 11, 12, 13, 15, 91, 92, 93.

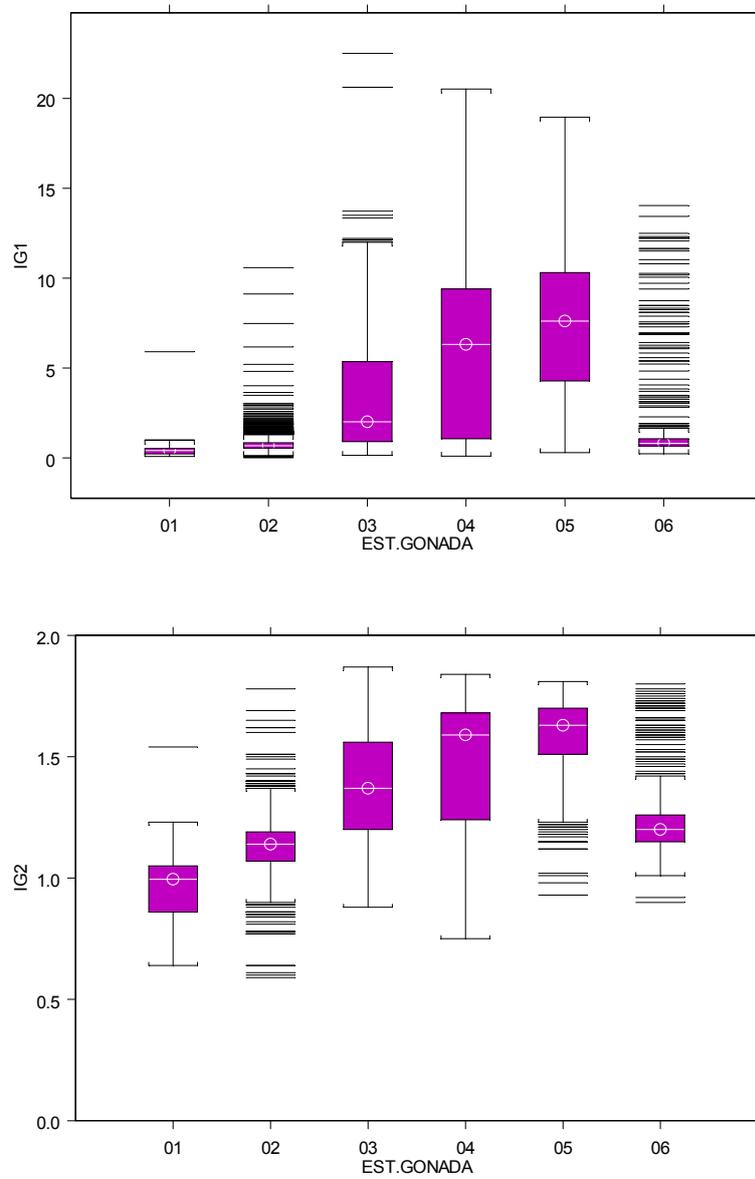


Figura 108. Diagrama “box-plot” de los índices gonadales (IG1, IG2) en relación con los 6 diferentes estados de madurez, identificados en un total de 9.770 hembras con tallas LJFL $\geq$ 150 cm.

### 8.3.2. El proceso reproductivo y la temperatura de las capas superficiales.

Tal como se ha indicado antes, los resultados aquí obtenidos y los de otros autores sugieren una evidente relación entre la temperatura del mar y el desarrollo de los procesos madurativos de las gónadas femeninas (figura 95). Estudios de varios de los autores ya citados coinciden en que la temperatura es el factor clave para poder iniciar procesos de reproducción, sugiriendo a la SST como el factor más importante y condicionante. Pero si esto fuera así, no deberían haberse encontrado diferentes patrones de reproducción entre las regiones de la banda tropical (regiones 07, 08, 09, 10) ya que presentan similares SSTs durante la mayoría del año (figura 109).

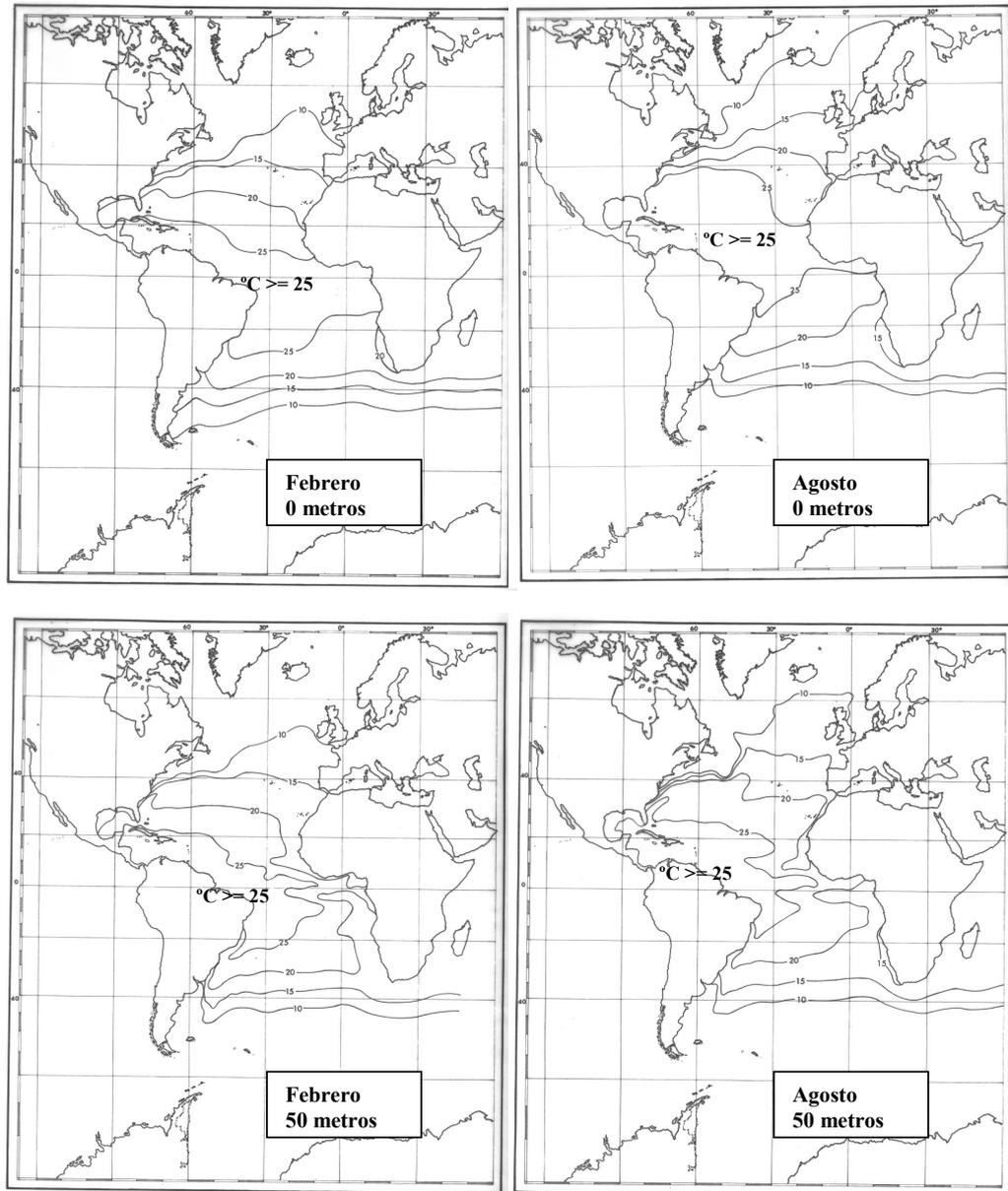


Figura 109. Temperaturas medias esperadas en superficie (SST) y a 50 metros de profundidad, en dos meses representativos del ciclo anual, febrero y agosto, respectivamente (tomado de MEJUTO & HOEY, 1991).

Los indicadores de reproducción sugieren que las regiones del Este y Oeste de dicha banda tropical presentan grandes diferencias en cuanto a los procesos y fases de maduración-reproducción, tanto usando indicadores cuantitativos como cualitativos.

La región 10 (al Este), con termoclina relativamente superficial y con aportes de agua fría profunda, no muestra signos significativos de maduración-reproducción. La región 09 (central) presenta sólo esporádicos eventos de desarrollo gonadal. Las regiones 07 y 08 (al Oeste) presentan gran intensidad de maduración-reproducción de esta especie durante todo el año. En otras palabras, los procesos se hacen más patentes, constantes e intensos, al aproximarnos al margen occidental-tropical del Atlántico, lo que se confirma además por la actividad reproductiva más estacional observada en las regiones 13 y 11.

Estudios previos sugerían que la temperatura del conjunto de las capas superficiales y su estructura térmica (termoclina) eran elementos clave para que las hembras pudieran iniciar y favorecerse los procesos de maduración-reproducción (MEJUTO & HOEY, 1991) en vez de la temperatura superficial.

Los resultados aquí alcanzados apoyan este planteamiento como más plausible y sugieren a la temperatura a 50 m de profundidad, y concretamente a la isoterma de 25°C, como un mejor indicador para delimitar las áreas potenciales de reproducción del pez espada que la temperatura superficial. Las condiciones térmicas de las capas superficiales (hasta 300 m) son muy distintas a ambos márgenes (Este-Oeste) de la franja tropical del Atlántico. En los océanos Atlántico, Indico y Pacífico las regiones occidentales tropicales y subtropicales tienden a acumular masas de agua cálida. La relativa estabilidad térmica de las capas superficiales de la región tropical más occidental del Atlántico, en cuanto a temperatura y profundidad de su termoclina, explicarían la elevada presencia de procesos maduración-reproducción observados en las regiones 07 y 08 durante todo el año.

Por otra parte, los fenómenos estacionales de expansión y contracción de esas masas superficiales de agua cálida podrían explicar los procesos estacionales o esporádicos de maduración-reproducción observados en regiones adyacentes a las regiones 07 y 08. Concretamente, los procesos de maduración observados en las regiones 13 y 11, y en menor medida en la región 09, coinciden con la expansión hacia el Sur y SE de la SST y de la isoterma de 25°C a 50 metros durante el verano austral.

Es esperable por tanto que similares procesos de expansión y contracción de las isotermas de las capas superficiales tengan también efectos, incluso mucho más importantes, sobre los fenómenos de maduración y reproducción observados en la región subtropical del Caribe y arco Antillano, donde también han sido descritos procesos de maduración-reproducción para esta especie (AROCHA, 1997).

Los resultados obtenidos sobre las regiones de reproducción de esta especie apoyan la tesis de la estructuración de las poblaciones de pez espada en regiones biológicas, tal como ha sido indicado por los estudios de sex-ratio por talla incluidos en esta tesis (capítulo 7) y validado recientemente estudiando la similaridad genética entre regiones (ALVARADO-BREMER *et al.*, 2005a).

## **CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES**



## 9. CONCLUSIONES.

1. La pesquería de pez espada (*Xiphias gladius* Linnaeus) a nivel mundial se inició hace miles de años en comunidades costeras de muchos países. Su explotación intensiva a nivel oceánico comenzó en el siglo XX como consecuencia del desarrollo de los palangres oceánicos de altura. Su pesca industrial se desarrolló más intensivamente a partir de la década de los años ochenta del siglo pasado en todos los mares del mundo, coincidiendo con el desarrollo de las flotas industriales de altura dirigidas a capturar esta especie.

2. La larga historia de la pesquería de pez espada estuvo vinculada con los comportamientos migratorios espacio-temporales de esta especie. La disponibilidad estacional de este recurso para determinadas flotas artesanales costeras ha sido un factor decisivo en el desarrollo histórico y cultural de esta pesquería. Sin embargo, desde la mitad del siglo pasado, el acceso a su pesca en zonas oceánicas se ha visto posibilitado por la industrialización de las flotas de larga distancia en cuanto a los nuevos sistemas de pesca usados, por las mejoras en la construcción y propulsión de los buques y por la instalación de sistemas de conservación a bordo de las capturas.

3. El arpón ha sido el método histórico tradicionalmente usado para capturar el pez espada hasta la implantación y desarrollo de los palangres oceánicos ocurrido sobre todo desde mediados del siglo pasado. Actualmente el palangre es responsable de, al menos, el 85% de las capturas mundiales declaradas. Las capturas con arpón son actualmente menores o anecdóticas.

4. Las capturas declaradas de pez espada a nivel mundial superan las 100.000 t/año. Al menos 65 países declaran realizar pesca intensiva sobre esta especie en los océanos Atlántico, Índico y Pacífico. Las capturas recientes del Atlántico fluctuaron entre las 30.000-40.000 t/año, siendo actualmente la flota con base en los puertos de Galicia la más importante.

5. La pesquería de pez espada en España se describe al menos desde el siglo XIX, pero su desarrollo más intenso se produjo desde finales de los años setenta y, sobre todo, durante los ochenta y noventa del siglo pasado. La mayoría de las capturas españolas son realizadas por buques gallegos y se comercializan a través de sus puertos. Los ingresos en primera venta por esta pesquería se estima en unos 230 millones € /año para el conjunto de especies capturadas, de las que se estiman unas 70.000 t /año (peso vivo), implicando a unos 281 buques palangreros que pescan en aguas internacionales con unos 3.500 tripulantes.

6. Desde el punto de vista económico y social, la pesca del pez espada es una de las pesquerías más importantes para Galicia. La pesquería de pez espada representa un subsector estratégico para los intereses pesqueros de Galicia.

7. Previamente a los años ochenta del siglo pasado, las flotas con base en el Sur de España y Mediterráneo fueron las más importantes, cediendo esta importancia a la flota con base en Galicia a partir de esa década. El puerto de A Coruña ha sido inicialmente el más importante de Galicia en desembarcos de esta especie, durante los años setenta y principio de los ochenta. Sin embargo, con posterioridad, el mercado de esta especie se centró en los puertos del Sur de Galicia, básicamente en Vigo, donde se desarrolla sobre el 90% de mercado actual de esta especie y de las especies asociadas a esta pesquería.

8. La historia de la pesquería de pez espada muestra diferentes fases en su intensidad. Las fases de intensidad baja, moderada y alta se sitúan generalmente hasta los años noventa del siglo pasado. A partir de esos años se sufrió un periodo de máxima intensidad pesquera e incluso de sobreexplotación en alguno de los stocks del Atlántico. Las medidas de regulación posteriores en el Atlántico obligaron a implantar TACs y cuotas por país.

9. Los protocolos establecidos para la obtención y tratamiento de los datos pesqueros procedentes de la actividad de la flota de palangre de superficie, para fines científicos, deben considerar los diferentes fragmentos de flota implicados en la pesquería, debiendo desarrollarse procedimientos específicos para la obtención y tratamiento de la información de cada uno de ellos.

10. Durante el periodo 1986-1998 la flota ha mantenido un arte de pesca tradicional relativamente estable, en cuanto al número de anzuelos por lance y configuración del aparejo, aunque con cambios importantes en la estrategia de pesca en relación con la especie objetivo. Durante el periodo 1998-2001 se desarrolla y generaliza el empleo de un nuevo tipo de palangre tipo americano.

11. La complementariedad de diferentes fuentes de información científica sobre la actividad de la flota, y de los datos biológicos, es capital para la adecuada interpretación y modelización de la información y para afrontar los estudios biológico-pesqueros. Datos procedentes de muestreos en lonja, cuadernos de pesca voluntarios y observadores, entre otras fuentes de información, son las herramientas más adecuadas para el estudio de esta especie pelágica oceánica y sus pesquerías.

12. El desarrollo y mantenimiento de bases de datos relacionales, que integren datos de captura, esfuerzo, posición de actividad de pesca, distribuciones de talla de la captura y otros elementos, como la configuración del aparejo y niveles de capturas asociadas, etc, son elementos claves para la correcta interpretación y modelización de los datos de esta flota.

13. El empleo de herramientas GIS para los análisis descriptivos y cartográficos de los datos pesqueros básicos son de utilidad de cara a la valoración de los datos y su posterior modelización. Los modelos lineales generalizados (GLM) son herramientas eficaces para el tratamiento de datos procedentes de flotas con diseños no balanceados así como para la interpretación de los datos de CPUE de la flota palangrera.

14. Como consecuencia de la creciente importancia económica del tiburón azul *Prionace glauca* y de sus productos derivados en los mercados internacionales, el porcentaje de pez espada desembarcado por marea se redujo durante los años más recientes debido a cambios en el criterio de los buques sobre la especie objetivo. Los desembarcos de *Prionace glauca* se incrementaron considerablemente a lo largo de los años como consecuencia de un menor descarte de esta especie y un mayor interés de la flota en su captura, retención y comercialización.

15. Los cambios en la estrategia de pesca de la flota a lo largo de la serie analizada, pasando de priorizar la captura de pez espada a desarrollar una pesca biespecífica, se muestra como un elemento clave a la hora de interpretar la variabilidad interanual de la CPUE y para asumirla como indicador de abundancia relativa del stock a lo largo de los años.

16. La CPUE nominal del pez espada es menor cuanto mayor sea el porcentaje de *Prionace glauca* capturado. La intención por parte del buque de seleccionar mejores áreas para la captura de esta última especie lleva implícita la selección de áreas menos favorables para la captura del pez espada y, por tanto, su menor CPUE.

17. La no incorporación del efecto “ratio” en el modelo de GLM hace que el modelo interprete los descensos de CPUE del pez espada como debidos a la variabilidad interanual, cuando realmente la mayor parte de esta variabilidad es debida al efecto del “direccionamiento” de la pesca hacia una u otra especie.

18. La incorporación en el modelo GLM de un factor de “direccionamiento”, medido mediante la variable “ratio”, incrementa su grado de ajuste en un 58%, aporta una visión más realista de

las tendencias de la CPUE del pez espada a lo largo de los años y permite su uso como indicador de abundancia relativa. Se pone de manifiesto la importante repercusión que el criterio de “direccionamiento” seguido por la flota, hacia una u otra especie, puede tener sobre las tendencias de la CPUE del pez espada para su asunción como indicador de la abundancia relativa del stock. El conocimiento de la pesquería, su historia y seguimiento a lo largo del tiempo, previene de enfoques metodológicos inapropiados.

19. Los resultados obtenidos mediante GLM validan indirectamente el diseño científico establecido para el seguimiento científico de la actividad de la flota, en cuanto a estrategias de muestreo y coberturas espacio-temporales.

20. Los recientes incrementos de la biomasa del stock del pez espada del Atlántico Norte, según detecta la CPUE estandarizada en biomasa, observados después de un largo periodo de 12 años de continuos descensos, se explica por cambios favorables en el nivel de los reclutamientos durante los años más recientes, frente a periodos anteriores mucho menos favorables.

21. Los análisis de CPUE estandarizadas, tanto en biomasa como en número por edad, se mostraron complementarios para una adecuada interpretación de las tendencias de los stocks a partir de indicadores basados en datos de captura y esfuerzo de flotas comerciales.

22. Los índices de reclutamiento del stock del Atlántico Norte de pez espada (CPUE1) y de la fracción adulta del stock (CPUE5+) mostraron entre sí tendencias muy diferentes a lo largo del periodo analizado. Los reclutamientos anuales fueron bajos en la mayoría de los años analizados, salvo durante el periodo 1986-1989 y, sobre todo, durante los años a partir de 1996. La fracción del stock considerada adulta mostró una tendencia generalmente decreciente a lo largo de la serie analizada. Los reclutamientos anuales más altos se observaron cuando la abundancia de la fracción reproductora fue menor.

23. Los datos de CPUE estandarizada, en biomasa y por edad, del pez espada del Atlántico Norte muestran tendencias coherentes entre ellos y una adecuada transición entre las diferentes edades analizadas. Los altos reclutamientos observados en los años más recientes se incorporan progresivamente en las edades subsiguientes con el adecuado lapso de tiempo, contribuyendo al progresivo incremento de la abundancia de las diferentes edades y a la biomasa total del stock.

24. El índice invernal de NAO (NAOw) a lo largo del siglo XX ha mostrado fluctuaciones anuales y ciclos decadales de aproximadamente 25 años de duración. Durante el periodo 1983-2001, periodo con datos pesqueros disponibles del stock de pez espada del Atlántico Norte, se observó un efecto inverso entre los niveles de CPUE1 y NAOw. Los valores más altos de CPUE1 coincidían con valores bajos o muy bajos del índice NAOw. El mayor valor de CPUE1 coincidió con el menor valor observado de NAOw durante dicho periodo.

25. La simulación de la dinámica del stock Norte del pez espada durante casi un siglo, asumiendo una relación de los reclutamientos con las fluctuaciones de NAOw, permite reconstruir retrospectivamente posibles ciclos multidecadales tanto en los niveles de sus reclutamientos anuales como de la biomasa del stock. Bajo tal escenario simulado, asumiendo carencia de explotación pesquera, se esperarían fluctuaciones cíclicas naturales o fases en la abundancia absoluta del stock.

26. La simulación de la dinámica del stock de pez espada del Atlántico Norte a partir del año 1970 sugiere una progresiva caída en la abundancia del stock del pez espada del Atlántico Norte a partir de ese año. Esto es debido a los relativamente menores reclutamientos anuales esperados en relación con años y fases anteriores, hasta alcanzar los niveles más bajos de biomasa a mediados de los años noventa. Por el contrario, a partir de mediados de los años noventa, se predice un incremento en la abundancia absoluta de este stock como consecuencia de una esperable mejoría en los patrones de reclutamiento. Estas tendencias simuladas para este

periodo se confirman a partir de las observaciones de CPUE en biomasa y por edad obtenidas de los datos pesqueros procedentes de diferentes flotas, tanto de forma individual como combinadas.

27. El medio ambiente podría haber jugado un papel más importante de lo esperado en el descenso de la biomasa total del stock de pez espada del Atlántico Norte observada a partir de 1970 y hasta mediados de los años noventa del siglo pasado. Los reclutamientos observados durante ese periodo podrían haber sido de los más bajos del siglo XX.

28. La Corriente del Golfo y otros complejos factores oceanográficos teleconectados observados en las regiones del Atlántico Noroeste, asociados con NAOw, podrían jugar un papel decisivo en los procesos de reproducción y/o reclutamiento del stock de pez espada del Atlántico Norte y, por tanto, sobre su dinámica y tendencias de su biomasa a largo plazo.

29. La mejoría observada en los patrones de reclutamiento (CPUE1) del stock de pez espada del Atlántico Norte en los años más recientes, podría explicarse por cambios ambientales ocurridos a partir del año 1996, pese a que la abundancia relativa del stock reproductor fue de las menores observadas durante todo el periodo analizado.

30. Los estudios realizados en el medio natural confirman que el pez espada es atraído preferentemente por cebos naturales, frente a otros cebos artificiales y mixtos ensayados. Las diferencias de eficacia entre ellos, medida por sus respectivas CPUEs medias, son significativas. El cebo natural ensayado (*Scomber scombrus*) se mostró como el más eficaz de los ensayados para la captura del pez espada, frente a los otros tipos. Sin embargo no se detectaron diferencias significativas entre las CPUEs medias obtenidas con el cebo natural y con el cebo mixto ensayado.

31. Las presas del pez espada podrían ser inicialmente detectadas mediante su eficaz visión o mediante una combinación de estímulos. Sin embargo, la decisión final de atacar o no a una potencial presa podría estar más influenciada por los estímulos olfativos que por los visuales.

32. Los resultados obtenidos con diferentes tipos de cebos indican que sería posible realizar proyectos para el desarrollo industrial de cebos específicos para la captura de pez espada a partir de subproductos de la pesca o de especies de bajo costo, de forma que se conjuguen debidamente los estímulos visuales y olfativos. En el desarrollo de tales alternativas, debería evitarse en todo caso el empleo de materiales que supongan un impacto ambiental y promoverse el empleo de materiales biodegradables.

33. La estratificación geográfica de los datos de capturas por sexo indica una distribución geográfica no homogénea de ambos sexos a nivel oceánico. En regiones templadas existe una tendencia a predominar las hembras, o un mayor equilibrio entre ambos sexos. Sin embargo, en algunas regiones tropicales y subtropicales, se observa una clara dominancia de los machos en la captura del palangre de superficie.

34. Las áreas atlánticas de mayor latitud, al Norte y al Sur del Atlántico, en las regiones costeras de África y en las zonas próximas al Golfo de Guinea, aparece dominancia de las hembras. Por el contrario, en las áreas cálidas-tropicales del Atlántico Oeste aparece clara dominancia de machos.

35. Los valores de sex-ratio por clase de talla (SRs) muestran una gran variabilidad entre las diferentes regiones definidas. Es posible identificar grupos o patrones característicos de SRs en ciertas regiones-épocas, con niveles muy altos de similaridad entre ellos, detectados mediante diferentes métodos de clusters.

36. La aplicación de diversas metodologías de cluster a los SRs de diversos rangos de talla confirman que los patrones de SRs observados pueden catalogarse dentro de 3 tipos característicos de agrupamientos, que pueden definirse como de tipo “reproducción”, “alimentación” y “transición”, estructurando a los stocks Atlánticos de esta especie en regiones biológicas debido al comportamiento migratorio diferencial entre sexos. Esta configuración en regiones biológicas se ve también confirmada mediante recientes análisis genéticos y estudios realizados en otros océanos y mares, sugiriendo que este es un patrón de comportamiento intrínseco a esta especie.

37. Los análisis de SRs restringidos al rango de tallas 120-170 cm LJFL son adecuados para poder identificar las regiones biológicas del pez espada del Atlántico.

