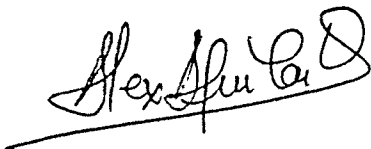


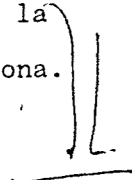
DEPARTAMENTO DE ZOOLOGIA  
CATEDRA DE VERTEBRADOS  
FACULTAD DE BIOLOGIA  
UNIVERSIDAD DE BARCELONA

BIOLOGIA Y DINAMICA POBLACIONAL  
DEL RORCUAL COMUN (Balaenoptera physalus)  
EN LAS AGUAS ATLANTICAS IBERICAS

Memoria redactada para  
optar al grado de Doctor  
en Ciencias Biológicas  
presentada por el Licen-  
ciado Alejandro Aguilar  
Vila.



Conforme, el Director  
Prf. Dr. D. Jacinto  
Nadal Puigdefábregas,  
Catedrático de Zoología  
(Vertebrados) de la Fa-  
cultad de Biología de la  
Universidad de Barcelona.



Barcelona, a 21 de mayo de 1985

	<u>pág.</u>
<u>1. Introducción</u>	1
<u>2. Descripción de la especie</u>	4
2.1. Taxonomía	5
2.2. Aspecto externo	9
2.2.1. Forma del cuerpo	9
2.2.2. Proporciones corporales	11
2.2.2.1. Metodología	11
2.2.2.2. Resultados	14
2.2.2.3. Pigmentación	22
<u>3. Integración de la especie en el medio</u>	26
3.1. Alimentación	27
3.2. Competencia interespecífica y especies asociadas	30
3.3. Factores naturales de mortalidad	35
3.3.1. Enemigos y depredadores	35
3.3.2. Enfermedades	37
3.3.3. Malformaciones congénitas	39
3.3.4. Parásitos y epizoitos	40
3.3.4.1. Parásitos y epizoitos externos	41
3.3.4.1.1. Copépodos	41
3.3.4.1.2. Anfípodos	43
3.3.4.1.3. Cirrípedos	43
3.3.4.1.4. Lampreas y rémoras	44
3.3.4.1.5. Otros parásitos y epífitos externos	46
3.3.4.2. Parásitos internos	49
3.4. Efecto de la contaminación por compuestos organoclorados	50
3.4.1. Características de los compuestos	51
3.4.1.1. DDT (diclorodifeniltricloroetano) y derivados	51
3.4.1.2. PCBs (Bifenilos policlorados)	52
3.4.2. Metodología	53
3.4.2.1. Procedimiento de muestreo	53
3.4.2.2. Metodología de análisis	54
3.4.3. Resultados	60
3.4.3.1. Distribución en el panículo adiposo y técnica de muestreo	60
3.4.3.2. Distribución de los contaminantes entre los tejidos	66
3.4.3.3. Incidencia de los contaminantes en la población	67
<u>4. Distribución y migración</u>	73
4.1. Distribución en el Atlántico Norte	74
4.2. Identidad del stock ibérico	77
4.3. Pautas migratorias en las costas ibéricas	79
4.3.1. Ritmo de la migración	79
4.3.2. Ruta migratoria	82
4.3.3. Secuencialidad en la migración	84
4.3.4. Segregación espacial	91

<u>5.Determinación de la edad, crecimiento y mortalidad</u>	94
5.1. Determinación de la edad	95
5.1.1. Introducción al problema	95
5.1.2. Metodología	99
5.1.2.1. Bullas timpánicas	99
5.1.2.2. Conos de cera	100
5.1.2.2.1. Recolección y conservación	100
5.1.2.2.2. Preparación del cono para la lectura	101
5.1.2.2.3. Lectura del cono de cera	102
5.1.3. Resultados de la lectura de los conos de cera	103
5.1.3.1. Material recolectado	103
5.1.3.2. Legibilidad	106
5.1.3.3. Tamaño del corazón del cono	110
5.1.3.4. Crecimiento	112
5.1.3.4.1. Evaluación de los desvios en la muestra	112
5.1.3.4.2. Ajuste de la curva de crecimiento	120
5.1.3.4.2.1. Metodología	120
5.1.3.4.2.2. Resultados	122
5.1.3.4.3. Variabilidad en la tasa de crecimiento	129
5.1.3.4.4. Madurez física	135
5.1.3.4.5. Proporcionalidad en el crecimiento	141
5.1.3.4.6. Crecimiento en peso	141
5.1.3.5. Mortalidad	143
5.1.3.5.1. Selección de la edad de reclutamiento, tr.	146
5.1.3.5.2. Variaciones de Z con la edad	149
5.1.3.5.3. Estima combinada de Z	152
5.1.3.5.3.1. Metodología	153
5.1.3.5.3.2. Resultados	155
5.1.3.5.3.3. Diferencias entre sexos	158
5.1.3.5.4. La mortalidad natural (M)	159
<u>6.Reproducción</u>	161
6.1. Reproducción en la hembra	162
6.1.1. Problemas asociados a la determinación del estado sexual	162
6.1.2. Crecimiento y desarrollo del ovario	164
6.1.2.1. Metodología	164
6.1.2.2. Morfología del ovario de <u>Balaenoptera physalus</u>	165
6.1.2.3. Desarrollo ovárico: pauta general	166
6.1.2.4. Crecimiento del ovario	170
6.1.3. Desarrollo folicular	177
6.1.3.1. Desarrollo folicular y estado sexual	177
6.1.3.1.1. Inmadurez	177
6.1.3.1.2. Gestación	179
6.1.3.1.3. Lactancia	181
6.1.3.1.4. Reposo	182
6.1.3.2. Relación entre abundancia y tamaño folicular	183

6.1.3.3. Ciclo de actividad folicular	185
6.1.3.4. Actividad folicular y peso ovárico	189
6.1.4. La ovulación	190
6.1.4.1. Desarrollo del cuerpo lúteo de ovulación	190
6.1.4.2. Edad media de maduración sexual (tm)	193
6.1.4.2.1. Determinación de tm a partir del examen ovárico	194
6.1.4.2.1.1. Métodos	194
6.1.4.2.1.2. Resultados	201
6.1.4.2.2. Estima por la fase de transición	204
6.1.4.2.2.1. Métodos	204
6.1.4.2.2.2. Resultados	208
6.1.4.2.3. Consideraciones generales sobre la edad media y la talla media de maduración sexual	214
6.1.4.3. Tasa global de ovulación	217
6.1.4.4. Ovulaciones durante la lactancia	220
6.1.4.5. Ovulaciones múltiples	225
6.1.5. La gestación	226
6.1.5.1. Desarrollo ovárico durante la gestación	226
6.1.5.2. Desarrollo fetal	227
6.1.5.2.1. Crecimiento en talla	227
6.1.5.2.1.1. Desvíos en la muestra	230
6.1.5.2.1.2. Metodología de ajuste de la curva	231
6.1.5.2.1.3. Material	233
6.1.5.2.1.4. Resultados	234
6.1.5.2.2. Crecimiento en peso	240
6.1.5.2.3. Proporción de sexos	243
6.1.5.3. Tasa de fecundidad	243
6.1.6. Lactancia	251
6.1.6.1. Criterios para la evaluación de la lactancia	251
6.1.6.2. Desarrollo de la glándula y categoría reproductiva	252
6.1.6.3. El destete	259
6.1.7. El anestro	262
6.1.8. Crecimiento y desarrollo del útero	263
6.1.9. Consideraciones generales sobre la dinámica reproductiva de la población	268
6.2. Reproducción en el macho	273
6.2.1. Examen histológico del testículo	274
6.2.1.1. Procedimiento de muestreo	274
6.2.1.2. Fijación, conservación y tinción	275
6.2.1.3. Examen microscópico	275
6.2.2. Edad de maduración sexual (tm)	277
6.2.3. Desarrollo testicular	283
6.2.3.1. Desarrollo tubular	283

6.2.3.2. Crecimiento en peso	288
6.2.3.3. Relación entre peso y desarrollo tubular	291
6.2.3.4. Asimetría en el desarrollo testicular	293
6.2.4. Morfometría del órgano copulador	294
6.2.5. Ciclos de actividad sexual	296
<u>7. Efectos de la explotación humana en la población</u>	299
7.1. La captura por unidad de esfuerzo de pesca como índice de abundancia	300
7.2. Los antecedentes	302
7.3. La primera mitad del siglo XX	303
7.3.1. Desarrollo de las operaciones	303
7.3.1.1. Periodo 1921-1929	307
7.3.1.1.1. Estrecho de Gibraltar	307
7.3.1.1.2. Portugal	311
7.3.1.1.3. Noroeste de la Península	311
7.3.1.2. Periodo de descanso: 1930-1945	312
7.3.1.3. La zona sur durante 1944-1954	312
7.3.1.3.1. Estrecho de Gibraltar	312
7.3.1.3.2. Portugal	314
7.3.2. Composición de la captura	314
7.3.3. Evolución de la CPUE	318
7.3.3.1. Estrecho de Gibraltar	319
7.3.3.2. Portugal	321
7.3.3.3. Noroeste de la Península	324
7.3.4. Consideraciones generales sobre la situación de la población en la primera mitad del siglo	326
7.4. La segunda mitad de siglo	329
7.4.1. Desarrollo de las operaciones	329
7.4.1.1. La pesca legal	329
7.4.1.2. La pesca "pirata"	331
7.4.2. Composición de la captura	337
7.4.3. Evolución de la CPUE	339
7.4.3.1. La CPUE en la pesquería multiespecífica (1957-1979)	339
7.4.3.1.1. Desarrollo de las operaciones	343
7.4.3.1.2. Material	345
7.4.3.1.3. Estimaciones de CPUE	346
7.4.3.1.3.1. Captura por campaña standard	346
7.4.3.1.3.2. Captura por día productivo	352
7.4.3.1.3.3. Captura por hora de búsqueda (C/Tb)	356
7.4.3.2. La CPUE en la pesquería monoespecífica (1979-1984)	363
7.4.3.2.1. Material	368
7.4.3.2.2. Evaluación del esfuerzo de pesca	368
7.4.3.2.3. Estimaciones de CPUE	374

<u>8. Estimaciones de población</u>	381
8.1. Estimaciones de la población a partir de marcaje	382
8.1.1. Metodología de marcaje	383
8.1.2. Resultados de marcaje	384
8.1.3. Distribución geográfica de los marcajes	385
8.1.4. Recuperación de las marcas	392
8.1.5. Estima de la población mínima a partir del marcaje	393
8.1.5.1. Metodología	393
8.1.5.2. Asunciones del estimador	396
8.1.5.3. Resultados	398
8.2. Estimaciones a partir de la CPUE	402
8.2.1. Metodología	402
8.2.1.1. Estimaciones de $N_0$	402
8.2.1.1.1. De Lury modificado por Chapman/Tillman y Grenfell	403
8.2.1.1.2. De Lury modificado por Allen	406
8.2.1.2. Estimaciones de $N_i$	407
8.2.1.2.1. Método de la $q$	408
8.2.1.2.2. Extrapolación (método P.A.)	408
8.2.1.3. Estimaciones de rendimiento poblacional	410
8.2.2. Material y condiciones de aplicación de los modelos	411
8.2.3. Interpretación de los resultados	412
8.2.3.1. Asunción de stocks independientes	418
8.2.3.2. Asunción de entremezclamiento total e inmediato	420
8.3. Estimaciones a partir de la tasa de mortalidad por pesca, $F$	422
8.4. Otras estimaciones de población	427
<u>9. Consideraciones generales sobre la dinámica de la población</u>	432
9.1. Evolución de la población desde 1921 hasta 1984	433
9.2. Perspectivas en la gestión de la población	441
<u>10. Conclusiones</u>	446
<u>11. Bibliografía</u>	454

Evidentemente, cuanto más obstáculos ha vencido uno, más tentado se siente de creer que ha llegado más lejos. Eso es falso. Luchar no significa avanzar.

Boris Vian, "l'Herbe Rouge" (1950).

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi reconocimiento a aquellas personas que han orientado y dirigido mi trabajo durante estos años.

Al Prof. Dr. E. Gadea Buisán le debo mis primeros conocimientos en zoología y el haberme permitido desarrollar las investigaciones en el Departamento de su dirección.

El Prof. Dr. Jacinto Nadal Puigdefàbregas me ofreció primero la posibilidad de trabajar en su Cátedra, ha dirigido después las investigaciones expuestas en la presente Memoria, y ha realizado durante todo el tiempo un paciente y continuado esfuerzo para que el proyecto inicial se hiciese realidad.

A Christine H. Lockyer y a Sidney G. Brown, ambos del SMRU, Natural Environmental Research Council (Gran Bretaña), debo agradecerles el haberme enseñado las técnicas básicas para el estudio de los cetáceos y su apoyo paciente e incondicional en las numerosas ocasiones en que fue requerido. La primera investigadora, además, revisó y aportó valiosos comentarios al capítulo referente al crecimiento.

En segundo lugar, es muy grato expresar aquí mi agradecimiento a todos aquellos compañeros de trabajo que han colaborado en multitud de ocasiones durante el desarrollo del proyecto.

Esteve Grau ha sido un compañero inapreciable en el trabajo de campo y un eficaz colaborador en muchos de los aspectos estudiados, principalmente en las estimas de los índices de abundancia.

A Carolina Sanpera debo agradecerle su contribución en varias de las etapas del estudio y, en especial, en la investigación de las estadísticas de pesca.

Lluís Jover prestó a menudo su colaboración y se mostró especialmente paciente y eficaz en el procesamiento de los datos por ordenador.



Montserrat Olmos contribuyó de un modo sustancial al estudio de la reproducción e intervino también en otras etapas del trabajo siempre que fue necesario.

Asunción Borrell fue una excelente colaboradora en la investigación de la incidencia de los contaminantes organoclorados y una ayuda valiosa en la realización de la presente Memoria.

Greg Donovan (International Whaling Commission, Gran Bretaña), además de participar de un modo activo en el trabajo de campo, revisó el capítulo referente a las estimas de los índices de abundancia y aportó valiosas sugerencias al texto.

Adrià Casinos y Salvador Filella (Parque Zoológico de Barcelona) me abrieron primero las puertas al estudio de los cetáceos y me prestaron después su colaboración en varias ocasiones.

Paul F. Brodie (M.E.L., Bedford Institute, Canada), F. Moriarty (I.T.E., Monks Wood, Gran Bretaña), Tony Martin (SMRU, Natural Environment Research Council Gran Bretaña), Tim Waters (SMRU, Natural Research Council Gran Bretaña) y Jeff M. Breiwick (NOAA, National Marine Fisheries Service, USA), revisaron porciones del texto o aportaron sugerencias que han contribuido a mejorar la calidad de la investigación desarrollada.

También Francisco de Sostoa y Eloisa Matheu sacrificaron varias veces parte de su tiempo por mi trabajo, y Milagros González, Pilar Fenés y Fátima Pujol colaboraron eficazmente en la elaboración de las gráficas y en el mecanografiado de la presente memoria.

Paralelamente, quiero expresar mi agradecimiento a todos aquellos que han contribuido de algún modo en el trabajo de campo. Si bien en cualquier estudio de cierta envergadura es necesario contar en numerosas ocasiones con la cooperación de otros compañeros de trabajo o de colaboradores a distintos niveles, cuando la investigación se desarrolla en conexión con una pesquería ballenera la situación es

aún más acusada, tanto por la dificultad de muestreo como por la duración de las campañas. Sin embargo, quiero agradecer especialmente a Eduard Recasens, Jordi Fàbregas y Josep Anglís el esfuerzo realizado durante estos años.

Por otra parte, y de un modo global, Esteban de Salas (Subsecretaría de Pesca, Ministerio de Agricultura y Pesca) mostró una decidida confianza en nuestro trabajo y fue una valiosa ayuda en numerosas ocasiones.

También quiero dejar constancia de que el estudio no habría sido posible sin contar con la positiva cooperación de todos los trabajadores de la Industria Ballenera S.A. Tanto las tripulaciones de los barcos balleneros como el personal de las factorías costeras se esforzó en colaborar al máximo de sus posibilidades. En especial, debo expresar mi reconocimiento a Juan José Massó, gerente de la empresa, por su eficiente y comprensiva actuación en numerosas ocasiones. Jesús Cancelas y Miguel López fueron también una inestimable ayuda en el desarrollo del trabajo de campo.

Finalmente, quiero agradecer a mi esposa Carmen y a mi hija Aina el haber sacrificado gran parte de su tiempo a mi trabajo y el continuo apoyo y comprensión que ambas han demostrado, especialmente durante la elaboración de la presente Memoria.

1., INTRODUCCION

=====



A pesar de que el rorcual común o ballena de aleta (Balaenoptera physalus (Linnaeus, 1758)) es el mysticeto más abundante en las aguas atlánticas ibéricas y que, como tal, ha venido soportando desde hace más de sesenta años una explotación intensiva, el conocimiento de que se disponía sobre su biología en nuestras aguas era prácticamente nulo antes de iniciar las presentes investigaciones.

Aparte del mero y fragmentario registro de las ocasiones en las que este cetáceo aparecía varado en las playas (ver la revisión de Casinos y Vericad, 1976), la única información existente sobre la biología de esta especie proviene de un examen de quince ejemplares realizado por Cabrera (1925) en las factorías balleneras del Estrecho de Gibraltar. Este investigador centró su atención principalmente en la morfología externa de la ballena, pero descuidó aparentemente otros importantes aspectos de su biología.

El área de distribución de la ballena de aleta en la vertiente oriental del Atlántico norte se extiende desde los 20 a los 80°N, pero, aparte de informaciones fragmentarias en la zona escocesa, las únicas poblaciones que han sido estudiadas con cierto detalle son las de Noruega e Islandia, ambas independientes y muy distanciadas de la que habita nuestras aguas.

Por este motivo se consideró de gran interés el estudio de la biología de esta especie. Como se trata además de una población que sustenta una pesca activa, se ha creído conveniente hacer un especial hincapié en la dinámica de la población en cuestión, especialmente alterada por la acción del hombre.

A un nivel general, las fuentes de información utilizadas para desarrollar la presente investigación han sido tres: el material biológico procedente del examen y la disección de 643 ballenas capturadas durante las campañas balleneras de 1979 a 1984, la información estadística, tanto de capturas como de esfuerzo

de pesca, recabada a partir de distintas fuentes, y los cruceros de investigación de cetáceos desarrollados desde 1981 hasta 1984.

## 2. DESCRIPCION DE LA ESPECIE

=====

## 2.1. TAXONOMIA

=====

El establecimiento de la sistemática de la familia Balaenopteridae ha sido un proceso complejo y rico en confusiones y errores. Ello es perfectamente explicable si tenemos en cuenta las condiciones en que trabajaban los primeros taxonomistas; a menudo una especie fue descrita tan sólo a partir de un dibujo o de un relato y, cuando el naturalista lograba llegar a tiempo de observar directamente el espécimen muerto, frecuentemente se encontraba con animales en avanzado estado de descomposición o con la pigmentación alterada, e incluso incompletos.

Además, los caracteres osteológicos son, en los grandes cetáceos, de menor ayuda que en otros grupos animales debido a su lento proceso de osificación, lo que favorece que una especie presente considerables diferencias según la etapa de desarrollo en que se halle el individuo bajo estudio (Brinkmann, 1967).

Todo ello, como veremos más adelante, ha contribuido a la proliferación de sinonimias y confusiones nomenclatorias de estas especies y, en concreto, de la ballena de aleta, Balaenoptera physalus. De entre los balenoptéridos, la yubarta (Megaptera novaeangliae) y el rorcual aliblanco (Balaenoptera acutorostrata) fueron los primeros en ser correctamente denominados. En el primer caso ello fue sin duda debido a su peculiar forma y en el segundo a su reducido tamaño y aspecto algo diferente del resto. Las otras cuatro especies del género Balaenoptera permanecieron durante muchos años confundidas unas con otras y en el caso que nos ocupa la clarificación definitiva no fue establecida hasta finales del siglo pasado.

Las primeras descripciones de ballena de aleta se deben a Frederik Martens, quien, en 1675, publicó un diario relatando sus experiencias sobre la caza de la ballena en Groenlandia e islas Spitzberg. Martens describió, junto a otras especies de cetáceos, a una ballena de gran talla que poseía una aleta dorsal de regular tamaño, por lo que era conocida bajo el nombre de "fin fisch" (Hershkovitz, 1966).

Fueron precisamente sus descripciones y grabados, junto con otras superficiales reseñas de un animal semejante hechas por Paul Dudley en 1725, las que sirvieron de base a Linné para crear su Balaena physalus en 1758 (Allen, 1916).

Sin embargo, la descripción de Linné no era lo bastante minuciosa y él mismo incluyó, en su décima edición del Sistema Naturae, a un ejemplar joven de B. physalus embarrancado en la costa este de Escocia bajo el nombre de Balaena boops.

Más tarde, Lacépède, en su "Histoire Naturelle des Cétacés", publicada en 1804, creó el género Balaenoptera, aludiendo a aquellas ballenas con ala o aleta dorsal (pteron). Sin embargo, la característica que posteriormente sirvió para identificar no sólo este género sino toda la familia Balaenopteridae - la presencia de surcos ventrales - no fue tomada en cuenta por él sino a nivel específico; así, la ballena de aleta aparece en su estudio bajo la denominación de Balaenoptera rorqual, aludiendo a la presencia de los surcos ventrales según la designación noruega de Rorvhal (Ror=surco, hval=ballena).

Además, y partiendo de un dibujo incorrecto de Martens en el que se mostraba una ballena sin surcos ventrales, Lacépède consideró a otra especie dentro del mismo género: Balaenoptera gibbar (Allen, 1916).

Posteriormente aparecieron un gran número de descripciones de B. physalus bajo distintos y nuevos nombres. Entre otras se encuentran las de Heddle (1856), Gray (1847), Burmeister (1865), Gray (1850 y 1871) y Murie (1865).

Sin embargo, las especificaciones dadas por Linné, Lacépède y el resto de naturalistas que describieron la ballena de aleta u otras especies de balenopteridos eran tan imprecisas que Cuvier (1822-25) tuvo que ponerlas todas en duda y pensar si, en realidad, no se trataría de una misma especie en etapas distintas de crecimiento (Brinkmann, 1967).

En 1830 una nueva confusión en la nomenclatura fue introducida por Companyo, que describió una ballena embarrancada en la localidad de Saint Cyprien en la costa francesa del Mediterráneo. A pesar de tratarse de la especie denominada por Linné como Balaena physalus, Companyo la consideró Balaena musculus. El error se mantuvo durante casi 70 años hasta que fue aclarado por True



en 1898, e hizo que la mayoría de autores utilizaran este nombre para designar, erróneamente, a la ballena de aleta (Brinkmann, 1967).

La situación no era, ni mucho menos, fácil de solucionar. En 1864 Gray vio que algunos balenoptéridos tenían una articulación doble en el primer par de costillas, debido a la fusión de dos de ellas, y creó un nuevo género, Sibbaldus, para aquellas especies que poseyeran dicho carácter. Esta característica es bastante constante en la ballena del norte, B.borealis y aparece, en algunas ocasiones, en la ballena azul, B.musculus, pero prácticamente nunca en la ballena de aleta, B. physalus. (Gray, 1864, 1871). El error fue pronto aclarado, pero permitió que este género recién creado entrase en circulación y su utilización se perpetuase durante varios años.

Dos años más tarde, Lilljeborg (1866) dio una descripción de B. physalus ya bastante acertada, aunque todavía mantenía el error introducido por Companyo denominándola B. musculus y, en su descripción del color de las barbas, aparentaba ignorar todavía la asimetría de pigmentación. Sin embargo, diferenciaba bien la ballena de aleta de la ballena azul, a la cual él reseñaba bajo el nombre de Balaenoptera gigas.

En 1869 Sars (Jonsgard, 1966), en un estudio muy poco conocido por haber sido publicado en noruego, puso en duda el acúmulo de especies y géneros existente y sugirió que un examen más crítico y preciso reduciría considerablemente su número. Finalmente, sus estudios le llevaron a admitir únicamente 5 especies de balenoptéridos para los mares del hemisferio norte.

Aparte de la ballena azul, que fue erróneamente subdividida en 2 especies distintas (B.gigas y B. Sibbaldi), el resto de rorcuales fueron ya correctamente identificados por Lilljeborg y Sars, aunque bajo denominaciones posteriormente corregidas. Sin embargo, sus trabajos tuvieron inicialmente poco alcance y la sistemática de la especie continuó durante varios años enormemente confusa. Tanto es así que, en 1874, Lilljeborg nos hablaba todavía de cerca de 40 especies diferentes de misticetos, de los cuales 27 eran balenoptéridos; actualmente estas 27 especies han sido resumidas a tan sólo 6 (Brinkmann, 1967).