38. Las regiones 07 y 08, situadas en la banda tropical más occidental, y parcialmente la región 13, podrían catalogarse como regiones con el típico patrón de reproducción en sus SRs, caracterizados por la dominancia de los machos. Las regiones 04, 06, 91, 10, 93 y 05, presentarían un patrón propio de zonas de alimentación, mientras que las regiones 01, 03, 11, 09, 12, 92 y 02 tendrían un patrón de transición. Cada uno de estos patrones puede ser definido mediante sus respectivas ecuaciones:

Alimentación:  $y = 0,5307 x - 14,863$  ( $R^2 = 0,9937$ ).

Transición:  $y = -4,4568E-06 x^4 + 0,00283894 x^3 - 0,656764056 x^2 + 65,7430 x - 2370,94$  ( $R^2 = 0,9949$ ).

Reproducción:  $y = -7,5726E-06 x^4 + 0,00456963 x^3 - 0,990593846 x^2 + 91,4945 x - 3019,40$  ( $R^2 = 0,9932$ ).

39. La migración espacial del conjunto de la fracción de hembras suele ser más amplia que la de los machos, debido a su mayor masa corporal media y por los complejos procesos reproductivos de esta especie.

40. Las observaciones sobre índices gonadales en las hembras (IG1) muestran relación con la talla de la hembra y con la temperatura del mar. Valores de IG1 inferiores a 2,0 son observados en hembras menores de 145 cm LJFL en cualquiera de las regiones analizadas. Las hembras con tallas mayores de 145 cm LJFL pueden presentar valores inferiores o superiores a 2,0, según la región y la época. La talla-edad de la hembra es sólo una condición necesaria, pero no suficiente, para desencadenar procesos de desarrollo y maduración gonadal. Hembras menores a 145 cm raramente presentan valores de IG1 elevados. Hembras mayores a 145 cm suelen presentar índices gonadales elevados en áreas con temperaturas dentro del rango 25°-29°C.

41. Los análisis basados en IG1 por clase de talla y región permiten usar estos índices de las hembras como indicadores de la intensidad reproductiva, pudiéndose catalogar las regiones analizadas en tres grandes grupos: sin procesos de maduración-reproducción, con procesos esporádicos de maduración-reproducción y con frecuentes procesos de maduración-reproducción.

42. Los valores de IG1 indican que en las regiones 01, 02, 03, 12, 15 y 91 no se detectan procesos de maduración-reproducción. En las regiones 06, 09, 93 y sobretodo en la 11, se observan algunos procesos esporádicos de maduración-reproducción. En las regiones 07, 08 y 13 se observan intensos procesos de maduración-reproducción.

43. Las áreas comprendidas en el margen occidental del Atlántico, entre los 10°N y 25°S y al Oeste de 10°W, son en las que se observa la mayor actividad de maduración gonadal de las hembras, así como menor actividad en áreas adyacentes más al Sur. La gran mayoría de las hembras con tallas LJFL > 145 cm presentes en esas áreas están en fase de maduración gonadal avanzada o muy avanzada. La diferencia térmica observada entre las capas superficiales a ambos lados del Atlántico tropical sugiere que el factor térmico podría ser suficiente para explicar los fenómenos opuestos observados entre las áreas oriental y occidental en la banda tropical del Atlántico

44. Los valores de IG1 confirman que en las regiones 07 y 08 y, en menor medida la 13, se manifiestan patrones reproductivos muy importantes, consistentes y homogéneos. Sus regiones adyacentes 06, 09 y 93 presentan valores IG1 generalmente bajos, pero con considerable cantidad de valores IG1 elevados de tipo “outliers”. Esto sugiere que en esas regiones adyacentes la presencia de hembras en reposo es lo más frecuente, aunque existen episodios madurativos esporádicos de naturaleza estacional. Los procesos estacionales, expansivos y contractivos, de las capas superficiales de agua cálida podrían tener importancia a la hora de explicar la presencia o no de fenómenos reproductivos en algunas de estas regiones-meses con episodios madurativos esporádicos.

45. Las regiones 07 y 08 muestran intensa actividad reproductiva durante todos los meses muestreados, no detectándose diferencias significativas entre ellos. La región 13, adyacente a la región 08, sugiere un patrón estacional con mayor actividad durante los meses de enero, febrero y diciembre (verano austral) y menor actividad durante los meses de marzo, abril y mayo (otoño austral). Esto sugiere que la región 13 podría ser potencialmente reproductiva sólo bajo determinadas circunstancias térmicas durante el verano austral. Las regiones 06, 08, 09, 11 y 93 sugieren comportamientos reproductivos sólo esporádicos o estacionales en algunas de ellas.

46. El conjunto de observaciones disponibles de IG1 permite definir un modelo gráfico tridimensional de comportamiento reproductivo del pez espada en el Atlántico. En algunas regiones los procesos de maduración-reproducción se observan durante todo el año, en otras regiones adyacentes se percibe estacionalidad o actividad esporádica y en otras no se detectan nunca procesos de maduración-reproducción.

47. Para estimar la talla de primera madurez a partir de índices gonadales es recomendable seleccionar hembras de aquellas regiones en las cuales los procesos reproductivos sean más intensos y estables a lo largo del año, como las observadas en las regiones 07 y 08. El uso de muestras procedentes de regiones en las cuales es frecuente la presencia de hembras adultas en reposo gonadal podría producir una sobrestimación de la talla de primera madurez.

48. La talla  $LJFL_{50}$  para las hembras fue estimada en 146,5 cm ( $R^2= 0,9683$ ) para las hembras de las regiones 07 y 08. Este valor se correspondería con edades entre los 3 y 4 años. La fracción de madurez de las hembras vendría representada por:  $p_m = 1 / (1 + e^{(-0,1398(LJFL-146,5)})}$ .

49. Los datos de CPUE por sexo indican que, en zonas de reproducción intensa, existe una clara dominancia de machos en la captura, especialmente dentro de determinados rangos de talla donde se encuentra la mayor parte de la fracción reproductora de los machos.

50. Los datos de CPUE por categoría de talla y por sexo señalan a los machos entre 125 y 165 cm LJFL ( $R_{CPUEL2}$ ) como los causantes de la dominancia de machos en las zonas de intensa reproducción. Estos valores  $R_{CPUEL2}$  para los machos se manifiestan entre 9,5 y 11,2 veces los de las hembras. Los valores de CPUE de las hembras dentro de este mismo rango de tallas ( $CPUEL2_F$ ) en dichas regiones es algo inferior al observado en sus regiones adyacentes, lo que sugiere que la abundancia o capturabilidad de las hembras de esas tallas, en las regiones con patrón de reproducción, podría ser menor al observado en otras regiones y, especialmente, en relación con las regiones de zonas templadas.

51. Los datos de CPUE por categoría de talla y sexo justifican los patrones de SRs observados en las diferentes regiones analizadas. No deberían descartarse en esta especie que estímulos de atracción, externos o químicos, jueguen un papel importante en el proceso reproductivo del pez espada, incluyendo comportamientos de cortejo en las zonas de reproducción donde existe una gran concentración de machos adultos.

52. Los indicadores cualitativos de estado gonadal para las hembras mayores de 145 cm LJFL confirman los resultados obtenidos mediante índices cuantitativos o índices gonadales. En las regiones 07, 08 y 13 la ocurrencia de los estados de máxima madurez (estados 4 y 5) alcanzan valores de 64%, 51% y 28%, respectivamente. En algunas regiones adyacentes se presentan ocurrencias más moderadas, 7% y 17%.

53. Los indicadores de estados gonadales son capaces de detectar e identificar las regiones según sus respectivos procesos reproductivos dominantes y podrían ser de utilidad para aproximarse a definir el estado de desarrollo gonadal de las hembras y las zonas de maduración-reproducción, en una primera fase y a falta de una alternativa cuantitativa. No obstante, este método es más eficaz al analizar zonas en las cuales se puede observar suficiente contraste entre los diferentes estados de madurez.

54. Los análisis cuantitativos y cualitativos sobre estados de madurez de las hembras y los datos de CPUE por talla y sexo explican suficientemente los tres patrones de SRs identificados y la estratificación de los stocks de pez espada en las regiones biológicas previamente definidas.

55. La isoterma de 25°C a 50 metros de profundidad es mejor indicador de las potenciales áreas de reproducción del pez espada que la temperatura superficial tradicionalmente sugerida.

56. La estratificación del pez espada del Atlántico en regiones biológicas, manifestada también en otros océanos, tiene importantes repercusiones sobre la futura evaluación de los stocks de esta especie.



## **10. BIBLIOGRAFÍA**



## 10. BIBLIOGRAFÍA.

ALVARADO-BREMER, J.R., BAKER, A.J. & MEJUTO, J. (1995). Mitochondrial DNA control region sequences indicate extensive mixing of swordfish (*Xiphias gladius* L.) populations in the Atlantic Ocean. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52: 1720-1732.

ALVARADO-BREMER, J.R., LECLERC, G.M. & ELY, B. (1998). Mitochondrial and nuclear DNA analyses in the study of swordfish, *Xiphias gladius*, population structure. In: Barrett, I., Sosa-Nishizaki, O., Bartoo, N. (Eds.), *Biology and fisheries of swordfish, Xiphias gladius*. Papers from the International Symposium on Pacific Swordfish. *NOAA Tech. Rep. NMFS* 142: 211-217.

ALVARADO-BREMER, J.R., MEJUTO, J., GÓMEZ-MÁRQUEZ, J., BONA, F., CARPINTERO, P., RODRÍGUEZ, J.M., VIÑAS, J., GRIEIG, T.W. & ELY, B. (2005a). Hierarchical analyses of genetic variation of samples from breeding and feeding grounds confirm the genetic partitioning of northwest Atlantic and South Atlantic populations of swordfish (*Xiphias gladius* L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 327: 167-182.

ALVARADO-BREMER, J.R., MEJUTO, J., GÓMEZ-MÁRQUEZ, J., VIÑAS, J. & BONA, F. (1999). Hierarchical analysis of nucleotide diversity reveals extremely low levels of mitochondrial DNA gene flow between Northeast Atlantic and Mediterranean swordfish populations. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 49 (1): 457-466.

ALVARADO-BREMER, J.R., MEJUTO, J., GREIG, T.W. & ELY, B. (1996). Global population structure of the swordfish (*Xiphias gladius* L.) as revealed by analysis of the mitochondrial DNA control region. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 197 (2): 295-310.

ALVARADO-BREMER, J.R., VIÑAS, J., MEJUTO, J., ELY, B. & PLA, C. (2005b). Comparative phylogeography of Atlantic bluefin tuna and swordfish: The combined effects of vicariance, secondary contact, introgression, and population expansion on the regional phylogenies of two highly migratory pelagic fishes. *Mol. Phyl. Evol.* 36 (1): 169-187.

AMORIN, A.F. & ARFELLI, C.A. (1984). Estudo biológico-pesquero do espadarte, *Xiphias gladius* Linnaeus, 1758, no Sudeste e Sul do Brasil (1971-1981). *B. Inst. Pesca. Sao Paulo*, 11: 35-62.

AMORIN, A.C., ARFELLI, C.A., GARCÉS, A. & REY, J.C. (1979). Estudio comparativo sobre la biología y pesca del pez espada, *Xiphias gladius*, L. (1758), obtenido por las flotas Española y Brasileña. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 8(2): 496-503.

ANÓNIMO (1988). Report of the ICCAT Swordfish Workshop. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 27: 1-146.

ANÓNIMO (1989). Second ICCAT Swordfish Workshop. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 29: 71-162.

ANÓNIMO (1991). Informe del período bienal 1990-1991. 1ª parte. ICCAT.

ANÓNIMO (1997). Report of the ICCAT swordfish stock assessment session. 1996 Detailed report for swordfish. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 40 (3): 165-298.

ANÓNIMO (1998). Detailed report on the swordfish. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 49:175-210.

- ANÓNIMO (2000). Detailed report on swordfish: report of the ICCAT swordfish assessment session (Madrid, Spain, September 27-October 4, 1999). *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 51(4): 1001-1208.
- ANÓNIMO (2001). Marine Ecosystems Responses to Climate in the North Atlantic. *MERCINA Working Group Report*, year 2001.
- ANÓNIMO (2003). Report of the 2002 Atlantic Swordfish Stock Assessment Session (Madrid, September 9 to 13, 2002). *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 55 (4): 1289-1415
- ARATA, G.F., Jr. (1954). A Contribution to the life history of the swordfish, *Xiphias gladius* Linnaeus, from the South Atlantic coasts of United States and Gulf of Mexico. *Bull. Mar. Sci. Gulf Caribb.* 4: 183-243.
- ARFELLI, C.A. & AMORIN, A.F. (1983). Analysis on *Xiphias gladius* L., caught off Southeast Brazil (1971-1981). *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 28(3): 613-620.
- AROCHA, F. (1997). *The reproductive dynamics of swordfish Xiphias gladius L. and management implications in the Northwestern Atlantic*. A dissertation submitted to University of Miami for degree of Doctor of Philosophy. Coral Gables, Florida. May 1997.
- AROCHA, F. (2002). Oocyte development and maturity classification of swordfish from the north-western Atlantic. *Journal of Fish Biology*, 60: 13-27.
- AROCHA, F. & LEE, D. W. (1993). Preliminary observations on sex ratio and maturity stages of the swordfish, *Xiphias gladius*, in the Northwest Atlantic. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 40(1): 425-432.
- AROCHA, F. & LEE, D.W. (1995). The spawning of swordfish in the Northwest Atlantic. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 44(3): 179-186.
- AROCHA, F. & LEE, D.W. (1996). Maturity at size, reproductive seasonality, spawning frequency, fecundity and sex ratio in swordfish from the Northwest Atlantic. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 45(2): 350-357.
- AROCHA, F., LEE, D.W & GRUBICH, J.R (1994). Observations on sex ratio, maturity stages, and fecundity estimates of the swordfish, *Xiphias gladius*, in the Northwest Atlantic Ocean. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 42(1): 309-318.
- ATEMA, J., HOLLAND, K. & IKEHARA, W. (1980). Olfactory response of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) to prey odors: chemical search image. *Journal of Chemical Ecology*. Vol. 6. Nº 2.
- BEARMISH, R.J. [ed.] (1995). *Climate change and northern fish populations*. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 121: 739p.
- BEARMISH R.J. & McFARLANE G. A. [ed.] (1989). *Effects of Ocean variability on recruitment and a evaluation of parameters used in stock assessment models*. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 108: 379p.
- BECKET, J.S. (1974). Biology of swordfish, *Xiphias gladius* L., in the Northwest Atlantic Ocean. *Proceeding of the International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, 9-12 August 1972*. NOAA Technical report. NMFS SSRF-675Part 2: 103-106.

BECKETT, J.S. & TIBBO, S.N. (1968). Recent changes in the size composition of Canadian Atlantic swordfish catches. *Annual meeting of ICNAF. Redbook Part III. Res. Doc. 69/69*: 62-66.

BORJA, A. & SANTIAGO, J. (2003). Does the North Atlantic Oscillation control some processes influencing recruitment of temperate tunas?. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap. Vol. 54(4)*: 964-984.

BREWSTER-GEISZ, K. (1997). World swordfish fisheries. An Analysis of Swordfish Fisheries, Market trends and Trade Patterns, Past-Present-Future. Vol. V. Nov. 1997. *NOAA Tech. Memo. NMFS-F/SPO-28*.

BRILL, R.W. (1994). A review of temperature and oxygen tolerance studies of tune pertinent to fisheries oceanography, movements, models and stock assessments. *Fish Oceanogr.*3(3): 204-216.

BURNETT, C.D., BECKETT, J.S., DICKSON, C.A., HURLEY, P.C.F. & ILES, T.D. (1987). A summary of releases and recaptures in the Canadian large pelagic fish tagging program 1961-1986. Department of Fisheries and Oceans, Canada.

CADDY, J.F. (1976). A review of some factors relevant to management of swordfish fisheries in the Northwest Atlantic. Fisheries and Marine Services (Canada). *Technical report*, 633: 35p.

CADIMA, E.L. (2000). *Manual de avaliação de recursos pesqueiros*. FAO Documento Técnico sobre as pescas, 393: 162 p.

CARDINALE, M., ARRHENIUS, F. (2000). The influence of stock structure and environmental conditions on the recruitment process of Baltic cod estimated using a generalized additive model. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 2402-2409.

CHEN, D.G. (2001). Detecting environmental regimes in fish stock recruitment relationships by fuzzy logic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 58: 2139-2148.

CHOW S., NOHARA, K. (2003). Further implication on boundary between North and South Atlantic stocks of the swordfish (*Xiphias gladius*). *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap. Vol. 55(4)*: 1719-1722.

CHOW, S., OKAMOTO, H., UOZUMI, Y., TAKEUCHI, Y. & TAKEYAMA, H. (1997). Genetic stock structure of the swordfish (*Xiphias gladius*) inferred by PCR-RFLP analysis of the mitochondrial DNA control region. *Mar. Biol.* 127(3): 359-367.

CHOW, S. & TAKEYAMA, H. (2000). Nuclear and mitochondrial DNA analyses reveal four genetically separated breeding units of the swordfish. *J. Fish. Biol.* 56: 1087-1098.

COLLETE, B.B. & NAUEN, C.E. (1983). FAO Species Catalogue. Vol 2. Scombrids of the world. *FAO Fisheries Synopsis*.N.º 125. Vol. 2.

CRUZ, A. I. & NOGUERA, P. (1999). *A comercialización e o consumo dos produtos pesqueiros galegos*. Xunta de Galicia. Consellería de Pesca, Marisqueo e Acuicultura. Dirección Xeral de Formación Pesqueira e Investigación.

DE BUEN, F. (1914). El pez espada. Boletín de Pesca. Dirección general de la navegación y pesca marítima del Ministerio de Marina, con el concurso del Instituto Español de Oceanografía. Numero 12: 10p.

DE LA SERNA, J.M. & ALOT, E. (1990). Consideraciones relativas a los desplazamientos efectuados por el pez espada, *Xiphias gladius*, en áreas del estrecho de Gibraltar relacionadas con la biología y reproducción. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 32(2): 353-359.

DE LA SERNA, J.M., ALOT, E. & GODOY, M.D. (1992a). Análisis preliminar de la madurez sexual del pez espada (*Xiphias gladius*) en el área Atlántica próximas al estrecho de Gibraltar. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol 29(2): 522-537.

DE LA SERNA, J.M., ALOT, E. & GODOY, M.D. (1993). Análisis preliminar del sex-ratio por clase de talla del pez espada (*Xiphias gladius*) capturado con palangre de superficie en el Mediterráneo occidental. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 40(1): 141-148.

DE LA SERNA, J.M., ALOT, E. & MEJUTO, J. (1992b). Análisis preliminar del sex-ratio por clase de talla del pez espada (*Xiphias gladius*) en el área Atlántica próxima al estrecho de Gibraltar. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 39(2): 514-521.

DE LA SERNA, J.M., ORTIZ, J.M. & MACIAS, M. (1996). Observations on sex-ratio, maturity and fecundity by length-class for swordfish (*Xiphias gladius*) captured with surface longline in the western Mediterranean. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 45(1): 115-140.

DEMARTINI, E.E. (1999). Size-at-maturity and related reproductive biology. NOAA-TM-NMFS-SWFSC-263: 161-169.

DEMETRIO, G., MAGALOFONOU, P., TSELAS, S. & TSIMENIDES, N. (1989). Fishery and biology of the swordfish, *Xiphias gladius*, L., 1758 in Greek waters. *FAO Fish. Rep.*, 412: 135-145.

DICKSON R.R. (1997). From the Labrador Sea to global change. *Nature*, 386: 649-650.

DIGBY, P.G.N., & KEMPTON, R.A. (1991). *Multivariate analysis of ecological communities*. Chapman & Hall, New. York.

DRINKWATER, K.F. (2000). The effect of NAO on the continental shelves off Eastern Canada and their impact on fish stocks. Poster presented at the AGU-Chapman Conference "The North Atlantic Oscillation". Nov.-Dec., 2000.

DRINKWATER, K.F., BELGRANO, A., BORJA, A., CONVERSI, A., EDWARDS, M., GREENE C.H., OTTERSEN, G., PERSHING, A.J. & WALKER, H. (2002). The response of marine ecosystems to climate variability associated with the North Atlantic Oscillation. In the North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact. *American Geophysical Union Monograph Series*. Vol. 134: 211-234.

EHRHARDT, N.M., ROBBINS, R.J. & AROCHA, F. (1996). Age validation and growth of swordfish, *Xiphias gladius*, in the Northwestern Atlantic. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 45 (2): 358-367.

ESTEVEZ, E., SIMOES, P., DA SILVA, H.M. & ANDRADE, J.P. (1995). Ageing of swordfish, *Xiphias gladius* Linnaeus 1758, from de Azores, using *sagittae*, anal-fin spines and *vertebrae*. Arquipelago. *Life and Marine Sciences*, 13A: 39-51.

FERREIRA DE AMORIN, A. (1977). Informe preliminar sobre las investigaciones del pez espada (*Xiphias gladius*) en el SE y S de Brasil en el periodo 1971-1976. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 6: 402-407.

FOLSON, W.B. (1997). World swordfish fisheries. An Analysis of Swordfish Fisheries, Market trends and Trade Patterns, Past-Present-Future. Vol. 6. Nov. 1997. *NOAA Tech. Memo.* NMFS-F/SPO-29.

FOLSON, W. B., WEIDNER, D.M. & WILDMAN, M.R. (1997). World swordfish fisheries. An Analysis of Swordfish Fisheries, Market trends and Trade Patterns, Past-Present-Future. Vol. I. Nov. 1997. *NOAA Tech. Memo.* NMFS-F/SPO-23.

FRANKIGNOUL, C., DE COETLOGON, G., JOYCE, T.M. & DONG, S. (2001). Gulf Stream variability and ocean-atmosphere interaction. *J. Phys. Oceanogr.* 31: 3516-3529.

FRITSCHES, K.A., MARSHALL, N.J., WARRANT, E. (2003). Retinal specialization in the blue marlin: eyes designed for sensitivity to low light levels. *Marine and Freshwater Research*, 54: 333-341.

GARCÉS, A. (1979). Nuevos datos sobre la pesquería española de pez espada, *Xiphias gladius*, biología y morfometría. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. VIII(2): 504-509.

GARCÉS, A. & REY, J.C. (1984). Le pesquería española del pez espada (*Xiphias gladius*), 1973-1982. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 20 (2): 419-427.

GARCÍA, B. & MEJUTO, J. (1988). Primeros datos sobre la biología de la reproducción del pez espada (*Xiphias gladius* L.) de las áreas 35°-45° N, 10°-40° W (BIL-94). *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 27: 164-177.

GARCÍA-CORTÉS, B. & MEJUTO, J. (2003). Sex ratio patterns and gonadal indices of the swordfish (*Xiphias gladius*) caught by the Spanish surface longline fleet in the Indian Ocean. IOTC WPB-2003-04. Proceedings no.6:287-299.

GARCÍA-CORTÉS, B., MEJUTO, J., QUINTANS, M. (2000). A note on swordfish recaptured by the Spanish commercial fleet in the Atlantic Ocean. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 51(5): 1664-1669.

GARCÍA-CORTÉS, B., MEJUTO, J. & QUINTANS, M (2003). Summary of swordfish (*Xiphias gladius*) recaptures carried out by the Spanish surface longline flete in the Atlantic Ocean:1984-2002. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 55(4): 1476-1484.

GARCÍA-CORTÉS, B., MEJUTO, J., DE LA SERNA, J.M. & RAMOS-CARTELLE, A. (2006). Activity of the Spanish surface longline fleet catching swordfish (*Xiphias gladius*) during the year 2003 in the Atlantic Ocean. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 59(3): 928-935.

GAVARIS, S. (1980). Use of a multiplicative model to estimate catch rate and effort from commercial data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 2272-2275.

GIBSON, C.D. (1981). History of the swordfish of the Northwestern Atlantic. *Reprint from the American Neptune.* Vol. XLI, No. 1: 37-65.

GOMES, M.C., HAEDRICH, R.L., VILLAGARCIA, M.G. (1995). Spatial and Temporal Changes in the Groundfish Assemblages On the North-east Newfoundland Labrador Shelf, North West Atlantic, 1978-1991. *Fisheries Oceanography.* 4: 85-101.

GONZÁLEZ, L.W. (1989). La pesca exploratoria de pez espada, *Xiphias gladius*, y especies acompañantes en aguas oceánicas de Venezuela. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 29: 178-182.

GONZÁLEZ-GARCÉS, A. (1976). Primeros datos sobre la serie histórica de capturas españolas de pez espada (*Xiphias gladius* L.) con especial atención a la pesquería de noroeste español. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 5: 337-340.

- GONZÁLEZ-GARCÉS, A. (1986). Análisis de la pesquería española de pez espada, *Xiphias gladius*, del Atlántico, 1984. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 25: 197-201.
- GOODE, G.B. (1883). Materials for a history of the sword-fish. *United States Commission of Fish and Fisheries*, Part VIII, report of Commissioners. 12: 291-394.
- GOUVEIA, L., ALVES, A. & AMORIN, A. (2001). Tuna fishery statistics of Madeira, 1960-1999. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 52: 1913-1926.
- GOUVEIA, L., AMORIN, A., VACAS, D., & ARAUJO, T. (1990). Tuna Fishery and environmental data collected in Madeira, 1960-1987. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 32 (1): 175-201.
- GOUVEIA, L. & MEJUTO, J. (2003). Seasonality and interannual variability in catches of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) and bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the area around the Archipelago of Madeira. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 55 (5): 1853-1867.
- GOVONI, J.J., STENDER, B.W. & PASHUK, O. (2000). Distribution of larval swordfish *Xiphias gladius*, and probable spawning off Southern United States. *Fish Bull.* 98: 64-74.
- GREENE, C.H. (2001). Trans-Atlantic responses of *Calanus finmarchicus* populations to basin-scale forcing associated with the North Atlantic Oscillation. *MERCINA Working Group*. 70 anniversary of the CPR Survey of the North Atlantic Symposium. Edinburgh. Scotland.
- GREENE, C.H. & PERSHING, A.J. (2003). The flip-side of the North Atlantic Oscillation and modal shift in slope-water circulation patterns. *Limnol. Oceanography*. 16: 96-101.
- GREIG, T.W., ALVARADO-BREMER, J.R. & ELY, B. (1999). Preliminary results from genetic analyses of nuclear markers in swordfish, *Xiphias gladius*, reveals concordance with mitochondrial DNA analyses. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 49 (1): 476-482.
- GREIG, T.W., ALVARADO-BREMER, J.R. & ELY, B. (2000). Nuclear markers provide additional evidence for population subdivision among Atlantic swordfish. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 51: 1637-1641.
- GUITART-MANDAY, D. (1964). Biología pesquera del emperador o pez espada, *Xiphias gladius* Linnaeus (Teleostomi: Xiphiidae), en las aguas de Cuba. *Poeyana, Ser. B.*, No 1:37p.
- GULLAND, J.A. (1971). *Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces*. FAO: 164p.
- GULLAND, J.A. (1977). *Fish population Dynamics*. John Wiley and Sons: 372p.
- GULLAND, J.A. (1983) *Fish Stock Assessment: A Manual of Basic methods*. John Wiley & Sons. 223p.
- HALPERT, M.S. & BELL, G.D. (1997). Climate assessment for 1996. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78 (5): 1-49.
- HINTON, M.G., TAYLOR, R.G. & MURPHY, M.D. (1997). Use of gonad indices to estimate the status of reproductive activity of female swordfish, *Xiphias gladius*: a validated classification method. *Fish. Bull.*, 95: 80-84.
- HOEY, J.J. (1986). A review of sex ratio by size data for western North Atlantic swordfish. Swordfish workshop working paper 86/10. NMFS, Miami.

- HOEY, J.J. (1991). Sex ratio data for the western North Atlantic swordfish. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 35(2): 429-436.
- HOEY, J.J., CONSER R.J. & BERTOLINO, A.R. (1991). The western North Atlantic swordfish. Audubon wildlife report, 1989/1990. *Academic Press, Inc.:* 457-477.
- HOEY, J.J., MEJUTO, J. & CONSER, R.J. (1989). CPUE indices derived from combined Spanish and U.S. catch and effort data. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 29: 228-249.
- HOEY, J.J., MEJUTO, J., IGLESIAS S. & CONSER, R. (1988). A comparative study of the United States and Spanish longline fleet targeting swordfish in the Atlantic Ocean, North of 40°N latitude. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 27: 230-239.
- HOEY, J.J., MEJUTO, J., PORTER, J. & UOZUMI, Y. (1993). A standardized Biomass index of abundance for north Atlantic swordfish. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 40(1): 344-352.
- HOEY J.J., MEJUTO, J., PORTER, J.M., PAUL, S. & YOKAWA, K. (2003). An updated biomass index of abundance for North Atlantic swordfish, 1963-2001. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 55(4): 1562-1575.
- HURLEY, P.C.F. & ILES, T.D. (1981a). Status & assessment of Northwest Atlantic swordfish stocks. *Canadian Atlantic Fisheries Scientific Advisory Committee. Research Document* 81/15:17p.
- HURLEY, P.C.F. & ILES, T.D. (1981b). A review of the Canadian swordfish fishery. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 10: 348-360.
- HURRELL, J.W. (1995). Decadal trend in the North-Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. *Science.* Vol. 269. Nº 5224: 676-679.
- HURRELL, J.W. (1996). Influence variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperatures. *Geophys. Res. Lett.*, 23: 665-668.
- HURRELL, J.W. & DICKSON, R.R. (2003). *Climate variability over the North Atlantic. Ecological effects of climate variations in the North Atlantic* (N.C.Stenseth, G. Ottersen, J.W. Hurrell, A. Belgrano eds.). Oxford University Press.
- HURRELL, J.W., KUSHNIR Y., OTTERSEN, G. & VISBECK, M. (eds.) (2003). *The North Atlantic Oscillation: climatic significance and environmental impact.* Geophysica Monograph, 134. American Geophysical Union, Washington: 279p.
- HURRELL, J.W. & VAN LOON, H. (1997). Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation. *Climatic Change*, 36: 301-326.
- JONES, C.D. (1997). Cooperative Tagging Center release and recapture activities for swordfish (*Xiphias gladius*): 1961-1996. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 46: 379-382.
- JONGMAN, R.H.G., TER BRAAK, C.J.F. & VAN TONGEREN, O.F.R. (1987). Data analysis in community and landscape ecology. Centre for Agriculture Publishing and Documentation (Pudoc.), Wageningen. Netherlands.
- JOYCE, T. M., DESER, C. & SPALL, M.A. (2000). The relation between decadal variability of subtropical mode water and the North Atlantic Oscillation. *J. Climate*, 13: 2550-2569.

KAWAMURA, G., NISHIMURA, W., UEDA, S. & NISHI, T. (1981). Vision in tuna and marlins. *Memoirs of the Kagoshima University Research Center South Pacific* 1: 3-47.

KELL, L.T., FROMENTIN, J.M., ORTIZ DE ZARATE, V. & ARRIZABALAGA, H. (2005). Can we detect the effect of environmental variations on the fish populations through VAP outputs?. The North Atlantic Albacore Case. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 58(4): 1256-1264.

KIKAWA, S. & HONMA, M. (1976). Catch and fishing intensity of the billfish species caught by the Atlantic longline fisheries, 1956-1973. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 5: 341-347.

KIKAWA, S. & HONMA, M. (1977). Catch and fishing intensity of the billfish species caught by the Atlantic longline fisheries, 1956-1974. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 6: 408-416.

KIMURA, D.K. (1981). Standardized measures of relative abundance based on modeling log (CPUE) and their application to Pacific Ocean Perch. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 39: 211-218.

KOTOULAS, G., MAGOULAS, A., TSIMENIDES, N. & ZOUROS, E. (1995). Marked mitochondrial-DNA differences between Mediterranean and Atlantic populations of the swordfish, *Xiphias gladius*. *Mol. Ecol.* 4 (4): 473-481.

KOTOULAS G., MEJUTO, J., TSERPES, G., GARCÍA-CORTÉS, B., PERISTERAKI, N., DE LA SERNA, J.M. & MAGOULAS, A. (2003). DNA microsatellite markers in service of swordfish stock-structure analyses in the Atlantic and Mediterranean. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 55 (4): 1632-1639.

KROVNIN, A.S. (1995). A comparative study of climate change in the North Pacific and North Atlantic and their relation to the abundance of fish stocks, p.181-198. In R.J. Beamish [ed.] *Climate change and northern fish populations. Can. Spec. Public. Fish. Aquat. Sci.* 121.

KUME, S. & JOSEPH, J. (1969). Size composition and sexual maturity of billfishes caught by the Japanese longline fishery in the eastern Pacific Ocean east of 130° W. *Far Seas Fish. Res. Lab. Bull.* 2:115-162.

LARRAÑETA, M.G. (1996). Ecología de la relación stock-reclutamiento en los peces marinos. *Oceanides*. Vol. 11(2).

LAVIN, A., CABANAS, J.M., MORENO-VENTAS, X., ORTIZ DE ZARATE, 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. Poster presented at the AGU Chapman Conference 2000. Ourense. Spain.

LEE, D.W. (1992). Update of the 1990 and 1991 data available on swordfish sex-ratio at size collected from U.S. fishery. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 39(2): 579-592.

MACKENZIE, B.R., HINRICHSEN, H.H., PLIKSHS, M. & ZEZERA, A.S. (2000). Quantifying environmental heterogeneity: estimating the size of habitat for successful cod egg development in the Baltic Sea. *Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser.* 193: 143-156.

MARAVELIAS, C.D., REIG, D.G. & SWARTZMAN, G. (2000). Modelling spatio-temporal effects of environment on Atlantic herring, *Clupea harengus*. *Environmental Biology of Fishes* 58: 157-172.

MATSUMOTO, W.M., KAZAMA, T.M. (1974). Occurrence of young billfishes in the Central Pacific Ocean. In R.S. Shomura and F. Williams, (eds). *Proceedings of the International Billfish*

Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 9-12, 1972. Part 2. Review and Contributed Papers, p.238-251. US. Dep. Commer., *NOAA Tech. Rep.* NMFS-SSRF-675.

MATSUMOTO, T., SAITO, H. & MIYABE, N. (2003). Report of observer program for Japanese tuna longline fishery in the Atlantic Ocean from September 2001 to March 2002. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 55: 1679-1718.

MCCARNEY, M.S., CURRY, R.G. & BEZDEK, H.F. (1997). Interdecadal variability of subpolar warm-to-cold transformation of subtropical waters and the North Atlantic Oscillation. *Science* ([http://www.clivar.org/publications/other\\_pubs/iplan/iip/pd1.htm](http://www.clivar.org/publications/other_pubs/iplan/iip/pd1.htm)).

MEJUTO, J. (1985). Associated catches of sharks, *Prionace glauca*, *Isurus oxyrinchus* and *Lamna nasus*, with NW and N Spanish swordfish fishery, in 1984. *ICES C.M.* 1985/H:42.

MEJUTO, J. (1993). Age specific standardized indices of abundance for Swordfish (*Xiphias gladius*) from the Spanish longline fleet in the Atlantic, 1983-1991. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 40(1): 375-392.

MEJUTO, J. (1994). Standardized indices of abundance at age for Swordfish (*Xiphias gladius*) from the Spanish longline fleet in the Atlantic, 1983-1992. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 42(1): 328-334.

MEJUTO, J. (1999). A possible relationship between the N.A.O. index and the swordfish (*Xiphias gladius*) recruitment index in the North Atlantic: Hypothesis of reproduction and possible effects on recruitment levels. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 49(4): 339-345.

MEJUTO, J., CONSER, R.J. & GARCÍA, B. (1992). Age specific standardized indices of abundance for albacore (*Thunnus alalunga*) from the Spanish surface fleets in the North Atlantic, 1983-1990. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 39(1): 197-201.

MEJUTO, J. & DE LA SERNA, J.M. (1995). Standardized catch rates by age and length groups for swordfish (*Xiphias gladius*) from the Spanish longline fleet in the Atlantic, 1983-93. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 44(3): 114-125.

MEJUTO, J. & DE LA SERNA, J.M. (1997a). Updated standardized catch rates by age for swordfish (*Xiphias gladius*) from the Spanish longline fleet in the Atlantic, using commercial trips from the period 1983-1995. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 46(3): 323-335.

MEJUTO, J. & DE LA SERNA, J.M. (1997b). Preparation of data from the Spanish surface longline fleet: creation of basic files to carry out ICCAT Task II and GLM by sex. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 46(3): 304-307.

MEJUTO, J. & DE LA SERNA, J.M. (2000). Standardized catch rates by age and biomass for the North Atlantic swordfish (*Xiphias gladius*) from the Spanish longline fleet for the period 1983-1998 and bias produced by changes in the fishing strategy. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 51(5): 1387-1410.

MEJUTO, J., DE LA SERNA, J.M. & GARCÍA, B. (1995). An overview of the sex-ratio at size of the swordfish (*Xiphias gladius* L.) around the world: Similarity between different strata. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 44(3): 197-205.

MEJUTO, J., DE LA SERNA, J.M. & GARCÍA, B. (1998a). Updated standardized catch rates by age, sexes combined, for the swordfish (*Xiphias gladius*) from the Spanish longline fleet in the Atlantic, for the period 1983-1996. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 48(1): 216-222.

MEJUTO, J., DE LA SERNA, J.M. & GARCÍA, B. (1998b). Some considerations on the spatial and temporal variability in the sex-ratio at size of the swordfish (*Xiphias gladius*). *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 48(1): 205-215.

MEJUTO, J., DE LA SERNA, J.M. & GARCÍA, B. (1999). Updated standardized catch rates by age, combined sexes, for the swordfish (*Xiphias gladius*) from the Spanish longline fleet in the Atlantic, for the period 1983-1997. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 49(1): 439-448.

MEJUTO, J., DE LA SERNA, J.M., GARCÍA, B., QUINTANS, M. & ALOT, E. (1994). Sex ratio at size of the swordfish (*Xiphias gladius* L.) in the Atlantic and Mediterranean Sea: Similarity between different spatial-temporal strata. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 42(1): 322-327.

MEJUTO, J. & GARCÉS, A. (1988). Gráficos de CPUE y peso medio por cuadrícula de 5x5 grados de la flota española de pez espada (*Xiphias gladius*), años 1982-1985. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 27: 287-297.

MEJUTO, J. & GARCÍA, B. (1997). A preliminary analysis of Gonadal Indices of the swordfish (*Xiphias gladius*, L.) in the Atlantic Ocean. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 46(3): 336-344.

MEJUTO, J. & GARCÍA-CORTÉS, B. (2003a). Size segregation, sex ratios patterns of the swordfish (*Xiphias gladius*) caught by the Spanish surface longline fleet in areas out of the Atlantic ocean and methodological discussion on gonadal indices. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 55(4): 1459-1475.

MEJUTO, J. & GARCÍA-CORTÉS, B. (2003b). A description of a possible spawning areas of the swordfish (*Xiphias gladius*) in the tropical northwest Atlantic. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 55(4): 1449-1458.

MEJUTO, J. & GARCÍA-CORTÉS, B. (2003c). Preliminary relationships between the fin weight of some large pelagic sharks and their body weights. *Working Paper. ICES Working Group on Elasmobranch Fishes, Vigo (Spain), 28 April-2 May, 2003.*

MEJUTO, J., GARCÍA, B., & DE LA SERNA, J.M. (1997). Activity of the Spanish surface longline fleet catching swordfish (*Xiphias gladius*) in the Atlantic, years 1994 and 1995. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 46(3): 308-310.

MEJUTO, J., GARCÍA, B. & DE LA SERNA, J.M. (1999). Activity of the Spanish surface longline fleet catching swordfish (*Xiphias gladius*) in the year 1997. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 49 (1): 428-438.

MEJUTO, J., GARCÍA, B. & DE LA SERNA, J.M. (2000). Preliminary standardized catch rates, in biomass, for the swordfish (*Xiphias gladius*) caught by the Spanish longline fleet in the South Atlantic stock, for the period 1989-1998. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 51(5): 1293-1311.

MEJUTO, J., GARCÍA, B. & DE LA SERNA, J.M. (2001). Standardized catch rates for the North and South Atlantic swordfish (*Xiphias gladius*) from the Spanish longline fleet for the period 1983-1999. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 52(4): 1264-1274.

MEJUTO, J., GARCÍA-CORTÉS, B. & DE LA SERNA, J.M. (2002a). A note on preliminary standardized catch rates for the North Atlantic swordfish (*Xiphias gladius*) from the Spanish longline fleet for the period 1983-2000. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 54(5): 1550-1554.

MEJUTO, J., GARCÍA-CORTÉS, B. & DE LA SERNA, J.M. (2002b). Preliminary scientific estimations of by-catches landed by the Spanish surface longline fleet in 1999 in the Atlantic Ocean and Mediterranean Sea. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.*, Vol. 54(4): 1150-1163.

MEJUTO, J., GARCÍA, B. & QUINTANS, M. (1991). Un análisis preliminar por estratos de espacio y tiempo del sex ratio por clase de talla del pez espada (*Xiphias gladius*) en el Atlántico Norte. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 35(2): 473-481.

MEJUTO, J., GARCÍA-CORTÉS, B., DE LA SERNA, J.M. & RAMOS-CARTELLE, A. (2005) An overview of the activity of the Spanish surface longline fleet catching swordfish (*Xiphias gladius*) during the year 2002, with special reference to the Atlantic Ocean. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 58(4): 1495-1500.

MEJUTO J., GARCÍA-CORTÉS, B. & RAMOS-CARTELLE, A. (2006). An overview of research activities on swordfish (*Xiphias gladius*) and the by-catch species, caught by the Spanish longline fleet in the Indian Ocean. *IOTC Working Party on Billfish 2006*. WPB-2006-11.

MEJUTO, J. & GONZÁLEZ-GARCÉS, A. (1984). Shortfin mako, *Isurus oxyrinchus*, and porbeagle, *Lamna nasus*, associated with longline swordfish fishery in the NW and N Spain. *ICES C.M.* 1984/G:72.

MEJUTO, J. & HOEY, J.J. (1991). An approach to a stock hypothesis for the swordfish (*Xiphias gladius*) of the Atlantic Ocean. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 35(2): 482-501.

MEJUTO, J. & IGLESIAS, S. (1988). Campaña comercial de prospección de abundancia de pez espada, *Xiphias gladius* L., y especies asociadas en las áreas próximas a Grand Banks. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 27: 155-163.

MEJUTO, J., IGLESIAS, S. & GARCÍA, B. (1989). La pesquería de pez espada y especies asociadas en Galicia: Presente y futuro de una pesquería en expansión. Jornadas sobre economía y sociología de las comunidades pesqueras (1987). Universidade de Santiago de Compostela. Instituto Universitario de Estudos e Desenvolvemento de Galicia. Jornadas sobre economía y sociología de las comunidades pesqueras. MAPA: 223-239.

MEJUTO, J., IGLESIAS, S., REY, J.C., ALOT, E. & GARCÍA, B. (1988). Relaciones talla-peso del pez espada (*Xiphias gladius*) en las áreas BIL94 y BIL95, por estratos espacio-temporales. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 27: 214-221.

MIYAKE, M. (1990). *Manual de operaciones para las estadísticas y el muestreo de túnidos y especies afines en el océano Atlántico*. Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (ICCAT). Tercera edición, Madrid: 188p.

MIYABE, N. & BAYLIFF, W.H. (1987). A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1971-1980. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.* 19(1): 1-163.

MONTEVECCHI, W.A. & MYERS, R.A. (1997). Centurial and Decadal Oceanographic Influences on Changes in Northern Gannet Populations and Diets in the North-west Atlantic: Implications for Climate Change. *ICES Journal of Marine Science*, 54: 608-614.

MURAWSKI, A. (1993). Climate Change and Marine Fish Distributions: Forecasting From Historical Analogy. *Transactions of the American Fish Society*. 122 (5): 647-658.

NAKAMURA, I. (1985). *FAO Species catalogue*. Vol. 5: Billfishes of the world. FAO Fisheries Synopsis 125(5): 65p.

- NAKAMURA, H., KAMIMURA, T., YABUTA, Y., SUDA, A., UEYENAGI, S., KIKAWA, S., HONMA, M., YUKINAWA, M. & MORIKAWA, S. (1951). Notes of the life-history of the sword-fish, *Xiphias gladius* Linnaeus. *Jpn. J. Ichthyol.* 1: 264-271.
- NAKANO, H. (1993). Estimation of standardized CPUE for the Atlantic swordfish using the data from the Japanese longline fishery. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 40(1): 357-370.
- NAKANO, H. & BAYLIFF, W.H. (1992). A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1981-197. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.* 20(5):183-155.
- NISHIKAWA, Y., HONMA, M., UEYANAGI, S. & KIKAWA, S. (1985). Average distribution of larvae of oceanic species of scombroid fishes, 1956-1981. *Far Seas Fish. Res. Lab., S Series.* 12: 99p.
- NISHIKAWA, Y., KIKAWA S., HONMA, M. & UEYANAGI, S. (1978). Distribution atlas of larval tunas, billfishes, and related species-results of larval surveys by R/V Shunyo Maru and Shoyo Maru (1956-1975). *Far Seas Res. Lab., S Series.* 9: 99p.
- NISHIKAWA, Y. & UEYANAGI, S. (1974). The distribution of the larvae of swordfish, *Xiphias gladius*, in the Indian and Pacific Oceans, p. 261-264. *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep., NMFS.* SSRF-675.
- NISSLING, A. & VALLIN, L. (1996). The ability of Baltic cod eggs to maintain neutral buoyancy and the opportunity for survival in fluctuating conditions in the Baltic Sea.. *Journal of Fish Biology* 48: 217-227.
- ORTIZ DE ZÁRATE, V., LAVIN, A. & MORENO-VENTAS, X. (1998). Is there a relationship between environment variables and the surface catch of albacore (*Thunnus alalunga*, Bonnaterre 1788) in the North Atlantic?. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 48 (3): 250-252.
- ORTIZ, M. & SCOTT, G.P. (2003). Standardized catch rates by sex and age for swordfish (*Xiphias gladius*) from the U.S. longline fleet 1981-2001. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 55 (4): 1536-1561.
- PALCO, B.J., BEARDSLEY, G.L. & RICHARDS W.J. (1981). Synopsis of the biology of Swordfish, *Xiphias gladius* Linnaeus. *FAO Fisheries Synopsis.* N° 127.
- PEREIRA, J. (1987) . Situation actuelle de la peche du patudo aux Acores. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 26(2): 174-183.
- PERSHING, A.J., GREENE, C.H., HANNAH, C., SAMEOTO, D., HEAD, E., MOUNTAIN, D.G., JOSSI, J.W., BENFIELD, M.C., REID, P.C. & DURBIN, T.G. (2001). Oceanographic responses to climate in the Northwest Atlantic. *MERCINA Working Group. Oceanography.* Vol. 14: 76-82.
- POISSON, F., MARJOLET, C. & FAUVEL, C. (2001). Sexual maturity, spawning season and estimation of batch fecundity of Swordfish (*Xiphias gladius*) caught by the Reunion-based pelagic longline fishery (SWOI). *IOTC Proceedings.* N° 4: 120-125. WPB01-05.
- POISSON, F. & TAQUET, M. (2000). French swordfish longline fishery in South West Indian Ocean: preliminary results from the PPR Program. *IOTC Proceedings.* N° 3: 169-201. WPB-00-06.
- PIELOU, E.C. (1984) *The interpretation of Ecological data.* John Wiley & Sons, Inc.

PORTEIRO, C., SÁNCHEZ, F., VILLAMOR, B., FARIÑA, C., PEREZ, N., TRUJILLO, V. & PUNZÓN, A. (2000). La pesquería demersal en el caladero nacional del Cantábrico y Noroeste. Informe del equipo de pesquerías del área del ICES. Instituto Español de Oceanografía: 88p.

POTTS, G.W. & WOOTON, R.J. (1984). *Fish reproduction. Strategies and Tactics*. Academic Press:410p.

RAMON, D. & CASTRO-LONGORIA, R. (1994). Sex composition and maturity of swordfish, *Xiphias gladius*, caught in the driftnet fishery along the coast of California and Oregon, 1990-1993 and Baja California, 1992-1993. (Abstr.) *First International Swordfish Symposium*, Ensenada, Baja California, Mexico, December 11-14, 1994.

RAVIER, C. & FROMENTIN, J.M. (2004). Are the long-term fluctuations in the Atlántic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) population related to environmental changes? *Fish. Oceanogr.* 13(3): 145-160.

REEB, C.A., ARCANGELI, L. & BLOCK, B.A. (2000). Structure and migration corridors in Pacific populations of the Swordfish *Xiphias gladius* (sic), as inferred through analyses of mitochondrial DNA. *Mar. Biol.* 136: 1123-1131.

RESTREPO, V.R. (1991). Some possible biases in the swordfish VPAs due to sexually dimorphic growth. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 35(2): 338-345.

RESTREPO, V.R. (1998). Notes on analyses of sex-ratio-at size (SRs) for swordfish. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 49(1): 381-386.

REY, J.C. (1988). Comentarios sobre las áreas de reproducción del pez espada, *Xiphias gladius*, en el Atlántico y Mediterráneo. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 27: 180-193.

REY, J.C., GARCÉS, A. (1979). Nuevos datos sobre la pesquería española de pez espada, *Xiphias gladius*, biología y morfometría. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 8(2): 504-509.

REY J. C., MEJUTO, J. & IGLESIAS, S. (1988). Evolución histórica y situación actual de la pesquería española de pez espada (*Xiphias gladius*). *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 27: 202-213.

RICH, W.H. (1947). The swordfish and the swordfishery of New England. *Proceeding of the Portland Society of Natural History*. Vol. 4 (2): 102p.

ROBSON, D.S. (1966). Estimation of relative fishing power of individual ships. *Res. Bull. Int. Comm. N.W. Atl. Fish.* 3: 5-14.

RODRÍGUEZ, A., MUÑOZ, L., FRÍAS, M.P., MORENO, S. & POL, J. (1989). Características del emperador (*Xiphias gladius*) en las proximidades de Cuba. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 29: 165-177.

RODRÍGUEZ-SANTAMARÍA, B. (1923). *Diccionario de artes de pesca de España y sus posesiones*. Sucesores de Rivadeneira (S.A.). Madrid. Edición facsimilar limitada de la Xunta de Galicia.

RODWELL, M.J., ROWELL, D.P. & FOLLAND, C.K. (1999). Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate. *Nature*. Vol. 398. N° 6725: 320-323.

RUSSELL, W.E. (1931). Some theoretical considerations on the “overfishing” problem. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.*, 6: 3-20.

SANTANA, J. C., DELGADO DE MOLINA, A. & ARIZ, J. (1987). Pesquería de túnidos en las Islas Canarias. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 26(2): 584-596.

SANTIAGO, J. (1998). The North Atlantic Oscillation and recruitment of temperate tunas. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 48(3): 240-249.

SANTIAGO, J. (1999). Short note on possible relations between eastern bluefin tuna recruitment and environment variability. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 49(4): 383-385.