De hecho, las dudas sobre la taxonomía de las grandes ballenas no se disiparon definitivamente hasta ya entrado el último cuarto de siglo, cuando el noruego Svend Foyn inventó el cañón lanzaarpones y abrió las puertas de la industria ballenera moderna, permitiendo a los científicos el examen directo de los animales en condiciones favorables.

Así Sars, después de dos estancias en las factorías balleneras de la costa noruega, publicó unas excelentes descripciones de la ballena de aleta, la azul y la aliblanca. En concreto, él ya resaltó la pigmentación amarillenta de las barbas delanteras del maxilar derecho. Sin embargo, debido a la escasa difusión que tuvieron sus estudios, esta característica distintiva de la especie no fue aceptada totalmente hasta muchos años más tarde (Jonsgard, 1966).

Finalmente, True (1898) deshizo el entuerto creado por Comanyo setenta años antes y restituyó a esta especie el nombre originalmente dado por Linné y luego corregido por Lacépède de Balaenoptera physalus, que es el que se ha mantenido hasta nuestros días.

Actualmente, y según Rice (1977), se admite que la ballena de aleta puede subdividirse en 2 subespecies: B. physalus quoyi en el hemisferio sur y B. physalus physalus, de tamaño algo menor, que vive en el hemisferio norte.

La diferencia de tamaños entre una y otra subespecie es de unos 170-180 cm en las hembras y de alrededor de 100 cm en los machos. Además de la talla, la forma y proporciones del cuerpo parecen algo diferentes, principalmente en lo que respecta a las aletas pectorales, que son más largas y estrechas en B. p. quoyi (Tomilin, 1967).

A pesar de haberse sugerido en alguna ocasión que las ballenas de aleta del Atlántico y del Pacífico Norte podrían pertenecer a subespecies distintas, éstas parecen mucho más próximas entre si que con las del hemisferio sur.

## 2.2. ASPECTO EXTERNO

=====

### 2.2.1. FORMA DEL CUERPO

=====

La ballena de aleta es el segundo de los rorcuales en tamaño, tan sólo superada por la ballena azul (Balaenoptera musculus). Las poblaciones del hemisferio sur tienen una tasa de crecimiento más rápida y alcanzan tamaños entre 170 y 180 cm (Tomilin, 1967) superiores a los del hemisferio norte. Posiblemente la diferencia se deba a una desigual disponibilidad de alimento en un hemisferio u otro. Hay que recordar por un lado la elevada productividad de las aguas al sur de la Convergencia Antártica, donde se hallan localizadas las áreas de alimentación del rorcual común austral, y, por otro, el hecho de que el nivel trófico explotado por esta especie en el hemisferio norte es superior al del hemisferio sur (Lockyer et al., 1984).

Existe además un claro dimorfismo sexual en el tamaño de Balaenoptera physalus, siendo las hembras aproximadamente un metro más grandes que los machos de su misma edad.

Como se verá más adelante al estudiar las curvas de crecimiento (apartado 5.1.3.) la talla máxima de los ejemplares adultos muestra una cierta plasticidad, no sólo entre distintas poblaciones sino también entre distintas generaciones en una misma población. Sin embargo, de un modo global las diferencias son claras; según Tomilin (1967) y Nishiwaki (1972) las hembras de rorcual común de mayor tamaño capturadas en la Antártida y en el hemisferio norte fueron de 27.3 y 24.4 m respectivamente. Los correspondientes valores para los machos fueron 26.8 y 23.8 m.

No obstante, esto son valores extremos y las tallas medias son muy inferiores a estos valores. Risting (1928) examinó las estadísticas de captura de distintas localidades y observó tamaños medios cercanos a

los 21 m y 20 m en las hembras y los machos del hemisferio sur y a los 19.5 y 18.5 m en los ejemplares del norte. Es importante señalar, sin embargo, que la talla media de captura se ve muy influida por la selectividad de los arponeros, que puede variar a lo largo del tiempo y de pesquería a pesquería.

La forma del cuerpo de la ballena de aleta es esbelta en comparación con la de los otros rorcuales. La sección mayor del cuerpo está situada aproximadamente a la altura de las aletas pectorales y suele alcanzar una sexta parte de la longitud del ejemplar, aunque existen considerables variaciones según el estado nutritivo de cada ejemplar. Debido a su mayor delgadez, el peso de Balaenoptera physalus es mucho menor que el de Balaenoptera musculus a iguales tallas, en general no superando las 60 tm.

El rostro es más estrecho y afilado que el de la ballena azul, pero tiene una única cresta dorsal al igual que esta última especie y que el rorcual norteño, Balaenoptera borealis, diferenciándose por ello claramente de la ballena de Bryde, Balaenoptera edeni.

Nemoto (1962) vio que existía un dimorfismo sexual en la forma de la parte anterior de la cabeza. Los machos adultos presentaban una protuberancia bien desarrollada en la punta del rostro, mientras que las hembras no mostraban este carácter. Esta protuberancia no existe en los animales jóvenes, ya sean machos o hembras, y parece que se desarrolla poco después de que el ejemplar alcance su madurez sexual.

Los surcos ventrales alcanzan el ombligo sin sobrepasarlo, asemejándose en este carácter a B.musculus y a B.edeni, pero distinguiéndose de B. borealis en la que los surcos se interrumpen a la altura del extremo distal de las aletas pectorales.

La aleta dorsal está localizada en el tercio posterior y está bien desarrollada, en general alcanzando una altura aproximada de la mitad de su base. Se ha podido comprobar que existe una gran diversidad en la forma y el ángulo de la aleta sin que al parecer exista relación alguna con el sexo o la edad de la ballena. En proporción al resto del cuerpo, la aleta dorsal está más desarrollada en esta especie que en B.musculus y Megaptera novaeangliae, pero menos que en B. borealis y B. edeni.

## 2.2.2. PROPORCIONES CORPORALES

=====

La utilización de caracteres morfométricos para la diferenciación de poblaciones de ballenas ha sido intentada por diferentes investigadores con grados variables de éxito (Mackintosh y Wheeler, 1929; Fujino, 1954; 1956; Ichihara, 1957; Ohsumi, 1960; Doroshenko, 1979). En general el problema principal para la comparación de estos caracteres reside en su gran variabilidad, que se ve además aumentada por la heterogeneidad de la población muestreada en la que se mezclan casi siempre ejemplares de distintos sexos, tallas, edades y características fisiológicas.

En la actualidad no se dispone de material morfométrico de otras poblaciones del Atlántico norte, por lo que no es posible efectuar comparaciones que ayuden a establecer la identidad y aislamiento del stock de rorcual común estudiado. Sin embargo, vale la pena examinar con un cierto detalle el cambio en las proporciones corporales asociado al desarrollo del animal y el posible dimorfismo sexual existente en ellas, así como la a menudo sugerida existencia de una asimetría entre los dos costados del animal.

### 2.2.2.1. Metodología

=====

En un principio las medidas que se utilizaron fueron las propuestas por Mackintosh y Wheeler (1929) en su estudio de las ballenas antárticas. No obstante, al recoger la morfometría se vio que determinadas medidas eran imprecisas o se prestan a apreciaciones subjetivas en su estima, por lo que fueron eliminadas.

Las medidas finalmente consideradas (ver figura 2.1.) son las siguientes:

- 1: Longitud total, tomada desde la punta de la mandíbula superior hasta la hendidura que separa los dos lóbulos de la aleta caudal.
- 2: Longitud desde la punta de la mandíbula superior hasta el centro del ojo.
- 3: Longitud desde la punta de la mandíbula superior hasta el punto medio de la comisura bucal.
- 4: Longitud desde la punta de la mandíbula superior hasta la inserción anterior de la aleta pectoral.
- 5: Longitud desde la punta de la mandíbula superior hasta la punta de la aleta dorsal.
- 6: Longitud desde la punta de la mandíbula superior en proyección hasta el punto medio del ombligo.
- 7: Longitud desde la punta de la mandíbula superior en proyección hasta el punto medio de la abertura genital.
- 8: Longitud desde la inserción anterior de la aleta pectoral hasta la punta.
- 9: Perímetro en un plano transversal a la altura de la inserción posterior de las aletas pectorales.
- 10: Número de barbas; para una mayor uniformidad se tomó siempre el costado derecho.
- 11: Longitud de la parte visible de la barba mayor en el costado derecho.

En la expresión de las proporciones las medidas han sido transformadas en porcentajes respecto a la talla del ejemplar (medida 1).

Todas las longitudes fueron medidas en proyección. El número de barbas se contó según la metodología propuesta por Williamson (1973).

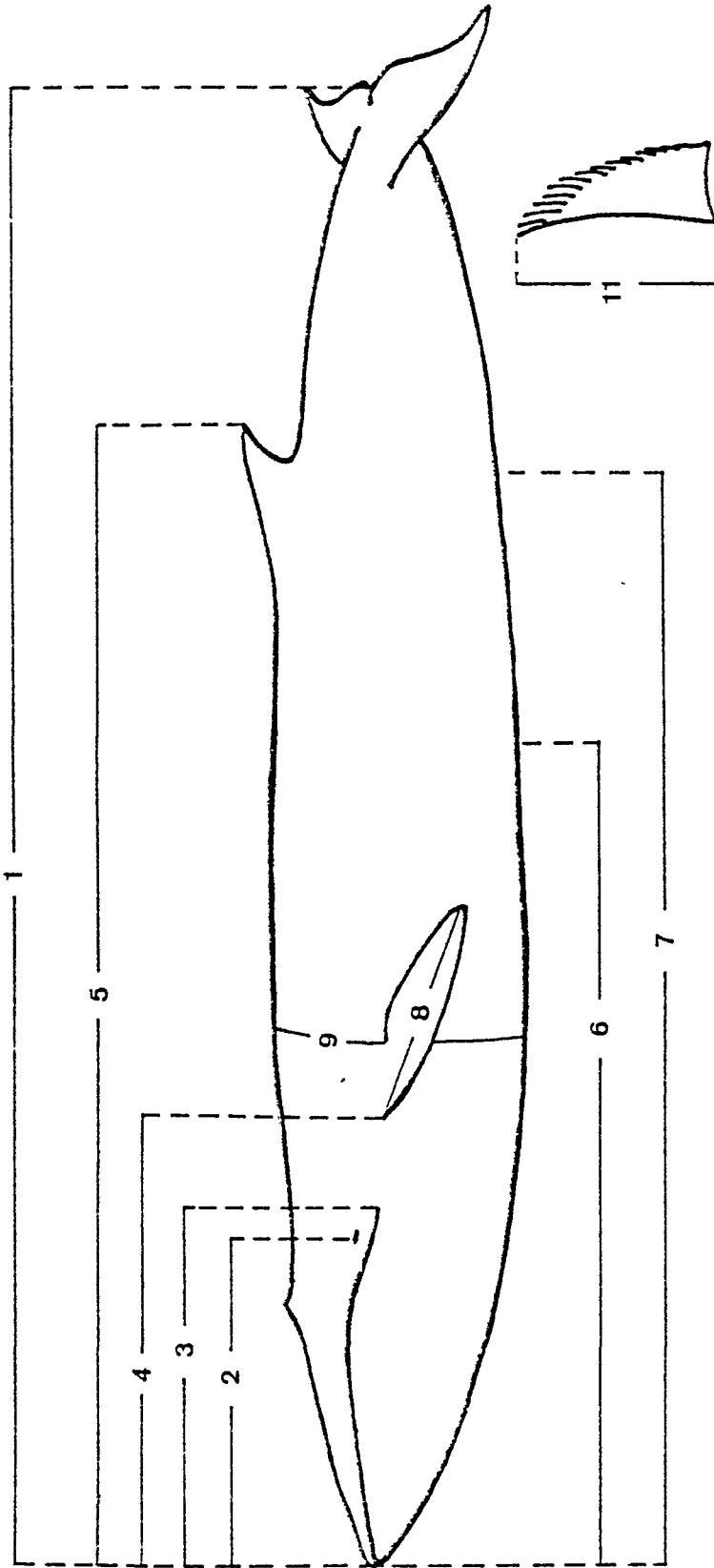


Figura 2.1.- Medidas utilizadas para el estudio de las proporciones corporales.

### 2.2.2. RESULTADOS

=====

En general, la forma externa de los peces varía poco durante la vida postembrional (Bryden, 1972) y es posible que algo semejante suceda con el resto de vertebrados marinos.

Los ejemplares de B.physalus examinados no mostraron cambios importantes en sus proporciones a lo largo del desarrollo. En la figura 2.2. se ha representado gráficamente la evolución de las proporciones corporales desde los primeros meses de gestación, cuando el feto alcanza una talla entre 100 y 200 cm hasta que el ejemplar es adulto.

Las medidas de machos y hembras se han combinado en el cálculo ya que las muestras de cada clase de talla no presentaron diferencias significativas entre ambos sexos (aplicando la prueba de la t). Estudios anteriores en otras áreas concuerdan con este resultado y, aparte de las que afectan a los órganos genitales, no parece haber dimorfismo sexual alguno en las proporciones corporales (Mackintosh y Wheeler, 1929; Fujino, 1954; Ichihara, 1957; Ohsumi, 1960).

Como puede verse, el cambio más aparente es en el tamaño de la cabeza, que aumenta durante los últimos meses de desarrollo intrauterino hasta alcanzar, antes del nacimiento, unas proporciones muy similares a las del adulto. Parece observarse, no obstante, un ligero crecimiento de la cabeza en relación al resto del cuerpo, que podría persistir hasta la madurez sexual. Fujino (1954), estudiando la población de ballenas de aleta del Pacífico norte, observó un desarrollo semejante y sugería, además, que el tamaño de la cabeza podría disminuir algo en edades ya avanzadas, extremo que no ha podido ser comprobado en nuestro estudio por una insuficiente representación muestral.



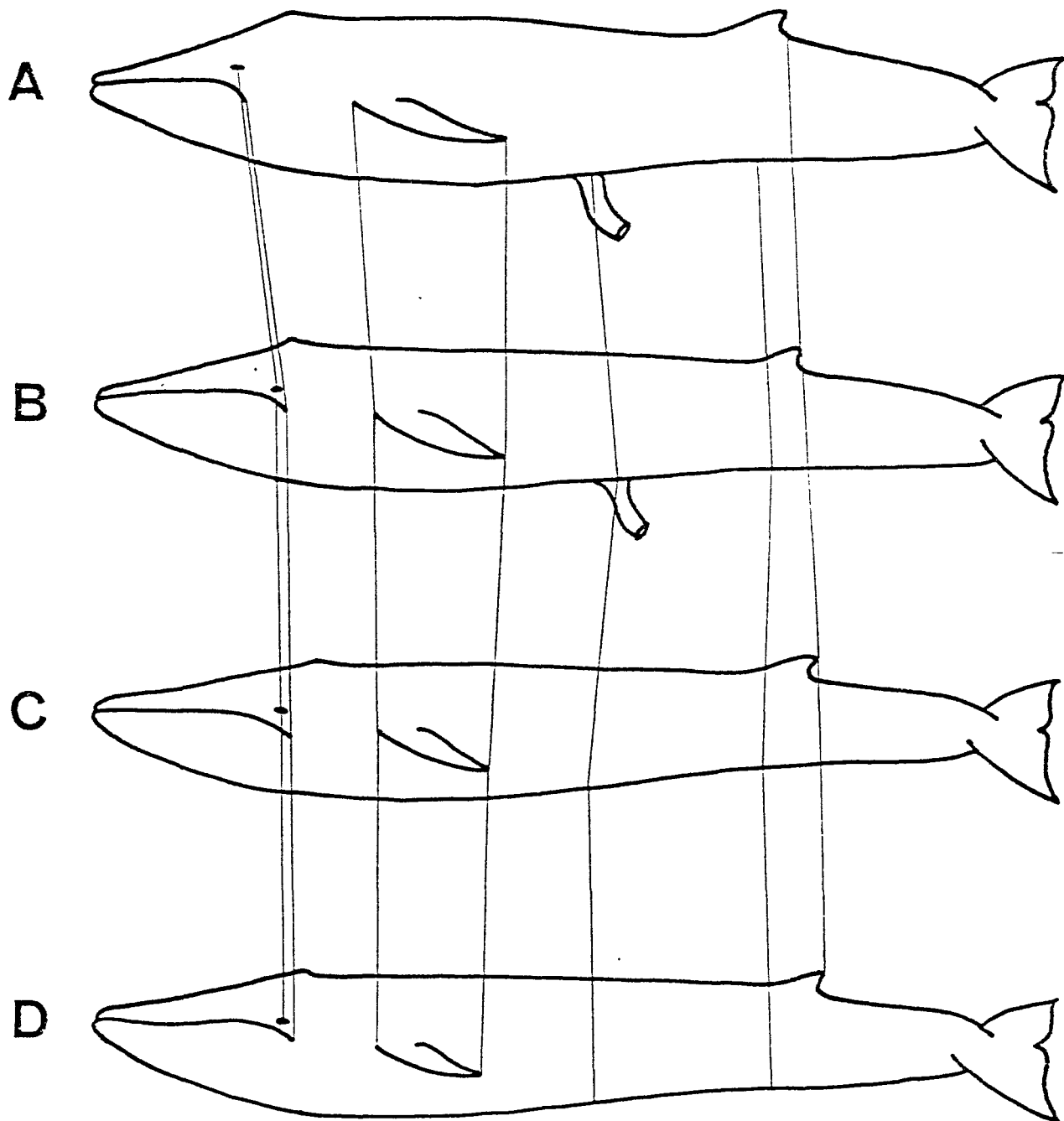


Figura 2.2.- Variación de las proporciones corporales de la ballena de aleta en diferentes tallas corporales. A = feto (100-200 cm); B = Feto (200-300 cm); C = juvenil (12-16 m); D = adulto (16-21 m).

Aparte de esto, puede verse en la figura 2.2. un desplazamiento general en dirección caudal de todas las porciones del cuerpo, fenómeno también observado con anterioridad por Mackintosh y Wheeler (1929) y Ohsumi (1960). Así, la aleta pectoral, la dorsal, la abertura anal y, quizás, el ombligo se acercan a la cola, mientras que las partes anteriores aumentan proporcionalmente. Según Fujino (1954), este hecho podría explicarse por la osificación y fusión de las epífisis vertebrales que se inicia en el sector caudal.

Finalmente, también puede observarse en esta figura una disminución clara de las dimensiones de las aletas pectorales a lo largo de la vida de la ballena.

En la figura 2.3. se han representado los valores medios y las desviaciones típicas de los diámetros máximos corporales (en general situados a la altura del plano transversal de las axilas) para distintas categorías. Como puede verse, hay una clara tendencia iniciada ya en la etapa de vida intrauterina, de estilización del cuerpo de la ballena conforme crece. Los fetos son más anchos que los juveniles y éstos lo son más que los adultos.

Los machos y las hembras adultas, siempre que estas últimas no se hallen en época reproductiva, muestran una relación similar entre diámetro y talla corporal. Sin embargo, las gestantes están mucho más gordas, tanto por el desarrollo del embrión y la hipertrofia de los tejidos que lo sustentan como por la acumulación de reservas energéticas necesarias para sobrellevar la gestación y la posterior lactancia. Las hembras lactantes se hallan, como es lógico, en una situación intermedia entre las gestantes y las que se hallan en reposo reproductivo.

Por otra parte, en la figura 2.4. se ha representado el número de barbas en una mandíbula para cada clase de talla. Al parecer, el número de barbas es constante a lo largo de la vida del animal, por lo que el crecimiento del aparato filtrador se producirá por desarrollo de las barbas ya existentes y de los espacios que las separan y no por adición de nuevas láminas.

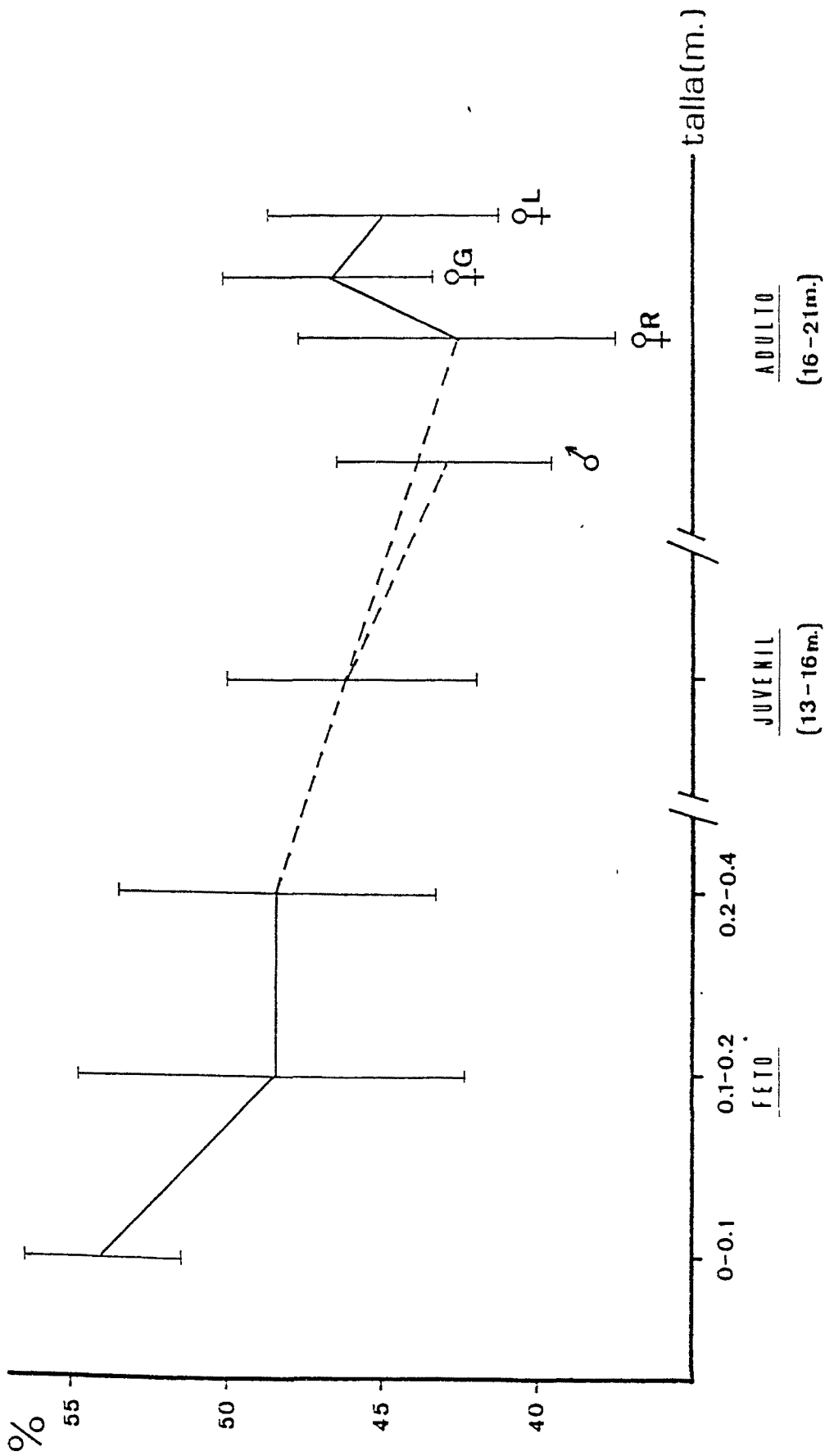


Figura 2.3.- Evolución del diámetro máximo corporal, expresado como porcentaje de la talla, a lo largo del desarrollo de la ballena. R = hembra en descanso ; G = gestante; L = lactante.

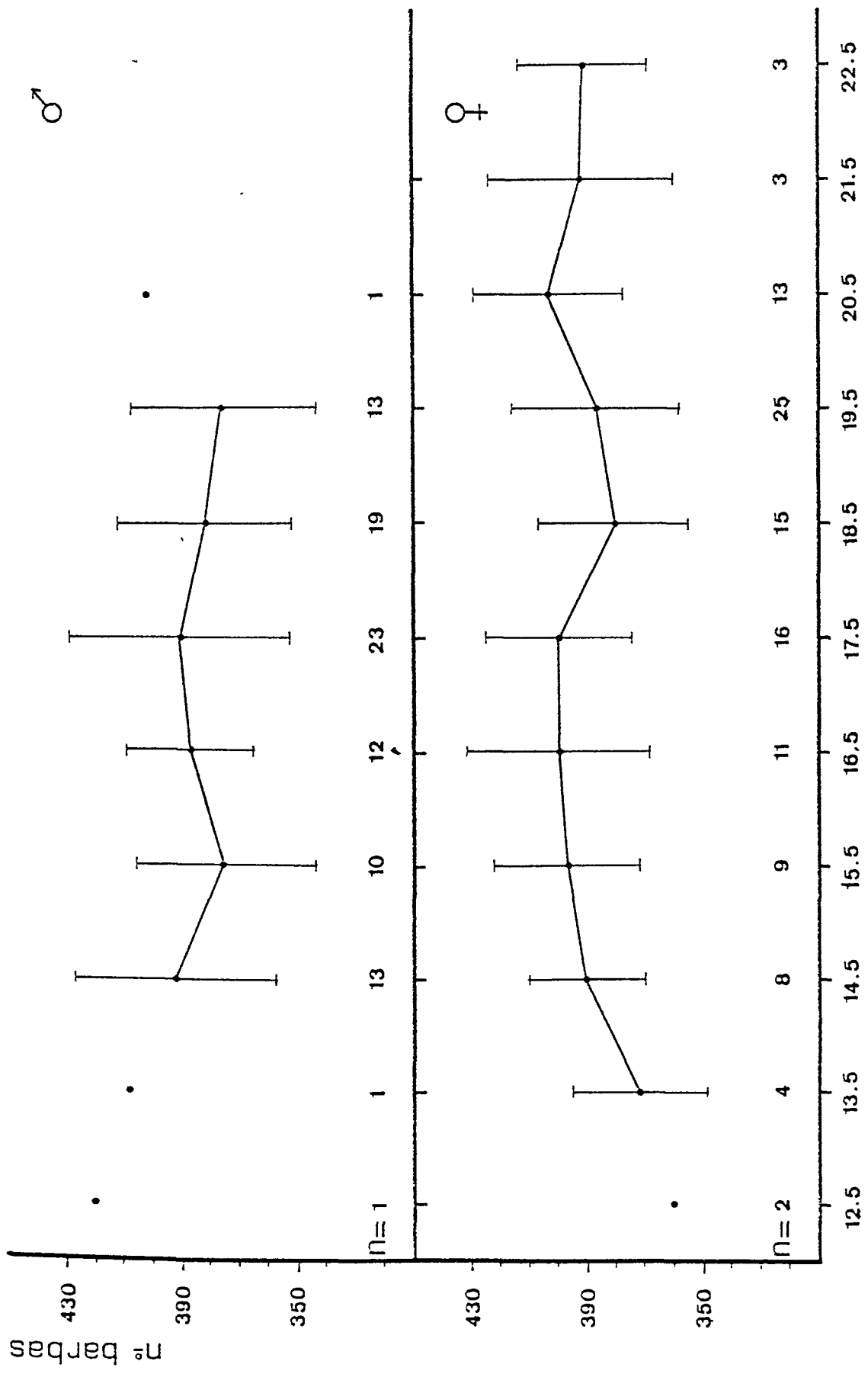


Figura 2.4.- Relación entre el número de barbas en una mandíbula y la talla de la ballena. Los puntos representan los valores medios y las barras la desviación standard en cada clase de talla, siempre que n sea mayor a 2.

Ohsumi (1960) considera que las barbas comienzan a aflorar y a formar flecos cuando el feto alcanza los 430 cm de talla. Sin embargo, nosotros hemos observado ejemplares con el aparato filtrador ya visible de tamaños mucho menores. El feto más joven con barbas afloradas fue el 82076, de tan sólo 275 cm de longitud total.

Según Mackintosh y Wheeler (1929) el aparato filtrador sufre un repentino desarrollo cuando la ballena de aleta alcanza los 13 m aproximadamente, que es cuando se acerca al momento del destete. A partir de entonces, no obstante, las barbas muestran un crecimiento isométrico respecto a la talla, como puede verse en la figura 2.5., en la que se han representado los valores del cociente entre el tamaño de la barba mayor y la longitud total.

Nuestro tamaño muestral es relativamente reducido y ello impide un análisis pormenorizado del crecimiento alométrico. Ohsumi (1960), que estudió con detalle el problema en el Pacífico norte y la Antártida, encontró frecuentes discontinuidades e irregularidades en el crecimiento relativo de la mayor parte de porciones corporales, lo que significa que las comparaciones entre distintas poblaciones tan sólo son factibles cuando se dispone de muestras con distribuciones de tallas homogéneas.

En la tabla 2.1. se detallan las proporciones corporales medias y los estadísticos de dispersión de la población adulta de B.physalus examinada.

Las medidas que se han revelado más útiles para diferenciar poblaciones son las que afectan a la aleta dorsal (5), las pectorales (8) y el orificio anal (7), aunque se han realizado intentos también a partir de las dimensiones y número de barbas del aparato filtrador (Fujino, 1954; Ohsumi, 1960; Beek y Utrecht, 1984).

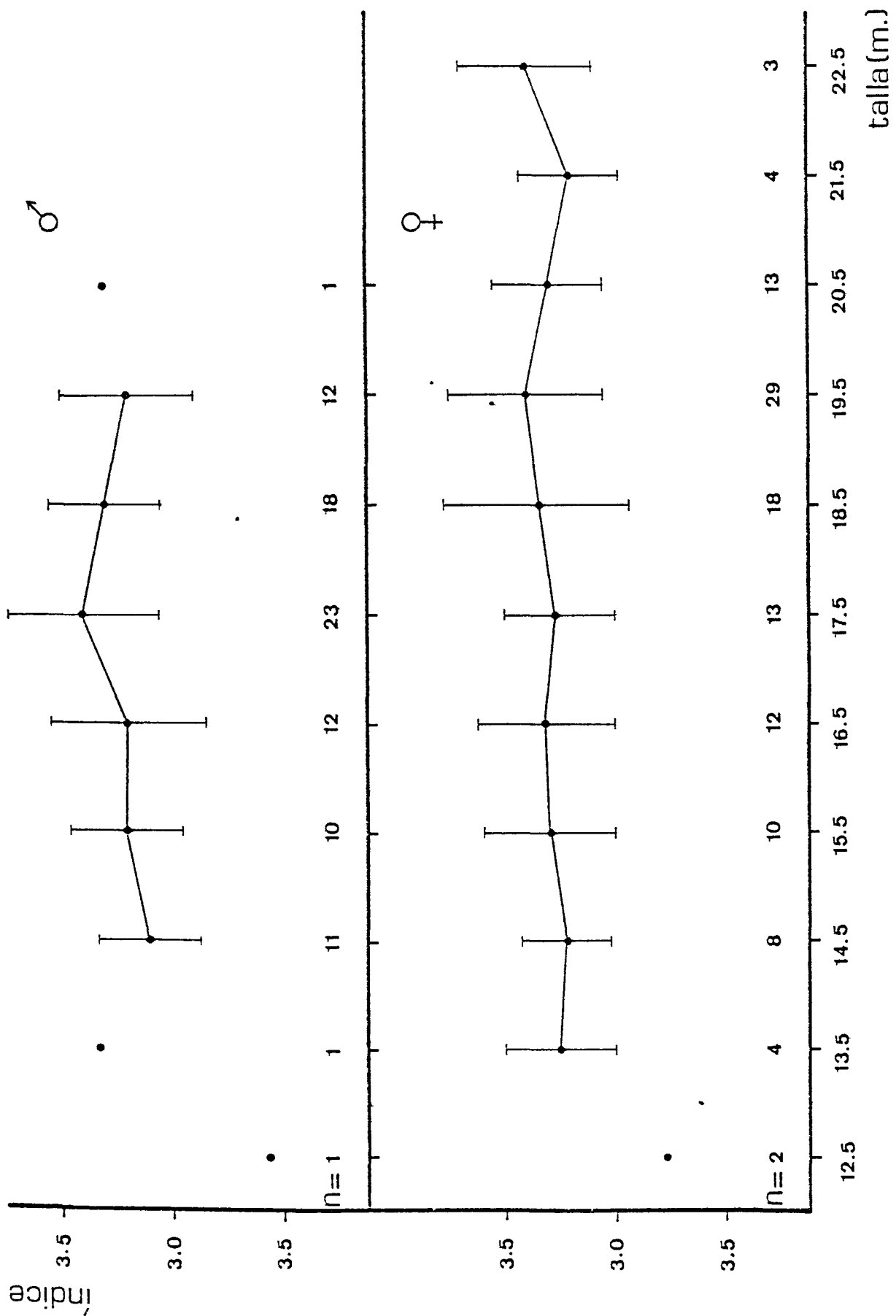


Figura 2.5.- Relación entre la longitud de la barba de mayor tamaño y la talla de la ballena. El índice expresa la relación : longitud barba x 100 / talla ballena. Los puntos representan los valores medios y las barras la desviación standard en cada clase de talla, siempre que n sea mayor a 2.

MEDIDAS	MACHOS			HEMBRAS			POBLACION TOTAL		
	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD
2	15	19.7	0.5	36	19.8	1.1	51	19.8	1.0
3	13	20.2	0.6	29	20.1	1.1	42	20.1	0.9
4	13	31.0	0.9	31	30.3	2.5	44	30.5	1.9
5	13	76.6	1.3	37	74.9	2.6	50	75.3	2.2
6	10	53.7	1.5	30	53.9	2.2	40	53.8	2.1
7	14	71.9	1.4	32	72.1	3.4	46	72	3.4
8	13	11.9	0.5	27	11.7	1.2	40	11.8	1.1
9	12	43.0	3.4	19	44.8	4.4	-	N.C.	N.C.
Nº barbas	33	380.2	30.1	59	389.5	28.3	92	386.2	29.4
L. barba mayor(cm)	31	62.3	5.3	67	65.8	6.1	98	64.7	5.9

Tabla 2.1.: Proporciones corporales medias de los ejemplares adultos (talla superior a 18 m). El número de barbas y la longitud de la barba mayor están expresadas en terminos absolutos ; el resto se expresan como porcentajes relativos a la talla corporal. La medida 9 no ha sido calculada para la población total por presentar diferencias entre sexos (ver texto)

No obstante, la toma de estos últimos parámetros y, en especial, del número de barbas puede prestarse a importantes subjetividades a menos que se utilice una metodología consistente. Las comparaciones de resultados obtenidos por distintos recolectores entrañan un gran riesgo.

Como puede verse en la tabla 2.2. las ballenas de aleta de las distintas poblaciones del hemisferio norte muestran todas ellas unas proporciones corporales muy semejantes, pero se distinguen bien de las del hemisferio sur. En la Antártida B.physalus tiene unas aletas pectorales mayores, la aleta dorsal ocupa una posición más central y el orificio anal se abre más cerca de la cola de lo que es habitual en las poblaciones boreales.

Sin embargo, el material disponible es insuficiente para intentar distinguir entre las distintas poblaciones del hemisferio norte, todas ellas con un cuerpo similarmente proporcionado.

#### 2.2.2. PIGMENTACION

=====

True (1904), Cabrera (1925) y Ellis (1982) han producido excelentes y detalladas descripciones de las pautas de pigmentación de B. physalus, por lo que aquí nos limitaremos a describirla someramente.

A nivel general, la parte ventral de la ballena de aleta es blanca y la dorsal y los costados posteriores son de color gris pizarra sin el moteado típico de la ballena azul. Sin embargo, si se observa la coloración con mayor atención puede observarse una banda blanca o gris pálido que parte del orificio auditivo hacia atrás, desviándose dorsalmente, y otra oscura que parte del ojo derecho y se arquea por encima del hombro yendo a fundirse con la coloración oscura del lado izquierdo.



M E D I D A S

LOCALIDAD	5	7	8	REFERENCIA
Pacífico Norte	77.3	72.1	11.8	Fujino (1954)
Japón	77.9	71.9	11.7	Fujino (1954)
Kamchatka	74.6	72.8	11.3	Tomilin (1967)
Terranova	77.1	72.1	-	Tomilin (1967)
Península Ibérica	75.3	72.0	11.8	Presente estudio
Antártida	71.5	75.6	13.1	Mackintosh y Wheeler (1929)

Tabla 2.2.: Comparación de tres medidas corporales en distintas áreas. Valores expresados en porcentajes relativos a la talla de la ballena.

Además, en la parte dorsal puede distinguirse una franja de tono claro en forma de V con el vértice orientado anteriormente y, en la parte ventral, entre la cola y el orificio anal, otra de forma parecida, pero esta vez de color oscuro y orientada en sentido contrario (ver figura 2.6.).

Poco después de la muerte de la ballena su coloración cambia, oscureciéndose y haciendo menos patentes estas franjas características, que a menudo pasan desapercibidas.

Sin embargo, la particularidad más notable de la coloración de B. physalus es la asimetría que afecta a la mitad anterior de su cuerpo. Mientras el lado izquierdo de la cabeza, tanto dorsal como ventralmente, es de color gris oscuro, el lado derecho es mucho más claro en la parte dorsal y blanco en la ventral. La coloración oscura del lado izquierdo se va reduciendo en dirección caudal y, a la altura de las aletas pectorales, el vientre ya es totalmente blanco.

La asimetría afecta también a la coloración de las barbas y, mientras las izquierdas son todas ellas de color gris, el tercio anterior de las derechas es de una tonalidad blanco-amarillenta. Esta asimetría, única entre los mamíferos vivientes, puede asociarse a la manera como B. physalus captura sus presas, ya que, cuando se alimenta de peces, frecuentemente nada de lado dándole a su silueta un giro de 90° (Mitchell, 1974b; Watkins y Schevill, 1979).

La pigmentación de la ballena de aleta es bastante constante de un ejemplar a otro, observándose pocas variaciones individuales o entre poblaciones, no habiéndose descrito hasta ahora dimorfismo sexual alguno en este sentido (Omura, 1950; Nishiwaki y Hayashi, 1950). Los casos de albinismo son rarísimos (Tomilin, 1967).

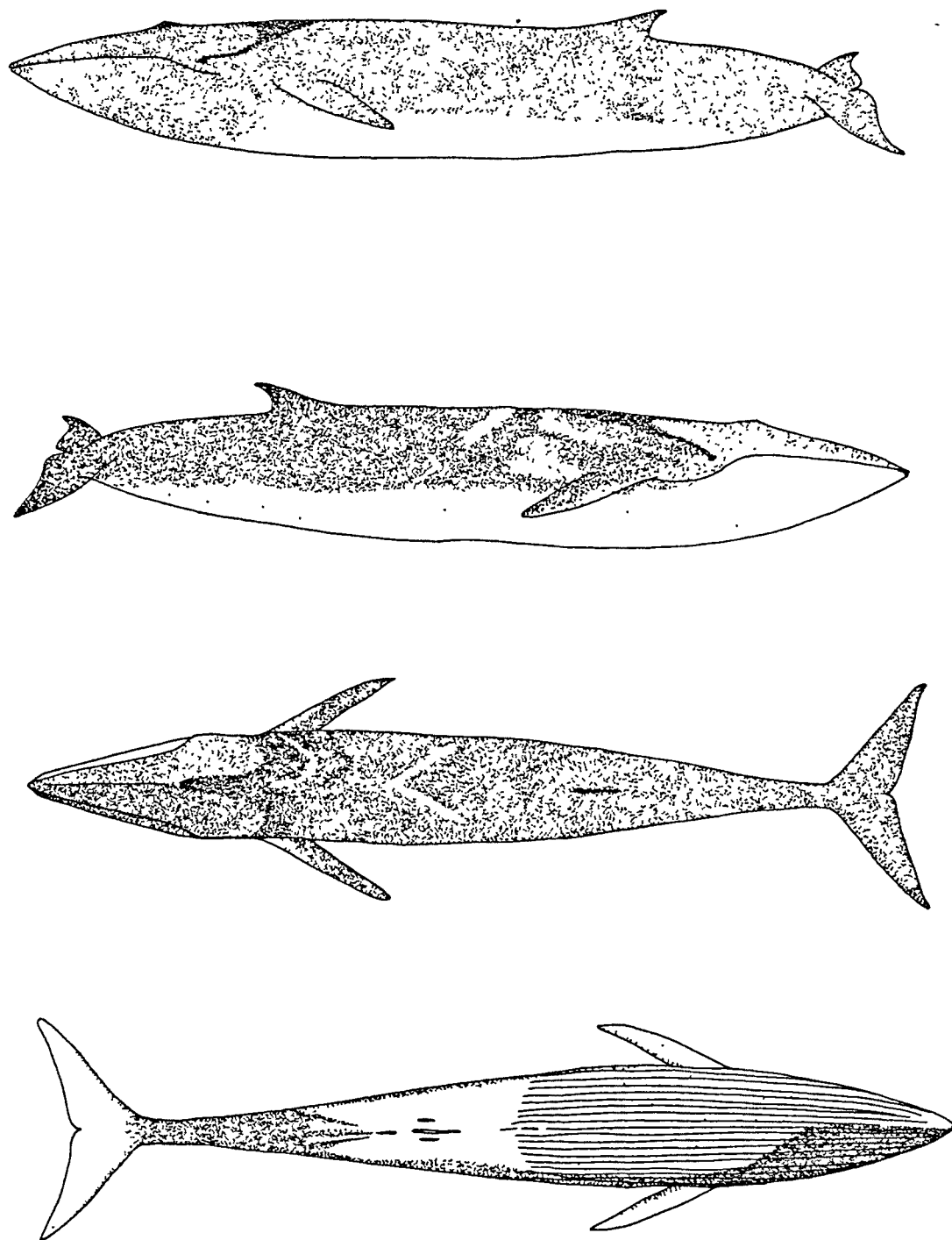


Figura 2.6. - Pautas de pigmentación en B. physalus.

3. INTEGRACION DE LA ESPECIE EN EL MEDIO

=====

### 3.1. ALIMENTACION

=====

Justo después del abarloomiento de la ballena y al iniciar el remolque desde el cazaballenero se le practica al ejemplar capturado un corte en el vientre a fin de permitir que el agua entre en la cavidad visceral y la refrigere, mejorando así el estado de conservación de la carne.

Como se irá viendo a lo largo de esta memoria, este corte ventral produce a menudo la pérdida de material de estudio, en especial de los órganos reproductores de las hembras. El estómago y los intestinos también se ven a menudo afectados por el corte y es frecuente que se observe al iniciar el remolque una pérdida del contenido estomacal.

Por otra parte, las ballenas se remolcan de cola y, aunque el estómago o los intestinos no resulten directamente seccionados, el efecto mecánico del agua que penetra por el corte y presiona el estómago, sobre todo cuando hay mala mar, va empujando el contenido estomacal a través del esófago a la boca y produce abundantes pérdidas.

Por estos motivos un estudio sistemático de la alimentación, en especial de sus aspectos cuantitativos, es imposible.

No obstante, vale la pena indicar que existe una cierta tendencia a que el grado de repleción de los estómagos sea mayor en los meses centrales de captura (julio y agosto) y menor en los del principio y final de la temporada. Esto podría deberse a que la abundancia de krill es mayor durante los meses de más calor, a que el vaciado de los estómagos es más severo cuando las condiciones meteorológicas son más inestables o a una combinación de ambos factores.

Desde un punto de vista estrictamente cualitativo, los contenidos estomacales que se han observado estaban compuestos en una abrumadora

mayoría por eufausiáceos (Krill). A menudo estos contenidos estaban demasiado digeridos pero, en las ocasiones en que se ha realizado una clasificación, la especie observada ha sido siempre Meganyctiphanes norvegica. Estos resultados coinciden con los de Lens y Quiroga (1984), aunque Quiroga et al (1983) dicen haber hallado también una segunda especie de eufausiáceo, del género Thysanoessa.

De un modo excepcional se encontraron, en dos ocasiones, contenidos estomacales con abundante presencia de peces (O. Gadiformes) y, en una ocasión, restos de unos cangrejos (O. Decápodos), pero su avanzado estado de digestión impidió una identificación más precisa.

Balaenoptera physalus es quizás el más eurífago de los balenoptéridos, variando con facilidad su fuente de alimento según la disponibilidad local. En general, existe una clara diferencia entre las poblaciones del hemisferio sur y las del norte, pues, mientras las primeras consumen casi únicamente eufausiáceos, principalmente Eufasia superba, (MacKintosh y Wheeler, 1929; Hardy y Gunther, 1935; Nemoto, 1959, 1962b; Bannister y Baker, 1967), las otras son más <sup>eurífagas</sup> ~~estenófagas~~, alimentándose de una variedad mucho más grande de presas (Nemoto, 1957; 1970; Nemoto y Kasuya, 1965; Jonsgard, 1966; Frost y Lowry, 1981).

Por otra parte, los eufausiáceos de la Antártida consumen directamente fitoplancton (Nemoto, 1966; Meyer y El-Sayed, 1983), mientras que los de los mares boreales, principalmente M.norvegica, parecen tener una dieta más omnívora (Ackman et al., 1970; Falk-Petersen, 1981; Lockyer et al., 1984). Por todo ello, el rorcual común del hemisferio norte ocupa un nivel trófico superior al del hemisferio sur, y ello debe repercutir sin duda en muchos aspectos de su fisiología y metabolismo.

Meganyctiphanes norvegica es una especie abundante en todo el Océano Atlántico y el mar Mediterráneo (Mauchline y Fisher, 1969), por lo que no es extraño que sea la presa predominante en las ballenas examinadas durante el presente estudio, así como los realizados en aguas

de Noruega (Jonsgard, 1966), islas Shetland (Haldane, 1905), Islandia (Jonsgard y Christensen, 1968), Irlanda (Lillie, 1910) o Canadá (Mitchell, 1974b; Brodie et al., 1978). Sin embargo, en aquellas zonas o en aquellas temporadas en las que los eufausiáceos no son abundantes, el rorcual común se alimenta sin dificultad de peces de pequeño tamaño, principalmente de capelan (Mallotus villosus), arenque (Clupea harengus), sardina (Sardina pilchardus) y caballa (Scomber scombrus) o incluso de algunos cefalópodos también de reducidas dimensiones (Jonsgard, 1966; Mitchell, 1974b; Sergeant 1977).

Aun considerando que pueda haber habido una pérdida importante del alimento ingerido, la cantidad total hallada en el interior de los estómagos suele ser abundante, especialmente en los meses de julio y agosto. Durante la campaña de 1979, cuando el corte en el abdomen no era todavía una práctica habitual, se pesó el contenido del primer compartimento de un estómago considerado como lleno y el resultado fueron 117 kg de eufausiáceos. Este tipo de medidas no se tomaron posteriormente, pero una apreciación visual del grado de repleción indica que, como mínimo, un porcentaje superior al 50% de las ballenas capturadas guarda todavía en su estómago cantidades sustanciales de alimento. Como se decía antes, los porcentajes de repleción son mayores en los meses centrales de la temporada de caza y menores al principio y al final de ésta.

Sin duda, las aguas del noroeste de la Península Ibérica son las áreas de alimentación de esta población. No se dispone de mucha información sobre el régimen alimentario del rorcual común en el Estrecho de Gibraltar o en el mar Mediterráneo. Cabrera (1925) examinó siete ejemplares capturados en el Estrecho durante el mes de mayo y encontró restos de clupeidos en dos de ellos y krill en el resto. Sin embargo, es probable que la cantidad de alimento ingerido sea menor en esta zona durante el invierno. Gambell (1968), comparando los pesos de los contenidos estomacales de Balaenoptera borealis en distintas zonas, vio que la cantidad de alimento ingerido en verano era casi veinte veces superior en peso a la de invierno. Balaenoptera physalus muestra en general un régimen migratorio y unos hábitos alimentarios más severos que la especie estudiada por Gambell, por lo que la diferencia puede ser aún más importante.

Hay que señalar, no obstante, que Meganyctiphanes norvegica es relativamente abundante en el mar Mediterráneo, por lo que, sin descartar la posibilidad de que el rorcual común aproveche otros recursos tróficos, es probable que exista una alimentación oportunística de eufausiáceos.

Por otra parte, en una ocasión se observó en el Mediterráneo (41°25'N; 3°5'E) durante el mes de octubre una pareja de rorcuales comunes mostrando el típico comportamiento de esta especie cuando se alimenta de un banco de peces (ver apartado 2.3.).

### 3.2. COMPETENCIA INTERESPECIFICA Y ESPECIES ASOCIADAS

---

La zona de distribución de Balaenoptera physalus se solapa con la de otras especies de misticetos y organismos marinos de régimen alimentario estrechamente ligado al krill, por lo que existe sin duda una cierta competencia entre ellas por la explotación del mismo recurso trófico.

El modelo de Kawamura (1978) sobre la competencia interespecífica en aguas del hemisferio sur describe de un modo global las interacciones entre los distintos balenoptéridos, pero no es directamente transferible al Atlántico norte ya que los hábitos alimentarios de una misma especie varían considerablemente de una zona a otra. Por ello es necesario examinar de una manera pormenorizada cada especie.

La ballena azul (Balaenoptera musculus) es quizás el balenoptérido más abundante en la zona después de la ballena de aleta y se caracteriza por una marcada estenofagia, con una dieta basada casi únicamente en eufausiáceos (Nemoto, 1959). No se dispone de información directa sobre los hábitos alimentarios de esta especie en el Atlántico norte,



pero en algunas ocasiones en las que se han observado animales en libertad las heces tenían un color anaranjado, muy similar a las de B.physalus, que, según Bannister y Baker (1967) es el típico resultado de una dieta basada en crustáceos.

Además, las zonas de ocupación y la cronología de la migración son muy semejantes en las dos especies y es relativamente frecuente que la ballena azul forme manadas mixtas con la de aleta (ver tabla 3.1.), por todo lo cual debe existir una fuerte competencia entre ambas.