SAS (1988). *Sas/stat User's guide*. Release 6.03 Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

SATO, O.T., & ROSSBY, T. (1995). Seasonal and low frequency variability in dynamics height anomaly and transport of the Gulf Stream. *Deep-sea Res.* 42: 149-164.

SCOTT, G.P., RESTREPO, V.R. & BERTOLINO, A. (1993). Standardized catch rates for swordfish (*Xiphias gladius*) from the U.S. longline fleet though 1991. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 40(1): 458-468.

SEDBERRY, G.R. & LOEFER, J.K. (2001). Satellite telemetry tracking of swordfish, *Xiphias gladius*, off the eastern United States. *Mar. Biol.* 139: 355-360.

SIMOES, P. (2001). *Aspectos da biologia e da pesca da espadarte (Xiphias gladius L. 1758), no arquipélago dos Açores*. Dissertação apresentada á Universidades do Algarve para a obtenção do grau de Doutor em Ciências Biológicas e Tecnologia das Pescas, especialidade de Pescas. FARO. 2001.

SPALL, M. A. (1996). Dynamics of the Gulf Stream/Deep Western Boundary Current Crossover. Part I: Entrainment and Recirculation. *J. Physical Oceanography*. Vol. 26. Nº 10: 2152-2168.

SPARRE, P. & VENEMA, S.C. (1997). *Introducción a la evaluación de los recursos pesqueros*. Part 1: Manual. FAO Tech. Report 306/1 Rev.2: 420p.

S-PLUS ®. (1997). *Splus 4. Guide to Statistics*. Data Analysis Products Division, MathSoft, Seattle:877p.

STONE, H.H. & PORTER, J.M. (1997). Development of a swordfish sex ratio-at-size relationship for catches from the Canadian fishery. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 46(3): 311-314.

STONE, H.H. & PORTER, J.M. (2000). Age-specific CPUE for Canadian swordfish longline for combined and separate sexes, 1988-1998. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 51(5): 1420-1457.

TAMURA, T. & WISBY, W.J. (1963). The visual sense of pelagic fishes especially the visual axis and accommodation. *Bulletin of marine Science of the Gulf and Caribbean*. Vol. 13(3): 433-448.

TAYLOR, A.H. (1995). North-South shifts of the Gulf Stream and their climatic connection with the abundance of zooplankton in the UK and its surrounding seas. *ICES Journal of Marine Science*, 52: 711-721.

TAYLOR, A.H. (1996). North-south shifts of the Gulf Stream: ocean-atmosphere interactions in the North Atlantic. *International Journal of Climatology*, 16: 559-583.

TAYLOR, A.H., JORDAN, M.B. & STEPHENS, J.A. (1998). Gulf Stream shifts following ENSO events. *Nature*, 393, nº 6686: 638.

TAYLOR, R.G. & MURPHY, M.D. (1992). Reproductive biology of the swordfish *Xiphias gladius* in the Straits of Florida and adjacent waters. *Fishery Bulletin*, U.S. 90: 809-816.

TAYLOR, A.H. & STEPHENS, J.A. (1980). Latitudinal displacements of the Gulf Stream (1966-1977) and their relation to changes in temperature and zooplankton abundance in the NE Atlantic. *Oceanologica Acta*, 3 (2): 145-149.

TAYLOR, A. H. & STEPHENS, J.A. (1998). The North Atlantic Oscillation and the latitude of the Gulf Stream. *Tellus* 50 (A): 134-142.

TIBBO, S.N., DAY, L.R. & DOUCET, W.F. (1961). The swordfish (*Xiphias gladius* L.), its life-history and economic importance in the Northwest Atlantic. *Bulletins of the Fisheries Research Board of Canada*. Bulletin No. 130: 45p.

TRACEY, K.L. & WATTS D.R. (1986). On the Gulf Stream meander characteristics near Cape Hatteras. *J. Geophys. Res.* 91: 7587-7602.

TROMP, S.W. (1980). *The impact of the weather and climate on humans and their environment (animals and plants)*. Biometeorology. Heyden international topics in science (1). Bioclimatology. Heyden & Son Ltd.: 346 p.

TSERPES G., PERISTERAKI, P. & SOMARAKIS, S. (2001). On the reproduction of swordfish (*Xiphias gladius*) in the eastern Mediterranean. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 52 (2): 740-744.

TURNER, S. (1986). Length to weight and weight to length conversion for the swordfish in the western North Atlantic and Gulf of Mexico. Swordfish workshop , working paper 86/11. Miami lab. N.M.F.S., S.E.F.C., Miami. April 1986: 18p.

TURNER, S.C., AROCHA, F. & SCOTT, G.P. (1996). U.S. swordfish catch at size and catch at age by sex. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 45(2): 373-378.

TURNER, S.C., RESTREPO, V.R. & AROCHA, F. (1997). Swordfish catch at size and catch at age by sex for the United States. *ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap.* Vol. 46(3): 383-385.

VALLIN, L., NISSLING, A. & WESTIN, G.L. (1999). Potential factors influencing reproductive success of Baltic cod, *Gadus morhua*: A Review. *Ambio*, 28 (1): 92-99.

VISBECK M., CULLEN, H., KRAHMANN, G. & NAIK, N. (in press). An ocean model's response to North Atlantic Oscillation-like wind forcing. Lamont Contrib. <http://rainbow.ldeo.columbia.edu/papers/naomod2a.pdf>.

WARD, P. & Elscot, S (2000). Broadbill swordfish: status and word fisheries. *Bureau of Rural Sciences*. Canberra:208p.

WEBER, E.C. & GOLDBERG, S.R. (1986). The sex ratio and gonad indices of swordfish, *Xiphias gladius*, caught off the coast of Southern California in 1978. *Fish. Bull.* 84:185-186.

WEIDNER, D.M. & AROCHA, F. (1999). World swordfish fisheries. An Analysis of Swordfish Fisheries, Market trends and Trade Patterns, Past-Present-Future. Vol.IV., Part A. Section 2. Segment B. February 1999. *NOAA Tech. Memo*. NMFS-F/SPO-35: 628p.

WEIDNER, D.M., AROCHA, F., FONTES, F.J., FOLSON, W. & SERRANO, J.A. (1999). World swordfish fisheries. An Analysis of Swordfish Fisheries, Market trends and Trade Patterns, Past-Present-Future. Vol.IV., Part A. Section 2. Segment A. February 1999. *NOAA Tech. Memo*. NMFS-F/SPO-34: 235p.

*Capítulo 10. Bibliografía.*

WILLIS, A. J., DUNNETT, N.P., HUNT, R. & GRIME, J.P. (1995). Does Gulf Stream position affect vegetation dynamics in Western Europe?. *Oikos*, 73: 408-410.

WU, P. & GORDON, C. (2002). Oceanic Influence on North Atlantic Climate Variability. *Journal of Climate*. Vol. 15(14): 1911-1925.

**RESUMENES**



## RESÚMENES.

### RESUMEN.

#### ASPECTOS BIOLÓGICOS Y PESQUEROS DEL PEZ ESPADA (*Xiphias gladius*, Linnaeus, 1758) DEL OCÉANO ATLÁNTICO, CON ESPECIAL REFERENCIA A LAS ÁREAS DE ACTIVIDAD DE LA FLOTA ESPAÑOLA.

*Los estudios biológicos y pesqueros sobre el pez espada del Atlántico se inician repasando la historia de la pesquería a nivel mundial, con especial referencia al Océano Atlántico, a cuyas regiones se ciñe este trabajo. La historia se revisa desde las épocas antiguas, cuando se usaban artes costeras y arpones, hasta los años recientes de máxima explotación a nivel mundial usando artes oceánicas industriales de gran capacidad de pesca, con especial referencia a la actividad de flota española, en su mayoría gallega, y a su evolución en las décadas recientes de máxima expansión. El conocimiento de la historia permitió enfocar algunos de los análisis. Se aportan cronogramas de la historia de la pesquería en sus diferentes fases de intensidad se señalan aquellas épocas clave para entender el desarrollo de esta actividad, especialmente en España, con referencia a algunos aspectos económicos y sociales que identifican a este subsector de palangre de superficie como estratégico para Galicia por su relevancia económica y social dentro del conjunto de su sector pesquero. Las capturas recientes del Atlántico fluctuaron entre las 30.000-40.000 t/año, siendo la flota con base en los puertos de Galicia la más importante. Las capturas declaradas de pez espada a nivel mundial superan las 100.000 t/año y más de 65 países reconocen realizar pesca intensiva en diferentes océanos.*

*Se repasan algunos aspectos biológicos relevantes de esta especie con el fin de dar a conocer, en los ámbitos pesquero y científico, aquellos elementos biológicos más característicos de esta especie en cuanto a su biología y comportamiento. Se resumen aspectos sobre su taxonomía, características morfológicas, áreas de distribución, la actividad pesquera que captura a esta especie, hábitat y biología: crecimiento, reproducción, alimentación, parásitos, etc.*

*Se explican y discuten los protocolos para la obtención y tratamiento de los datos científicos básicos procedentes de la actividad de esta flota comercial de palangre de superficie y los procedimientos específicos para su tratamiento. Durante el periodo analizado se observaron cerca de 16.000 mareas de palangreros de superficie que capturaron pez espada, con esfuerzo nominal acumulado de 533 millones de anzuelos, equivalentes a 251.000 días de pesca, con capturas observadas durante ese periodo de unos 3,5 millones de peces espada. El estudio de estos datos permite identificar diferentes periodos en cuanto al tipo de arte de pesca usado y la estrategia de pesca seguida. Durante el periodo 1986-1998 se detecta que la flota ha mantenido un arte de pesca relativamente estable, mientras que durante el periodo 1998-2001 se generaliza el empleo de un nuevo tipo de palangre. Se identifican además cambios importantes en la especie/s objetivo de esta flota, que tiene implicaciones sobre la interpretación de los datos de captura por unidad de esfuerzo (CPUE). El empleo de herramientas GIS para los análisis descriptivos y cartográficos de estos datos se muestra de gran utilidad para la posterior modelización e interpretación de los datos de CPUE de la flota palangrera. Los análisis de CPUE se plantean a partir de la combinación de las diversas fuentes de información georeferenciadas, establecidas específicamente para el seguimiento científico de los diferentes fragmentos de flota palangrera de superficie.*

*La abundancia relativa de los stocks de pez espada del Atlántico (Norte y Sur) es estimada a partir de los datos de CPUE obtenidos de la flota comercial de palangre de superficie con bandera española, la mayoría con base y actividad comercial en puertos de Galicia, durante el periodo 1986-2001. En base a los protocolos y procedimientos establecidos para la obtención y tratamiento de esa información para fines científicos, se proponen métodos de análisis y se modelan los datos de CPUE usando Modelos Lineales Generalizados (GLM), considerando la*

*historia reciente de la pesquería que podría explicar, en gran parte, la variabilidad de la CPUE observada.*

*Los resultados indican que, a la hora de modelar la CPUE mediante técnicas de GLM para obtener indicadores de abundancia relativa, es conveniente considerar, además de los tradicionales factores espacio-temporales o de tipo de arte de pesca, otros elementos que puedan explicar los posibles cambios a lo largo de los años en el patrón de explotación de la flota, tales como los cambios en la intensidad de pesca sobre la especie/s objetivo. La intención de dirigir la actividad pesquera con mayor o menor intensidad hacia una u otra especie se muestra como el factor más relevante a la hora de explicar la variabilidad de la CPUE del pez espada durante el periodo analizado. La incorporación de un factor capaz de aproximarse a medir la intensidad de “direccionamiento” de la pesca hacia una u otra especie mejora en un 58% el grado de ajuste del modelo y sugiere una tendencia de la CPUE significativamente distinta de la CPUE nominal y de la obtenida mediante procesos GLM que no incluyen dicho factor. Este enfoque analítico tiene efectos importantes sobre la percepción más o menos optimista del estado del stock, al asumirse la tendencia de la CPUE estandarizada como un indicador de la abundancia relativa del stock a lo largo de los años.*

*Para el stock del Atlántico Norte, se desarrollaron análisis de CPUE estandarizada tanto en unidades de biomasa como en unidades de número de peces por edad. Ambos enfoques muestran complementariedad al facilitar la interpretación de las tendencias de la CPUE en biomasa en base a las tendencias observadas en las diferentes edades y, de forma especial, a partir de la observación del nivel anual de los reclutamientos y de las edades subsiguientes. Los recientes incrementos de la biomasa del stock del pez espada del Atlántico Norte observados después de un largo periodo de 12 años de continuos descensos, se explica por cambios favorables en el nivel de los reclutamientos durante los años más recientes, frente a periodos anteriores mucho menos favorables.*

*Los niveles relativos de reclutamiento anual del pez espada del Atlántico Norte obtenidos a partir de la CPUE de la edad 1 entre los años 1983 y 2001, fueron usados para ensayar cuales podrían ser los efectos de asumir su relación con índices atmosféricos (índice invernal de NAO o NAOw) y oceanográficos como el índice de la Corriente del Golfo (GSNW), entre otros índices correlacionados entre si. Durante las décadas próximas pasadas se han observado contrastes considerables entre las fases de NAOw y de GSNW, especialmente desde inicios de los años setenta del siglo pasado y, de forma más intensa, desde finales de los años ochenta, debido a los valores altamente positivos de NAOw desde los años setenta hasta 1995, sin precedentes en relación con periodos observados anteriores o reconstruidos por paleoclimatología. Como consecuencia de ello, en algunos de los años recientes, fueron observados desplazamientos muy considerables hacia el Norte de la corriente del Golfo y cambios en su dinámica, sin precedentes en los registros de las últimas décadas.*

*Así mismo, fueron identificados otros fenómenos oceanográficos ligados con la importante dinámica del conjunto de corrientes que rigen en el Atlántico NW. Durante dichos periodos, a partir de 1970, generalmente con índices muy positivos de NAOw y GSNW, los reclutamientos de pez espada se han mantenido generalmente bajos, salvo escasos años con altos reclutamientos coincidiendo con valores de NAOw bajos dentro de ese ciclo general muy positivo. El posible cambio de ciclo de NAOw, o al menos su moderación, ocurrido a partir del invierno 1995-1996, junto con los cambios oceanográficos asociados en el Atlántico NW, podría haber favorecido un nuevo escenario en el patrón de reclutamiento anual del pez espada del Atlántico Norte que alcanzó, en los años posteriores a 1995, los niveles más altos observados en la serie disponible con datos pesqueros, pese a que en esos años se observaron los valores más bajos de la serie en la abundancia de la fracción reproductora del stock.*

*Partiendo de asumir una posible relación entre índices ambientales y los niveles de los reclutamientos, estos factores quizás serían suficientes para explicar las diferentes fases en los*

niveles absolutos de los reclutamientos y de la biomasa de un stock simulado durante un periodo de unos 80 años, verificándose las posibles fases positivas vs. negativas observadas en las décadas más recientes de las que existe información pesquera. Se señala además la importancia que podrían tener algunos de los indicadores oceanográficos del Atlántico Noroeste ligados a las fluctuaciones de NAOw, los cuales podrían resultar de interés para su estudio específico de cara a explicar los ciclos observados en los reclutamientos de esta especie y se recomienda centrar los futuros estudios medioambientales preferentemente sobre factores oceanográficos del Atlántico NW ligados con NAOw. La Corriente del Golfo y otros factores oceanográficos teleconectados, observados en esas regiones, podrían jugar un papel capital en los procesos de reproducción y/o reclutamiento del stock de pez espada del Atlántico Norte y, por tanto, sobre su dinámica y tendencia de su biomasa a largo plazo. La mejoría observada en los patrones de reclutamiento del stock de pez espada del Atlántico Norte en los años más recientes, quizás podría explicarse por cambios ambientales ocurridos a partir del año 1996, pese a que la abundancia relativa del stock reproductor fue de las menores observadas durante todo el periodo analizado.

De forma específica se desarrolló un experimento durante un total de 20 lances realizados a bordo de un palangrero de superficie comercial en el que fue valorada la eficacia de diferentes tipos de cebo para la captura de pez espada. Se ensayaron 5 tipos de cebos (natural, artificiales y mixto). Los resultados indican que el cebo natural usado tradicionalmente por la flota es el más eficaz y sugiere diferencias considerables y significativas entre las CPUE obtenidas con los distintos tipos de cebos ensayados. Los datos indican además escasas diferencias medias, estadísticamente no significativas, entre la CPUE obtenidas usando un cebo natural (control) o un cebo mixto compuesto de cebo artificial en el exterior, de nula eficacia por si mismo, al que se le añadía en su interior una porción no visible de cebo natural. Ambos tipos de cebos (control y mixto) se mostraron eficaces para la captura del pez espada pese a su diferente constitución y propiedades. Los resultados obtenidos permiten valorar indirectamente la importancia de los estímulos visuales y del olor en la detección y decisión de ataque del pez espada a sus presas, sugiriendo al olor como un elemento clave en este comportamiento. Los resultados sugieren que sería plausible desarrollar cebos específicos para la captura de pez espada a partir de subproductos de la pesca o de especies de bajo costo, de forma que se conjuguen debidamente los estímulos visuales y olfativos.

A partir de un total de 100.944 observaciones de talla y sexo del pez espada procedentes de amplias regiones del Atlántico, obtenidas a partir del año 1986, se estudia la variabilidad espacial y temporal del sex-ratio por clase de talla (SRs). La estratificación geográfica de los datos por sexo indican una distribución no homogénea de ambos sexos a nivel oceánico. En las regiones templadas existe una predominancia de las hembras o un cierto equilibrio entre ambos sexos. Sin embargo, en algunas regiones tropicales y subtropicales, se observa una clara dominancia de los machos en la captura. Las áreas Atlánticas de mayor latitud así como las regiones costeras de África y próximas al Golfo de Guinea, aparecen con clara dominancia de las hembras. Por contra, en las áreas de aguas cálidas del Atlántico Oeste, aparece una evidente dominancia de los machos. Los valores de sex-ratio por clase de talla (SRs) muestran una gran variabilidad entre las diferentes regiones analizadas.

Los diversos métodos ensayados detectaron la existencia de grupos o patrones característicos de SRs en ciertas regiones-épocas que pudieron ser clasificados en tres patrones característicos o "regiones biológicas", definidas como de "puesta o reproducción", "alimentación" y "transición". El patrón del tipo "reproducción" es especialmente característico y se presenta en regiones con aguas cálidas (tropicales o subtropicales) con termoclina relativamente profunda, coincidiendo con la observación de procesos reproductivos intensos. Los análisis de SRs restringidos sólo a las tallas 120-170 cm LJFL fueron adecuados para poder identificar estas tres regiones biológicas. Las regiones definidas como 07, 08 y, parcialmente, la 13, podrían catalogarse como zonas con el patrón de reproducción, en las cuales predomina la ocurrencia de los machos. Las regiones 04, 06, 91, 10, 93 y 05, presentarían un patrón propio

de zonas de alimentación, mientras que las regiones 01, 03, 11, 09, 12, 92 y 02 tendrían un patrón de transición. Cada uno de estos patrones son definidos mediante sus ecuaciones respectivas.

Análisis específicos de talla y peso gonadal realizados sobre 18.279 hembras de pez espada permitieron obtener sus índices gonadales (IGI), estructurando la información con la misma definición de regiones que en los análisis de SRs. Los resultados permiten discriminar entre regiones en las cuales no se producen procesos de maduración-reproducción de las hembras de aquellas otras regiones en las cuales se observan estos procesos, tanto si estos son frecuentes como esporádicos, así como su estacionalidad. Los índices gonadales de las hembras muestran su relación con la talla de la hembra y con la temperatura del mar. Hembras menores de 145 cm raramente presentan valores de IGI elevados independientemente de su localización. Las hembras con tallas mayores de 145 cm LJFL pueden presentar valores altos o bajos de índice gonadal, según la región y la época, aunque sólo se observan con frecuencia índices gonadales elevados en áreas con temperaturas dentro del rango 25°-29°C. La talla-edad de la hembra es sólo una condición necesaria, pero no suficiente, para poder desencadenar procesos de desarrollo y maduración gonadal. La actividad reproductiva de las hembras parece estar relacionada con la temperatura existente en las capas epipelágicas del mar de las regiones más occidentales del Atlántico, no detectándose maduración gonadal en las regiones tropicales-orientales pese a tener similar temperatura superficial.

Las regiones definidas como 01, 02, 03, 12, 15 y 91 no presentan procesos de maduración-reproducción. En las regiones 06, 09, 93 y sobretodo en la 11, se observan algunos procesos esporádicos de maduración-reproducción. En las regiones 07, 08 y 13 se observan intensos procesos de maduración-reproducción. Por tanto, las áreas comprendidas en el margen occidental del Atlántico, entre los 10°N y 25°S y al Oeste de 10°W, son en las que se observa la mayor actividad de maduración gonadal de las hembras, y cierta actividad menor en sus áreas adyacentes más al Sur. La información de índices gonadales permitió construir un modelo gráfico tridimensional de comportamiento reproductivo de las hembras en relación con las variables espacio-temporales. La isoterma de 25°C a 50 metros de profundidad parece ser un mejor indicador de las áreas potenciales de reproducción del pez espada que las SSTs.

La talla de primera madurez de las hembras ( $L_{JFL50}$ ) se estimó sobre 146 cm LJFL, equivalente a unos 3 ó 4 años de edad, lo que reduce dicha estimación en relación con estimaciones previas para el Atlántico y se aproxima a los valores definidos para el Mediterráneo. La estimación de la talla de primera madurez de las hembras es recomendable afrontarla a partir de hembras capturadas en regiones en las cuales los procesos reproductivos son más intensos y estables a lo largo del año, como sucede en las regiones 07 y 08. La fracción de madurez de las hembras vendría representada por  $p_m = 1 / (1 + e^{(-0,1398(L_{JFL}-146,5)})}$ .

Los datos de CPUE por categoría de talla y sexo señalan a los machos entre 125 y 165 cm LJFL como los causantes de la dominancia de machos en las zonas de intensa reproducción, manifestándose entre 9,5 y 11,2 veces más abundantes que las hembras de esas tallas. Estos valores justifican los patrones de SRs observados en las regiones de tipo "reproducción" descritas. Los indicadores cualitativos de estado gonadal para las hembras confirman los resultados obtenidos mediante índices gonadales.

Los datos de índice gonadal, estado gonadal y CPUEs por sexo corroboran la segregación del pez espada del Atlántico entre regiones de intensa reproducción, reproducción esporádica y no reproducción, así como la parcial segregación por sexos de esta especie para dichos procesos y su estructuración en regiones biológicas, tal como sugerían los datos de SRs. Mientras que en las regiones con actividad reproductiva los machos son claramente predominantes en la captura, sobre todo dentro de ciertos rangos de tallas, en las demás regiones la ocurrencia entre sexos está más equilibrada o a favor de las hembras, especialmente en las regiones tróficas. El complejo proceso reproductivo de esta especie, en que se deben incluirse los

*Resúmenes.*

*comportamientos de emparejamiento e incluso posibles rituales de cortejo, podrían ser algunos de los motivos que explicarían el comportamiento migratorio de esta especie y su parcial estratificación según tallas-sexos.*

## RESUMO.

### ASPECTOS BIOLÓXICOS E PESQUEIROS DO PEIXE ESPADA (*Xiphias gladius*, Linnaeus, 1758) DO OCÉANO ATLÁNTICO, CON ESPECIAL REFERENCIA ÁS ÁREAS DE ACTIVIDADE DA FLOTA ESPAÑOLA.