El rorcual norteño (Balaenoptera borealis), en cambio, se alimenta de copépodos, anfípodos y peces además de eufausiáceos y la ballena de Bryde (Balaenoptera edeni) lo hace de peces y copépodos (Nemoto, 1959; 1970; Nemoto y Kawamura, 1977; Kawamura, 1980), por lo que el solapamiento con B. physalus en la dieta debe ser relativamente reducido. De hecho, el máximo de abundancia de estas especies parece darse en el mes de octubre, cuando el rorcual común ha iniciado ya su migración hacia latitudes más bajas (Aguilar y Sanpera, 1982).

La yubarta (Megaptera novaeangliae) y el rorcual aliblanco (Balaenoptera acutorostrata) dividen su dieta entre eufausiáceos y peces de modo semejante a B.physalus (Nemoto y Kawamura, 1977; Bjorge et al., 1981; Bryant et al., 1981; Hain et al., 1982), pero no deben representar una seria competencia debido a su escasa abundancia en la zona de distribución de esta última especie.

La ballena franca (Eubalaena glacialis), finalmente, tampoco debe producir presión significativa sobre B.physalus, pues su población se ha reducido a niveles mínimos (Aguilar, in press) y su dieta se fundamenta en pequeños copépodos (Kawamura, 1980).

A parte del caso antes descrito de la ballena azul, en nuestras aguas se ha visto a la ballena de aleta formar manadas mixtas o, mejor, agregaciones con el delfín listado (Stenella coeruleoalba) y con el calderón, (Globicephala melaena) (comunicación personal de E.Grau), aunque en estos casos las especies implicadas no debían estar consumiendo el mismo alimento, sino explotando distintos recursos de una misma agregación de organismos compuesta por varios niveles tróficos.

Fecha	Situación	Composición de la manada
15.09.1981	41°23'N 11°30'W	1 <u>B. musculus</u>
15.09.1981	41°21'N 11°30'W	1 <u>B. musculus</u>
06.08.1982	44°15'N 11°20'W	2 <u>B. musculus</u> y 1 <u>B. physalus</u>
04.09.1983	43°10'N 10°41'W	1 <u>B. musculus</u> y 1 <u>B. physalus</u>
05.09.1983	43°27'N 10°43'W	1 <u>B. musculus</u>
20.10.1983	42°42'N 11°45'W	1 <u>B. musculus</u> y 3 <u>B. physalus</u>
20.10.1983	42°45'N 11°47'W	1 <u>B. musculus</u>
08.08.1984	44°48'N 14°50'W	2 <u>B. musculus</u>

Tabla 3.1.: Composición de las manadas de ballena azul (Blaenoptera musculus) observadas durante los cruceros de investigación.

Del mismo modo, asociaciones espaciales como resultado de la concentración de presas directamente compartidas o de estratos tróficos que dependen de éstas, se han observado con otros organismos marinos. Dos odontocetos, Stenella coeruleoalba al sur de los 45° N y Delphinus delphis al norte de esta línea, suelen ser abundantes en las zonas donde se avistan con mayor frecuencia ballenas de aleta. En algunas ocasiones se ha visto a S. coeruleoalba nadar de modo totalmente sincrónico con B. physalus y realizar inmersiones paralelas, lo que hace suponer que estarán consumiendo la misma presa, posiblemente algún tipo de pez gregario de reducidas dimensiones.

En una reciente revisión sobre el tema, Evans (1982) cita al charrán sombrío (Sterna fuscata) y a la gaviota tridáctila (Rissa tridactyla) como las únicas especies de aves marinas asociadas a la ballena de aleta. A pesar de que ambas especies se hallan presentes en el área, no se ha observado que ninguna de ellas muestre relación alguna con B. physalus, ni de un modo directo ni indirecto.

En cambio, si ha sido evidente en varias ocasiones la asociación entre la ballena de aleta y la pardela pichoneta (Puffinus puffinus) o la cenicienta (Calonectris diomedea) (comunicación personal de M. González) y, cuando el alimento se hallaba muy concentrado, entre estas aves, la ballena de aleta y el delfín listado (S. coeruleoalba) o el común (D. delphis). De un modo general, la abundancia de pardelas, así como de paños comunes (Hydrobates pelagicus) suele ir estrechamente ligada a la de B. physalus y es incluso utilizada por los balleneros para detectar las masas de agua ricas en krill o, lo que es lo mismo, en ballenas.

Finalmente, otro organismo que parece mantener una asociación bastante estrecha con la ballena de aleta es la albacora (Thunnus alalunga) cuya abundancia local guarda cierta proporcionalidad con la especie estudiada. Examinando los datos de captura de este túnido se observa una distribución geográfica y una pauta migratoria (Alonso-Allende, 1975; Alonso-Allende y Pérez-Gándaras, 1976) muy semejantes a las de B. physalus (ver sección 4.1.), por lo que es probable que exista una cierta interacción trófica.

Si la población de un consumidor de un alimento dado se reduce, lógicamente se producirá un excedente transitorio de alimento, que puede ser aprovechado por los individuos supervivientes de esta población o por otras especies presentes en el área.

La severidad de la competencia por los recursos tróficos entre Bala-neoptera physalus y los organismos hasta aquí descritos, ya sean otros misticetos, odontocetos, aves o peces, nos es desconocido. Sin embargo, al estar esta especie fundamentando su dieta en los eufausiáceos se halla explotando un recurso clave en la dinámica trófica del océano, y los cambios en su nivel poblacional afectarán sin duda a multitud de organismos ligados de un modo directo o indirecto a la misma fuente de alimento.

B. physalus consume aproximadamente tres toneladas de eufausiáceos al día (Zenkovich, 1970) por lo que, si consideramos que esta especie se alimenta unos seis meses al año y que la población ha seguido una de las dos trayectorias posibles descritas en la sección 9 habiendo sido reducida en unos 2.700 ejemplares respecto a su estado virginal, podemos considerar que en la actualidad esta especie consume cerca de un millón y medio de toneladas de krill menos al año de lo que consumía a principios de siglo. Este excedente debe ser sin duda aprovechado por algun otro consumidor.

El argumento inverso también es cierto, pero es difícil predecir los efectos que tendrá una reducción en la abundancia de otras especies dependientes del krill en la misma área sobre el stock de rorcuales.

La mayor disponibilidad de alimento puede producir un incremento en las tasas de crecimiento y de reproducción de las especies beneficiadas, modificando el equilibrio existente antes que el medio se alterase. Hoy en día, tanto las poblaciones de túnidos como las de misticetos de las aguas atlánticas ibéricas se han reducido de modo ostensible, por lo que es razonable suponer que debe existir un excedente importante de krill. Las repercusiones que esta variación pueda tener en otras especies que coexistan con ellos son, sin embargo, difíciles de valorar.

### 3.3.FACTORES NATURALES DE MORTALIDAD

---

#### 3.3.1.ENEMIGOS Y DEPRADADORES

Las orcas (Orcinus orca) son los únicos predadores conocidos de los grandes cetáceos y existen varias referencias de ataques de estos odontocetos a ballenatos de hocico (Hyperoodon ampullatus) (Jonsgard, 1968a; 1968b), rorcuales aliblancos (Balaneoptera acutorostrata) (Hancock, 1965) y ballenas grises (Eschrichtius robustus) (Morejohn, 1968; Rice y Wolman, 1971).

Parece que la táctica de ataque de las orcas consiste en atrapar a la ballena por las aletas pectorales y la caudal inmovilizándola y ahogándola o, en casos extremos, arrancándole las aletas e incapacitándola para nadar. Rice y Wolman (1971) reconocieron marcas ya cicatrizadas producidas por orcas en las aletas del 18% de las ballenas grises examinadas por ellos.

Sin embargo, se considera en general que aunque los ataques de las orcas pueden ser relativamente frecuentes, pocos de ellos tienen éxito, a menos que la presa sea un animal previamente herido, enfermo o se trate de una cría.

La ballena de aleta es posiblemente un animal demasiado grande y poderoso para la orca y las referencias disponibles sobre encuentros de las dos especies indican que los ataques son raros, pudiendo además escapar B. physalus sin daño alguno en las ocasiones en que se dieron (Tomilin, 1967).

Entre los ejemplares estudiados se ha observado con frecuencia aletas pectorales dañadas, parcialmente amputadas o con heridas ya cicatrizadas aunque resulta difícil establecer si el origen de estas señales se debe a ataques de orcas o algún otro tipo de depredador o accidente. Las típicas marcas en rastrillo dejadas por una hilera de dientes que han sido observadas en el cachalote y otros odontocetos no han sido nunca encontradas en la piel de B. physalus, a pesar de que un elevado porcentaje de ejemplares se examinó con detalle en busca de marcas de parásitos (ver apartado 3.4.).



No obstante, en algunos casos se han observado mordiscos frescos de gran tamaño en el cuerpo de las ballenas capturadas, especialmente en la zona del pedúnculo caudal y el vientre. El aspecto y el tamaño de la herida se ajustan bien al perfil y a las dimensiones de la boca de O. orca, por lo que pueden sin duda atribuirse a ésta, aunque el ataque con toda seguridad se produjo una vez la ballena estaba ya muerta y, posiblemente, durante el remolque.

Por otra parte, aunque la presencia de orcas en las aguas en las que se alimenta la ballena de aleta es conocida, su abundancia debe ser relativamente baja (Aguilar et al., 1983; Sanpera et al., 1984b), por lo que no deben representar un factor de mortalidad importante para esta última especie.

Otros organismos que se sabe que atacan en ocasiones a los grandes cetáceos son los peces espada (Xiphius gladius) y los marlines (Makaira spp.), y se han encontrado con cierta frecuencia fragmentos o la totalidad de la hoja de la "espada" de estos peces alojada en el cuerpo de ballenas azules (Jonsgard, 1959), ballenas de aleta (Nemoto, 1959; Jonsgard, 1962), rorcuales norteños (Machida, 1970) y rorcuales aliblanco (Ohsumi, 1973). No obstante, entre los ejemplares de ballena de aleta examinados para el presente estudio no ha sido encontrado nunca rastro alguno de heridas producidas por estos peces, ni se tiene constancia de que se haya observado en el pasado.

Lógicamente, el ataque de estos peces debe ser en realidad una reacción de defensa contra las ballenas, a las que deben considerar posibles depredadores. No es probable que el hecho suceda a menudo, como tampoco parece serlo el que las heridas infligidas a la ballena sean de importancia suficiente como para poner en peligro su supervivencia, por lo que debemos concluir que no deben representar un factor de mortalidad significativo para B. physalus.

### 3.3.2. Enfermedades

=====

Aunque se ha visto que los cetáceos en cautividad son susceptibles a varias enfermedades infecciosas, se admite generalmente que los que viven en libertad, especialmente los de costumbres pelágicas como B. physalus, se ven relativamente libres de ellas (Matthews, 1978; Slijper, 1979).

Cockrill (1960a; 1960b) y Stolk (1950; 1952; 1953a; 1954) estudiaron varias de las patologías más comunes de la ballena azul y la de aleta, y las observaciones que se han realizado con posterioridad sobre el tema han sido ocasionales y fragmentarias.

A lo largo del presente estudio no se realizó un examen sistemático en este sentido, por lo que las observaciones efectuadas tienen un carácter totalmente oportunístico y no deben considerarse en modo alguno exhaustivas. Por otra parte, las enfermedades detectadas no tienen porque ser las más comunes ni las más malignas, sino tan solo las que ofrecen un cuadro patológico más evidente.

Dejando aparte las lesiones producidas por parásitos que se examinarán con más detalle en el apartado 3.3.4., el órgano que macroscópicamente pareció presentar una mayor morbilidad entre la población examinada fue el hígado, que con frecuencia mostró un aspecto anormal. Al menos en dos ocasiones se encontraron en él zonas de calcificación de color oscuro que según Cockrill (1960a) pueden producirse a partir de trombos de origen bacteriano o parasítico. Al parecer, las enfermedades hepáticas son relativamente frecuentes entre los grandes cetáceos (Stolk, 1953B; Cockrill, 1960a).

También en los pulmones de un ejemplar se observó una calcificación generalizada, con núcleos de mayor densidad, esta vez de color blanco. Un examen cuidadoso de estos pulmones no reveló la presencia de parásito alguno.

Por otra parte, en dos ocasiones al menos se observaron casos de spondylitis deformans. En el primero, tan solo dos vértebras resultaban afectadas, apareciendo un proceso de forma esférica que englobaba los cuerpos vertebrales y fusionándose las neuroapófisis a partir de los arcos neurales. En el segundo no se observó una fusión de los cuerpos vertebrales, pero las apófisis espinosas de casi todas las vértebras torácicas y algunas lumbares se hallaban totalmente fusionadas, produciendo un anquilosamiento de la columna. En ambas ocasiones los ejemplares afectados se hallaban en buena condición nutritiva y no mostraban de modo patente otras anomalías. Al parecer, estas deformaciones no son raras en los grandes cetáceos y han sido descritas con anterioridad por otros investigadores (Slijper, 1936).

Los traumatismos en cetáceos pelágicos son raros, aunque ha sucedido con relativa frecuencia que ballenas de aleta colisionen con barcos (Duguy y Toussaint, 1977) y hay algunas referencias de fracturas y lesiones traumáticas de origen desconocido (Loth, 1931 ; Slijper, 1936; 1979; Ogden et al., 1981). Sin embargo, en una población que está siendo objeto de captura, la principal y más importante fuente de traumatismos son los arponazos fallidos.

Entre las ballenas examinadas tan solo se vio un ejemplar que mostraba una cicatriz de tamaño y aspecto susceptible de haber sido producida por un arpón. En la superficie dorsal a la altura de las aletas pectorales se observaba claramente una depresión de forma más o menos circular y de unos 40 cm de diámetro, a partir de la cual surgía una cicatriz pigmentada de color claro en dirección hacia la cola y que muy probablemente se produjo por el roce del cable que sujeta el arpón. Al parecer la ballena había superado totalmente el incidente, y no pudo observarse patología o traumatismo interno alguno.



### 3.3.3. MALFORMACIONES CONGENITAS

=====  
La existencia de desarrollos patológicos en el feto durante la gestación está bien documentada para la mayoría de cetáceos (Nishiwaki, 1957b; Ohsumi, 1959; Cockrill, 1960b; Kawamura, 1969) y, según Ichihara (1962) e Ivashin y Zinchenko (1982) su incidencia puede variar según las áreas geográficas o la población de que se trate. En general, los máximos de mortalidad prenatal se producen durante los primeros y últimos meses de embarazo. Por otra parte, Fujino (1962; 1963) demostró que existían evidencias de una selección intrauterina debido a incompatibilidad materno-fetal de los grupos sanguíneos de la ballena de aleta y estimó la tasa de mortalidad fetal de la población del Atlántico sur por este motivo en el 5 por ciento. Sin embargo, entre las hembras examinadas durante el presente estudio no se ha observado la existencia de malformaciones fetales, gestaciones extrauterinas o fallecimientos fetales preparto en ningún caso.

Por el contrario, sí se han detectado algunas malformaciones congénitas en ejemplares ya adultos.

En dos ocasiones se observaron anomalías en la disposición del órgano de Jacobson. En la primera el conducto de Stenson izquierdo estaba situado al fondo de un surco que acababa entre las barbas frontales; en la segunda ambos conductos ocupaban una situación normal, pero estaban duplicados, con lo que el número total de conductos de Stenson era 4 en vez de dos (para una descripción más detallada de estas malformaciones, ver Aguilar et al., 1981).

No se conoce con certeza la función e importancia del órgano de Jacobson en los cetáceos, por lo que las consecuencias de estas anomalías son difíciles de precisar. Sin embargo, los dos ejemplares antes descritos mostraron unas condiciones nutritivas y reproductivas normales para su edad.

En otra ocasión se observó una disposición también anómala de los pezones en una ballena macho. Así, mientras que la norma es que los pezones se hallen escondidos en dos pliegues localizados uno a cada lado de la abertura genital, en esta caso ambos se hallaban en un único pliegue situado exactamente en el plano ventral de simetría, a medio camino entre el ano y el orificio genital.

Bannister (1964) describió un caso de hermafroditismo en la ballena de aleta que iba asociado a una disposición anormal de los genitales externos. No obstante, éste no es nuestro caso, ya que la anomalía afectaba tan sólo a los pezones y el ejemplar estudiado mostró una estructura interna totalmente normal. Los testículos estaban bien desarrollados para su edad (10 años) y talla (19 m), pesando 11 kg cada uno, por lo que hay que suponer que esta ballena llevaba una vida reproductiva totalmente normal.

En general, la incidencia de malformaciones congénitas parece bastante baja y, además, las observadas no muestran una trascendencia significativa en los procesos reproductivos o de crecimiento, por lo que su importancia en la dinámica de la población debe ser mínima.

#### 3.3.4. PARASITOS Y EPIZOITOS

=====

Al igual que las enfermedades, el estudio de los parásitos ha tenido un carácter puramente oportunístico. En el caso de los parásitos externos, sin embargo, el examen de las ballenas capturadas ha sido sistemático, lo cual, unido a su mayor facilidad de detección, hace que pocos de ellos pasen inadvertidos. Los internos, por el contrario, no han sido objeto de una búsqueda sistemática y las observaciones realizadas tienen un carácter

fragmentario y dependen no tanto de la frecuencia o magnitud de la infestación sino de la facilidad de detección de cada uno de ellos, ya sea por su tamaño o por la conspicuidad de las patologías que producen.

#### 3.3.4.1. Parásitos y epizoítos externos

=====

##### 3.3.4.1.1. Copépodos

El más conocido de los copépodos parásitos de la ballena de aleta es Pennella balaenopterae (Fam. Lernaeidae) cuya hembra fija su cabeza en el panículo adiposo del cetáceo, varios centímetros por debajo de la piel. El tronco del parásito sobresale al exterior unos veinte centímetros, acabando en unos flecos que surgen de segmentos caudales.

Esta especie, descrita con detalle por Koren y Danielssen (1877) y Turner (1905), es frecuente en varias especies de grandes cetáceos y ha sido observada en repetidas ocasiones parasitando a B. physalus (Allen, 1916; Cornwall, 1927; Mackintosh y Wheeler, 1929; Rice, 1963, entre otros).

Los porcentajes de infestación varían de una zona a otra, oscilando entre el 0 y el 2 por ciento de las ballenas (Nishiwaki y Hayashi, 1950; Nishiwaki y Oye, 1951; Mizue y Murata, 1951; Rice, 1963). En nuestro estudio los porcentajes variaron algo de campaña a campaña, pero en general se situaron entre un 4 y un 11 por ciento. Esta mayor incidencia de infestación puede deberse a que la población ibérica ocupa aguas de temperatura más elevada que las otras estudiadas y Pennella es un parásito propio de aguas templadas y tropicales. De hecho, Mackintosh y Wheeler (1929) y Mizue y Murata (1951) ya hicieron notar que estos parásitos se desprendían al llegar las ballenas a las aguas frías de la Antártida, por lo que los porcentajes de infestación determinados allí debían ser menores a los propios de la misma población en zonas más cálidas.

A partir de los casos de infestación observados no parece que Pennella muestre una clara tendencia a fijarse en determinadas zonas del cuerpo de la ballena. En general se han encontrado parásitos alrededor de todo el cuerpo, aunque es probable que algunos puntos de la región cefálica en que el espesor del panículo adiposo del rorcual es muy reducido no sean aptos para la fijación del copépodo.

Según Mackintosh y Wheeler (1929) la infestación por Pennella indicaría que la ballena está enferma y que no es capaz de desprenderse del parásito. Sin embargo, este hecho no ha podido ser comprobado y los ejemplares infestados no mostraron ningún tipo de desorden interno.

Otro copépodo que se encuentra comúnmente en los rorcuales es Balaenophilus unisetus (Fam. Harpacticoidae), crustáceo de unos 2 mm de tamaño que vive epizoíto en la zona bucal. Collett (1886), Vervoort y Tranter (1961) y Bannister y Grindley (1966) hicieron detalladas descripciones de este comensal y, aparte de ellos, otros investigadores han observado su presencia en distintas localidades y huéspedes (Allen, 1916; Rice, 1963; 1977b; Tomilin, 1967), de lo que se desprende que su distribución es universal y su capacidad de infestación alcanza a la mayoría de balenoptéridos.

Estos epizoítos han sido encontrados por millares en todas las ballenas de aleta examinadas durante el presente estudio y fueron también observados por Cabrera (1925) en los ejemplares capturados en el Estrecho de Gibraltar. Preferentemente, B.unisetus se encontró en el tercio superior de las barbas y en la zona labial inmediatamente adyacente a éstas, aunque, cuando el grado de infestación fue elevado, se halló también cubriendo el interior de la boca y la comisura bucal.

#### 3.3.4.1.2. Anfípodos

Las especies pertenecientes a la familia Cyamidae son los únicos Anfípodos de régimen de vida parasitario. Su cuerpo es en general corto y deprimido, alcanzando tamaños de hasta casi dos centímetros.

Esta familia, de distribución cosmopolita, está compuesta por un buen número de géneros y especies todas ellas parasitarias de cetáceos. Sin embargo, tan sólo se conoce una especie, Cyamus balaenopterae, que parasite a la ballena de aleta (Barnard, 1932; Leung, 1967; Margolis y Dailey, 1972; Arvy, 1982) y ésta ha sido la única por nosotros hallada.

En general, el porcentaje de infestación observado ha sido muy bajo, desde cero hasta el cuatro por ciento, pareciendo existir un cierto contagio entre los huéspedes, pues la aparición de este parásito se dio a menudo en ballenas capturadas el mismo día o en días sucesivos, posiblemente pertenecientes a un mismo grupo. Este porcentaje parece similar al de otras zonas en que se han realizado estudios similares (Nishiwaki y Hayashi, 1950; Nishiwaki y Oye, 1951; Mizue y Murata, 1951).

El número de ciámidos encontrados en un mismo huésped no fue nunca muy elevado, en general sin sobrepasar la docena. Las zonas más frecuentes de infestación fueron, por este orden, las aletas pectorales y la cola, los surcos ventrales y la región cefálica, especialmente las zonas circundantes a los ojos.

#### 3.3.4.1.3. Cirrípedos

En Balaenoptera physalus no es tan frecuente que se fijan cirrípedos en su piel como lo es en otros mysticetos como la yubarta, la ballena gris o la franca, aunque se sabe que al menos tres géneros, Conchoderma, Coronula y Xenobalanus pueden encontrarse parasitándola.

En las ballenas de aleta de las aguas ibéricas se han podido encontrar ejemplares de Conchoderma auritum y Coronula diadema, pero su presencia sobre esta especie es excepcional, no sólo en la población estudiada sino también en otras (Nishiwaki y Hayashi, 1950; Nishiwaki y Oye, 1951; Mizue y Murata, 1951; Ohno y Fujino, 1952; Clarke, 1966).

Xenobalanus globicipitis, en cambio, parece ser un ectoparásito mucho más frecuente en las ballenas de aleta de nuestras aguas. Esta especie ha sido citada con anterioridad por otros investigadores parasitando a B.physalus (Calman, 1920; Mackintosh y Wheeler, 1929; Nilsson-Cantell, 1930) y ha sido observada en varios de los ejemplares examinados fijada a los bordes de la aleta dorsal, la cola, las pectorales o, incluso, en una ocasión, en el canto exterior de una barba.

#### 3.3.4.1.4. Lampreas y rémoras

Los rorcuales son hospedadores comunes de varias especies de lampreas. Estas especies se fijan por la boca a la piel de las ballenas y dejan unas cicatrices muy características en las que se puede incluso reconocer, si la herida es fresca, la especie que las ha producido a través de la disposición de los dientes. Al parecer, y por efecto de la corriente, es frecuente que la lamprea se vaya corriendo en sentido longitudinal hacia la cola del huésped dejando una marca claramente despigmentada en su piel que puede alcanzar más de un metro de longitud (ver figura 3.1.).

Quando la ballena muere o posteriormente durante el remolque las lampreas acostumbran a desprenderse del cuerpo del cetáceo, por lo que la identificación de la especie parasitaria debe hacerse a partir de las cicatrices o heridas dejadas por la boca de ésta. A diferencia de lo que es común en otras zonas como Islandia, las heridas en las ballenas de aleta examinadas en aguas gallegas no son frescas, lo que impide conocer con certeza la especie o especies de lamprea que se fijan en ellas. Por otra parte, la no aparición de heridas recientes indica que la infestación

se produce durante otras etapas del ciclo migratorio. Sin embargo, el aspecto general y las dimensiones de las cicatrices sugieren que Petromyzon marinus podría ser una de las especies causantes de ellas.

Desde los trabajos de Pike (1951) y Nemoto (1955) se sabe que la fijación de lampreas en la piel de la ballena de aleta es un hecho corriente y los porcentajes de infestación suelen ser altos. En la población estudiada un 60% como mínimo de las ballenas examinadas presentaba evidencias claras de haber sufrido la fijación de este parásito, pero el porcentaje de incidencia real debe ser superior al haber muchos casos de cicatrices de difícil interpretación y que, al menos en parte, pueden ser debidas a lampreas.

A pesar de que en un principio se pensó en la posibilidad de utilizar la abundancia de estas marcas como indicativas de la edad de la ballena (Wheeler, 1934), observaciones posteriores (Nishiwaki y Hayashi, 1950) en concordancia con las nuestras propias muestran que la relación entre el número de cicatrices y la edad es débil y sólo permite distinguir del resto a los animales muy jóvenes que aún no han sido parasitados. En el presente estudio tampoco se han observado diferencias significativas entre el porcentaje de infestación de machos y hembras.

El número de cicatrices en cada ballena suele ser bastante elevado y en general se localizan en los flancos de ésta, especialmente desde las aletas pectorales hasta el pedúnculo caudal.

Un pez que acostumbra a fijarse sobre la piel de los cetáceos es la rémora de la especie Remilegia australis, que según Tortones (1975), es de distribución universal, habiéndose registrado su presencia en las aguas templadas del Atlántico y el Mediterráneo.

Rice y Caldwell (1961) y Arvy, (1982) recopilaron las citas de esta especie en diferentes hospedadores y parece desprenderse de estas revisiones que la fijación de rémoras en B. physalus es menos común que en otros misticetos. No obstante, en la población

estudiada, al menos un 35% de las ballenas examinadas mostraron evidencias de haber sufrido la fijación de estos peces. Al igual que se comentaba en el caso de las lampreas, el porcentaje de infestación real debe ser superior al determinado a partir de las marcas observadas en la piel.

El número de señales de rémora en un mismo hospedador fue a menudo elevado, localizándose en general en la misma zona del cuerpo que las cicatrices producidas por las lampreas (ver figura 3.2.).

#### 3.3.4.1.5. Otros parásitos y epífitos externos

Además de las marcas y cicatrices producidas por las lampreas y rémoras, la piel de las ballenas de aleta suele mostrar gran número de cicatrices inespecíficas de aspecto diverso. Los orígenes de estas señales pueden ser antiguas infestaciones de ectoparásitos como Pennella o Coronula, infecciones bacterianas localizadas o heridas producidas por causas diversas.

Algunas de ellas siguen, sin embargo, modelos muy concretos, lo que hace suponer que se producen siempre por un mismo motivo y varios investigadores han intentado explicarlas, aunque con éxito relativo (Greenwood et al., 1974; Ivashin y Golubovsky, 1978).

Por otra parte, existe un buen número de especies de diatomeas que se sabe que viven epífitas sobre la piel de los cetáceos. En aguas frías, especialmente en la Antártida, el desarrollo de estas algas produce una conspicua película de tono amarillento que recubre la ballena y su existencia se conoce desde hace años (Hart, 1935; Nemoto, 1958). Posteriormente a su descubrimiento en la Antártida, la presencia de estas diatomeas en la piel de los cetáceos ha sido comprobada en aguas templadas e incluso tropicales (Nemoto et al., 1980; Arvy, 1982), aunque nunca alcanzan en estas últimas grados de infestación suficientes como para ser descubiertas a simple vista.



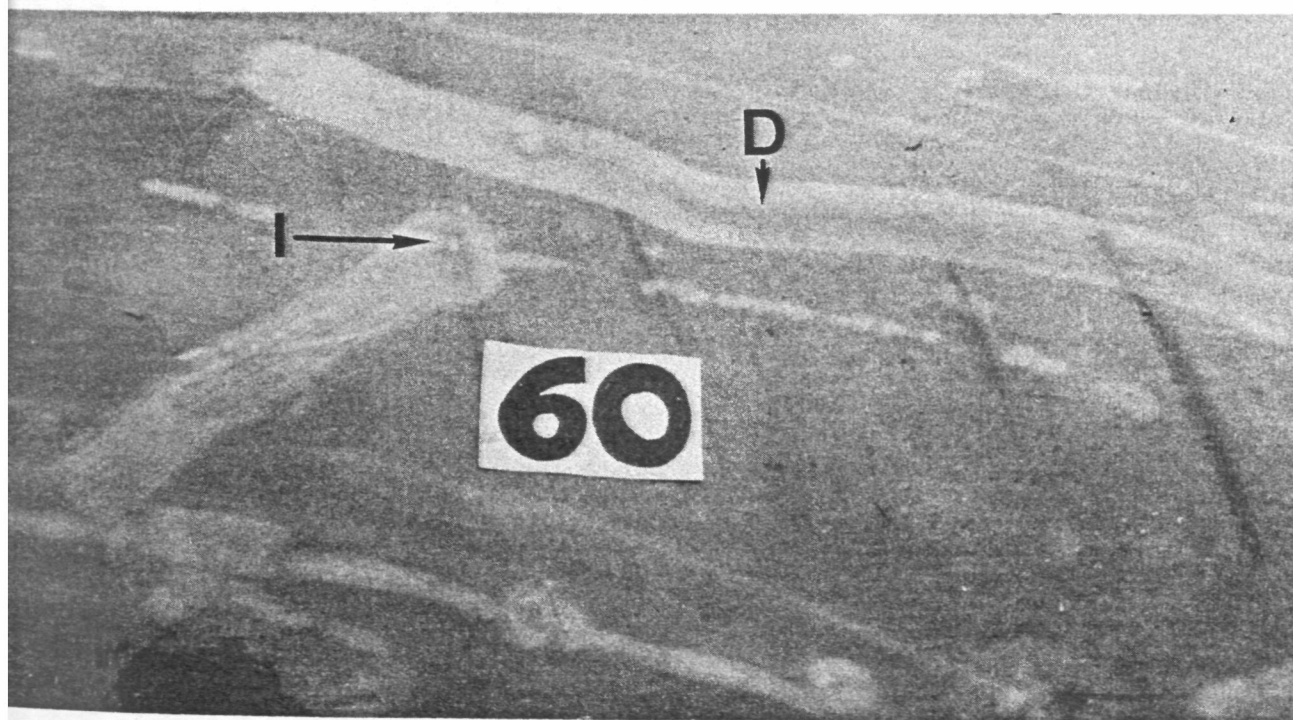
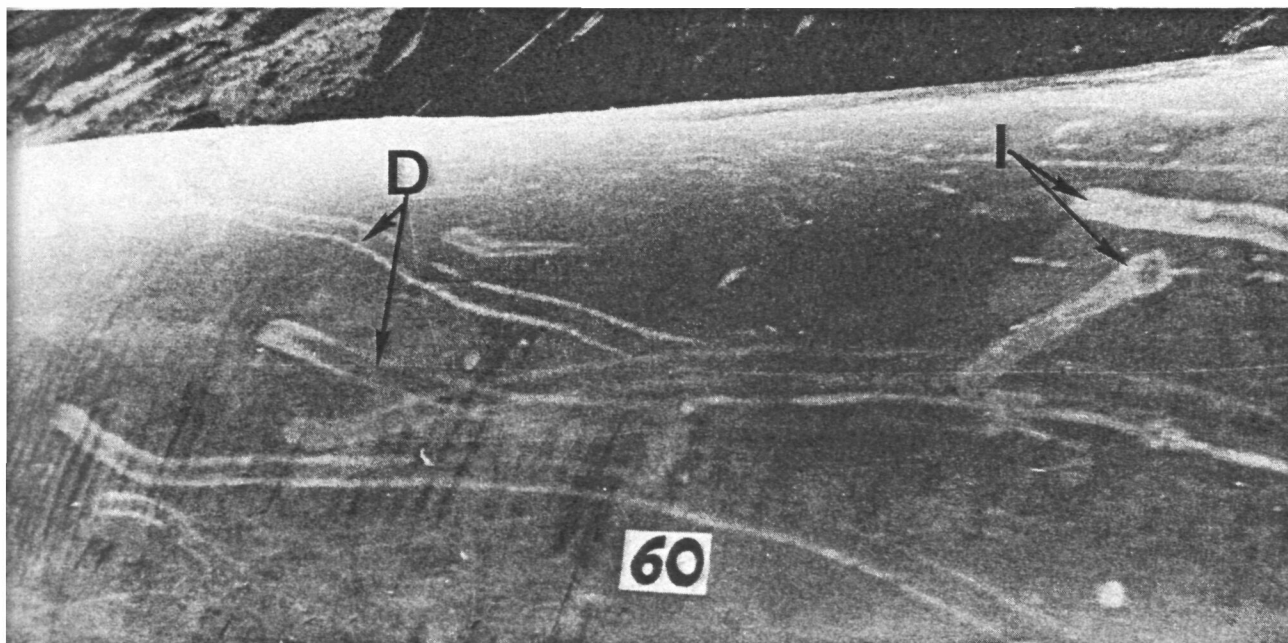


Figura 3.1.- Cicatrices producidas en la piel de las ballenas por la fijación de lampreas. I :marca del lugar inicial de fijación. D :cicatriz producida por el desplazamiento del lugar de fijación.

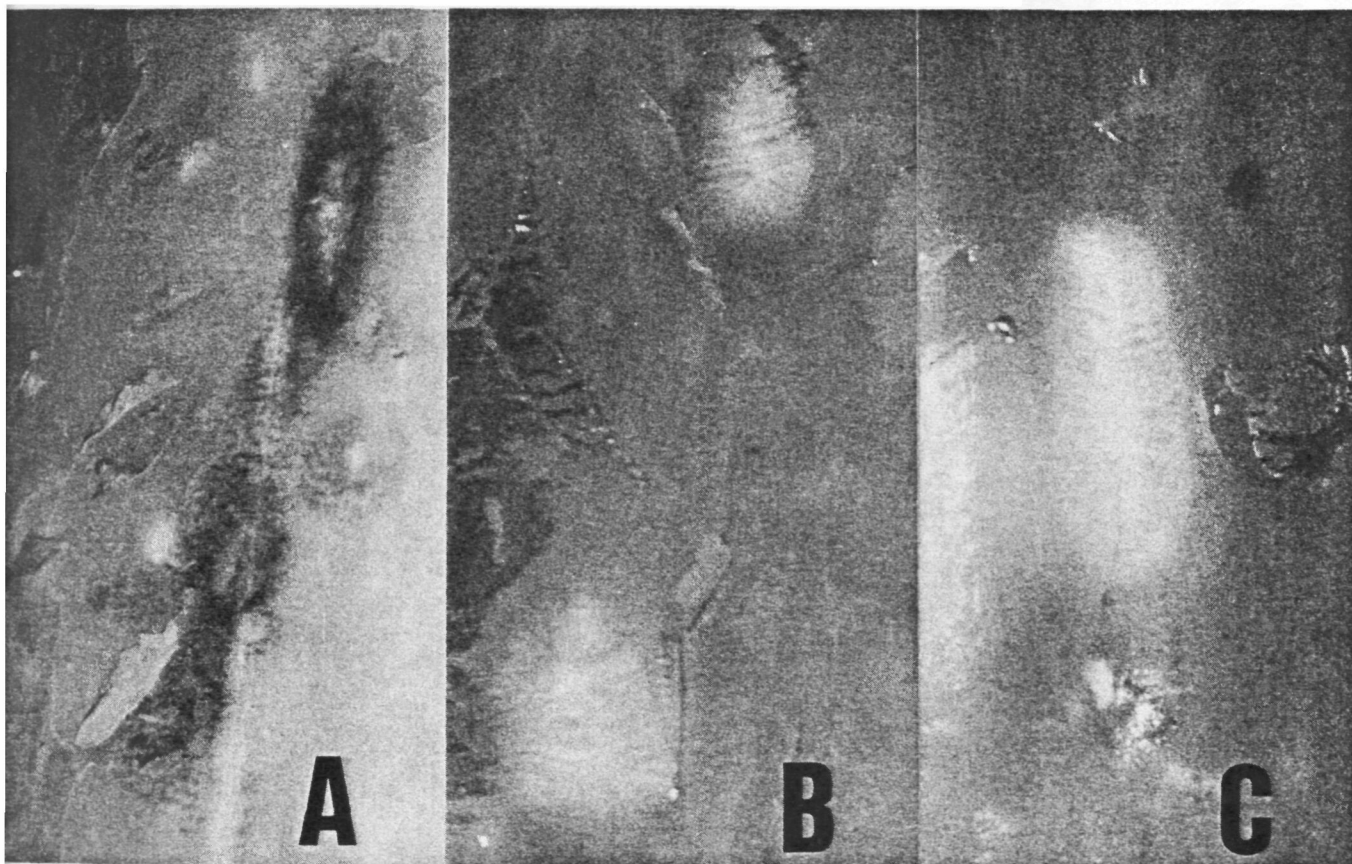


Figura 3.2.- Diferencia entre las cicatrices debidas a una fijación reciente de lampreas (A) y las supuestamente ocasionadas por la fijación de rémoras (B y C).

En las ballenas examinadas en las factorías gallegas no ha podido observarse en ninguna ocasión la existencia de placas de diatomeas y es por esto que, aunque la presencia de epífitas en su piel es probable, su abundancia debe ser baja.

#### 3.3.4.2. Parásitos internos

=====

Como se comentaba anteriormente, si bien la búsqueda de ectoparásitos fue relativamente sistemática, no ha ocurrido así con los endoparásitos y las observaciones realizadas han sido casi siempre accidentales.

El órgano interno que de un modo más aparente muestra infestaciones parasitarias es el riñón. Frecuentemente se ha observado en él un endurecimiento y calcificación de los conductos, indicativo de la posible presencia de un parásito y, cuando éste se ha buscado, siempre se ha tratado de un nemátodo del género Crassicauda, posiblemente Crassicauda crassicauda o Crassicauda boopis. El tamaño de estos parásitos y el grado de desarrollo de la infestación es en ocasiones importante y los conductos colectores pueden hallarse prácticamente colapsados por la presencia del nemátodo.

Crassicauda es un parásito habitual de los conductos de los cetáceos y ha sido encontrado frecuentemente en B. physalus (Baylis, 1932; Margolis y Pike, 1955; Rice, 1963; Margolis y Dailey, 1972), considerándose en general que, excepto cuando la infestación alcanza un desarrollo extremo, no afecta de modo significativo las condiciones de vida de su hospedador.

A diferencia de lo que sucede con los odontocetos, el tubo digestivo de los balenopteridos suele estar relativamente libre de parásitos. No obstante, en algunas ocasiones se han encontrado nemátodos de unos 10 cm de tamaño, probablemente pertenecientes al género Anisakis. También en los bronquios y bronquiolos de algunas ballenas de aleta se han detectado nemátodos de especie no determinada, produciendo en ocasiones calcificaciones a su alrededor.

Finalmente, al menos en un caso, se observó la presencia de tremátodos en la cavidad visceral de un rorcual común que estaba siendo descuartizado. Los parásitos se encontraron cubriendo el hígado, pero debían posiblemente provenir del tracto intestinal.

### 3.4. EFECTO DE LA CONTAMINACION POR COMPUESTOS ORGANOCLORADOS

=====

Aproximadamente cada año se introducen en el mercado entre 400 y 600 nuevos productos químicos sintéticos que se vienen a sumar a los cerca de 50.000 ya existentes, y su inocuidad para la salud del hombre y otros organismos ha sido comprobada tan sólo en un 2 por ciento de ellos (IUCN, Comisión de Ecología, 1984).

Muchos de ellos se degradan con facilidad y su impacto ecológico es limitado, tanto en el espacio como en el tiempo. Sin embargo, algunos de estos compuestos son poco o nada biodegradables y poco a poco se van dispersando desde las fuentes puntuales de contaminación, generalmente terrestres, hasta alcanzar las aguas abiertas de los océanos, representando un riesgo potencial para los componentes del ecosistema pelágico.

Una conocida familia de productos de este último tipo es la de los compuestos organoclorados, que engloba fundamentalmente tres grupos de contaminantes: los ciclodiénicos, el DDT y sus derivados y los bifenilos policlorados (PCBS).

Los ciclodiénicos son organoclorados muy utilizados como pesticidas. Su impacto en las comunidades terrestres y costeras es importante, pero su relativa facilidad de degradación los hace raros en aguas abiertas, por lo que no se han incluido en el presente estudio.

Los DDT y los PCBS, muy al contrario, son muy estables y su presencia ha sido reconocida incluso en ecosistemas aparentemente aislados del efecto contaminador del hombre, como es la Antártida (Risebrough, 1977) y su incidencia puede representar un factor de riesgo importante para la supervivencia de las poblaciones de mamíferos marinos (Gaskin, 1982).

### 3.4.1. CARACTERISTICAS DE LOS COMPUESTOS

=====

#### 3.4.1.1. DDT (diclorodifeniltricloroetano) y derivados

=====

El DDT comercial es en realidad una mezcla de distintas formas de DDT y sus derivados, aunque el p, p'DDT es la más abundante, representando cerca de un 80% del total. Otros compuestos como el o,p'DDT o el TDE pueden encontrarse también presentes, aunque en porcentajes menores.

Cuando el DDT comercial comienza a ser metabolizado por los organismos vivos, su estructura se modifica transformándose en distintos productos de los cuales dos de ellos, el DDE y el TDE, son difíciles de degradar y se acumulan en los tejidos de los animales.

El DDT comenzó a utilizarse como plaguicida durante la Segunda Guerra Mundial y se aplicó de un modo masivo durante los años cincuenta y sesenta. Posteriormente, no obstante, su utilización se ha visto restringida en la mayoría de países de la cuenca noratlántica (Hayes, 1975). Sin embargo, la importancia de los DDTs como contaminantes de alto riesgo en el área de estudio en la actualidad no debe despreciarse. Las cantidades absolutas de estos tóxicos en los cuerpos de los organismos situados en los niveles tróficos superiores puede continuar aumentando aun hoy en día, no como resultado de la introducción por parte del hombre de nuevo DDT sino debido a los procesos de bioacumulación alimentados por la re-emisión y redistribución de los residuos existentes en las partículas en suspensión en el

agua, en organismos de posición trófica inferior, en los sedimentos o en forma de aerosol en la atmósfera. Hay que pensar que se estima (Spindler, 1983) que entre 1940 y 1977 la producción de DDT superó los tres millones de toneladas.

Por otra parte, hay que señalar que la reducción en el uso del DDT sólo ha sido efectiva en los países más desarrollados, pero una buena parte de las explotaciones agrícolas de la cuenca meridional atlántica continúan utilizando este compuesto en cantidades sustanciales.

Como la transformación del DDT en sus derivados es un proceso lento pero progresivo y la volatilidad de éstos y su consiguiente facilidad de transporte es diferente de un compuesto a otro, los índices de abundancia relativa de las distintas formas de DDT en un organismo dado pueden servir como indicadores de la cronología de entrada del contaminante en el ecosistema y del área de distribución de dicho organismo (Aguilar, 1984).

La forma metabólica más estable, más lipófila y por ello más fácilmente acumulable es el DDE, que, aunque tiene un efecto insecticida reducido, es de una toxicidad elevada para los vertebrados. El TDE es otra forma metabólica también muy acumulable, pero su toxicidad es muy inferior a la del DDE.

#### 3.4.1.2. PCBs (Bifenilos policlorados)

=====

A diferencia de los DDTs, los PCBs no han sido nunca utilizados en las actividades agrícolas, sino que son esencialmente productos de desecho industrial. Su aparición al final de la década de los sesenta como contaminantes de distribución universal representó un nuevo foco de preocupación para los ecólogos.

un mismo punto del cuerpo.

Las piezas de tejido, entre 5 y 10 g. de peso cada una, se envolvieron en papel de aluminio y se conservaron por congelación hasta el momento del análisis.

#### 3.4.2.2. Metodología de análisis

=====

El proceso de análisis consta de tres etapas:

a) Homogeneización y extracción de lípidos: La muestra es pesada y transferida a un mortero donde es homogeneizada en presencia de sulfato sódico anhidro. A continuación la mezcla se trasvasa al cartucho de un aparato extractor tipo Soxhlet de 125 ml de capacidad y el mortero y todo el material que ha entrado en contacto con la muestra se lava con n-hexano, recogiendo éste en el Soxhlet.

Finalmente, al aparato extractor se le añade el n-hexano suficiente para su funcionamiento, se acopla al refrigerante y a la manta calefactora y se realiza la extracción del contenido lipídico del tejido durante unas cuatro horas, que significan aproximadamente unos cuarenta ciclos de extracción.

Una vez conseguido el extracto el siguiente paso es la determinación de la cantidad de lípidos presentes en él. Para ello el extracto se concentra a 40 ml y se extrae de él una alícuota de 10 ml que se transfiere a un pocillo previamente tarado situado sobre una placa calefactora. Bajo corriente de aire se produce la evaporación del disolvente, quedando el residuo lipídico. A continuación se coloca el pocillo en un desecador y, una vez frío, se pesa obteniendo por diferencia con el peso inicial la cantidad de lípidos presentes en la alícuota, que es la cuarta parte del total extraído de la muestra.

Para más detalles del proceso, ver Ruiz (1982) y Llorente (1984).

## b) Separación de lípidos y organoclorados

Debido a su marcado carácter lipófilo, los compuestos organoclorados se extraen junto a todos los constituyentes apolares del tejido. Como paso previo a su análisis por cromatografía es necesario separar los contaminantes de los constituyentes naturales.

Existen diferentes métodos de separación, pero en este caso se ha preferido utilizar un procedimiento químico por su mayor eficacia y rapidez. Para ello el extracto ha sido tratado con ácido sulfúrico concentrado a fin de destruir los lípidos, según el método de Murphy (1972), ya que los compuestos analizados (DDTs y PCBs) son resistentes al ataque.

Así, el extracto restante se ha concentrado a unos 5 ml y con una pipeta se le han agregado 5 ml de ácido sulfúrico concentrado. El tubo se agita y se deja reposar durante 48 horas para que el proceso hidrolítico se complete y se diferencien las dos fases, una con el disolvente orgánico y los organoclorados y la otra con el ácido y los restos orgánicos.

La fase apolar se traslada con una pipeta Pasteur a un tubo de centrifuga y la fase inorgánica se lava dos veces con 3 ml de n-hexano que al ser recogidos por la pipeta se añaden al primer extracto. El total se concentra en el mismo tubo de centrifuga a 1 ml bajo corriente de aire, al final de lo cual la muestra está preparada - previa adición del patrón interno - para su análisis por cromatografía de gas-líquido.

## c) Análisis por cromatografía gas-líquido

Una vez ya purificada y a la concentración adecuada, la muestra se inyecta en el cromatógrafo mediante una microjeringa de 1 microlitro de capacidad máxima. La inyección se realiza con splitless, abriendo la válvula de inyección al cabo de un minuto y medio de haber inyectado.



La cantidad de muestra inyectada ha sido siempre 1 microlitro. En el caso de que la concentración de los productos escape a la linealidad del detector, la muestra se ha diluido las veces necesarias y las inyecciones se han repetido hasta alcanzar las condiciones óptimas de trabajo para cada compuesto.

Se ha trabajado con un cromatógrafo PERKIN-ELMER SIGMA 3B, equipado con un detector de captura electrónica de Ni63 y un procesador de datos PERKIN-ELMER SIGMA 15. Este aparato se ha equipado con una columna capilar de sílice fundida de fase ligada, que tiene las siguientes características:

- Longitud: 70 m.
- Diámetro: 0.25 mm.
- Fase estacionaria: SPB-1 de 0.25 micrones de grosor de film.

Las condiciones de trabajo han sido:

- Temperatura del inyector: 250°C
- Temperatura del detector: 350°C
- Programado de la temperatura de la columna:
  - 2 min. a 40°C
  - 25°C/min. desde 40 a 160°C
  - 0.5 min a 160°C
  - 2°C/min desde 160 a 250°C
  - 250°C estacionario

Como gas portador se ha utilizado Nitrógeno purísimo a un flujo de 1 ml/min, siendo la purga del inyector de 3 ml/min y el "make up" de 60 ml/min.

La identificación y cuantificación de los distintos compuestos se ha llevado a cabo mediante su comparación a un patrón standard compuesto por:

o-p DDE	0.198 ppm
p-p DDE	0.198 ppm
o-p DDT	0.12 pp-m
p-p DDT	0.28 ppm
TDE	0.192 ppm

PCBs 1260	1	ppm
1254	1	ppm
Heptaclor	0.1	ppm

Este último se ha usado como patrón interno, por lo que se añade a todas las muestras en igual concentración que el standard. Así cada pico se ha identificado por su tiempo de retención relativo al del heptaclor.

La concentración del compuesto de interés es directamente proporcional a la concentración de patrón interno a través del cociente de las áreas de los picos. Los factores de respuesta son aplicables para compensar las diferencias de respuesta del detector del componente de interés y el patrón interno.