*Os estudos biolóxicos e pesqueiros sobre o peixe espada do Atlántico inicianse repasando a historia da pesqueiría a nivel mundial, con especial referencia ao Océano Atlántico, a cuxas rexións se cingue este traballo. A historia revísase desde as épocas antigas, cando se usaban artes costeiras e arpóns, até os anos recentes de máxima explotación a nivel mundial usando artes oceánicas industriais de grande cantidade de pesca, con especial referencia á actividade da flota española, na súa maioría galega, e á súa evolución nas décadas recentes de máxima expansión. O coñecemento da historia permitiu enfocar algunhas das análises. Apórtanse cronogramas da historia da pesqueiría nas súas diferentes fases de intensidade sinálanse aquelas épocas clave para entendermos o desenvolvemento desta actividade, especialmente en España, con referencia a algúns aspectos económicos e sociais que identifican este subsector de palangre de superficie como estratéxico para Galiza pola súa relevancia económica e social dentro do conxunto do seu sector pesqueiro. As capturas recentes do Atlántico flutuaron entre as 30.000-40.000 t/ano, sendo a flota con base nos portos de Galiza a máis importante. As capturas declaradas de peixe espada a nivel mundial superan as 100.000 t/ano e máis de 65 países recoñecen realizar pesca intensiva en diferentes océanos.*

*Repásanse algúns dos aspectos biolóxicos máis relevantes desta especie co fin de dar a coñecer, nos ámbitos pesqueiro e científico, aqueles elementos biolóxicos máis característicos desta especie en canto á súa bioloxía e comportamento. Resúmense aspectos sobre a súa taxonomía, características morfolóxicas, áreas de distribución, a actividade pesqueira que captura esta especie, hábitat e bioloxía: crecemento, reprodución, alimentación, parasitos, etc.*

*Explícanse e discútense os protocolos para a obtención e tratamento dos datos científicos básicos procedentes da actividade desta flota comercial de palangre de superficie e os procedementos específicos para o seu tratamento. Durante o período analizado observáronse preto de 16.000 mareas de palangreiros de superficie que capturaron peixe espada, con esforzo nominal acumulado de 533 millóns de anzois, equivalentes a 251.000 días de pesca, con capturas observadas durante ese período duns 3,5 millóns de peixes espada. O estudo destes datos permite identificar diferentes períodos en canto ao tipo de arte de pesca empregado e a estratexia de pesca seguida. Durante o período 1986-1998 detéctase que a flota mantivo unha arte de pesca relativamente estábel, mentres que durante o período 1998-2001 se xeneraliza o emprego dun novo tipo de palangre. Identifícanse ademais mudanzas importantes na especie/s obxectivo desta flota, que ten implicacións sobre a interpretación dos datos de captura por unidade de esforzo (CPUE). O emprego de ferramentas GIS para as análises descritivas e cartográficas destes datos móstrase de grande utilidade para a posterior modelización e interpretación dos datos de CPUE da flota palangreira. As análises de CPUE plantéxanse a partir da combinación de diversas fontes de información xeoreferenciadas, establecidas especificamente para o seguemento científico dos diferentes fragmentos de flota palangreira de superficie.*

*A abundancia relativa dos stocks de peixe espada do Atlántico (Norte e Sur) é estimada a partir dos datos de CPUE obtidos da flota comercial de palangre de superficie con bandeira española, a maioría con base e actividade comercial en portos de Galiza, durante o período 1986-2001. Tomando como base os protocolos e procedementos establecidos para a obtención e tratamento desa información para fins científicos, propóñense métodos de análise e modélanse os datos de CPUE empreñando Modelos Lineais Xeneralizados (GLM), considerando a historia recente da pesqueiría que podería explicar, en grande parte, a variabilidade da CPUE observada.*

Os resultados indican que, á hora de modelar a CPUE mediante técnicas de GLM para obter indicadores de abundancia relativa, é conveniente considerar, ademais dos tradicionais factores espazo-temporais ou de tipo de arte de pesca, outros elementos que poidan explicar as posibles mudanzas ao longo dos anos no patrón de explotación da flota, tales como as mudanzas na intensidade de pesca sobre a especie/s obxectivo. A intención de dirixir a actividade pesqueira con maior ou menor intensidade cara a unha ou outra especie móstrase como o factor máis relevante á hora de explicar a variabilidade da CPUE do peixe espada durante o período analizado. A incorporación dun factor capaz de se aproximar a medir a intensidade de “direccionamento” da pesca cara a unha ou outra especie mellora nun 58% o grao de axuste do modelo e suxire unha tendencia da CPUE significativamente diferente da CPUE nominal e da obtida mediante procesos GLM que non inclúen dito factor. Este enfoque analítico ten efectos importantes sobre a percepción máis ou menos optimista do estado do stock, ao se asumir a tendencia da CPUE estandarizada como un indicador da abundancia relativa do stock ao longo dos anos.

Para o stock do Atlántico Norte, desenvolvéronse análises de CPUE estandarizada tanto en unidades de biomasa como en unidades de número de peixes por idade. Ambos os enfoques amosan complementariedade ao facilitar a interpretación das tendencias da CPUE en biomasa tendo en conta as tendencias observadas nas diferentes idades e, de forma especial, a partir da observación do nivel anual dos recrutamentos e das idades subseguintes. Os recentes incrementos da biomasa do stock do peixe espada do Atlántico Norte observados despois dun longo período de 12 anos de continuos descenso, explícase por mudanzas favorábeis no nivel dos recrutamentos durante os anos máis recentes, fronte a períodos anteriores moito menos favorábeis.

Os niveis relativos de recrutamento anual do peixe espada do Atlántico Norte obtidos a partir da CPUE da idade 1 entre os anos 1983 e 2001, foron usados para ensaiar cales poderían ser os efectos de asumir a súa relación con índices atmosféricos (índice invernal de NAO ou NAOw) e oceanográficos como o índice da Corrente do Golfo (GSNW), entre outros índices correlacionados entre si. Durante as décadas próximas pasadas téñense observado contrastes considerábeis entre as fases de NAOw e de GSNW, especialmente desde inicios dos anos setenta do século pasado e, de forma máis intensa, desde finais dos anos oitenta, debido aos valores altamente positivos de NAOw desde os anos setenta até 1995, sen precedentes en relación con períodos observados anteriores ou reconstruídos por paleoclimatoloxía. Como consecuencia disto, nalgúns dos anos recentes, foron observados desprazamentos moi considerábeis cara ao Norte da Corrente do Golfo e mudanzas na súa dinámica, sen precedentes nos rexistros das últimas décadas.

Así mesmo, foron identificados outros fenómenos oceanográficos ligados á importante dinámica do conxunto de correntes que rexen no Atlántico NW. Durante ditos períodos, a partir de 1970, xeneralmente con índices moi positivos de NAOw e GSNW, os recrutamentos de peixe espada téñense mantido xeneralmente baixos, salvo escasos anos con altos recrutamentos coincidindo con valores de NAOw baixos dentro dese ciclo xeral moi positivo. A posíbel mudanza de ciclo de NAOw, ou ao menos a súa moderación, ocorrida a partir do inverno 1995-1996, xunto cos cambios oceanográficos asociados no Atlántico NW, podería ter favorecido un novo escenario no patrón de recrutamento anual do peixe espada do Atlántico Norte que acadou, nos anos posteriores a 1995, os niveis máis altos observados na serie dispoñíbel con datos pesqueiros, a pesar de neses anos térense observado valores máis baixos da serie na abundancia da fracción reprodutora do stock.

Partindo de asumir unha posíbel relación entre índices ambientais e os niveis dos recrutamentos, estes factores quizais serían suficientes para explicaren as diferentes fases nos niveis absolutos dos recrutamentos e da biomasa dun stock simulado durante un período duns 80 anos, verificándose as posibles fases positivas vs. negativas observadas nas décadas máis recentes das que existe información pesqueira. Sinálase ademais a importancia que poderían

*ter algúns dos indicadores oceanográficos do Atlántico Noroeste ligados ás fluctuacións de NAOw, os cales poderían resultar de interese para o seu estudo específico de cara a explicar os ciclos observados nos recrutamentos desta especie e recoméndase centrar os futuros estudos medioambientais preferentemente sobre factores oceanográficos do Atlántico NW ligados con NAOw. A Corrente do Golfo e outros factores oceanográficos teleconectados, observados nesas rexións, poderían xogar un papel capital nos procesos de reprodución e/ou recrutamento do stock de peixe espada do Atlántico Norte e, por tanto, sobre a súa dinámica e tendencia da súa biomasa a longo prazo. A mellaría observada nos patróns de recrutamento do stock de peixe espada do Atlántico Norte nos anos máis recentes, quizais podería explicarse por mudanzas ambientais ocorridas a partir do ano 1996, a pesar de que a abundancia relativa do stock reprodutor foi das menores observadas ao longo de todo o período analizado.*

*De forma específica desenvolveuse un experimento durante un total de 20 lances realizados a bordo dun palangreiro de superficie comercial no que foi valorada a eficacia de diferentes tipos de cebo para a captura de peixe espada. Ensaíáronse 5 tipos de cebos (natural, artificiais e mixto). Os resultados indican que o cebo natural usado tradicionalmente pola flota é o máis eficaz e suxire diferenzas considerábeis e significativas entre as CPUE obtidas cos diferentes tipos de cebos ensaiados. Os datos indican ademais escasas diferenzas medias, estatisticamente non significativas, entre a CPUE obtidas usando un cebo natural (control) ou un cebo mixto composto de ceno artificial no exterior, de nula eficacia por si mesmo, ao que se lle engadía no seu interior unha porción non visíbel de cebo natural. Ambos os tipos de cebos (control e mixto) mostráronse eficaces para a captura do peixe espada a pesar da súa diferente constitución e propiedades. Os resultados obtidos permiten valorar indirectamente a importancia dos estímulos visuais e do olor na detección e decisión de ataque do peixe espada ás súas presas, suxerindo o olor como un elemento clave neste comportamento. Os resultados suxiren que sería plausíbel desenvolver cebos específicos para a captura do peixe espada a partir de subprodutos da pesca ou de especies de baixo custo, de forma que se conxuguen debidamente os estímulos visuais e olfactivos.*

*A partir dun total de 100.944 observacións de talle e sexo do peixe espada procedentes de amplas rexións do Atlántico, obtidas a partir do ano 1986, estúdase a variabilidade espacial e temporal do sex-ratio por clase de talle (SRs). A estratificación xeográfica dos datos por sexo indican unha distribución non homoxénea de ambos os sexos a nivel oceánico. Nas rexións mornas existe unha predominancia das femias ou un certo equilibrio entre ambos os sexos. Non obstante, nalgúns rexións tropicais e subtropicais, obsérvase unha clara dominancia dos machos na captura. As áreas Atlánticas de maior latitude así como as rexións costeiras de África e próximas ao Golfo de Guinea, aparecen con clara dominancia das femias. Pola contra, nas áreas de augas cálidas do Atlántico Oeste, aparece unha evidente dominancia dos machos. Os valores de sex-ratio por clase de talle (SRs) amosan unha grande variabilidade entre as diferentes rexións analizadas.*

*Os diversos métodos ensaiados detectaron a existencia de grupos ou patróns característicos de SRs en certas rexións-épocas que puideron ser clasificados en tres patróns característicos ou “rexións biolóxicas”, definidas como de “posta ou reprodución”, “alimentación” e “transición”. O patrón do tipo “reprodución” é especialmente característico e preséntase en rexións con augas cálidas (tropicais ou subtropicais) con termoclina relativamente profunda, coincidindo coa observación de procesos reprodutivos intensos. As análises de SRs restrinxidos só aos talles 120-170 cm LJFL foron axeitados para poder identificar estas tres rexións biolóxicas. As rexións definidas como 07, 08 e, parcialmente, a 13, poderían catalogarse como zonas co patrón de reprodución, nas cales predomina a ocorrencia dos machos. As rexións 04, 06, 91, 10, 93 e 05, presentarían un patrón propio de zonas de alimentación, mentres que as rexións 01, 03, 11, 09, 12, 92 e 02 terían un patrón de transición. Cada un destes patróns son definidos mediante as súas ecuacións respectivas.*

*Análises específicas de talle e peso gonadal realizados sobre 18.279 femias de peixe espada permitiron obter os seus índices gonadais (IGI), estruturando a información coa mesma definición de rexións que nas análises de SRs. Os resultados permiten discriminar entre rexións en que non se producen procesos de maduración-reproducción das femias de aquelas outras rexións nas cales se observan estes procesos, tanto se estes son frecuentes como esporádicos, así como a súa estacionalidade. Os índices gonadais das femias mostran a súa relación co talle da femia e coa temperatura do mar. Femias menores de 145 cm. raramente presentan valores de IGI elevados independentemente da súa localización. As femias con talles maiores de 145 cm. LJFL poden presentar valores altos ou baixos de índice gonadal, segundo a rexión e a época, aínda que só se observan con frecuencia índices gonadais elevados en áreas con temperaturas dentro do rango 25-29°C. O talle-idade da femia é só unha condición necesaria, mais non suficiente, para poder desencadear procesos de desenvolvemento e maduración gonadal. A actividade reprodutiva das femias parece estar relacionada coa temperatura existente nas capas epipeláxicas do mar das rexións máis occidentais do Atlántico, non detectándose maduración gonadal nas rexións tropicais-orientais a pesar de ter similar temperatura superficial.*

*As rexións definidas como 01, 02, 03, 12, 15 e 91 non presentan procesos de maduración-reproducción. Nas rexións 06, 09, 93 e sobre todo na 11, obsérvanse algúns procesos esporádicos de maduración-reproducción. Nas rexións 07, 08 e 13 obsérvanse intensos procesos de maduración-reproducción. Por tanto, as áreas comprendidas na marxe occidental do Atlántico, entre os 10°N e 25°S e ao Oeste de 10°W, son nas que se observa a maior actividade de maduración gonadal das femias, e certa actividade menor nas súa áreas adxacentes máis ao Sur. A información de índices gonadais permitiu construír un modelo gráfico tridimensional de comportamento reprodutivo das femias en relación coas variábeis espazo-temporais. A isoterma de 25°C a 50 metros de profundidade parece ser un mellor indicador das áreas potenciais de reprodución do peixe espada que as SSTs.*

*O talle de primeira madurez das femias (LJFL<sub>50</sub>) estimouse sobre 146 cm. LJFL, equivalente a uns 3 ou 4 anos de idade, o que reduce dita estimación en relación con estimacións previas para o Atlántico e se aproxima aos valores definidos para o Mediterráneo. A estimación do talle de primeira madurez das femias é recomendable afrontala a partir de femias capturadas en rexións en que os procesos reprodutivos son máis intensos e estábeis ao longo do ano, como acontece nas rexións 07 e 08. A fracción de madurez das femias vería representada por  $p_m = 1 / (1 + e^{(-0,1398 (LJFL-146,5)})}$ .*

*Os datos de CPUE por categoría de talle e sexo sinalan os machos entre 125 e 165 cm. LJFL como os causantes da dominancia de machos nas zonas de intensa reprodución, manifestándose entre 9,5 e 11,2 veces máis abundantes que as femias deses talles. Estes valores xustifican os patróns de SRs. observados nas rexións de tipo “reproducción” descritas. Os indicadores cualitativos de estado gonadal para as femias confirman os resultados obtidos mediante índices gonadais.*

*Os datos de índice gonadal, estado gonadal e CPUEs por sexo corroboran a segregación do peixe espada do Atlántico entre rexións de intensa reprodución, reprodución esporádica e non reprodución, así como a parcial segregación por sexos desta especie para ditos procesos e a súa estruturación en rexións biolóxicas, tal como suxerían os datos de SRs. Mentres que nas rexións con actividade reprodutiva os machos son claramente predominantes na captura, sobre todo dentro de certos rangos de talles, nas demais rexións a ocorrencia entre sexos está máis equilibrada ou a favor das femias, especialmente nas rexións tróficas. O complexo proceso reprodutivo desta especie, en que se deben incluírse os comportamentos de emparellamento e incluso posíbeis rituais de cortexo, poderían ser algúns dos motivos que explicarían o comportamento migratorio desta especie e a súa parcial estratificación segundo talles-sexos.*

**ABSTRACT.**

**ASPECTS RELATED TO THE BIOLOGY AND FISHERY OF THE SWORDFISH (*Xiphias gladius*, Linnaeus, 1758) OF THE ATLANTIC OCEAN WITH SPECIAL REFERENCE TO THE AREAS TARGETED BY THE SPANISH FLEET.**

*These biological and fisheries studies on the Atlantic swordfish start out with a review of the history of this fishery worldwide with special reference to the Atlantic Ocean and its regions, which are the focal point of this paper. The historical review spans a period dating back to early times when coastal fisheries used traditional gears and harpoons and continues up until more recent years, with a fishery subject to maximum exploitation by vessels all over the world employing industrial oceanic gears with a huge fishing capacity. Special reference is made to the activity of the Spanish fleet, largely from Galicia, and to its evolution in recent decades characterised by maximum expansion. This knowledge of the history of the fishery has allowed us to carry out well-focused analyses. Included here are chronographs of the history of this fishery in its different stages of intensity. The key time periods are pointed out to shed light on the development of this activity, particularly in Spain, with reference to economic and social aspects which identify this subsector of the surface longline fishery as being strategic for Galicia, both economically and socially within the fishery sector as a whole. Recent catches in the Atlantic ranged from 30,000-40,000 tons/year, with the Galician-based fleet being the most important. Declared swordfish catches worldwide exceed 100,000 tons/year and over 65 countries acknowledge that they carry out intense fishing in the different oceans.*

*Some of the most relevant biological aspects of this species are reviewed to add to the scientific and fisheries-related knowledge on this species' most characteristic elements in terms of biology and behaviour. A summary is presented that includes aspects on its taxonomy, morphological characteristics, distribution areas, the fisheries targeting this species, its habitat and biology: growth, reproduction, feeding, parasites, etc.*

*There is an explanation and a discussion of the protocols used to obtain and process the basic scientific data provided by the activity of this commercial surface longline fleet and the specific procedures involved in the data processing. During the period under analysis, observations of roughly 16,000 trips by surface longliners targeting swordfish were made, accounting for an accumulated nominal effort of some 533 million hooks, which is equivalent to 251,000 fishing days with catches of around 3.5 million swordfish observed during this period. A study of these data led to the identification of different periods in terms of the fishing gear used and the fishing strategy followed. During the 1986-1998 period, it was found that the fleet had maintained a relatively stable type of fishing gear, while the 1998-2001 period marked the widespread use of the new type of longline. In addition, important changes in the target species of this fleet were seen, which affect the interpretation of the catch per unit of effort (CPUE) data. The use of GIS tools to conduct the descriptive and cartographic analyses of these data proved to be extremely useful in the subsequent modelling and interpretation of the CPUE data of the longline fleet. The CPUE analyses were developed from a combination of different georeferenced sources of information specifically set up for the scientific monitoring of the different fragments of the surface longline fleet.*

*The relative abundance of the Atlantic swordfish stocks (North and South) is assessed on the basis of the CPUE data obtained from the commercial surface longline fleet operating under the Spanish flag, most of the vessels having their base port and commercial activity in Galicia during the 1986-2001 period. In keeping with the established protocols and procedures to obtain and process this information for scientific purposes, methods of analysis are put forth and CPUE data are modelled by means of General Linear Models (GLM), taking into account the recent history of the fishery which could explain, to a large extent, the variability observed in the CPUE data.*

*The results would indicate that when using GLM techniques to model the CPUE with a view to obtain indicators of relative abundance, in addition to the traditional spatial and temporal factors or type of fishing gear, it is also advisable to consider other elements that might be able to explain possible across year changes in the fleet's exploitation pattern, such as, for example, changes in the fishing effort exerted on the target species. The intention of directing the fishing activity with greater or lesser intensity on one target species or another was found to be the most important factor in terms of accounting for the variability in swordfish CPUE during the period under study. The introduction of a factor that attempts to measure the intensity of the "directionality" of the fishery towards one species or another improves the fit of the model by 58% and suggests that the CPUE trend differs significantly from the nominal CPUE and from the pattern obtained using GLM processes that do not include this factor. This analytical approach has a great impact on the relatively optimistic perception of the state of the stock, as it assumes the standardised CPUE trend to be an indicator of the reactive abundance of the stock over the course of the years.*

*For the North Atlantic stock, standardised CPUE analyses were developed in both units of biomass as well as units of number of fishes by age. The two approaches complement each other since they facilitate the interpretation of the CPUE trends in biomass on the basis of the trends observed at the different ages and, particularly, from the observation of the annual level of recruits and of the subsequent ages. The recent increase in biomass observed in the North Atlantic swordfish stock after a long 12 year period marked by diminishing values, may be attributed to the favourable changes in the recruitment level during the most recent years, versus the previous time periods which were much less propitious.*

*The relative annual recruitment levels of the North Atlantic swordfish derived from the CPUE of age class 1 from 1983 to 2001 were tested to find out what the effects might be if their relationship was assumed with atmospheric indices (the winter NAO or NAOw index) and oceanographic indices like the Gulf Stream index (GSNW), among other intercorrelated indices. During the most recent decades, considerable contrasts have been observed between the phases of the NAOw and the GSNW, particularly as of the early 1970s, and more intensely, starting from the late 1980s, owing to the highly positive NAOw values from the 1970s until 1995, an unprecedented occurrence as compared to previous periods that were either analysed or reconstructed by paleoclimatology. As a result of the above, in some of the recent years, substantial movements were detected to the North of the Gulf Stream as well as changes in the dynamics -an unprecedented phenomenon in the records of the last few decades.*

*Other oceanographic phenomena linked to the important dynamics of the group of currents governing the NW Atlantic were also identified. During these periods, starting in 1970, usually with extremely positive NAOw and GSNW indices, swordfish recruitments remained generally low, with the exception of a few years exhibiting high recruitments which coincided with low NAOw values within this prevailing cycle of very positive values. A possible change, or variation at least, in the NAOw cycle that took place starting in the winter of 1995-1996, along with associated oceanographic changes in the NW Atlantic, might have been conducive to a new scenario in the annual recruitment pattern of the North Atlantic swordfish. After 1995, it reached the highest levels ever observed in the available series with fishery data, despite the fact that these years exhibited the lowest values of the series in terms of the abundance of the reproductive fraction of the stock.*

*On the basis of the assumption that there is a possible relationship between environmental indices and recruitment levels, perhaps these factors might be enough to explain the different phases in the absolute levels of the recruitments and biomass of a stock that has been simulated for a period of roughly 80 years, after verifying the possible positive vs. negative phases observed in the most recent decades for which fishery information is available. Also highlighted is the possible importance of some of the oceanographic indicators of the Northwest Atlantic linked to NAOw fluctuations, which may be of interest in conducting specific studies to explain*

*the cycles observed in the recruitments of this species. It is recommended that future environmental studies should focus preferably on oceanographic factors in the NW Atlantic linked to the NAOw. The Gulf Stream and other teleconnected oceanographic factors observed in these regions could play an crucial role in processes related to reproduction and/or recruitment of the North Atlantic swordfish stock, and consequently, affect their dynamics and biomass trend in the long term. The improvement observed in the recruitment patterns of the North Atlantic swordfish stock in the most recent years, may possibly be attributed to the environmental changes that began to occur as of 1996, even though the relative abundance of the parent stock exhibited its lowest value of the entire study period.*

*A specific experiment was designed and conducted during a total of 20 sets carried out on board a commercial surface longliner. The experiment evaluated the effectiveness of five different types of bait (natural, artificial and mixed) in catching swordfish. The results suggest that the natural bait traditionally used by the fleet is the most efficient. Substantial and significant differences were also found in the CPUEs obtained with the different types of bait tested. Moreover, the data indicate that there are very few mean differences –not statistically significant- between the CPUEs obtained using a natural bait (control) and a mixed bait consisting of artificial bait -whose efficiency was null in itself- on the outside with a piece of natural bait concealed from view on the inside. Both types of bait (control and mixed) were found to be efficient in catching swordfish despite the differences in constitution and properties. On the basis of these results, it is possible to make an indirect assessment of the importance of visual and olfactory stimuli in the ability of the swordfish to detect its prey and to make the decision to attack, suggesting that odor is the key factor responsible for this behaviour. The results suggest that it would be plausible to develop specific baits to capture swordfish made with subproducts of the fishery or low-cost species, as long as they bring together the appropriate combination of visual and olfactory stimuli.*

*The spatial and temporal variability of the sex-ratio at size (SRs) was studied on the basis of a total of 100,944 observations of the size and sex of swordfish specimens from broad regions of the Atlantic, gathered from 1986 onward. The geographic stratification of the data by sex would point to a non homogeneous distribution of males and females at the oceanic level. There is a predominance of females or a certain equilibrium between the sexes in the temperate regions. In some of the tropical and subtropical regions, however, males were clearly dominant in the catch. The Atlantic areas located at the highest latitudes as well as the coastal regions of Africa and those near the Gulf of Guinea show a prevalence of females. By contrast, in the warm waters of the West Atlantic males are more prevalent. The values for sex-ratio at size (SRs) vary considerably between the different regions analysed.*

*The different methods tested were able to detect the existence of characteristic groups or patterns of SRs in certain regions-seasons that were classified into three characteristic patterns or “biological regions”, defined as “spawning or reproduction”, “feeding” and “transition”. The pattern of “reproduction” is especially characteristic and is seen in warm water regions (tropical or subtropical) with a relatively deep thermocline, which is in keeping with the observation of intense reproductive processes. The SRs analyses restricted to sizes of 120-170 cm L<sub>JFL</sub> only, provided sufficient data to be able to identify these three biological regions. The regions defined as 07, 08 and part of 13, could be classified as zones having a reproduction pattern where males are predominant. Regions 04, 06, 09, 10, 93 and 05, would present a pattern that is typical of feeding areas, while regions 01, 03, 11, 09, 12, 92 and 02 would be considered as having a transition pattern. All of these patterns are defined by means of their respective equations.*

*With specific analyses of size and gonad weight carried out on 18,279 swordfish females, it was possible to calculate their gonad indices (IGI), structuring the information with the same definition of regions as used in the SRs analyses. The results allowed us to distinguish between regions where females did not undergo processes of maturation-reproduction and other*

regions in which these processes were, in fact, observed, regardless of whether they occurred frequently or sporadically. Seasonality was also taken into account. Female gonad indices show the relation between the size of the female and sea temperature. Females measuring less than 145 cm seldom have high IGI values regardless of their location. Females with a size greater than 145 cm LJFL may present high or low gonad index values, depending on the region and the season, although high gonad indices were only observed frequently in areas having temperatures ranging from 25°-29°C. The size-age of the female is just one of the many conditions required –but not sufficient in itself- to be able to trigger gonad development and maturation processes. Reproductive activity in females would appear to be related to the temperature of the epipelagic layers of the water in the westernmost regions of the Atlantic. Gonad maturation was not observed in the eastern-tropical regions even though they had similar surface water temperatures.

In the regions defined as 01, 02, 03, 12, 15 and 91, maturation-reproduction processes did not take place. In regions 06, 09, 93 and, particularly, 11, some sporadic processes of maturation-reproduction were observed. Regions 07, 08 and 13 exhibited intense maturation-reproduction activity. Hence, the areas comprising the western margin of the Atlantic between 10°N and 25°S and to the West of 10°W, are the zones where the strongest activity of gonad maturation in females was observed. A less intense activity was also seen in the adjacent areas farther to the South. The information gathered from the gonad indices made it possible to construct a three dimensional graphic model showing the reproductive behaviour of females in relation to spatial and temporal variables. The isotherm of 25°C at 50 metres depth would seem to be a better indicator of the potential areas used by the swordfish for reproduction than the SSTs.