El cálculo es como sigue:

$$C_i = \frac{f_i \cdot A_i}{f_s \cdot A_s} \cdot \frac{W_s}{W}$$

siendo

$C_i$  = concentración del componente (ppm)

$f_i$  = factor de respuesta relativo del componente  $i$

$A_i$  = área del pico del componente  $i$

$f_s$  = factor de respuesta relativo del patrón interno

$A_s$  = área del patrón interno

$W_s$  = concentración del patrón interno (ppm)

$W$  = cantidad de muestra (1)

Los distintos factores de respuesta son un promedio obtenido de los valores hallados en diferentes inyecciones de patrón calibrando respecto al heptaclor mediante la fórmula:

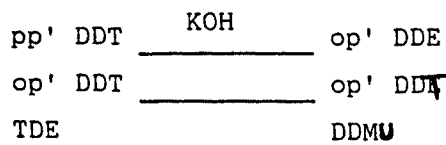
$$f_i \text{ (nuevo)} = \frac{\frac{C_i}{A_i} \cdot A_s f_s}{C_s} \cdot \frac{1}{N} + f_i \text{ (viejo)} \left( \frac{N-1}{N} \right)$$

siendo N el número de calibración.

Se han inyectado y calibrado patrones diarios.

Mediante el empleo de columna capilar se ha conseguido separar totalmente PCBs de DDTs.

Para la confirmación de los DDTs se han usado ataques alcalinos con hidróxido potásico 0.5 N en etanol, ya que se producen las siguientes transformaciones:



Coincidiendo los picos cromatográficos de los productos obtenidos (op DDE y DDMV) con los obtenidos al inyectar un patrón de estos compuestos.

Los PCBs no han sido confirmados por ninguna reacción química, ya que tienen un perfil muy característico y se reconocen fácilmente en el cromatograma. Además, no sufren deshidroclorinación con el ataque alcalino, quedando despejados en la segunda inyección.

El ataque alcalino se efectúa añadiendo a la muestra 5 ml de solución alcalina y dejando reposar la mezcla durante un mínimo de tres horas a 60°C en estufa. Al cabo de este tiempo se añaden 10 ml de agua bidestilada de pureza elevada y 5 ml de n-hexano y se agita para favorecer el paso de los organoclorados a la fase del disolvente orgánico.

Seguidamente se deja la mezcla en reposo, permitiendo que ambas fases se separen, y se recoge con una pipeta la fase orgánica. Se añaden 2 veces más 5 ml de hexano y se repite la operación.

La cantidad de n-hexano resultante, conteniendo los organoclorados, se concentra de nuevo a 1 ml y se inyecta en cromatógrafo.

#### Blancos y tasas de recuperación

Con el fin de tener la seguridad de que no había contaminación de las muestras por parte del material usado en el laboratorio durante los análisis, se han realizado periódicamente marchas analíticas con n-hexano puro, constatando así la pureza del sistema.

Se ha comprobado también, añadiendo al inicio del análisis una concentración determinada de patrón a la muestra, cuál era la tasa de recuperación. El valor hallado es del 85% o superior, lo que para muestras de tejido puede ser considerado como excelente.

Los datos no se dan corregidos para esta tasa de recuperación.

### 3.4.3. RESULTADOS

=====

#### 3.4.3.1. Distribución en el panículo adiposo y técnica de muestreo

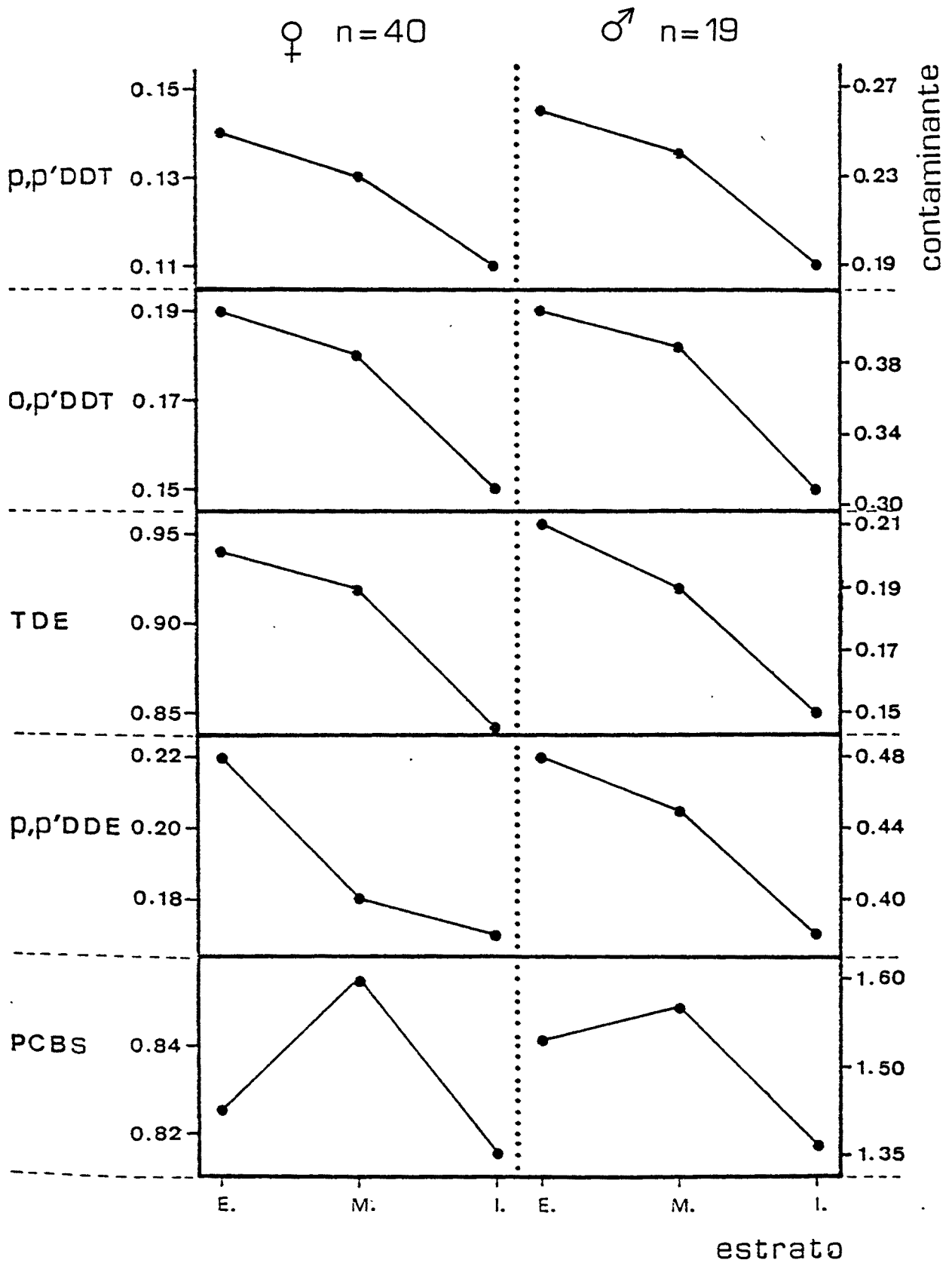
=====

En un estudio anterior (Aguilar, 1985b) se examinaron los presupuestos teóricos que implicaban los sistemas de muestreo comúnmente utilizados en los estudios de la incidencia de los contaminantes organoclorados en cetáceos y se señalaron muchos de sus inconvenientes. En este mismo trabajo se analizaron las pautas de distribución de estos compuestos y los factores que las regían a partir de la aplicación del modelo compartimental, comprobándose que la composición lipídica, tanto cualitativa como cuantitativa, era determinante, y que los organoclorados mostraban una significativa tendencia a asociarse a los triglicéridos y los ácidos grasos no esterificados.

Quando el modelo compartimental se aplicaba al tejido adiposo se comprobaba que no era válido suponer que este compartimento estuviese en estado de equilibrio y se detectaban varios problemas asociados a la recolección de la muestra para análisis.

Un aspecto especialmente interesante era hasta qué punto la diferenciación estructural del tejido adiposo podía afectar la tasa de distribución de los compuestos organoclorados. Este trabajo (Aguilar, 1985b) consideró tan sólo los aspectos teóricos, pues no se disponía de información adecuada para examinar empíricamente el problema. Por este motivo, se decidió estudiar antes que nada las pautas de distribución y acumulación dentro de este tejido.

Para ello se tomaron muestras del panículo adiposo a tres niveles de estratificación distintos (externo, medio e interno) y se procesaron de modo independiente. Los resultados de este ejercicio se han representado en la figura 3.3.



**Figura 3.3.-** Niveles de compuestos organoclorados en tres estratos del pániculo adiposo: E = externo ; M = medio ; I = interno. La escala varía para ajustarse a las concentraciones de cada compuesto. Niveles — expresados en ppm de base lipídica.

Como puede verse, en todos los compuestos de la familia de los DDTs existe una tendencia a que los niveles de residuos aumenten hacia los estratos más externos. Existe una gran regularidad en esta tendencia y, excepto en el caso del pp' DDE en las hembras, el estrato medio se asemeja más al externo que al interno.

En el caso de los PCBs la situación es distinta. El estrato intermedio es el que muestra concentraciones mayores del contaminante, seguido del externo y el interno, por este orden.

Las diferencias máximas entre un estrato u otro no son muy grandes, presentando generalmente la capa externa niveles de organoclorados entre un 20 y un 40 por ciento superiores a los de la capa interna. Con las concentraciones que son comunes en B.physalus, esta distribución diferencial representa una variación en los resultados de tan sólo unas décimas o centésimas de ppm según se muestree una u otra capa, por lo que la trascendencia del sistema de muestreo en los resultados analíticos finales es reducida.

Esta marcada regularidad en la distribución de los contaminantes plantea una serie de interrogantes cuya respuesta sería de gran interés para elucidar los mecanismos de transporte y retención de los compuestos organoclorados en el cuerpo de los animales y los procesos de deposición y estratificación del panículo adiposo de las ballenas.

Las razones de esta distribución diferencial pueden ser varias. En primer lugar, hay que recordar que las ballenas son capturadas durante los meses de verano, que coinciden con la temporada de alimentación intensiva. Si admitimos un funcionamiento del panículo adiposo como el descrito por Ackman et al. (1975), los estratos internos son los que reciben y asimilan los lípidos recién ingeridos por lo que es razonable pensar que puedan sufrir una rápida expansión durante la época de hiperfagia, lo que podría provocar una dilución de las concentraciones de residuos. Un fenómeno de este tipo ha sido observado en otros mamíferos durante las etapas de rápido desarrollo del tejido adiposo en la época juvenil (Hayes, 1975; Hansen y Welborn, 1977).

Por otra parte, los estratos internos están mucho mejor irrigados que los externos, por lo que podría suceder que parte de los contaminantes inicialmente depositados en estos estratos fuesen retransferidos a la sangre para su excreción. Este proceso de "limpieza" - de existir - sería lógicamente más activo cuanto mejor fuese la irrigación del tejido y ello podría explicar también la gradación en los niveles de residuos.

Finalmente, hay que tener en cuenta que los estratos del panículo adiposo no tienen una composición lipídica homogénea, ni cualitativa ni cuantitativamente. La expresión de las concentraciones en forma de partes por millón de contaminante por unidad de peso de lípidos extraídos de la muestra obvia el problema de los tejidos con contenidos de lípidos cuantitativamente distintos, pero no refleja en modo alguno posibles diferencias en la polaridad o capacidad de fijación de organoclorados por parte de éstos.

Por ejemplo, es una norma bastante extendida entre los mamíferos que el grado de saturación de los ácidos grasos que componen un depósito de grasa sea mayor en las capas externas, a fin de reducir su temperatura de solidificación y dificultar que las partes distales del cuerpo se vuelvan rígidas por efecto del frío (Irving et al. 1957; Young, 1976). Ackman et al. (1975) y Lockyer et al. (1984) detectaron diferencias importantes en la composición de ácidos grasos de distintos estratos en el panículo adiposo de la ballena de aleta.

Hay que tener en cuenta además que existen evidencias (Aguilar, 1985b) de que los compuestos organoclorados se distribuyen entre los distintos compartimentos de modo proporcional a la polaridad de los lípidos que los constituyen, aun a pesar de que la cantidad absoluta de éstos sea constante.

A este respecto es interesante observar que el comportamiento entre las distintas formas de DDT es homogéneo entre sí pero difiere claramente del de los PCBs, lo que sugiere que han entrado en juego procesos que afectan de un modo distinto a familias de contaminantes de polaridad distinta. Este razonamiento eliminaría la posibilidad



de una "dilución", pero no necesariamente la de una "limpieza", que podría verse también restringida o potenciada por las cambiantes polaridades. Hay que pensar, por todo ello, que las polaridades de los compuestos y su afinidad por entes fisiológicos determinados (lípidos de depósito, componentes sanguíneos) son los que producen la distribución diferencial, aunque es probable que la responsabilidad del fenómeno observado deba repartirse entre más de un proceso del tipo de los descritos.

Otro aspecto importante que refuerza este argumento es que la tasa de disminución de un estrato a otro no es idéntica para todos los compuestos. Si observamos la figura 3.4., en la que se ha representado el cociente de la concentración de DDTs respecto a la de PCBs, puede verse claramente que la diferencia en los niveles de residuos de ambos grupos de compuestos disminuye a medida que se avanza hacia el interior del cuerpo del animal. Es decir, que las concentraciones de DDT disminuyen más rápidamente que las de PCBs.

Los PCBs con un grado de cloración alto muestran una polaridad inferior a la de los DDTs (Chion et al., 1977; Ernst, 1980) y una variación del índice del tipo observado estaría de acuerdo con una mayor apolaridad de los estratos más internos o, si consideramos la posibilidad de la "limpieza", con una mayor facilidad de la sangre por captar los compuestos con una apolaridad menos extrema.

En estos momentos no se dispone de información suficiente para discriminar entre estas dos posibilidades, pero, nuevamente, es posible que ambas se combinen, sumando sus efectos.

El cociente DDE/DDTs, por otra parte, no evidencia tendencia alguna en su distribución entre los tres estratos, lo que sugiere que el tiempo de residencia de los contaminantes en cada uno de ellos no difiere significativamente.

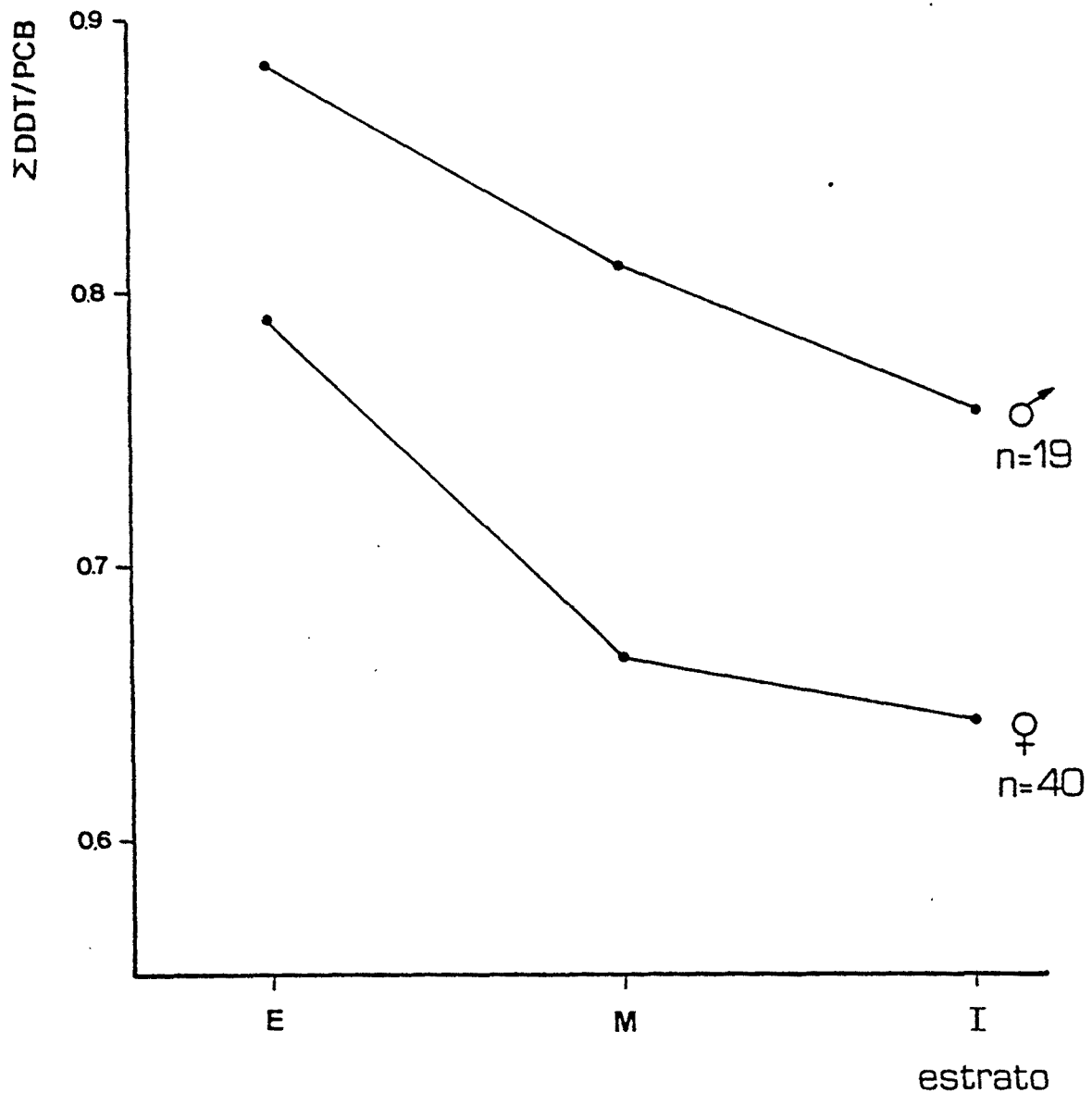


Figura 3.4. - Cociente DDT/PCBs en los tres estratos del panículo adiposo. E = externo ; M = medio ; I = interno.

### 3.4.3.2. Distribución de los contaminantes entre los tejidos

=====

Si los niveles de compuestos organoclorados se expresan en relación al peso fresco de la muestra procesada puede verse que la concentración absoluta de éstos es proporcional al contenido lipídico del tejido. Esto es lógico si se recuerda que los organoclorados tienen un marcado carácter lipófilo y, lógicamente, se depositarán en cantidades mayores en aquellos compartimentos corporales que dispongan de un mayor número de terminales apolares para fijarse.

En cambio, si los niveles se expresan en relación al contenido en lípidos de los tejidos, las diferencias entre éstos se suavizan mucho y pueden prácticamente eliminarse si la expresión de las concentraciones se hace en base a un constituyente tisular adecuado, como por ejemplo los triglicéridos o la suma de triglicéridos y ácidos grasos no esterificados (Aguilar, 1985b).

En la tabla 3.2. se detallan los niveles de residuos detectados en muestras de músculo, hígado, riñón y corazón de algunas ballenas. Las concentraciones se expresan en relación a la cantidad de lípidos extraídos.

Como puede verse, no existen grandes diferencias entre los tejidos, aunque puede decirse que el músculo está algo más contaminado que el resto. El patrón general no difiere mucho del que ya se había observado en el panículo adiposo y puede considerarse que estos contaminantes se ajustan bien al modelo compartimental único propuesto para los cetáceos anteriormente (Aguilar, 1985b).

Vale la pena señalar que el porcentaje DDT/PCB es mayor en la musculatura del tronco (longissimus dorsi) y del corazón que en el hígado y el riñón. Esta tendencia puede probablemente asociarse a una afinidad diferencial de cada grupo de contaminantes por las formas lipídicas que caracterizan a un tejido dado.

El cociente DDE/DDT, por otra parte, no parece variar mucho de un tejido a otro e incluso el hígado, que a menudo presenta una relación positiva por ser un centro de metabolización y por ello rico en productos metabólicos, se mantiene a un nivel semejante al resto.

#### 3.4.3.3. Incidencia de los contaminantes en la población

=====

El tejido que se ha utilizado comúnmente en los estudios de la incidencia de los contaminantes organoclorados en cetáceos es el panículo adiposo (Gaskin, 1984), aun a pesar de que se trata de un compartimento especialmente conflictivo para este tipo de investigaciones (ver sección 3.4.3.1.).

Las comparaciones de la carga media de contaminantes de la población estudiada con respecto a otras deben hacerse, pues, a partir de los resultados analíticos de este tejido. En la tabla 3.3. se expresan los niveles medios de compuestos organoclorados hallados en el panículo adiposo de las ballenas de aleta estudiadas, así como los determinados por otros investigadores en estudios similares en otras áreas.

En general, todos los resultados son relativamente semejantes, mostrando concentraciones máximas de unas pocas ppm para los PCBs y los DDTs totales, a excepción de las registradas por Alzien y Duguy (1979), que indican unos niveles radicalmente superiores al resto. Dado que estas diferencias han sido observadas con anterioridad en análisis realizados por estos investigadores en otras especies (Aguilar, 1983), hay que pensar que sus niveles anormalmente altos se deban más a un artefacto analítico que a una realidad biológica. Por otra parte, el hecho de que sus muestras provengan de cetáceos embarrancados y por ello con posibilidades de presentar un equilibrio nutricional y energético alterado, convierte en poco fiable cualquier comparación referida a estos ejemplares.

Los niveles de contaminantes detectados en el presente estudio se sitúan a niveles algo inferiores de los encontrados por Holden (1975) y Sergeant (1980) también en el Océano Atlántico y ello podría ser debido a que nuestra muestra contiene una proporción no equivalente de sexos.

En la tabla 3.4. se detallan los niveles medios de residuos de cada sexo y puede verse en ella que los machos muestran niveles más elevados de contaminantes que las hembras. La diferencia puede atribuirse sin duda al proceso de descarga que supone el parto y la lactancia para las hembras adultas, al transferir parte de la carga corporal de contaminantes a su descendencia y ha sido observada con anterioridad en varios estudios de otras especies de mamíferos marinos (Addison y Smith, 1974; Addison y Brodie, 1977; Helle et al., 1976a). Quizás la única excepción a esta norma sea el cachalote, ya que las hembras de esta especie tienen una alimentación y un rango de distribución distinto de los machos, lo que las condiciona a una ingestión mayor de contaminantes y produce unos niveles mayores en sus tejidos, aun a pesar de la "descarga" reproductiva (Aguilar, 1983).

Por ello, las concentraciones de compuestos organoclorados reales de la población son ligeramente superiores a los expresados en la tabla 3.2. y rondarían posiblemente las cifras de 1 ppm de DDTs totales y 1.2 ppm de PCBs.

De cualquier modo, estos valores son semejantes a los hallados en otras áreas y son mucho menores a los típicos que se detectan en otras especies de cetáceos (Wageman y Muir, 1981; Gaskin, 1982). Ello se debe en gran parte a los hábitos pelágicos de B.physalus y al hecho de que se trate de una especie filtradora que se alimenta de un recurso trófico muy poco contaminado (Aguilar y Jover, 1981), aunque es posible que entren en juego otros factores, como su tasa metabólica relativamente baja u otras particularidades fisiológicas o ecológicas en este momento desconocidas.

A los compuestos organoclorados se les ha responsabilizado de afectar al organismo de los mamíferos de varias maneras, quizás la más trascendente de las cuales sea la de provocar fallos reproductivos a través de distintos mecanismos fisiológicos (Aulerich et al., 1973; Platonow y Karstad, 1973; Ware, 1975) y, al parecer, elevadas concentraciones de estos contaminantes han amenazado la supervivencia de algunas poblaciones de mamíferos marinos (De Long et al., 1973; Helle et al, 1976b).

Sin embargo, los niveles detectados durante el presente estudio en las ballenas de aleta en nuestras aguas no hacen suponer que exista peligro alguno en este sentido, ya que las concentraciones, tanto de DDTs como de PCBs, son muy inferiores a los umbrales considerados normalmente como peligrosos.

<u>Contaminante</u>	<u>Músculo</u>	<u>Hígado</u>	<u>Riñón</u>	<u>Corazón</u>
pp' DDT	0.15	0.07	0.04	0.05
op' DDT	0.29	0.05	0.05	0.14
pp' TDE	0.34	0.19	0.17	0.29
pp' DDE	0.58	0.23	0.21	0.34
$\Sigma$ DDTs	1.36	0.54	0.47	0.82
PCBs	2.07	1.48	1.28	1.50
%DDE/ $\Sigma$ DDTs	42.6	42.6	44.7	41.5
%DDT/PCB	0.66	0.36	0.37	0.55
n	9	9	8	6

Tabla 3.2.: Niveles de contaminantes en distintos tejidos de machos de ballena de aleta. Los valores expresados corresponden a la media geométrica de las concentraciones individuales calculadas respecto a los lípidos extraídos en cada muestra.

Tabla 3.3.: Niveles de contaminantes organoclorados en la grasa de ballenas de aleta de distintas localidades. Concentraciones expresadas en ppm de lípidos extraídos, excepto cuando se indica.