The size at the onset of maturity in females ( $LJFL_{50}$ ) was estimated to be around 146 cm LJFL, which is equivalent to an age of roughly 3 or 4 years. This is lower than previous estimations made for the Atlantic and comes closer to the values defined for the Mediterranean. It would be advisable to estimate the size at the onset of maturity in females on the basis of females caught in regions where reproductive processes are more intense and more stable throughout the year, as is the case of regions 07 and 08. The maturity fraction of females is represented by  $p_m = 1 / (1 + e^{(-0.1398(LJFL-146.5))})$ .

The CPUE data by size class and sex show that males ranging in size from 125 to 165 cm LJFL account for male dominance in areas of intense reproductive activity, where they are between 9.5 and 11.2 times more abundant than females in this size range. These values would explain the SRs patterns observed in the regions described earlier as having “reproduction” patterns. The qualitative indicators of the gonad condition in females confirm the results obtained with the gonad indices.

The data related to gonad index, gonad condition and CPUEs by sex would corroborate the segregation of the Atlantic swordfish between different regions: intense reproduction, sporadic reproduction and no reproductive activity, as well as the partial segregation of this species by sex in terms of these processes and their being structured into biological regions, as the SRs data would suggest. While in regions having reproductive activity males are clearly dominant in the catch, particularly in certain size ranges, in the other regions there appears to be more of an equilibrium between the two sexes or a tendency of females to be more prevalent, especially in the trophic regions. The complex reproductive process of this species, which includes mating behaviour and possible courting rituals, might be able to shed light on some of the reasons for the migratory behaviour of this species and its partial stratification according to size and sex.

## RÉSUMÉ.

### ASPECTS BIOLOGIQUES ET HALIEUTIQUES DE L'ESPADON (*Xiphias gladius*, Linnaeus, 1758) DE L'OcéAN ATLANTIQUE, AVEC UNE RÉFÉRENCE SPÉCIALE AUX ZONES D'ACTIVITÉ DE LA FLOTTILLE ESPAGNOLE

*On a commencé les études biologiques et halieutiques de l'espadon de l'Atlantique en examinant l'histoire de la pêche à l'échelle mondiale et en faisant une référence spéciale à l'océan Atlantique, région à laquelle se limite ce travail. On a étudié l'histoire depuis l'époque où l'on utilisait des engins côtiers et des harpons jusqu'aux années récentes, qui se caractérisent par une exploitation maximale à l'échelle mondiale du fait de l'utilisation d'engins océaniques industriels d'une grande capacité de pêche, en faisant une référence spéciale à l'activité de la flottille espagnole, principalement galicienne, et à l'évolution que celle-ci a connue durant les récentes décennies d'expansion maximale. La connaissance de l'histoire a permis d'orienter certaines de ces analyses. On a apporté des chronogrammes de l'histoire de la pêche dans ses différentes phases d'intensité, on a signalé les époques déterminantes pour comprendre le développement de cette activité, en particulier en Espagne, en mentionnant certains aspects économiques et sociaux qui identifient la palangre de surface comme étant un sous-secteur stratégique pour la Galice en raison de son importance économique et sociale dans l'ensemble de son secteur halieutique. Les captures récentes de l'Atlantique ont fluctué entre 30 000-40 000 t/an, la flottille basée dans les ports de Galice étant la plus importante. Les captures déclarées d'espadon au niveau mondial dépassent 100 000 t/an et plus de 65 pays reconnaissent pratiquer une pêche intensive dans différents océans.*

*On a passé en revue certains des principaux aspects biologiques de cette espèce dans le but de faire connaître, dans les milieux halieutiques et scientifiques, les éléments biologiques les plus caractéristiques de cette espèce en ce qui concerne sa biologie et son comportement. On a résumé des aspects concernant sa taxonomie, ses caractéristiques morphologiques, ses aires de distribution, l'activité halieutique qui capture cette espèce, son habitat et sa biologie : croissance, reproduction, alimentation, parasites, etc.*

*On a expliqué et discuté les protocoles qui ont été suivis pour l'obtention et le traitement des données scientifiques de base provenant de l'activité de cette flottille commerciale de palangre de surface ainsi que les procédures spécifiques pour leur traitement. Pendant la période analysée, on a observé près de 16 000 opérations de palangriers de surface qui ont capturé de l'espadon, avec un effort nominal accumulé de 533 millions d'hameçons, équivalant à 251 000 journées de pêche, avec des captures observées pendant cette période d'environ 3,5 millions d'espadon. L'examen de ces données a permis d'identifier différentes périodes quant au type d'engin de pêche utilisé et à la stratégie de pêche suivie. On a constaté que la flottille a maintenu un engin relativement stable pendant la période 1986-1998, tandis que l'utilisation d'un nouveau type de palangre s'est généralisé dans les années 1998-2001. On a également identifié des changements importants dans l'espèce ou les espèces cible(s) de cette flottille, qui ont des implications sur l'interprétation des données de capture par unité d'effort (CPUE). L'utilisation d'instruments GIS dans les analyses descriptives et cartographiques de ces données s'est avérée très utile pour réaliser par la suite la modélisation et l'interprétation des données de CPUE de la flottille palangrière. Les analyses de CPUE ont été conçues à partir de la combinaison des différentes sources d'information géoréférencées, qui ont été établies de façon spécifique pour le suivi scientifique des différents fragments de flottille palangrière de surface.*

*L'abondance relative des stocks d'espadon de l'Atlantique (Nord et Sud) a été estimée à partir des données de CPUE obtenues auprès de la flottille commerciale de palangre de surface battant pavillon espagnol, dont la base et l'activité commerciale se situent principalement dans les ports de Galice, pendant la période 1986-2001. Les protocoles et les procédures établies pour l'obtention et le traitement de cette information à des fins scientifiques ont été utilisés pour*

*proposer des méthodes d'analyse et pour modéliser les données de CPUE en utilisant des modèles linéaires généralisés (GLM), en considérant l'histoire récente de la pêcherie qui pourrait expliquer, en grande mesure, la variabilité de la CPUE observée.*

*Les résultats montrent que, lorsqu'il s'agit de modéliser la CPUE à l'aide de techniques de GLM pour obtenir des indicateurs d'abondance relative, il convient de considérer, outre les traditionnels facteurs spatio-temporels ou relatifs au type d'engin de pêche, d'autres éléments qui peuvent expliquer les variations éventuelles enregistrées au fil des années dans le mode d'exploitation de la flottille, telles que les variations de l'intensité de pêche sur l'espèce ou les espèces ciblée(s). La volonté d'orienter l'activité halieutique avec plus ou moins d'intensité sur l'une ou l'autre espèce passe pour être le principal facteur pouvant expliquer la variabilité de la CPUE de l'espadon pendant la période analysée. L'introduction d'un facteur capable d'approcher la mesure de l'intensité de l'« orientation » de la pêche sur l'une ou l'autre espèce améliore de 58% le degré d'ajustement du modèle et suggère une tendance de la CPUE qui est significativement différente de la CPUE nominale et de celle qui est obtenue à l'aide des processus GLM qui n'incluent pas ce facteur. Cette approche analytique a des effets importants sur la perception plus ou moins optimiste de l'état du stock étant donné que la tendance de la CPUE standardisée a été considérée au fil des années comme un indicateur de l'abondance relative du stock.*

*Pour le stock de l'Atlantique Nord, on a développé des analyses de CPUE aussi bien en unités de biomasse qu'en unités de nombre de poissons par âge. Ces deux approches montrent une complémentarité en permettant l'interprétation des tendances de la CPUE en biomasse à partir des tendances observées aux différents âges et, en particulier, à partir de l'observation du niveau annuel des recrutements et des âges suivants. Les récentes augmentations de la biomasse du stock d'espadon de l'Atlantique Nord, observées après une longue période de 12 ans de diminutions continues, s'expliquent par des changements favorables survenus dans le niveau des recrutements durant les années les plus récentes par rapport à des périodes antérieures nettement moins favorables.*

*Les niveaux relatifs de recrutement annuel de l'espadon de l'Atlantique Nord, obtenus à partir de la CPUE de l'âge 1 entre les années 1983 et 2001, ont été utilisés pour imaginer les effets que pourrait entraîner le fait d'assumer leur relation avec des indices atmosphériques (indice NAO d'hiver ou NAOw) et océanographiques tels que l'indice du Courant du Golfe (GSNW), parmi d'autres indices ayant une corrélation entre eux. Pendant les décennies récemment écoulées, on a observé des contrastes considérables entre les phases de la NAOw et du GSNW, surtout à partir du début des années soixante-dix du siècle dernier et, de façon plus intense, à partir de la fin des années quatre-vingts, en raison des valeurs hautement positives de la NAOw enregistrées depuis les années soixante-dix jusqu'en 1995, qui sont sans précédents dans les périodes observées antérieures ou reconstruites par la paléoclimatologie. Ceci a permis d'observer, durant certaines années récentes, des déplacements très importants du courant du Golfe vers le nord et des changements dans sa dynamique, qui sont sans précédents dans les registres des dernières décennies.*

*On a également identifié d'autres phénomènes océanographiques liés à l'importante dynamique de l'ensemble des courants existant dans l'Atlantique NW. Durant ces périodes, à partir de 1970, en général en présence d'indices NAOw et GSNW très positifs, les recrutements d'espadon se sont maintenus en général à des niveaux faibles, sauf durant quelques rares années qui ont connu des recrutements élevés coïncidant avec des valeurs basses de la NAOw dans ce cycle général très positif. Le changement possible du cycle de la NAOw, ou du moins sa modération, qui s'est produit à partir de l'hiver 1995-1996, ainsi que les changements océanographiques qui y sont associés dans l'Atlantique NW, pourraient avoir favorisé un nouveau scénario dans le mode de recrutement annuel de l'espadon de l'Atlantique Nord qui a atteint, après 1995, les niveaux les plus élevés observés dans la série disponible avec des*

*données des pêcheries, malgré le fait qu'on ait observé, durant ces années, des valeurs plus faibles de la série dans l'abondance de la fraction reproductrice du stock.*

*Partant de l'hypothèse visant à établir une relation éventuelle entre les indices environnementaux et les niveaux de recrutement, il se pourrait que ces facteurs soient suffisants pour expliquer les différentes phases existant dans les niveaux absolus des recrutements et de la biomasse d'un stock simulé pendant une période d'environ 80 ans, en vérifiant les éventuelles phases positives et négatives observées dans les décennies plus récentes pour lesquelles on dispose d'informations provenant des pêcheries. On signale en outre l'importance que pourraient avoir certains indicateurs océanographiques de l'Atlantique Nord-ouest liés aux fluctuations de la NAOw, qui pourraient être un sujet d'étude intéressant afin d'expliquer les cycles observés dans les recrutements de cette espèce, et on recommande de centrer les futures études environnementales de préférence sur des facteurs océanographiques de l'Atlantique NW liés à la NAOw. Le courant du Golfe et d'autres facteurs océanographiques téléconnectés, observés dans ces régions, pourraient jouer un rôle capital dans les processus de reproduction et/ou de recrutement du stock d'espadon de l'Atlantique Nord et, par conséquent, dans sa dynamique et dans la tendance de sa biomasse à long terme. L'amélioration observée durant les années les plus récentes dans les modes de recrutement du stock d'espadon de l'Atlantique Nord pourrait peut-être être due à des changements environnementaux survenus à partir de 1996, même si l'abondance relative du stock reproducteur a été l'une des plus faibles qui a été observée pendant toute la période analysée.*

*Une expérience a été menée de façon spécifique pendant un total de 20 calées réalisées à bord d'un palangrier de surface commercial où l'on a évalué l'efficacité des différents types d'appât utilisés pour la capture de l'espadon. On a essayé 5 types d'appât (naturel, artificiel et mixte). Les résultats montrent que l'appât naturel utilisé traditionnellement par la flottille est le plus efficace et suggère l'existence de différences considérables et significatives entre les CPUE obtenues avec les différents types d'appât testés. Les données indiquent en outre de faibles différences moyennes, statistiquement non significatives, entre les CPUE obtenues en utilisant un appât naturel (témoin) ou un appât mixte composé d'un appât artificiel à l'extérieur, d'une efficacité nulle en soi, auquel l'on a ajouté à l'intérieur une partie non visible d'appât naturel. Ces deux types d'appât (témoin et mixte) se sont révélés efficaces dans la capture de l'espadon malgré leur différence de constitution et de propriétés. Les résultats obtenus permettent d'évaluer indirectement l'importance des stimulants visuels et de l'odeur dans la détection et la décision de l'espadon d'attaquer ses proies, en suggérant que l'odeur est un élément clef de ce comportement. Les résultats suggèrent qu'il est envisageable de développer des appâts spécifiques pour la capture de l'espadon à partir de sous-produits de la pêche ou d'espèces peu coûteuses de sorte à conjuguer de façon appropriée les stimulus visuels et olfactifs.*

*On a étudié la variabilité spatiale et temporelle du sex-ratio par taille (SRs) à partir d'un total de 100 944 observations de taille et sexe de l'espadon provenant de vastes régions de l'Atlantique, qui ont été obtenues à partir de 1986. La stratification géographique des données par sexe montre une distribution non homogène des deux sexes au niveau océanique. Ainsi, les régions tempérées révèlent une prédominance des femelles ou un certain équilibre entre les deux sexes. Ceci dit, on observe dans certaines régions tropicales et subtropicales une claire prédominance des mâles dans la capture. Les zones atlantiques de plus grande latitude ainsi que les régions côtières de l'Afrique et proches du Golfe de Guinée révèlent une nette prédominance des femelles. Par contre, on observe une prédominance évidente des mâles dans les zones d'eaux chaudes de l'Atlantique Ouest. Les valeurs du sex-ratio par taille (SRs) indiquent une grande variabilité entre les différentes régions analysées.*

*Les différentes méthodes essayées ont détecté l'existence de groupes ou schémas caractéristiques de SRs dans certaines régions-époques qui ont pu être classés dans trois schémas caractéristiques ou « régions biologiques », définies comme de « ponte ou reproduction », d'« alimentation » et de « transition ». Le schéma du type « reproduction » est*

particulièrement caractéristique et est présent dans des régions d'eaux chaudes (tropicales ou subtropicales) avec une thermocline relativement profonde, coïncidant avec l'observation de processus de reproduction intenses. Les analyses de SRs limités aux tailles 120-170 cm LJFL ont permis d'identifier ces trois régions biologiques. Les régions définies comme 07, 08 et, en partie, la 13, pourraient être cataloguées comme des zones ayant un schéma de reproduction dans lesquelles prédomine la présence des mâles. Les régions 04, 06, 91, 10, 93 et 05 présenteraient un schéma propre aux zones d'alimentation, tandis que les régions 01, 03, 11, 09, 12, 92 et 02 auraient un schéma de transition. Chacun de ces schémas est défini à l'aide de ses équations respectives.

Des analyses spécifiques de la taille et du poids gonadique réalisées sur 18 279 femelles d'espadon ont permis d'obtenir leurs indices gonadiques (IGI) en structurant l'information avec la même définition des régions que dans les analyses de SRs. Les résultats permettent de faire la distinction entre les régions dans lesquelles il n'y a pas de processus de maturation-reproduction des femelles et celles où l'on observe ces processus, d'une façon fréquente ou sporadique, ainsi que leur caractère saisonnier. Les indices gonadiques des femelles montrent leur relation avec la taille de la femelle et avec la température de la mer. Des femelles de moins de 145 cm présentent rarement des valeurs élevées de IGI, indépendamment de leur situation. Les femelles ayant des tailles de plus de 145 cm LJFL peuvent présenter des indices gonadiques élevés ou bas, selon la région et l'époque, même si les indices gonadiques élevés ne sont observés de manière fréquente que dans des zones offrant des températures comprises dans la plage 25°-29°C. La taille par âge de la femelle n'est qu'une condition nécessaire, mais pas suffisante, pour pouvoir déclencher les processus de développement et de maturation gonadique. L'activité reproductive des femelles semble être liée à la température existant dans les couches epipelagique de la mer des régions les plus occidentales de l'Atlantique, dès lors que la maturation gonadique n'a pas été observée dans les régions tropicales-orientales malgré qu'elles aient une température superficielle semblable.

Les régions définies sous les codes 01, 02, 03, 12, 15 et 91 ne présentent pas de processus de maturation-reproduction. Dans les régions 06, 09, 93 et surtout dans la région 11, on observe certains processus sporadiques de maturation-reproduction. Les régions 07, 08 et 13 révèlent d'intenses processus de maturation-reproduction. Par conséquent, les zones comprises, sur la frange occidentale de l'Atlantique, entre 10°N et 25°S et à l'ouest de 10°W, sont celles dans lesquelles on observe la plus grande activité de maturation gonadique des femelles et une moindre activité dans les zones adjacentes situées plus au sud. L'information des indices gonadiques a permis de construire un modèle graphique tridimensionnel de comportement reproducteur des femelles en fonction des variables spatio-temporelles. L'isotherme de 25°C à 50 mètres de profondeur semble être un meilleur indicateur des zones potentielles de reproduction de l'espadon que les SST.

La taille de la première maturité des femelles ( $LJFL_{50}$ ) a été estimée à 146 cm LJFL, équivalant à l'âge de 3 ou 4 ans, ce qui réduit cette estimation par rapport aux estimations antérieures pour l'Atlantique et s'approche des valeurs définies pour la Méditerranée. On recommande d'aborder l'estimation de la taille de première maturité des femelles à partir des femelles capturées dans des régions où les processus de reproduction sont plus intenses et stables au long de l'année, comme c'est le cas dans les régions 07 et 08. La fraction de maturité des femelles serait représentée par  $p_m = 1 / (1 + e^{(-0,1398(LJFL-146,5)})}$ .

Les données de CPUE par classe de taille et sexe désignent les mâles entre 125 et 165 cm LJFL comme étant responsables de la prédominance des mâles dans les zones de reproduction intense, qui sont de 9,5 à 11,2 fois plus abondants que les femelles de ces tailles. Ces valeurs justifient les schémas de SRs qui ont été observés dans les régions de type « reproduction » décrites plus haut. Les indicateurs qualitatifs de l'état gonadique pour les femelles confirment les résultats obtenus à l'aide des indices gonadiques.

*Resúmenes.*

*Les données de l'indice gonadique, de l'état gonadique et des CPUE par sexe corroborent la ségrégation de l'espadon de l'Atlantique entre des régions de reproduction intense, de reproduction sporadique et d'absence de reproduction, ainsi que la ségrégation partielle par sexe de cette espèce dans ces processus et sa structuration en régions biologiques comme le suggéraient les données des SRs. Si, dans les régions présentant une activité de reproduction, les mâles sont clairement prédominants dans la capture, surtout dans certaines classes de tailles, dans les autres régions, la distribution entre sexes est plus équilibrée ou penche en faveur des femelles, en particulier dans les régions tropicales. Le processus complexe de reproduction de cette espèce, dans lequel il faut inclure les comportements d'accouplement, pourrait être une des raisons qui expliqueraient le comportement migratoire de cette espèce et sa stratification partielle selon les tailles-sexes.*

## **LISTA DE TABLAS Y FIGURAS**



## **LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.**

### **LISTA DE TABLAS.**

Tabla 1. Resultados de diversos estudios de crecimiento publicados para el pez espada del Atlántico (según ESTEVES *et al.*, 1995). Página 11.

Tabla 2. Resumen de la información anual obtenida como consecuencia del seguimiento científico de la actividad de la flota de pez espada (*Xiphias gladius*) durante el periodo 1986-2001, para las flotas tradicionales que faenan en el Atlántico Norte (estratos 1 y 2) y para la flota congeladora de larga distancia que faena en el Atlántico Sur (estrato 3). Página 41.

Tabla 3. Número de observaciones (mareas o submareas = 7332), por año, área y trimestre (Q), consideradas en los GLM finales del pez espada del Atlántico Norte. Los datos de 1986 a 1998 fueron usados en los análisis exploratorios para definir el modelo más adecuado, luego extendido hasta el año 2001. Página 54.

Tabla 4. Número de observaciones (arriba) e importancia relativa de cada tipo de ratio (abajo), por año y para cada categoría de “ratio” en intervalo de 10%, usadas en los análisis de GLM de CPUE en biomasa para el Atlántico Norte, aplicando el modelo 2 que incluye el efecto de direccionamiento de la pesca. (R1= % de SWO entre 0-10%,..., R10= % de SWO entre 90-100%). Página 55.

Tabla 5. Número de observaciones (mareas o submareas = 3399), por año, área y trimestre (Q) consideradas en los GLM finales del pez espada del Atlántico Sur aplicando el modelo 2 definido como más apropiado para el Atlántico Norte, que incluye “ratios”, extendido hasta el año 2000. Página 56.

Tabla 6. Resumen del ANOVA obtenido para el procedimiento GLM realizado para los datos de CPUE del Atlántico Norte y aplicando el *modelo 1* a los datos del periodo 1986-1998. Página 57.

Tabla 7. Resumen del ANOVA obtenido para el procedimiento GLM realizado para los datos de CPUE del Atlántico Norte y aplicando el *modelo 2*, que incluye el factor ‘ratio’ a los datos del periodo 1986-1998. Página 58.

Tabla 8. Parámetros estimados mediante GLM, error estándar, CPUE relativa en biomasa kg peso vivo (CPUw) y límites del intervalo de confianza (95%), obtenidos usando el *modelo 1* (arriba) o el *modelo 2* (abajo), para el periodo de años (YR) 1986-1998. Página 59.

Tabla 9. Resumen de los diagnósticos estadísticos básicos de los diferentes ANOVA obtenidos bajo los procedimientos GLM aplicados a los datos de CPUE, en biomasa usando el *modelo 2*, y por edad usando el *modelo 1*, para el periodo 1986-2001 (Atlántico Norte) y en biomasa usando el *modelo 2* para el periodo 1986-2000 (Atlántico Sur). Página 63.

Tabla 10. Resumen de los estadísticos básicos (dato) del esfuerzo de pesca ejercido (en número de anzuelos largados) y de las CPUEn y CPUew, para los cinco cebos (batí) ensayados durante el experimento. Página 108.

Tabla 11. Resultados obtenidos del análisis de ANOVA- Multiple Range Test, para los valores de LN(CPUEn+1) y LN(CPUew+1), para cada tipo de cebo usado (bait), homogeneidad entre cebos y contraste entre pares de cebos. El “\*” en la columna “diferencia” indica una diferencia significativa, al nivel de 95%, entre los pares de cebos contrastados. La alineación

vertical del signo “x” en la columna “grupo homogéneo” indica homogeneidad entre grupos. Página 109.

Tabla 12. Valores de sex-ratio global (SRo) y sex-ratio por clase de talla en porcentaje (SRs) obtenidos a partir de 65.346 observaciones talla-sexo muestreadas entre los años 1986 y 1993 y comprendidas entre las tallas 115-200 cm, para cada uno de los estratos de región-semester definidos (según MEJUTO *et al.*, 1994). Página 116.

Tabla 13. Valores de sex ratio global (SRo) y sex-ratio por clase de talla en porcentaje (SRs) obtenidos para los estratos de región-semester definidos, a partir de 111.816 observaciones de talla-sexo muestreadas entre los años 1986 y 1994 (según MEJUTO *et al.*, 1995). Página 120.

Tabla 14. Clusters sugeridos para el conjunto de estratos “región-semester” definidos. Se incluyen observaciones del Atlántico, Mediterráneo, Índico y Pacífico entre 1986 y 1994. Cuando en la tabla se incluye sólo “región”, indica que ambos periodos semestrales están incluidos en el mismo cluster. Las regiones subrayadas corresponden al Índico o al Pacífico (tomado de MEJUTO *et al.*, 1995). Página 123.

Tabla 15. Número de observaciones por sexo y clase de talla de los peces espada muestreados entre los años 1986 y 1999 en cada una de las regiones definidas en el Atlántico y que fueron usadas en los análisis finales. Los datos de las regiones 91, 92 y 93 fueron aportados por otros autores. F = hembras. M = machos. Página 124.

Tabla 16. Sex-ratios globales (SRo) y sex ratio por clase de talla en porcentaje (SRs), y sus respectivos valores medios, para cada clase de talla considerada (110 - 215 cm LJFL), para cada una de las 16 regiones definidas y para ambos semestres combinados. Página 127.

Tabla 17. Clusters sugeridos a partir de los valores SRs para el conjunto de regiones definidas en el Atlántico, usando observaciones acumuladas entre los años 1986 y 1999, para el rango de tallas 110-215 (ver figuras 84, 85 y 86 para más información). Página 129.

Tabla 18. Clusters sugeridos a partir de los valores SRs para el conjunto de regiones definidas en el Atlántico, usando observaciones acumuladas entre los años 1986 y 1999, para el rango de tallas 110-215 (ver figuras 87, 88 y 89 para más información). Página 129.

Tabla 19. Ecuaciones representativas de los patrones de SRs medios para las regiones biológicas definidas y sus correspondientes coeficientes de determinación. No se incluye la región 92 en estos cálculos. Página 135.

Tabla 20. Número de hembras observadas para los análisis de índices gonadales, por clase de talla de 5 cm (LJFL cm), por región (R) y total combinado. Página 142.

Tabla 21. CPUE en número (CPUE<sub>n</sub>), CPUE en peso (CPUE<sub>w</sub>), por sexo. Ratios entre CPUEs por sexo (machos/hembras), por región y para cada uno de los cuatro rangos de talla definidos: CPUEL1 = (50 ≤ LJFL < 125), CPUEL2 = (125 ≤ LJFL < 170), CPUEL3 = (170 ≤ LJFL < 205), CPUEL4 = (205 ≤ LJFL ≤ 350). Machos = "M", Hembras = "F". Página 157.

## LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Virado de grandes peces espada durante las actuales faenas de pesca en un palangrero de superficie español. Página 3.

Figura 2. Aspecto de un adulto de pez espada de aproximadamente 150 cm de talla, desde mandíbula inferior hasta la horquilla caudal (arriba), esqueleto (medio) y detalle vertebral (abajo). Página 5.

Figura 3. Larvas de pez espada: (A) 7,8 mm SL; (B) 14,5 mm SL; (C): 27,2 mm SL; (D) 68,8 mm SL; (E) 252 mm BL (longitud desde la parte posterior de la orbita a la base de la aleta caudal); (F) 580 mm BL. Los especímenes A, B, C y D fueron tomados de ARATA (1954); E y F son tomados de NAKAMURA *et al.* (1951). (Dibujo y pie tomado de PALKO *et al.*, 1981).

Larvas de pez espada: (A) 7.8 mm SL; (B) 14.5 mm SL; (C): 27.2 mm SL; (D) 68.8 mm SL; (E) 252 mm BL (longitud desde la parte posterior de la orbita a la base de la aleta caudal); (F) 580 mm BL. Los especímenes A, B, C y D son tomados de ARATA (1954); E y F son tomados de NAKAMURA *et al.*, (1951). (Dibujo tomado de PALKO *et al.*, 1981). Página 6.

Figura 4. Área de distribución del pez espada (*Xiphias gladius*), cubriendo las áreas de distribución más frecuentes entre 50° N y 50° S y otras áreas de presencia conocida aunque más esporádica. Las mayores latitudes son alcanzadas por grandes individuos, generalmente hembras. Página 7.

Figura 5. La pesca del pez espada con arpón, en Nueva Inglaterra (izquierda) y en el Mar Mediterráneo (derecha), sobre el año 1880 (tomado de GOODE, 1883). Página 8.

Figura 6. Diseño simplificado de una línea multi-anzuelos, precursora del arte de palangre, usada originalmente para la captura de pez espada, túnidos y otras especies (derecha). Simplificación de un palangre de superficie derivante usado por la flotas que capturan pez espada en las décadas más recientes (izquierda), (tomado de FAO.org). Página 9.

Figura 7. Esquema de un palangre de superficie moderno (izquierda, cortesía de New Zealand Fishing Industry Board) e izado de un pez espada por un palangrero español pescando en el Atlántico Sur (derecha). Página 9.

Figura 8. Gónadas de peces espada de ambos sexos, sobre 150 cm de talla LJFL. (A): gónadas femeninas de unos 300 gramos ambas (arriba) y gónadas masculinas (abajo). (B): corte transversal de una gónada femenina en estado de reposo (no madura). (C) corte transversal de una gónada masculina en estado de reposo (no madura). Página 12.

Figura 9. Corte transversal de una gónada de unos 5 kg, perteneciente a un pez espada hembra de unos 180 cm LJFL, conteniendo millones de huevos maduros. Página 12.

Figura 10. Algunos de los tipos de presas observados en los contenidos estomacales del pez espada, incluyendo en ocasiones a juveniles de su propia especie (arriba, derecha). Página 14.

Figura 11. Ejemplar de *Isistius* (arriba izda.), detalle de su mandíbula (abajo izda.) y pez espada mostrando múltiples mordeduras de *Isistius*, alguna de ellas incompleta o fallida (derecha). Página 15.

Figura 12. Parte exterior visible de *Pennella instructa* sobre la piel de un pez espada (izda.) y dibujo de su estructura corporal una vez sacada de un pez espada (derecha). Página 16.

Figura 13. Capturas históricas mundiales de pez espada (*Xiphias gladius*) en los océanos Atlántico, Índico, Pacífico y en el Mar Mediterráneo. (Fuentes FAO-ICCAT). Página 18.

Figura 14. Serie histórica de capturas totales de pez espada (*Xiphias gladius*) obtenidas en los stocks Atlántico Norte y Atlántico Sur (separados ambos por el paralelo 5° latitud Norte), indicando las capturas (desembarcos y descartes) efectuadas por los países más activos en la pesquería y estimaciones de los respectivos rendimientos máximos sostenibles. Fuente de datos de ICCAT. Los datos de España proceden originalmente de las estimaciones científicas realizadas por el Instituto Español de Oceanografía. (RMS: nivel estimado de rendimiento máximo sostenible) (ANÓNIMO, 2000). Página 20.

Figura 15. Evolución histórica de décadas recientes en las que se produjo el proceso expansivo de la pesquería española de pez espada en el Atlántico Norte, mostrando el intenso desarrollo sufrido durante la década de los 1980 (MEJUTO *et al.*, 1989). (A): Niveles de capturas anuales (flotas combinadas) y por flotas más importantes en Atlántico Norte. Importancia relativa de la captura de la flota con base en Galicia sobre las capturas anuales durante el periodo 1960-1985. (B): Niveles de esfuerzo nominal (miles de anzuelos) aplicado anualmente por la flota española de pez espada en el Atlántico Norte, durante el periodo 1973-1985. Página 22.

Figura 16. Desembarcos de pez espada (*X. gladius*), foto izquierda, y quella (*P. glauca*), foto derecha, realizados por barcos de fresco en el principal puerto de desembarco de estas especies (A Coruña) a inicios de la década de los 1980. Página 23.

Figura 17. Flota tradicional de fresco, luego reconvertida mayoritariamente a barcos más modernos con casco de hierro, que realizan pesca en fresco o mixta preferente en caladeros del Atlántico Norte (izquierda). Barco tipo congelador, o de larga distancia, con mayor autonomía y con actividad prioritaria en el Atlántico Sur y otros océanos (derecha). Página 24.

Figura 18. Desembarcos de pez espada (*X. gladius*), foto izda, y quella (*P. glauca*), foto derecha, en el principal puerto de desembarco de estas especies (Vigo), flota de fresco, año 2003 (fotos A. Ramos-Cartelle). Página 25.

Figura 19. Resumen de los acontecimientos más relevantes en la historia de la pesquería del pez espada, a nivel mundial. Página 29.

Figura 20. Resumen de los acontecimientos más relevantes en la historia de la pesquería del pez espada, a nivel del Atlántico Norte y Sur. Página 30.

Figura 21. Estimación del valor en primera venta de capturas de los recursos vivos marinos capturados por diferentes subsectores-pesquerías de flotas gallegas en el año 2003: marisqueo, bajura, Gran Sol, gran altura en Atlántico Norte, gran altura en Atlántico Sur y palangre de superficie (A. Fernández, com. per.). Página 32.

Figura 22. Esquema general del flujo metodológico empleado en la obtención de datos para los objetivos propuestos. Página 34.

Figura 23. Mapa de las áreas definidas en los análisis preliminares de GLM. Algunas áreas del Atlántico Sur debieron combinarse en los análisis finales para optimizar la representación de las observaciones. Página 40.

Figura 24. Indicadores generales de la pesquería de pez espada del Atlántico, durante la serie histórica 1986-2001, para cada tipo de flota, tradicional y congeladora. (A) Número medio de anzuelos largados por lance y año. (B) Captura por unidad de esfuerzo (CPUE nominal) en kilos (peso vivo) de pez espada por cada mil anzuelos largados. (C) Ratio anual (% anual) de pez espada desembarcado con relación a la combinación de ambas especies actualmente objetivo

(pez espada y quella). (D) Dato global anual de desembarco por unidad de esfuerzo (LPUE) de *Prionace glauca*. (Ver tabla 1 para mayor detalle). Página 43.

Figura 25. Número de peces espada desembarcados por la flota de palangre de superficie de España durante el año 2000. Página 44.

Figura 26. Desembarcos de pez espada en peso (toneladas) realizados por la flota de palangre de superficie de España durante el año 2000. Página 44.

Figura 27. Esfuerzo nominal de pesca, en miles de anzuelos, largados por la flota de palangre de superficie de España durante el año 2000. Página 44.

Figura 28. Esfuerzo nominal (en miles de anzuelos largados) de las mareas muestreadas en la flota palangrera española de pez espada en el océano Atlántico, por cuadrículas de 5°x5°, en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente. Página 45.

Figura 29. CPUE nominal. Desembarco en número de peces por miles de anzuelos largados de las mareas muestreadas de la flota española de palangre de superficie de pez en el océano Atlántico, para peces con tallas <125 cm (LJFL), por cuadrículas de 5°x5°, primer trimestre (**Q1**), en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente. Página 46.

Figura 30. CPUE nominal. Desembarco en número de peces por miles de anzuelos largados de las mareas muestreadas de la flota española de palangre de superficie de pez en el océano Atlántico, para peces con tallas <125 cm (LJFL), por cuadrículas de 5°x5°, segundo trimestre (**Q2**), en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente. Página 47.

Figura 31. CPUE nominal. Desembarco en número de peces por miles de anzuelos largados de las mareas muestreadas de la flota española de palangre de superficie de pez en el océano Atlántico, para peces con tallas <125 cm (LJFL), por cuadrículas de 5° x 5°, tercer trimestre (**Q3**), en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente. Página 48.

Figura 32. CPUE nominal. Desembarco en número de peces por miles de anzuelos largados de las mareas muestreadas de la flota española de palangre de superficie de pez en el océano Atlántico, para peces con tallas <125 cm (LJFL), por cuadrículas de 5°x5°, cuarto trimestre (**Q4**), en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente. Página 49.

Figura 33. Porcentaje de individuos menores de 125 cm LJFL desembarcados, en relación con el desembarco en número (todas las tallas combinadas), por cuadrículas 5°x5°, para el primer trimestre (**Q1**), en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente. Página 50.

Figura 34. Porcentaje de individuos menores de 125 cm LJFL desembarcados, en relación con el desembarco en número (todas las tallas combinadas), por cuadrículas 5°x5°, para el segundo trimestre (**Q2**), en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente. Página 51.

Figura 35. Porcentaje de individuos menores de 125 cm LJFL desembarcados, en relación con el desembarco en número (todas las tallas combinadas), por cuadrículas 5° x 5°, para el tercer trimestre (**Q3**), en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente. Página 52

Figura 36. Porcentaje de individuos menores de 125 cm LJFL desembarcados, en relación con el desembarco en número (todas las tallas combinadas), por cuadrículas 5°x5°, para el cuarto trimestre (**Q4**), en los años 1995, 1998, 1999 y 2000, respectivamente. Página 53.

Figura 37. Tendencia de la CPUE estandarizada (kg peso vivo por cada mil anzuelos largados) e intervalos de confianza (95%) obtenidos a partir de la aplicación de dos modelos alternativos de GLM (*modelo 1* vs. *modelo 2*) a las observaciones de CPUE obtenidas de la pesquería

española de pez espada en el Atlántico Norte usando el palangre tradicional, durante el periodo 1986-1998. Página 60.

Figura 38. Evolución del número relativo (%) de observaciones anuales con ratios de pez espada comprendidos entre el 70% (R7) y 100% (R10) en relación al número de observaciones totales anuales disponibles durante el periodo 1986-1998 (ver tabla 4 para información adicional). Página 60.

Figura 39. CPUE nominal media anual de pez espada (en kg peso vivo) para el periodo 1986-1998, observada en cada categoría de "ratio" definida (en categorías de 10%). Página 61.

Figura 40. Comparación gráfica de las tendencias de CPUE entre los años 1986-1998: CPUE nominal vs. CPUE estandarizadas obtenidas mediante GLM, modelos 1 y 2, respectivamente. Los valores han sido re-escalados sobre sus respectivos máximos para facilitar la comparación. Página 62.

Figura 41. Cambio anual de las tasas de captura estandarizadas (CPUE estandarizada) en kilogramos por cada mil anzuelos largados de la flota española de palangre de superficie de pez espada, en el océano Atlántico Norte (izquierda) y Atlántico Sur (derecha), usando un *modelo 2* e intervalos de confianza (95%). Los histogramas dentro de las gráficas indican las distribuciones de residuos estandarizados obtenidas. Página 64.

Figura 42. Cambio anual de las tasas de captura estandarizadas (CPUE estandarizada) en número de peces por edad, por cada mil anzuelos largados, de la flota española de palangre de superficie de pez espada, en el Océano Atlántico Norte usando un *modelo 1*, e intervalos de confianza del 95% (líneas punteadas). Página 65.

Figura 43. Diagrama de los principales factores que afectarían a la vida y al comportamiento del pez espada y a sus regiones biológicas consideradas (alimentación, reproducción y transición). En las zonas de reproducción, la abundancia de los machos suele ser varias veces superior a la abundancia de las hembras. (m) = procesos migratorios entre regiones biológicas. (Figura tomada y traducida de MEJUTO, 1999). Página 70.

Figura 44. Hipótesis de los factores medioambientales, bióticos y abióticos, que afectan a las estrategias y a las tácticas reproductivas del pez espada y a sus valores absolutos de reclutamiento anual. SSBp= biomasa potencialmente reproductora del stock. SATp= áreas-épocas potencialmente aptas para la reproducción. SSBe= biomasa efectiva del stock reproductor. M= mortalidad natural. m= procesos migratorios. (Figura tomada y traducida de MEJUTO, 1999). Página 71.

Figura 45. Evolución del índice de Oscilación del Atlántico Norte (NAO) entre 1862 y 1998 (arriba) y situaciones atmosféricas resumidas de sus fases negativa (abajo izquierda) y positiva (abajo derecha), (según <http://www.ldeo.columbia.edu/>). Página 75.

Figure 46. Valores medios mensuales (línea azul) y anuales (línea roja) del Índice de la Corriente del Golfo (índice GSNW). Según <http://www.pml.ac.uk/gulfstream/Position%20of%20Gulf%20Stream.pdf>. Página 80.

Figura 47. Tendencias en el reclutamiento anual (CPUE1) –arriba– y de la fracción reproductora del stock (CPUE5+) –abajo– del pez espada del Atlántico Norte, en número de peces, durante el periodo inicial 1983-1998. Valores medios anuales (línea continua) y sus respectivos intervalos de confianza del 95% (línea punteada). Página 83.

Figura 48. Relación entre el número de reproductores (CPUE5+) en el año  $y$  y con sus reclutamientos anuales respectivos (CPUE1) en el año  $y+1$ . Página 84.

Figura 49. Tendencias del índice invernal de NAO (NAOw) durante el periodo 1900-1998. A: variabilidad multianual (media móvil de 3 años). B: variabilidad multidecadal (ajuste polinómico de sexto grado). Página 85.

Figura 50. Valores del índice invernal NAO (NAOw) durante el periodo 1980-1997 (año  $y$ ), suavización polinómica de NAOw e índice de reclutamiento (CPUE1), entre los años 1983-1998. Página 86.

Figura 51. Ajuste polinómico de tercer grado de los pares de valores de NAOw entre los años 1982-1997 (año  $y$ ) y los reclutamientos (CPUE1) del periodo inicial analizado 1983-1998 (año  $y+1$ ). Página 87.

Figura 52. Valores esperados de CPUE1 estandarizada (línea continua) del pez espada del Atlántico Norte en relación con el índice invernal de NAO (NAOw) un año antes, usando una regresión suavizada tipo “loess” para el ajuste de los pares de valores observados (círculos). Los periodos de NAO y CPUE1 considerados fueron los mismos de la figura 51. Página 87.

Figura 53. Reclutamientos anuales esperados entre 1900 y 1998 (línea azul) y fases multidecadas (línea gruesa negra) asumiendo la relación obtenida entre el índice invernal de NAO (NAOw) y los reclutamientos anuales. Página 88.

Figura 54. Tendencias de la población simulada en el periodo entre 1920-1998, en número de peces de edades 0-15 años (escala izquierda) y de edades 5-15 años (escala derecha). Página 89.

Figura 55. Tendencias de la población simulada en el periodo entre 1920-1998, en biomasa absoluta, de las edades entre 0-15 años y entre 5-15 años, respectivamente. Página 89.

Figura 56. Tendencias de la población simulada, durante el periodo 1920-1998, en biomasa relativa, reescalada sobre sus respectivos valores medios, para las edades entre 0-15 años y entre 5-15 años, respectivamente. Página 90.

Figura 57. Tendencias del peso medio anual de la población simulada, durante el periodo 1920-1998 para las edades entre 0-15 años. Página 90.

Figura 58. Tendencias de la fracción reproductora del stock, en número de peces, para una población simulada no sometida a explotación pesquera (línea negra) y para la fracción reproductora (peces de edades 5+) a partir de la CPUE de la flota comercial (línea roja), con sus correspondientes tendencias, a partir de valores reescalados sobre sus respectivos valores iniciales (1983). Página 91.

Figura 59. Tendencias de la biomasa relativa del stock (todas las edades combinadas) obtenidas a partir de la simulación de la población no sometida a explotación pesquera (línea roja). Tendencia de la biomasa relativa a partir del índice combinado de biomasa de las flotas más importantes que faenan en el Atlántico Norte (España+EEUU+Canada+Japón), (Hoey *et al.*, 2003), (línea continua azul), y ajuste polinómico de su tendencia durante ese período (línea discontinua negra). Página 92.

Figura 60. Valores esperados de CPUE1 estandarizada (línea continua) del pez espada del Atlántico Norte en relación con el índice invernal de NAO (NAOw) un año antes, usando una regresión suavizada tipo “loess” para el ajuste de los pares de valores observados (círculos). El periodo de NAO considerado fue 1983-1998 y el de CPUE1 fue 1983-1999. Página 93.

Figura 61. Valores esperados de CPUE1 estandarizada (línea continua) del pez espada del Atlántico Norte en relación en el año  $y+1$  con el índice invernal de NAO (NAOw) un año

antes, usando una regresión suavizada tipo “loess” para el ajuste de los pares de valores observados (círculos). El periodo de NAO considerado fue 1983-2000 y el de CPUE1 fue 1983-2001. Página 93.

Figura 62. Tendencias del índice de la Corriente del Golfo NW (GSNW) durante el periodo 1966-2000 y el índice invernal de NAO (NAOw) durante el periodo 1966-2002. Página 94.

Figura 63. Tendencias del índice de la Corriente del Golfo del Oeste (GSNW) y el índice invernal de NAO (NAOw) en el año  $y$ , contra la CPUE de la edad 1 en los años  $y$ ,  $y+1$ ; respectivamente. Página 95.

Figura 64. Valores esperados de la CPUE de la edad 1 (línea continua) en el año  $y$  (izquierda) y en el año  $y+1$  (derecha) del pez espada del Atlántico Norte, en relación con el índice de la Corriente del Golfo del NW (índice GSNW) en el año  $y$ , usando una regresión local tipo “loess” para el ajuste de los pares de valores observados (puntos). Página 96.

Figura 65. Ajuste polinómico de tercer grado de los pares de valores de GSNW (en el año  $y$ ) y los índices de reclutamiento (CPUE1), (en el año  $y+1$ ). Página 96.

Figura 66. Tendencias entre el transporte baroclínico de la Corriente del Golfo y la corriente del Atlántico Norte (BTGANAC) expresada como índice (transporte en Mtoneladas/segundo) y la variación de la temperatura en las aguas de convección profunda en el Mar de Labrador (DCWLS). Página 97.

Figure 67. Temperaturas y transportes del océano relacionados con NAOw en sus fases positivas (en rojo) y negativas (en azul). Un índice invernal NAO correspondiente a los inviernos pasados (Hurrell, 1995) se relacionó contra la variación en la temperatura de las aguas de profunda convección en el Mar del Labrador (línea verde claro, escala derecha) y con la variación en el transporte baroclínico hacia el Este del sistema de la Corriente del Golfo/Corriente del Atlántico Norte (EBTGSNAC) tal y como aparece en su índice (línea negra gruesa, escala izquierda), debido a las diferencias potenciales de anomalías de energía entre el mar del Labrador y Bermuda (índice análogo oceánico del índice atmosférico NAO). Las temperaturas más cálidas de DCWLS antes de 1970 (índice NAO bajo) y su posterior enfriamiento (índice NAO alto) también se reflejan en la SST (temperatura de la superficie del mar), (según <http://www.clivar.org/>). Página 98.

Figura 68. Cebo tipo 1: Caballa (*Scomber scombrus*) usada tradicionalmente como cebo en la pesquería española de pez espada en aguas templadas (izquierda). Cebo tipo 2: Cebo artificial o caballa plástica provista de agujeros para evacuar agua y olor (centro) y mostrando la abertura lateral usada para introducir algún otro elemento para formar otros tipos de cebo ensayados (derecha). Página 104.

Figura 69. Cebo tipo 3: Cebo artificial o pota plástica, mostrando la disposición del cebo y anzuelos (izquierda) y de las brazoladas antes de ser usadas en el lance (derecha). Página 105.

Figura 70. Cebo tipo 4: Cebo artificial formado de caballa plástica (tipo 2) con relleno de esponja impregnada en aceites derivados de sardina. Configuración de la brazolada (izquierda) y proceso de impregnación en aceite antes de ser usada en el lance (derecha). Página 105.

Figure 71. Diagramas “box-plots” de la CPUEn y CPUEw, y de la transformación logarítmica de ambas CPUE [ $\ln(\text{CPUEn}+1)$  y  $\ln(\text{CPUEw}+1)$ ], para cada uno de los cinco tipos de cebos ensayados (bait) durante la campaña. Página 107.

Figura 72. Gónadas de peces espada de ambos sexos, sobre 150 cm de talla LJFL. (A): ambas gónadas femeninas de unos 300 gramos (arriba) y ambas gónadas masculinas (abajo). (B): corte

transversal de la gónada femenina en estado de reposo (no madura). (C) corte transversal de la gónada masculina en estado de reposo (no madura). Página 114.

Figura 73. Definición de las regiones geográficas usadas en los análisis iniciales, incluyendo las observaciones obtenidas entre 1986 y 1993 (tomado de MEJUTO *et al.*, 1994). Pagina 116.

Figura 74. Distancias entre los patrones de sex-ratio por talla (SRs) obtenidos para los diferentes estratos de región-semester (area-time en la figura) usando varios tipos de cluster (según MEJUTO *et al.*, 1994). Página 118.

Figura 75. Variación de la temperatura (°C) con la profundidad en metros (depth), a partir de datos tomados con XBT en dos estaciones tropicales donde fueron obtenidos datos de talla-sexo del pez espada, durante una marea comercial. (A): posición 00° 07' N/31° 11' W en fecha 25.03.1990. (B): posición 01° 17' N/20° 23' W en la fecha 14.05.1990 (según MEJUTO *et al.*, 1994). Página 119.

Figura 76. Definición de las regiones geográficas usadas en los análisis incluyendo las observaciones obtenidas entre 1986 y 1994 (tomado de MEJUTO *et al.*, 1995). Página 119.

Figura 77. Distancias entre los patrones de sex-ratio por clase de talla (SRs) obtenidos para los diferentes estratos de región-semester (area-time en la figura), usando varios tipos de procesos de cluster del tipo aglomerativo-jerárquicos (SAS, 1988). A, B y C: para todos los estratos definidos. C: Considerados sólo los estratos del Atlántico y Mediterráneo (según MEJUTO *et al.*, 1995). Página 121.

Figura 77 (continuación). Distancias entre los patrones de sex-ratio por clase de talla (SRs) obtenidos para los diferentes estratos de región-semester (area-time en la figura), usando varios tipos de cluster de tipo aglomerativo-jerárquico. A, B y C: para todos los estratos definidos. C: Considerados sólo los estratos del Atlántico y Mediterráneo (según MEJUTO *et al.*, 1995). Página 122.

Figura 78. Definición de las regiones del Atlántico usadas en los análisis finales de SRs, con observaciones acumuladas hasta el año 1999. Sólo las áreas del Atlántico fueron consideradas en los análisis finales. Página 125.

Figura 79. Localización geográfica 5°x5° de las muestras disponibles del Atlántico y del Mediterráneo (todas las tallas combinadas entre 50 y 350 cm) y por sexo (rojo = machos, azul = hembras). Sólo las áreas del Atlántico fueron consideradas en los análisis finales. Página 125.

Figura 80. Localización geográfica 5°x5° de muestras disponibles del Atlántico y del Mediterráneo (para las tallas 110-215 cm) y por sexo (rojo = machos, azul = hembras). Sólo las áreas del Atlántico fueron consideradas en los análisis finales. Página 126.

Figura 81. Localización geográfica 5°x5° de muestras disponibles del Atlántico y del Mediterráneo (para las tallas 120-170 cm) y por sexo (rojo = machos, azul= hembras). Sólo las áreas del Atlántico fueron consideradas en los análisis finales. Página 126.

Figura 82. Sex-ratio por clase de talla (SRs) en porcentaje, y sus valores medios, para las clases de talla comprendidas entre 110 y 210 cm (LJFL), para cada una de las regiones y valor medio (Med.). Página 128.

Figura 83. Sex-ratio por clase de talla (SRs) en porcentaje, y sus valores medios, para las clases de talla comprendidas entre 120 y 170 cm (LJFL), para cada una de las regiones y valor medio (Med.). Página 128.

Figura 84. Cluster jerárquico aglomerativo tipo “average” de los patrones de SRs obtenidos por clase de talla 110-215 y para las regiones (R) definidas en el Atlántico (A.C.= 0,72). Página 130.

Figura 85. Cluster jerárquico aglomerativo tipo “single” de los patrones de SRs obtenidos por clase de talla 110-215 y para las regiones (R) definidas en el Atlántico (A.C.= 0,56). Página 130.

Figura 86. Cluster jerárquico aglomerativo tipo “Ward’s” de los patrones de SRs obtenidos por clase de talla 110-215, para las regiones (R) definidas en el Atlántico (A.C.= 0,86). Página 131.