<u>Localidad</u>	<u>n</u>	<u>pp'DDT</u>	<u>op'DDT</u>	<u>pp'TDE</u>	<u>pp'DDE</u>	<u>ΣDDTs</u>	<u>PCBs</u>	<u>Referencia</u>
Francia (Mediterráneo)	1	-	-	-	-	14.80	4.96	Alzieu y Duguy (1979)
Francia (Atlántico)	1	-	-	-	-	61.90	47.29	"
S.E. Groenlandia	6	2.83	-	-	1.11	3.94 <sup>1</sup>	3.60 <sup>1</sup>	Holden (1975)
Canadá (Atlántico)	12	0.73	0.32	0.21	0.29	1.55 <sup>1</sup>	0.05 <sup>1</sup>	Saschenbrecker (1973)
Canadá (Atlántico)	1	-	-	-	-	2.96 <sup>1,2</sup>	10.22 <sup>1,2</sup>	Sergeant (1980)
Sur Africa	6	0.16	-	N.D.	0.19	0.56	N.D.	Henry y Best (1983)
Chile	1	0.002	-	0.005	0.05	0.05	-	Pantoja et al. (1984)
España (Atlántico)	59	0.19	0.28	0.14	0.33	0.95	1.25	Presente estudio

(1) Niveles expresados en ppm respecto al peso fresco de la muestra.

(2) Valor medio de dos muestras procedentes de la misma ballena.

N.D. : No detectado.



<u>Contaminante</u>	<u>Machos</u>	<u>Hembras</u>
pp' DDT	0.23	0.13
op' DDT	0.37	0.17
pp' TDE	0.18	0.09
pp' DDE	0.44	0.19
$\Sigma$ DDTs	1.22	0.58
PCBs	1.49	0.82
%DDE/ $\Sigma$ DDTs	36	32.8
%DDT/PCB	0.82	0.71
n	19	40

Tabla 3.4.: Comparación de los niveles de contaminantes organoclorados entre machos y hembras. Los valores expresados corresponden a la media geométrica de las concentraciones individuales calculadas respecto a los lípidos extraídos en cada muestra.

#### 4. DISTRIBUCION Y MIGRACION

=====

Todos los balenoptéridos son animales migradores, variando su distribución estacionalmente en busca de las aguas más apropiadas reproducirse o alimentarse. En los meses de verano se desplazan a aguas más frías y productivas, ricas en krill, y durante el invierno lo hacen a latitudes más templadas o tropicales donde tiene lugar el apareamiento o el parto de las hembras gestantes.

Al parecer, la ingestión de alimento durante su permanencia en las latitudes bajas es mínima, siendo probablemente tan sólo un 5 ó un 10% de la normal durante la alimentación intensiva de verano (Tomilin, 1967; Best, 1967). Para cubrir los requerimientos energéticos de la migración y su permanencia en las zonas de reproducción las ballenas almacenan importantes reservas lipídicas en varios compartimentos corporales, como son el panículo adiposo, la grasa visceral, la musculatura o los huesos, pudiendo llegar a duplicar su peso por este motivo al cabo de pocos meses de engorde (Lockyer y Brown, 1981; Aguilar, 1985b).

Durante la época de alimentación, especialmente, la distribución de ballenas está estrechamente ligada a las zonas donde se dan las condiciones oceanográficas que más favorecen la producción de krill, aunque pueden existir factores limitantes que restrinjan su distribución, como lo es la temperatura de la capa superficial del mar (Omura y Nemoto, 1955; Nasu, 1966; Gaskin, 1982).

#### 4.1. DISTRIBUCION EN EL ATLANTICO NORTE

=====

El límite septentrional de la distribución de Balaenoptera physalus en el Atlántico Norte parece ser la línea de hielos, aunque es posible que en las latitudes más altas su densidad sea relativamente baja. Las capturas de esta especie situadas más al norte se

aproximan a los 80°N (Jonsgard, 1966a, 1966b).

Por el sur su distribución alcanza las costas de Mauritania, donde se conocen al menos dos embarrancamientos de ballenas de aleta, tratándose en ambos casos de crías (Maigret, 1980). Algo más al sur, en Senegal, no se ha observado nunca la presencia de esta especie, a pesar de que los cetáceos de las costas de este último país han sido relativamente bien estudiados (Maigret, 1977). El límite meridional de distribución puede establecerse, pues, en los 20°N. No obstante, la zona de agregación de B.physalus situada más al sur parece ser la de operaciones de las antiguas operaciones balleneras del Estrecho de Gibraltar.

Entre estos límites extremos el rorcual común se halla ocupando de un modo continuo toda el área, al menos en verano. La información recogida en los programas de avistamiento y en las operaciones balleneras pelágicas y costeras no permiten distinguir zonas claras de densidad baja o nula que separen unidades poblacionales (Brown, 1958; Slijper et al., 1964; Sergeant, 1977), por lo que sería lógico pensar que un único stock ocupa todo el Atlántico Norte, no sólo de norte a sur sino también de este a oeste.

Sin embargo, las variaciones de densidad producidas por las operaciones balleneras en las distintas localidades no han repercutido unas en otras, de forma que se ha hecho evidente que existía de algún modo una independencia entre ellas.

En el hemisferio sur, la ballena de aleta realiza estacionalmente desplazamientos de unas cinco o seis mil millas en sentido latitudinal (Lockyer y Brown, 1981). De seguir una pauta semejante en el Atlántico norte, las ballenas que invernasen por ejemplo en las costas africanas deberían migrar a Islandia o Noruega en verano, pasando en tránsito costas ibéricas en primavera y otoño. No obstante, los máximos de abundancia en el noroeste de la Península, Irlanda, Escocia, Islandia y Noruega son en julio y agosto,



llegando las primeras ballenas en los meses de abril y mayo y partiendo las últimas en octubre-noviembre (Thompson, 1928; Jonsgard, 1966; Rorvik et al., 1976; Aguilar y Sanpera, 1982).

Esta pauta sugiere que cada localidad se nutre de una población independiente, que no realiza migraciones importantes hacia el sur en invierno. El área de reproducción de la población islandesa, por ejemplo, no debería situarse muy hacia el sur, pues si no habría podido ser explotada por las factorías escocesas o las irlandesas en invierno, cosa que no sucede.

Posiblemente la razón de que en el Atlántico norte no se den migraciones de la importancia de las del hemisferio sur reside en el hecho, ya señalado por Tomilin (1967), de que la ballena de aleta encuentra aguas suficientemente cálidas en este océano, gracias a la corriente del Golfo, como para poder reproducirse en latitudes altas sin problemas.

Los resultados de marcaje, que en el cachalote han puesto en evidencia una población única para todo el Atlántico norte, en el caso del rorcual común siempre han demostrado movimientos relativamente pequeños en este océano, en general no sobrepasando las 500 millas e indicando la identidad discreta de los stocks (Brown, 1977a).

Incluso en algunas zonas, como en Canadá o en la costa de Noruega, se ha creído ver poblaciones independientes separadas tan sólo por unos pocos centenares de millas (Sergeant, 1977). Los argumentos para ello han sido siempre diferencias en la composición de tallas, pero es probable que éstas sean consecuencia de una clina o una cierta segregación por tamaños o, incluso, de diferentes tácticas de pesca de las compañías balleneras.

En otras ocasiones se ha observado que, incluso dentro de poblaciones consideradas como homogéneas, la tasa de entremezclamiento de los ejemplares marcados no era uniforme, mostrando una cierta segregación (Sigurjonsson y Gunnlaugsson, 1984).

#### 4.2. IDENTIDAD DEL STOCK IBERICO

=====

Desde 1976 se viene aceptando la existencia de siete unidades poblacionales más o menos independientes en el Atlántico norte (IWC, 1977), establecidas fundamentalmente a partir de los trabajos de Jonsgard (1966a), Rorvik y Jonsgard (1975) y Sergeant (1977). Con posterioridad se han dado algunas críticas a esta división (Arnason 1981), pero la falta de una mejor evidencia ha aconsejado mantener esta división.

En el caso concreto de las ballenas de aleta que frecuentan las costas del noroeste ibérico se consideró que pertenecen a una población que se extiende desde el norte de las islas Hébridas hasta los 22°N de latitud (ver figura 7.1.). Estos límites se adoptaron al comprobar que existía una cierta correlación en la evolución de la captura por unidad de esfuerzo de las Hébridas y del Estrecho de Gibraltar (Jonsgard, 1966a).

Posteriormente, al ser España e Islandia las únicas localidades donde todavía se captura comercialmente al rorcual común, se ha considerado con mayor detalle la posibilidad de una relación entre las dos zonas (IWC, 1981b), pero todo indica hacia una independencia de ambos stocks. La CPUE, en primer lugar, no ha seguido en modo alguno tendencias similares, ni siquiera después de la importante reducción que sufrió la población ibérica a finales de la década de los años veinte. En segundo lugar, nunca ninguna ballena de aleta marcada en alguna otra localidad ha sido recapturada en España, aunque sí lo han sido los cachalotes (Aguilar, 1985a), ni ninguna marcada en aguas ibéricas ha sido capturada en Islandia. Finalmente, Lockyer (1982) examinó colecciones de conos de cera de tres poblaciones atlánticas de B.physalus y encontró diferencias significativas en su estructura entre

los procedentes de las pesquerías española e islandesa que sugerían una distinta identidad poblacional.

Actualmente existe pocas dudas de que el stock ibérico y el islandés son independientes o de que, de no serlo, la tasa de entremezclamiento es insignificante. Otro problema, sin embargo, es la distribución del rorcual común dentro del área antes descrita y, en especial, la posible relación entre las operaciones españolas y las de las Hébridas.

Los cruceros de avistamiento desarrollados (Aguilar et al., 1983; Sanpera et al., 1984a, 1984b) indican una distribución más o menos continua desde las áreas de captura del noroeste ibérico hasta la latitud media de Irlanda y es probable que ésta sea la pauta hasta las islas Hébridas. Los resultados de los registros oportunisticos desde barcos mercantes señalan en el mismo sentido (Brown, 1958; Slijper et al., 1964).

Sin embargo, cuando se examinan con detalle las series de CPUE se observan algunas particularidades interesantes (apartado 8.2.3.1). No sólo las pendientes son relativamente asincrónicas entre la Península Ibérica y las Hébridas sino que, dentro de un denominador común, pueden observarse diferencias entre el Estrecho de Gibraltar, Portugal y el Noroeste de la Península. En cada caso parece como si la pesquería local hubiese tan sólo afectado a un stock discreto de reducidas dimensiones y que el entremezclamiento con los otros no fuese inmediato.

A fin de no repetir aquí argumentos que se discuten con detalle en otro apartado (8.2.3.1.), concluiremos que la unidad de gestión considerada no puede subdividirse por tratarse muy probablemente de una entidad única. Sin embargo, dada la relativa fidelidad de las ballenas por determinadas zonas de ocupación, el entremezclamiento no es un proceso inmediato sino gradual, con todas las consecuencias que de ello se deriven para los estudios de la dinámica poblacional.

### 4.3. PAUTAS MIGRATORIAS EN LAS COSTAS IBERICAS

=====

#### 4.3.1. RITMO DE LA MIGRACION

=====

Por desgracia disponemos de poca información sobre las operaciones balleneras de la primera mitad del presente siglo, cuando se capturaban de modo simultáneo ballenas en distintos puntos del litoral ibérico. No obstante, algunas pautas generales de abundancia son claras.

En el Estrecho de Gibraltar las capturas durante los años veinte se realizaron a lo largo de todo el año sin que se observasen unos máximos claros de abundancia (Jonsgard, 1966). En los años cincuenta, las cifras de captura de B.physalus son tan reducidas que no permiten un análisis consistente (Sanpera y Aguilar, 1984), aunque, al igual que en el caso anterior, se registran capturas a lo largo de todo el año.

En la factoría de Setúbal (Portugal), Jonsgard (1966a) señala durante los años veinte unos máximos hacia la primavera y el otoño, aunque se realizan capturas importantes durante todo el año.

En las costas de Galicia, por el contrario, la situación ya es más clara. En la década de los veinte se trabajó durante todos los meses del año, pero puede observarse en las estadísticas una abundancia de B.physalus sustancialmente superior en los meses de verano (Jonsgard, 1966a; Sanpera y Aguilar, 1984). En la figura 4.1. se ha representado la evolución de las capturas de rorcual común a lo largo de la temporada de caza. Los valores corresponden a cifras absolutas de captura, por lo que la gráfica se comporta de un modo exagerado en los meses de inicio y final de temporada, al ser en éstos el esfuerzo de pesca menor que



en el resto. Sin embargo, el máximo de abundancia se centra clarísimamente en los meses de julio y agosto.

A partir de las estadísticas de captura (Sanpera y Aguilar, 1984) podemos ver que, aunque en invierno la ballena de aleta muestra densidades muy bajas, no llega a desaparecer totalmente en las aguas del noroeste ibérico. Es posible que los ejemplares de invierno procedan de poblaciones más septentrionales que en esta época del año se acercan a Galicia o bien que sean ballenas que no migran, permaneciendo durante todo el año en esta zona. Mizue y Murata consideraron esta posibilidad en el hemisferio sur y a través del grado de infestación de diatomeas dedujeron que un 5% de la población de B.physalus antártica no realizaba la migración a aguas cálidas.

Dado que las exigencias migratorias en el Atlántico norte parecen ser menos severas, es posible que el porcentaje de permanencia invernal en nuestras aguas sea mayor. De las estadísticas de captura (Sanpera y Aguilar, 1984) puede deducirse que la abundancia de rorcual común en los meses de enero y febrero es un 20% la de julio y agosto, aunque la diferencia puede verse exagerada por las adversas condiciones climatológicas de los meses de invierno que, lógicamente, hacen que el éxito de captura sea proporcionalmente menor.

Comparativamente, las capturas de rorcual norteño (Balaenoptera borealis) son más frecuentes hacia el final de la campaña, alcanzando un máximo en el mes de octubre. Las de cachalote (Physeter macrocephalus) se asemejan a las de B.physalus, aunque la abundancia no muestra una caída tan brusca en la primavera y el otoño (Aguilar y Sanpera, 1982).

n = 3.444

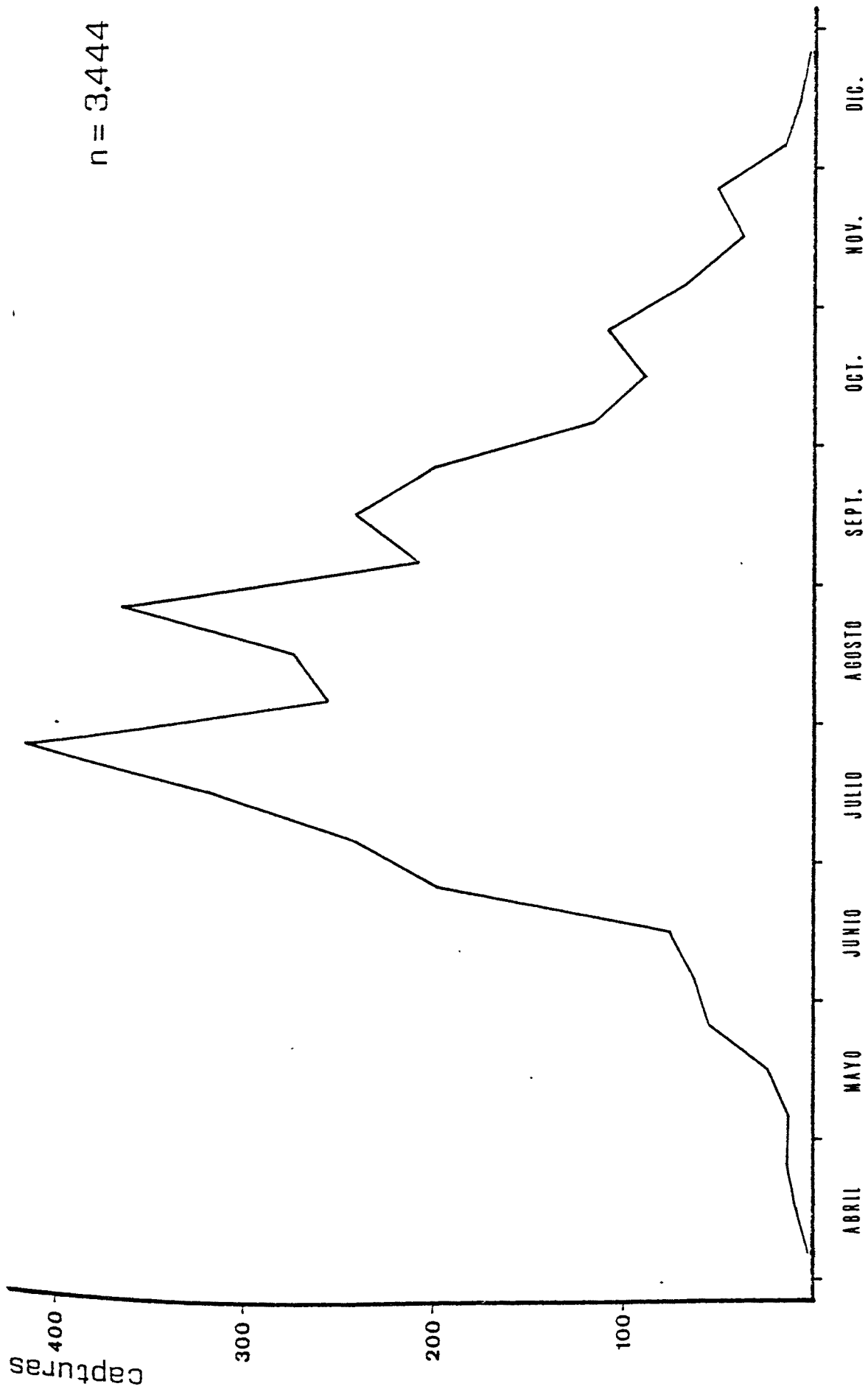


Figura 4.1.- Evolución de las capturas de *B. physalus* a lo largo de la temporada (promedio años 1957-80).

#### 4.3.2. RUTA MIGRATORIA

=====

Consideradas a un nivel global, estas variaciones estacionales de la abundancia en las distintas localidades sugieren una típica migración latitudinal: las ballenas que en invierno se encuentran en la zona del Estrecho se desplazan durante la primavera hacia el norte pasando frente a las costas de Portugal y alcanzando en verano el noroeste peninsular. Su vuelta hacia el sur explicaría el máximo de capturas de otoño en Setúbal. Por otra parte, el espacio dejado en el Estrecho sería ocupado por otras ballenas que en invierno se hallan situadas más al sur, bordeando la costa de Africa.

De un modo paralelo, algunas de estas ballenas penetrarían por el Estrecho de Gibraltar en el Mediterráneo, subirían hacia el norte siguiendo las costas ibéricas y alcanzarían las productivas zonas del mar de Liguria en verano (Duguy et al., 1983). Ello explicaría el hecho de que la mayoría de avistamientos y varamientos de esta especie en las costa catalana tengan lugar en la primavera. La ruta hacia el sur ya no es tan conocida, aunque es posible que se desarrolle en dirección a Sicilia. Actualmente se desconoce el grado de permanencia e individualidad de la población de B.physalus mediterránea, aunque se sabe que el paso de estos animales a través de Gibraltar es frecuente.

En las últimas décadas, sin embargo, la ruta migratoria a lo largo de las costas atlánticas puede haberse modificado. En un crucero realizado durante el mes de noviembre en el Golfo de Cádiz no pudo detectarse la presencia de una sola ballena de aleta, aunque se desarrolló un esfuerzo considerable en su búsqueda (Aguilar et al., 1984a). Durante esta campaña se pudo comprobar, además, que la antigua zona de capturas, situada en la misma boca del Estrecho, sufre un tráfico marítimo de gran importancia que la convierte en totalmente inadecuada para la presencia de ballenas.

Otros cruceros que han cubierto en verano las zonas de captura de Setúbal y el Estrecho (Aguilar et al., 1983; Sanpera et al., 1984a) han demostrado claramente que la densidad de B.physalus en estas aguas es bajísima, al menos en esta época del año.

Por otra parte, la factoría de Balea (Vigo), que había podido trabajar siempre con normalidad a lo largo de toda la temporada, se ha visto incapacitada durante los primeros meses de campaña al hallarse las ballenas ocupando aguas demasiado septentrionales, fuera de su alcance. Esta situación sería ilógica si pensásemos que el movimiento de los rorcuales es paralelo a la costa; más bien al contrario, esta factoría debería poder capturar ballenas antes que la de Caneliñas, pues el tránsito migratorio la alcanzaría antes.

De hecho, en los últimos años las ballenas han sido muy abundantes en el norte y han ido poco a poco descendiendo hacia el sur a medida que la temporada progresaba. Ello hace pensar en una ruta ascendente oblicua a la costa y una descendente paralela o, al menos, más cercana a ella.

Como se ha visto en la sección 3.2. existe una clara asociación entre B.physalus y algunos túnidos como la albacora (Thunnus alalunga), seguramente establecida a través de la explotación de un recurso trófico común. La albacora sigue fundamentalmente dos rutas migratorias: una paralela a la costa portuguesa y otra oblicua a ella, que parte de las aguas cercanas a las Azores para acabar en el noroeste ibérico (Hue, 1980). Si ambas especies (ballena y túnido) compiten directa o indirectamente por el mismo alimento no es ilógico pensar que puedan desplazarse siguiendo áreas de productividad de características semejantes. La concentración de la ballena de aleta en la ruta azoreana podría haberse producido en las últimas décadas al alcanzar el tráfico marítimo una intensidad demasiado elevada en el Golfo de Cádiz y ello explicaría su ausencia en las aguas tradicionalmente explotadas

por la factoría de Vigo.

Un problema que queda, sin embargo, por resolver es el de la localización de las aguas de reproducción. Es probable que el Golfo de Cádiz fuese hace años una zona de invernaje y reproducción de al menos parte de la población. Actualmente ya no lo es, por lo que las ballenas deben situarse durante los meses de invierno en algún lugar del triángulo Cabo San Vicente-Azores-Canarias. En esta zona no se tiene noticia de ninguna agregación importante de ballenas, pero ello no es sorprendente, ya que, en general, el rorcual común tiene tendencia a concentrarse en las áreas de alimentación pero a dispersarse en las reproductoras (Nasu, 1966; Mackintosh, 1966). Sin duda, ésta es la razón por la que la mayoría de pesquerías de esta especie se desarrollan en las zonas de ocupación en verano y casi nunca en las de invierno.

#### 4.3.3. SECUENCIALIDAD EN LA MIGRACION

=====

Las migraciones de los rorcuales comunes no son movimientos en masa, sino que el desplazamiento de distintos componentes poblacionales suele realizarse de modo asincrónico.

En el hemisferio sur existe una bien documentada migración secuencial por tallas y estados sexuales de las distintas especies de balenoptéridos. En general, las hembras gestantes son las primeras en alcanzar las áreas de alimentación y a continuación llegan los machos y las hembras maduras pero en reposo sexual, seguidas de los individuos inmaduros de ambos sexos. Las lactantes son las últimas en llegar a la zona. Al parecer, el regreso a las áreas de reproducción también sigue este orden (Nemoto, 1959; Laws, 1961; Bannister y Gambell, 1965).

Para algunas especies del Atlántico norte se han descrito comportamientos migratorios semejantes (Rorvik et al., 1976; Martín, 1982;1983), pero la secuencialidad no acostumbra a ser tan patente, posiblemente debido al régimen menos severo de temperaturas superficiales del agua, que parece ser el factor determinante de la migración.

Sin embargo, cuando examinamos la composición de las capturas del noroeste ibérico no se observan tendencias claras. En primer lugar, la proporción de sexos (figura 4.2.) varía sustancialmente a lo largo de la campaña; a nivel global podría decirse que existe una tendencia a que la abundancia relativa de machos se incremente, pero ello sólo es cierto si se considera la media de la primera quincena de junio, derivada a partir de un reducido tamaño muestral (n=22) y por ello poco fiable.

Desde finales de julio hasta principios de septiembre parece existir, sin embargo, una menor proporción de machos en la captura. En esta época, además, el porcentaje de machos maduros es menor que en el resto de la temporada (ver figura 4.3.), lo que parece indicar que la escasez de machos durante el pico de la campaña se debe sobre todo al componente adulto de este sexo.

En las hembras la situación es diferente (ver figura 4.4.). Las lactantes representan aproximadamente un 20% de la captura hasta finales de septiembre, a partir de cuando se produce una brusca caída a cero. Sin duda, ello se debe a que el destete de la cría debe tener lugar aproximadamente en esta época o algo antes. No está claro durante cuánto tiempo desde el destete la glándula mamaria conserva de modo aparente su funcionalidad, pero esta aparente desaparición de las lactantes podría deberse o bien a que las ballenas que en aquel año han sido lactantes ya no son reconocidas como tales o bien a que al producirse el destete la madre inicia la migración hacia el sur, abandonando la zona de capturas.