Figura 87. Cluster jerárquico aglomerativo tipo “average” de los patrones de SRs obtenidos por clase de talla 120-170, para las regiones (R) definidas en el Atlántico (A.C.= 0,81). Página 131.

Figura 88. Cluster jerárquico aglomerativo tipo “single” de los patrones de SRs obtenidos por clase de talla 120-170, para las regiones (R) definidas en el Atlántico (A.C.= 0,59). Página 132.

Figura 89. Cluster jerárquico aglomerativo tipo “Ward’s” de los patrones de SRs obtenidos por clase de talla 120-170, para las regiones (R) definidas en el Atlántico (A.C.= 0,90). Página 132.

Figura 90. Cluster jerárquico tipo “divisive” de los patrones de SRs obtenidos por clase de talla 120-170, para las regiones (R) definidas en el Atlántico (A.C.= 0,83). Página 133.

Figura 91. Modelo de partición tipo “fuzzy” (S-PLUS, 1997) de las observaciones de SRs por región y para las clases de talla entre 120 y 170 cm, a partir de medidas de la disimilaridad. Cluster A (centro:01, 09, 03, 02, 11, 12, 92). Cluster B (derecha:04, 06, 91, 10, 93, 05). Cluster C (izquierda: regiones 07, 08, 13). Página 133.

Figura 92. Patrones de SRs medios (tallas 110-215 cm) de las tres de regiones biológica definidas (líneas coloreadas continuas) y sus respectivos intervalos de confianza del 95% (líneas coloreadas discontinuas), obtenidos a partir de los grupos regiones previamente establecidos. Ajustes lineales o polinómicos de cada una de estas regiones biológicas (línea negra continua). (Trans.= transición. Alime.= alimentación. Repro.= reproducción). No se incluye la región 92 en estos cálculos. Página 135.

Figura 93. Histograma de frecuencia de las hembras examinadas para índices gonadales, por clase de talla y para todas las regiones combinadas (ver tabla 20 para más detalle). Página 143.

Figura 94. Ubicación geográfica y tamaño muestral, en cuadrículas 5°x5°, de las hembras con dato disponible de índice gonadal (IG1), para todos los años y meses combinados. Página 143.

Figura 95. Valores de índice gonadal (IG1) en relación con la talla de las hembras ( $100 \leq \text{LJFL} \leq 350$ ) y con la temperatura superficial media (SSTm) en la zona de captura, para diferentes rangos de talla LJFL cm. Los puntos dentro de la elipse roja indican gónadas atrésicas. Página 144.

Figura 96. Histograma de las observaciones disponibles con valores de índices gonadales (IG1) de las hembras ( $\text{LJFL} \geq 150$  cm), para la conjunto de datos analizados. Página 144.

Figura 97a. Índice gonadal por clase de talla LJFL (IG1) en cada una de las regiones definidas. Valores medios (línea negra), intervalo de confianza del 95% (punteado rojo), valores mínimos y máximos (punteado verde) y media móvil (línea morada). Regiones: 01, 02, 03, 04, 08, 07, 08, 09. Página 145.

Figura 97b. Índice gonadal por clase de talla LJFL (IG1) en cada una de las regiones definidas. Valores medios (línea negra), intervalo de confianza del 95% (punteado rojo), valores mínimos y máximos (punteado verde) y media móvil (línea morada). Regiones: 10, 11, 12, 13, 15, 91, 92, 93. Página 146.

Figura 98. Ocurrencia de cada uno de los tres rangos de índices gonadales (IG1) definidos, en cada cuadrícula de 5°x5° observada, para las tallas (50<=LJFL<=350). Para todas las observaciones combinadas (arriba) y para cada uno de los trimestres (abajo). Amarillo: sin actividad reproductiva significativa. Verde: con actividad reproductiva evidente. Rojo: con actividad reproductiva muy intensa. Página 147.

Figura 99. Ocurrencia de cada uno de los tres rangos de índices gonadales (IG1) definidos, en cada cuadrícula de 5°x5° observada, para las observaciones de talla LJFL>= 150 cm). Para todas las observaciones combinadas (arriba) y para cada uno de los trimestres (abajo). Amarillo: sin actividad reproductiva significativa (reposo). Verde: con actividad reproductiva evidente. Rojo: con actividad reproductiva extremadamente intensa. Página 148.

Figura 100. Análisis tipo “box-plot” de los valores IG1, por región, para hembras con talla LJFL>=150, para todos los meses combinados. Los rayados negros horizontales representan observaciones consideradas “outliers” (S-PLUS, 1997). Página 150.

Figura 101a. Análisis tipo “box-plot” de los índices gonadales (IG1) para hembras de talla LJFL>=150, por mes, para cada una de las regiones 06, 07, 08 y 09. Página 151.

Figura 101b. Análisis tipo “box-plot” de los índices gonadales (IG1) para hembras de talla LJFL>=150, por mes, para cada una de las regiones 11, 13 y 93. Página 52.

Figura 102. Modelo tridimensional del índice gonadal (IG1) de las hembras de pez espada del Atlántico. XX’= regiones. YY’ = meses. ZZ’= valor IG1. (El orden de regiones desde 1 a 15 se corresponde con las regiones definidas como: 01, 02, 03, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 15, 91, 92 y 93, respectivamente). Página 153.

Figura 103. Porcentaje de hembras por clase de talla que presentan procesos de maduración, para las regiones 07 y 08 combinadas, para un total de 808 hembras examinadas entre las tallas 100 y 250 cm LJFL (línea discontinua roja). Ajuste de los datos (línea continua azul),  $p_m = 1 / (1 + e^{(-0,1398(LJFL-146,5)})}$ . Página 154.

Figura 104. Macho de pez espada (en segundo término) merodeando a una hembra adulta que es capturada por un palangre de superficie (en primer término). La hembra, que presentó gónadas maduras, próximas a la puesta, con cavidad visceral visiblemente abultada, es “cortejada” por el macho merodeador (pareja) hasta su izado a bordo. Foto tomada por Gonzalo Molins en el océano Pacífico (27°S-117° W), mes de diciembre 2004, en el B/P Radoche Primero. Página 156.

Figura 105. Anomalías por región del ratio entre las CPUEs por sexo (machos/hembras) en número de peces (R\_CPUE<sub>n</sub>), en kilogramos peso vivo (R\_CPUE<sub>w</sub>). Anomalías del ratio entre las CPUEs en numero de peces, para las categorías de talla 50-120 cm (R\_CPUE<sub>L1</sub>) y 125-165 cm (R\_CPUE<sub>L2</sub>). Página 158.

Figura 106a. Porcentaje de hembras entre 50 y 350 cm de talla (LJFL) que presentan cada uno de los seis estados gonadales, en cada una de las regiones definidas. Regiones: 01, 02, 03, 04, 06, 07, 08, 09. Página 160.

Figura 106b. Porcentaje de hembras entre 50 y 350 cm (LJFL) que presentan cada uno de los seis estados gonadales, en cada una de las regiones definidas. Regiones: 10, 11, 12, 13, 15, 91, 92, 93. Página 161.

Figura 107a. Porcentaje de hembras  $LJFL \geq 150$  cm que presentan cada uno de los seis estados gonadales, en cada una de las regiones definidas. Regiones: 01, 02, 03, 06, 06, 07, 08, 09, 10. Página 162.

Figura 107b. Porcentaje de hembras  $LJFL \geq 150$  cm que presentan cada uno de los seis estados gonadales, en cada una de las regiones definidas. Regiones: 11, 12, 13, 15, 91, 92, 93. Página 163.

Figura 108. Diagrama “box-plot” de los índices gonadales (IG1, IG2) en relación con los 6 diferentes estados de madurez, identificados en un total de 9.770 hembras de tallas  $LJFL \geq 150$  cm. Página 164.

Figura 109. Temperaturas medias esperadas en superficie (SST) y a 50 metros de profundidad, en dos meses representativos del ciclo anual, febrero y agosto, respectivamente (tomado de MEJUTO & HOEY, 1991). Página 165.

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS**



## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS<sup>1</sup>.

<b>Término / Acrónimo</b>	<b>Significado</b>
A. C.	Ver "coeficiente aglomerativo". Término usado en análisis tipo cluster.
Abundancia	Número o biomasa de individuos de un stock. La abundancia puede ser por edad o por edades combinadas, en número o en biomasa (peso). Se puede medir a partir de índices de abundancia relativa (ver CPUE).
Abundancia local	Abundancia que se da un área o región determinada generalmente como consecuencia de la mayor o menor disponibilidad de un recurso pesquero en un tiempo determinado. Se suele medir mediante CPUEs locales (nominales o estandarizadas). La abundancia local en peces grandes migradores no necesariamente representa la abundancia de un stock.
AGU (ing.)	American Geophysical Union.
ALC	Abreviatura de "Average Linkage Cluster " (ing.). Ver S-plus 1997 para más información.
Almadraba	Arte fija de red extendida desde la costa que sirve para atrapar a los atunes en sus migraciones costeras. Arte ancestral para la captura del atún rojo en el Mediterráneo y Estrecho de Gibraltar.
Anomalia	Valor que se desvía de un valor medio esperado.
Anomalia R_CPUEn	Desviación de R_CPUE sobre un valor esperado.
Atresia	Cierre de un orificio o conducto natural del organismo. Se aplica a las gónodas de hembras cuyos procesos de maduración han sido suspendidos o abortados en un momento de su desarrollo.
B	Biomasa o peso de un individuo o grupo de individuos. Puede expresarse como biomasa de una cohorte, biomasa de un stock, etc.
Biomasa (B)	Abundancia absoluta de un stock, en peso.
Biomasa virgen	(B <sub>0</sub> ) Biomasa de un stock virgen (no sometido a explotación pesquera).
Bmsy	Punto biológico de referencia. Biomasa de un stock a la cual se obtiene el Rendimiento Máximo Sostenible (MSY o RMS)
Box-plot (Ing.)	Diagrama de cajas. Representación gráfica simple de carácter estadístico-exploratorio para examinar la relación entre un factor y su respuesta y para observar la variabilidad de las observaciones sobre su mediana (centro de la distribución). Permite identificar valores "fuera de rango" o "outliers".
Brazolada	Cabo que une la línea madre del palangre y la zona en la que va el anzuelo empatado.
BTGSNAC (ing.)	Transporte Baroclínico de la Corriente del Golfo y de la Corriente del Atlántico Norte. Es un índice oceanográfico similar al índice atmosférico NAO. También usado EBTGSNAC en otros autores (East Baroclinic Transport.....).
Capturabilidad	Propiedad de un arte de pesca por la cual es capaz de pescar una fracción de un stock disponible en un áreas-tiempo empleando una unidad de esfuerzo de pesca efectivo.
Clase de talla	Grupo de tallas agrupadas mediante un determinado criterio de agregación. En el caso del pez espada, normalmente se usan clases de talla de 5cm (ejemplo: clase 150= [150<= LJFL<155]).
Coficiente Aglomerativo (ing.)	"Agglomerative Coefficient" o AC (ing.). Promedio de disimilaridades en análisis cluster. Promedio de (1-d(i)) (ver S-plus,1997).
Cohorte	Grupo de individuos nacientes procedentes de un proceso de puesta. Puede existir una cohorte anual (o asumirse) o varias cohortes anuales. Las cohortes suele identificarse por su año de nacimiento (p.e. la cohorte del año 1986). La cohorte nacida en 1986 (edad 0) tendría un año en 1987 (edad 1).

<sup>1</sup> Las siglas: "ing."= termino original inglés; "gal."= gallego; "esp." = español; "sin." =sinónimo.

Continuidad	Se aplica cuando una cohorte, nacida en un año (y), se manifiesta con evidencia en edades-años sucesivos (y+n). Se suele aplicar a los reclutamientos que se van manifestando años más tarde como edades posteriores.
CPUE	Captura por unidad de esfuerzo. Puede ser nominal o estandarizada. También se usa el término tasa de captura o "catch rate" (ing.).
CPUE estandarizada	CPUE resultante de estandarizar mediante procedimientos estadísticos las CPUE nominales de una o varias flotas. Se suele utilizar como índice de abundancia de un stock.
CPUE nominal	Captura nominal/ esfuerzo de pesca nominal.
CPUE1	Captura por unidad de esfuerzo de los peces de 1 año de edad, expresada en número. En este caso se expresa en unidades estandarizadas o normalizadas mediante GLM. Se usa como índice de reclutamiento del stock.
CPUE5+	Captura por unidad de esfuerzo de individuos iguales o mayores de 5 años de edad. En el pez espada del Atlántico se asume que la edad 5 es la de primera madurez y reproducción, para las hembras.
CPUE <sub>n</sub>	Captura por unidad de esfuerzo, expresada en número de peces por unidad de esfuerzo. Puede expresarse por sexo o por sexos combinados.
CPUE <sub>w</sub>	Captura por unidad de esfuerzo, expresada en peso por unidad de esfuerzo. Puede expresarse por sexo o por sexos combinados.
DCWLS (ing.)	Aguas de Convección Profunda del Mar de Labrador
Disponibilidad	Presencia de una fracción determinada de edades o tallas de un stock, en un área-tiempo concreto, con relación a la distribución general del stock. Representa su disponibilidad para la pesca.
DNA <sub>mt</sub>	DNA mitocondrial.
EFL (ing.)	"Eye fork length". Talla entre la órbita ocular y la horquilla de la aleta caudal. También llamada EOFL.
ENSO	Índice del Niño, en el Océano Pacífico.
Esfuerzo (f)	Intensidad de pesca aplicada por un arte de pesca, un barco, etc., en una o varias operaciones de pesca. En los palangres se suele medir en número de anzuelos largados.
Estado gonadal.	Indicador macroscópico cualitativo del estado de madurez de las gónadas.
F	Tasa instantánea de mortalidad por pesca. Fracción del stock que muere como consecuencia de las actividades pesqueras. Normalmente se expresa en relación a la mortalidad anual por clase o clases de edad.
f	ver "esfuerzo de pesca"
Faenar	Actividad de pescar con un arte determinado. Faena de pesca.
G	Growth (ing). Crecimiento. Abreviatura que se usa para expresar el crecimiento de un stock.
GLM (ing.)	General Linear Model (ing.). Modelo Lineal Generalizado. Procedimiento estadístico similar al ANOVA o a la regresión múltiple cuyo objetivo es determinar la significación e importancia de los efectos producidos por diferentes factores (o sus interacciones) sobre una variable. Permite tratar diseños muestrales no balanceados.
GSNW (ing.)	Gulf Stream North West (ing.). Índice de la Corriente del Golfo de la región del Atlántico NW.
Homing /natal homing (ing.)	Término inglés que se usa para indicar el retorno al lugar de nacimiento de los individuos de un stock.
ICCAT o CICA	Comisión Internacional para la Conservación del los Atunes del Atlántico: ICCAT (ing.), CICA (esp.)
IG	Índice gonadal. Indicador macroscópico-cuantitativo del estado de desarrollo de una gónada. Suele estar basado en la relación entre el peso de las gónadas y el peso corporal (o su equivalente en talla)
IG1	Formulación de índice gonadal (IG) basado en el peso de las gónadas femeninas y la talla LJFL de la hembra.

IG2	Formulación de índice gonadal (IG) basado en la transformación logarítmica, del peso de las gónadas femeninas y de la talla LJFL de la hembra.
Índice de abundancia	Indicador de la abundancia de un stock, de una edad o de un grupo de edades. Puede medirse en número o en biomasa. La CPUE estandarizada suele interpretarse como índice de abundancia, de un stock, de una edad, de una fracción del stock, etc.
Índice gonadal	Ver IG
Isurus oxyrinchus	Marrajo dientuso, marrajo de aleta corta, "shorfin mako" (ing.)
K	Tasa instantánea de crecimiento (incremento de talla por intervalo de tiempo). Constante usada en modelos de crecimiento individual. Define la velocidad en el crecimiento individual.
Lance	Faena de pesca consistente en largar el aparejo, pescar y posteriormente virar. En el caso del palangre de superficie, normalmente se hace un sólo lance por día de pesca. En este arte, este término es similar al de "operación de pesca" o "fishing operation" (ing.).
L <sub>inf.</sub> , L <sub>00</sub>	Talla media máxima teórica, estimada mediante un modelo de crecimiento individual, que podría alcanzar un individuo de un stock. En el pez espada suele definirse por sexo. Constante usada en modelos de crecimiento (L <sub>inf.</sub> hembras > L <sub>inf.</sub> machos).
LJFL (ing.)	Nomenclatura internacional para definir la longitud entre el extremo de la mandíbula inferior y el centro de la horquilla caudal del pez espada o especies similares. Equivalente a (LMIH) en algunos documentos en castellano.
LJFL <sub>50</sub>	Talla de primera madurez: Talla LJFL a la cual el 50% de los individuos estarían sexualmente maduros. Equivalente a termino L 50.
LJFL <sub>min</sub>	La menor talla LJFL a la cual se observó desarrolló gonadal. En este caso se aplica a las hembras.
L <sub>max</sub>	Talla máxima observada en un stock. En el pez espada suele expresarse por sexo. (L <sub>max</sub> hembras > L <sub>max</sub> machos).
M	Mortalidad natural. Tasa instantánea de mortalidad natural.
m	Procesos migratorios. Procesos migratorios entre las diferentes regiones biológicas del stock, donde desarrolla sus procesos biológicos respectivos.
Marea	Actividad de un buque pesquero entre su salida al mar para pescar y el regreso a puerto para la descarga. En el caso de los palangreros, una marea implica normalmente entre 15 y 120 días de mar continuados.
Modelos	Conjunto de formulaciones matemáticas que representan o sintetizan la dinámica biológica de un stock y de su explotación.
MSY (ing.)	"Maximun Sotenible Yield". Rendimiento Máximo Sostenible. Captura máxima de un stock, sostenible a largo plazo.(ver RMS)
N	Número de individuos en un momento dado (Nt) de una edad, de un stock, etc.
NAO (ing.)	"North Atlantic Oscillation" (ing.). Oscilación del Atlántico Norte. Índice atmosférico del Atlántico Norte. Se calcula a partir de las diferencias de presión entre un foco de altas presiones y otro de bajas presiones, situados en el Atlántico Norte.
NAOw (ing.)	"Winter NAO" (ing.). Índice invernal de la Oscilación del Atlántico Norte (índice de diciembre, enero y febrero).
Ocurrencia	frecuencia con la que se produce un suceso. Ver prevalencia.
ORP / OROP	Organización Regional Pesquera. Organización Regional para la Ordenación Pesquera (OROP (sin.) o RFO (ing.))
Outliers (ing.)	Término usado para definir valores fuera de un rango esperado desde el punto de vista probabilístico. La identificación de los valores fuera de rango puede realizarse según varias formulaciones (S-plus 97 para más información).
Paleoclimatología	Ciencia que reconstruye el clima existente en épocas pasadas, en base a indicios y registros paleontológicos.

Peces pelágico -oceánicos	Diferentes grupos de peces predadores de gran tamaño, migradores y taxonómicamente distantes entre ellos, que ocupan el sistema pelágico oceánico, en un nivel superior de la cadena trófica, con comportamientos similares y que son capturados con similares artes de pesca. (ejemplos: túnidos, grades tiburones pelágicos, pez espada, istiophoridos, etc.
Peso vivo	Peso de los peces sin someterse a ningún procesamiento. Round weight (ing.)
$p_m$	Fracción de individuos maduros a una talla dada (valores entre 0 y 1). En ocasiones se expresa en porcentaje.
Pop-up	Término usado para definir un tipo de marcas electrónicas usadas para marcar peces, cuya liberación del pez es automática y programable, emitiendo los datos recopilados vía satélite. Suelen conocerse con su acrónimo PAT (pop-up archival tag (ing.)).
Prerrecluta	Estadios previos a los reclutamientos (huevos, larvas y otras fases). Fases previas a su reclutamiento al área de pesca o al arte de pesca.
Prevalencia	Grado relativo de dominancia u ocurrencia. Mayor o menor presencia (de un sexo, una especie, etc.) en un área-región, época, etc.
Prionace glauca	Tiburón azul, tintorera, quella, caella "blueshark" (ing.).
Producción	Capacidad de un stock o población para generar su biomasa.
R	Reclutamiento. Entrada de nuevos individuos en un stock o población como resultado de la puesta o puestas anuales (ver cohorte).
R_CPUE	Ratio entre las CPUEs de cada sexo. En este caso CPUE machos / CPUE hembras.
Recluta/s	Individuo/s que se incorpora/n a un stock en un año dado como consecuencia de los procesos de puesta de los adultos del stock. Ver "reclutamiento".
Reclutamiento absoluto	Número de peces reclutados (generalmente se expresa de forma anual).
Región biológica (SWO)	Región o regiones oceánicas, identificadas mediante técnicas diferentes, que puede ser catalogadas o agrupadas en base a los procesos biológicos que en ellas se desarrollan, los cuales a su vez están relacionados con los procesos migratorios de la especie y con las condiciones ambientales (bióticas y abióticas) existentes en las regiones respectivas.
RFO (ing.)	Regional Fisheries Organization . Ver ORP. También OROP.
RMS	Rendimiento Máximo Sostenible de un stock (sin. MSY (ing.)).
RV (Ing.)	Volumen reproductivo. Volumen idóneo para el desarrollo exitoso larvario, según algunos autores.
SATp (ing.)	Término usado en el caso del pez espada para aquellas áreas y épocas con condiciones adecuadas para permitir-favorecer los procesos de maduración-reproducción y puesta.
Segregación	Fenómeno/s por los cuales una o varias fracciones de un stock (edades, sexos, etc.) no tienen distribución aleatoria en el área de distribución del stock.
Sex-ratio	Porcentaje de un sexo con relación a otro, o sobre los sexos combinados (ver SR, SRs, SRo).
Simulación	Técnicas numéricas basadas en formulaciones que asumen parámetros de entrada, más o menos realistas en relación con las observaciones. Sirve, entre otros usos, para estudiar las reacciones o respuestas esperadas de un stock bajo las condiciones que se suponen.
SLP (ing.)	Presión normalizada a nivel del mar
Sobrepesca	Explotación pesquera por encima de los límites biológicos de referencias establecidos (p.e. $B < B_{msy}$ o $F > F_{max}$ ...).
Spawning fidelity (ing.)	"Spawning site fidelity" (ing.). Comportamiento de los individuos de un stock por el cual presentan fidelidad para realizar su puesta en sus áreas de origen. Regreso para realizar los procesos de reproducción a las zonas propias de su stock de origen, aunque a lo largo de la vida puedan realizar amplias migraciones y mezclarse con otros stocks.
S-plus	Software para análisis estadístico (en este caso, S-plus 1997, bajo versión software S-plus 2000).

SR	Sex-ratio o proporción entre sexos en una población, en un área, región, etc.
SRo	Sex-ratio global observado en un stock, un área o región para el conjunto de individuos de cada sexo (sin considerar sus tallas, edades, etc. ).
SRs	Sex-ratio existente por clases de talla. Puede expresarse por edad (SRa)
SSB (ing.)	"Spawning Stock Biomass" (ing). Biomasa del stock reproductor. Fracción del stock que realiza o tiene capacidad para realizar puesta. Normalmente se refiere a la fracción de hembras "adultas".
SSB/R (ing.)	Relación entre la biomasa reproductora de un stock y sus respectivos reclutamientos anuales.
SSBe (ing.)	Fracción efectiva de la SSBp capaz de iniciar procesos de maduración por alcanzar o estar en condiciones adecuadas (endógenas y exógenas) para estos procesos.
SSBp (ing.)	"Spawning Stock Biomass-potentially". Fracción potencialmente reproductora del stock de hembras (mayor que la edad-talla de primera madurez ,que es condición necesaria pero no suficiente) pero que puede no desencadenar procesos de maduración gonadal. (p.e.: por no ocupar un área-tiempo con condiciones oceanográficas adecuadas para iniciar los procesos hormonales de maduración).
SST (ing.)	Temperatura del mar a nivel de superficie.
SSTm	Temperatura media del mar a nivel de superficie.
Stock (ing.)	Concepto con diversas interpretaciones. Conjunto de individuos vivos (sobrevivientes) de las distintas cohortes de un recurso pesquero, que ocupan un área determinada y son una unidad poblacional: stock biológico, stock de gestión u ordenación pesquera, etc., (ver Carvalho y Pitcher 1995 para información adicional y debate del concepto). Unidad de ordenación pesquera.
SWO (ing.)	Código FAO y de diferentes ORPs para el pez espada <i>Xiphias gladius</i> . Sinom. "emperador"(Esp.), "peixe espada" (Gall.) "espadarte" (Gall./Port).
Talla	Tamaño del pez (longitud). Normalmente expresada en su unidad estándar LJFL cm y raramente como EFL (en algunas ORP).
Teleconexión	Conexión o relación de fenómenos físico-atmosféricos u oceanográficos, simultáneos y alejados unos de otros.
Termorregulación	Propiedad de los tñidos y otras especies de regular su temperatura interna. La termorregulación puede ser fisiológica, o de comportamiento por medio sus migraciones para la selección de áreas, épocas, profundidades, etc.
TL (ing.)	"Total length" (ing.). Longitud total, desde la punta de la mandíbula inferior hasta el centro de la horquilla caudal.
Virado	Maniobras y procesos para la recogida del arte de pesca del mar al finalizar una operación de pesca.
VPA	Análisis de población Virtual. Se refiere a un modelo analítico estructural para la evaluación de stock de peces, de cálculo retrospectivo, normalmente estructurado por edad y, en ocasiones, por clases de talla.
XBT (ing.)	"Expendable Bathythermograph" (ing.). Instrumento para medir perfiles de temperatura en profundidad.