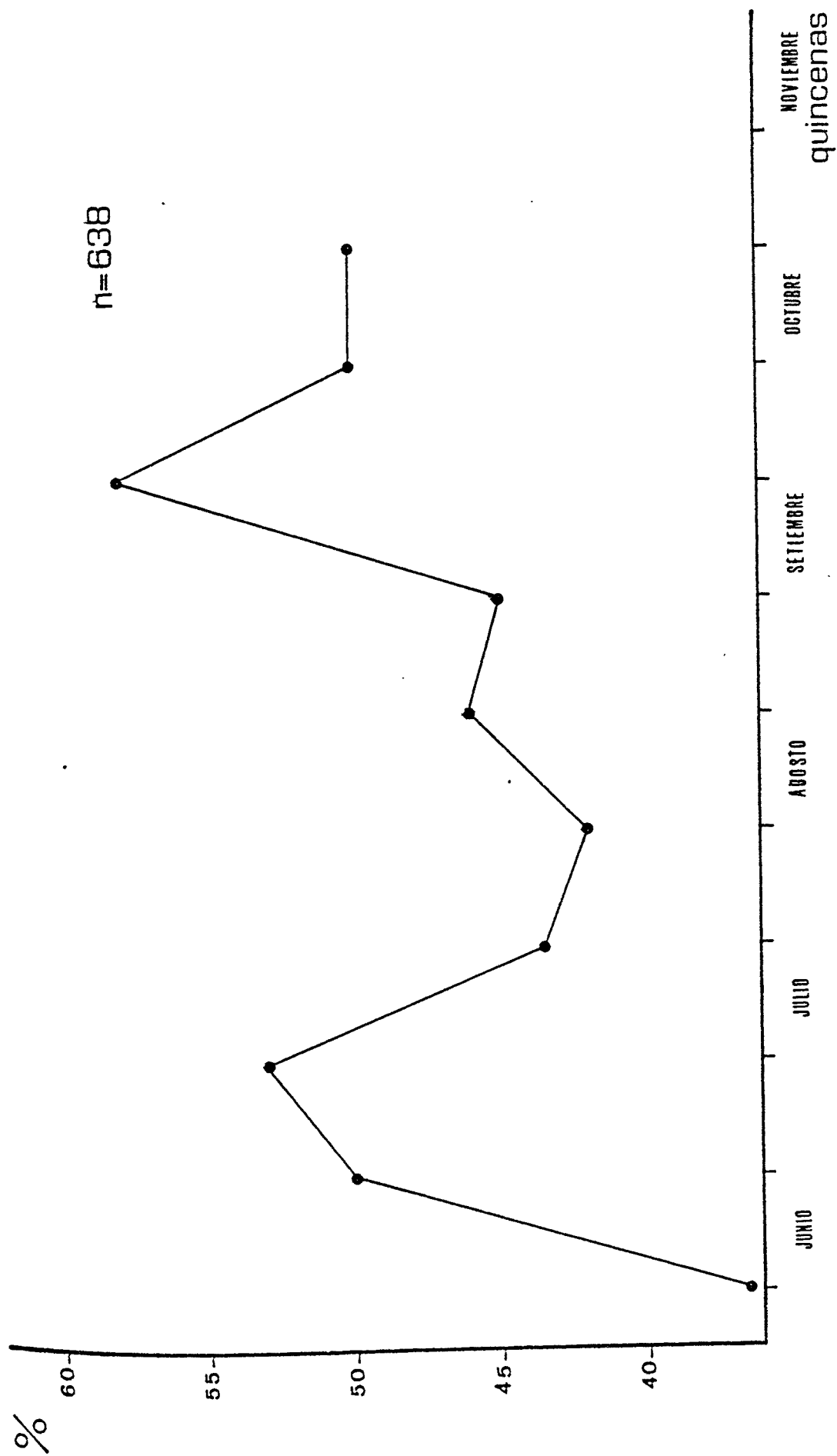


Figura 4.2.- Proporción de machos en la captura de cada quincena.

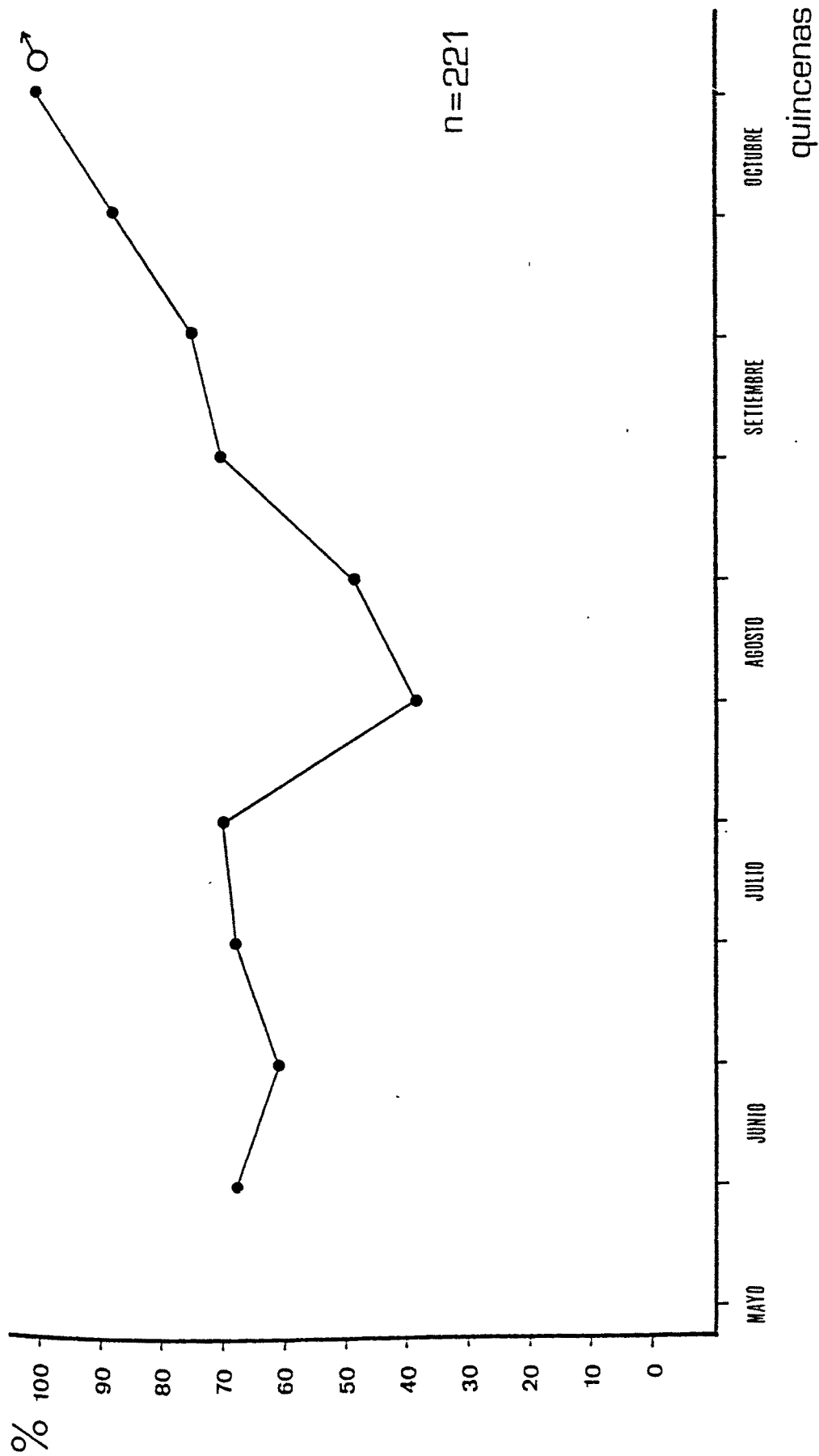


Figura 4.3.- Frecuencias de machos maduros sexualmente por quincenas.



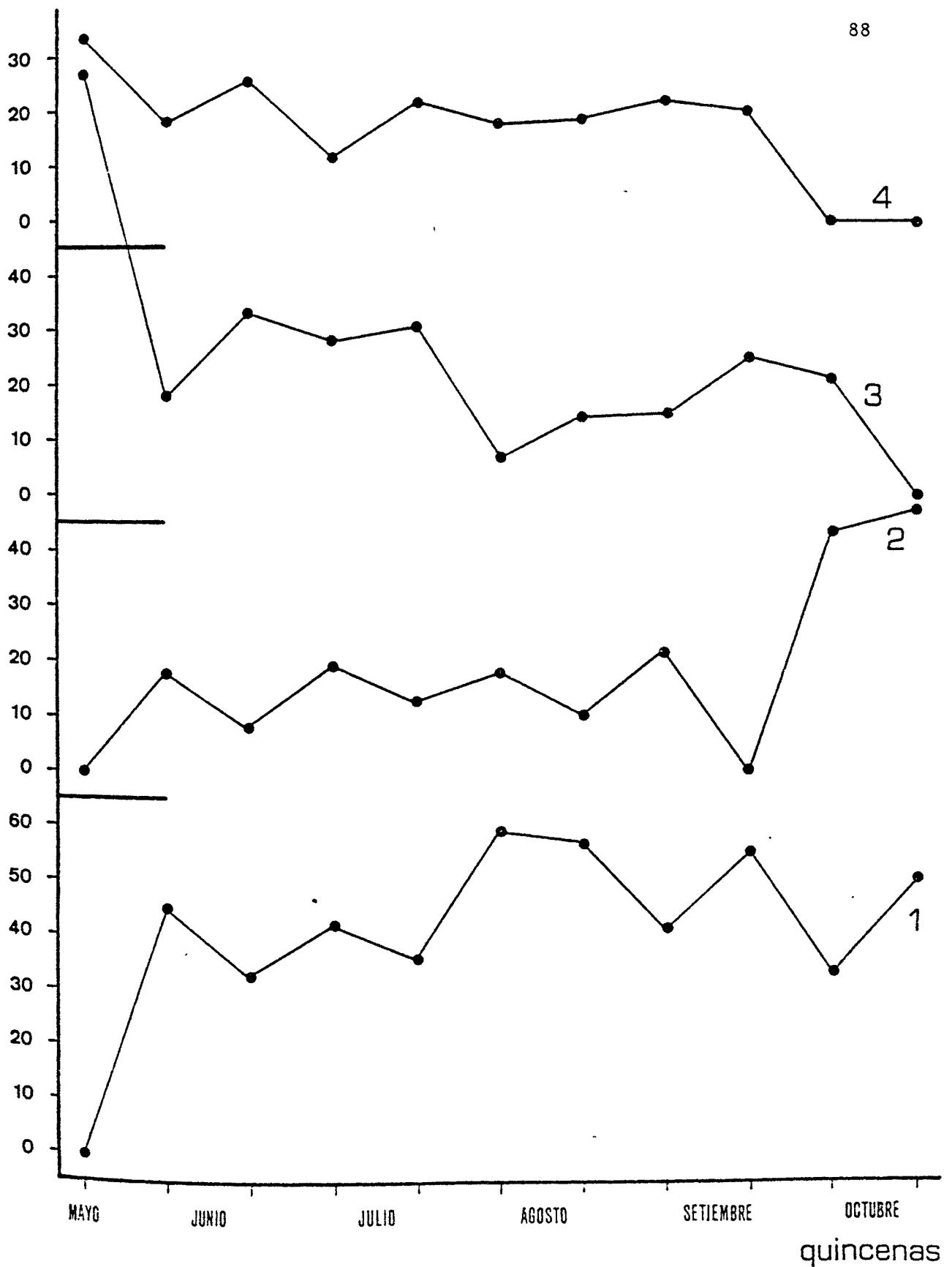


Figura 4.4.- Frecuencias relativas de cada categoría sexual de las hembras capturadas en cada quincena. 1: inmaduras; 2: maduras en reposo; 3: gestantes; 4: lactantes; (n=337).

La explicación puede encontrarse quizás en la gráfica de las hembras en reposo. Las frecuencias relativas de esta categoría de ballenas se mantiene bastante constante a lo largo de la temporada, pero asciende bruscamente justo a finales de septiembre, coincidiendo con la desaparición de las lactantes. El ascenso es proporcional al número medio de lactantes en épocas anteriores, lo que parece indicar que se debe en realidad al traspaso a esta categoría de las hembras que hasta pocas semanas antes eran reconocidas como lactantes.

Por otra parte, las hembras gestantes sí parecen hacerse más escasas a medida que avanza la temporada. La correlación entre la frecuencia relativa de esta categoría reproductiva y la quincena en que se ha producido la captura es significativa ( $p < 0.05$ ), lo que denota que las hembras grávidas inician su migración hacia el sur antes que el resto de la población, posiblemente para evitar que el parto se produzca en aguas demasiado frías. Otra posible explicación sería que precisamente se produjese el parto pasando estas hembras a la categoría de lactantes. Ello no debe ser así, sin embargo, ya que el porcentaje de lactantes es menor al final de la campaña y no mayor como sería de esperar si se diese una situación de este tipo; además, la fecha estimada de parto (ver apartado 6.1.9.) es muy posterior al período en que se produce el descenso de hembras gestantes.

La escasez relativa de hembras gestantes en las últimas quincenas de campaña contribuye también a aumentar la proporción aparente de hembras maduras en reposo. Globalmente, sin embargo, la proporción entre hembras maduras e inmaduras parece mantenerse constante a lo largo de toda la temporada.

Esta falta de pauta migratoria (si exceptuamos a las hembras gestantes) se refleja también en la evolución de las tallas medias de ambos sexos, que permanece más o menos constante a lo largo de toda la campaña (ver figura 4.5.).

♂ n = 249  
 ♀ n = 295

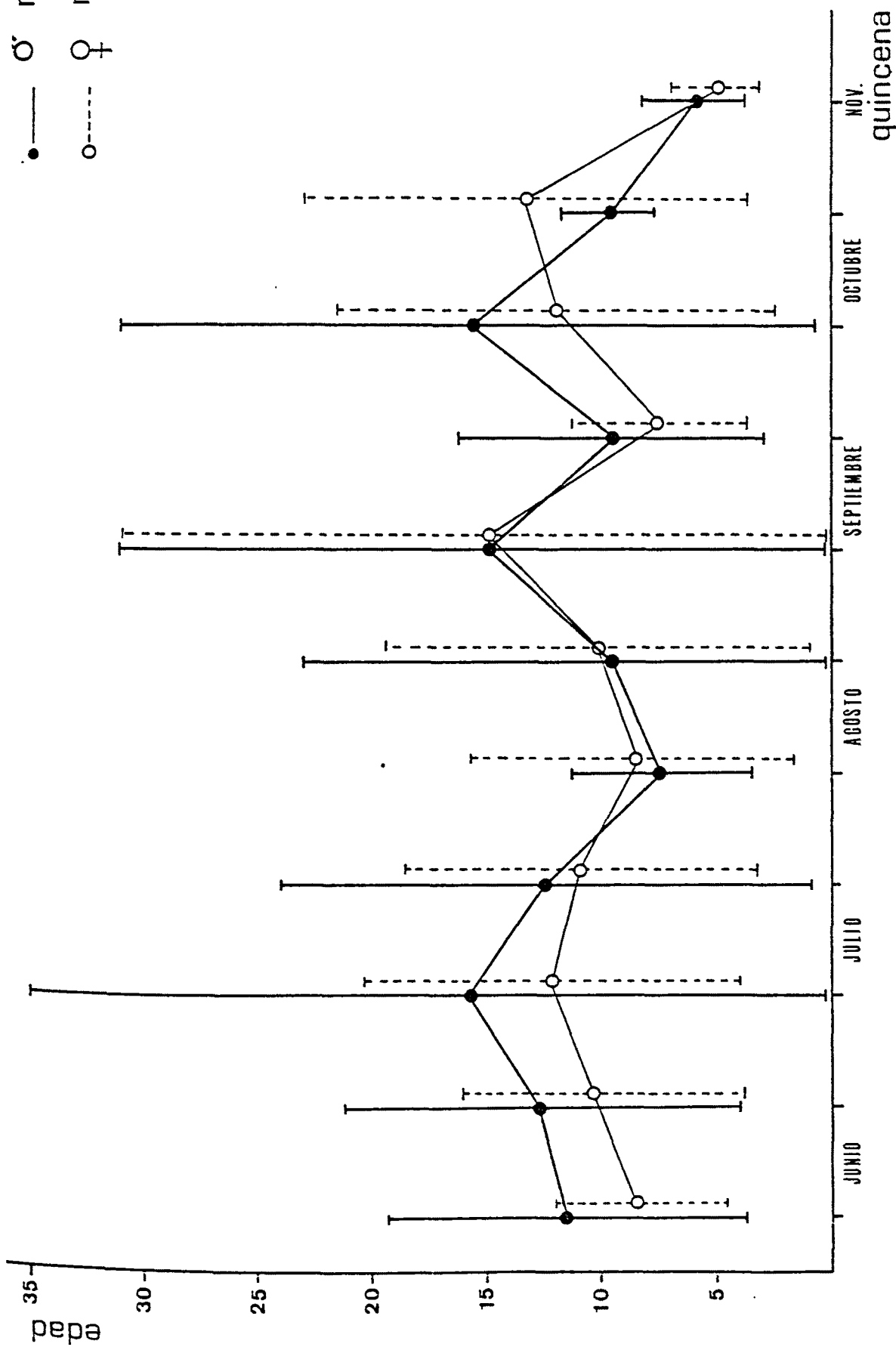


Figura 4.5.- Talla media y desviación standard de los machos capturados en cada quincena ●  
 Talla media y desviación standard de las hembras capturadas en cada quincena ○

Hay que señalar, no obstante, un hecho muy particular. La edad media y la desviación standard de los machos y de las hembras capturados en una misma quincena coinciden de un modo sorprendente (ver figura 4.6.). La correlación entre las medias es altamente significativa ( $p < 0.01$ ), lo que indica una estrecha asociación de animales de una misma generación o de generaciones próximas en el momento de formar los grupos migratorios.

Esta correlación se pierde al examinar la asociación entre tallas (fig. 4.5.), por lo que hay que pensar que la cohesión en el desplazamiento migratorio se mantiene más por motivos sociales que por necesidades energéticas, como se admite comúnmente.

#### 4.3.4. SEGREGACION ESPACIAL

=====

Como se comenta en otro apartado (8.2.3.1.), las ballenas parecen mostrar una cierta fidelidad por zonas particulares de ocupación. Es decir, que un mismo ejemplar tiene tendencia a volver cada año al mismo lugar, aun después de haber realizado una migración latitudinal de muchas millas de distancia. Ello se ha comprobado a partir de los resultados de marcaje (Brown, 1962; 1977a) y por la disminución local de densidad en zonas donde las capturas son intensas (Mitchell, 1972; apartado 8.2.3.1.).

En repetidas ocasiones se ha indicado también que esta segregación estaría además ligada a la edad o al tamaño de los rorcuales. Mackintosh (1966) sugirió que los ejemplares inmaduros se acercaban más a la costa en aguas cálidas y este mismo autor y algunos otros (Risting, 1928; Sergeant, 1963; Sergeant, 1977) han indicado que las ballenas de mayor tamaño alcanzaban latitudes más altas. Laws (1977) y Martin (1982), por otra parte, vieron que existía una cierta segregación incluso dentro de una misma área de alimentación, ocupando en general los ejemplares de mayor tamaño los

♂ n=299  
 ○-----  
 ♀ n=339  
 ●-----

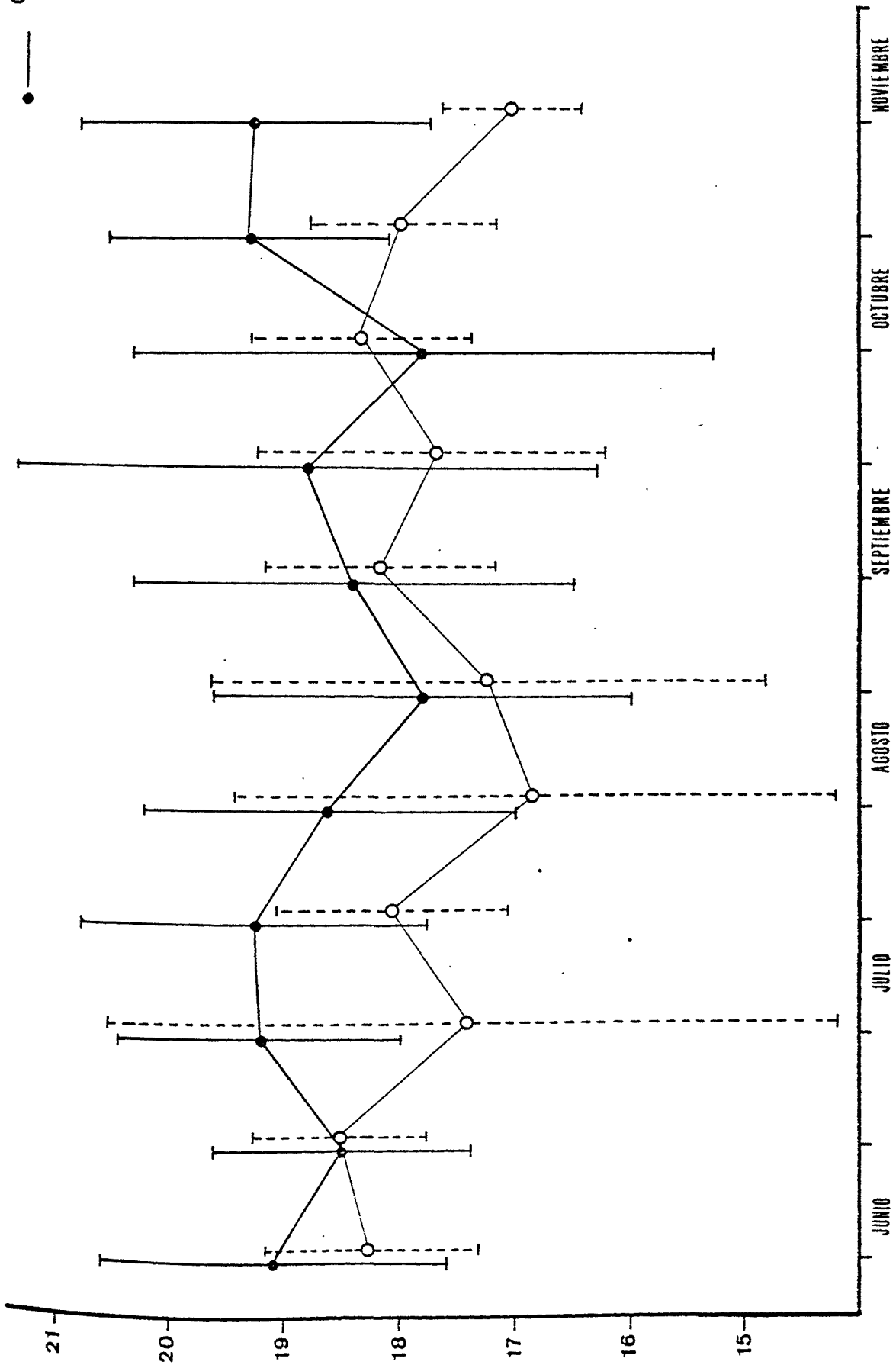


Figura 4.6.- Edad media y desviación standard de los machos y hembras capturados en cada quincena. Machos = - - - - ○ Hembras = ●-----

mejores espacios.

Sin embargo, muchos de estos efectos pueden en realidad obedecer a diferencias de selectividad de las distintas pesquerías más que a variaciones reales en la distribución de las ballenas.

La talla media de las capturas del noroeste no se diferencian significativamente de las de Islandia o Canadá y, cuando se examina la distribución de frecuencias de tallas en Gibraltar (figuras 7.2. y 7.3.) no puede observarse tendencia alguna respecto a la de Galicia que no sea atribuible a un distinto nivel de selección en la pesca o a un distinto grado de explotación del stock (apartado 7.3.2.).

5. DETERMINACION DE LA EDAD, CRECIMIENTO Y MORTALIDAD

---

---

## 5.1. DETERMINACION DE LA EDAD

=====

### 5.1.1. INTRODUCCION AL PROBLEMA

=====

A pesar de que con anterioridad había habido sugerencias ocasionales sobre cómo determinar la edad de los cetáceos (ver Jonsgard, 1969 para una revisión histórica), los primeros en realizar una aproximación seria al tema fueron Mackintosh y Wheeler (1929), que estudiaron durante varios años la captura antártica de ballenas.

El primer y más básico de los caminos explorados por estos investigadores fue asumir que las modas que aparecían en las distribuciones de tallas de las ballenas azules y de aleta antárticas se correspondían con clases de edad. Aunque este procedimiento, conocido vulgarmente como el método Petersen, ha sido en años recientes aplicado eficazmente en dinámica poblacional de peces gracias a tratamientos estadísticos adecuados, en los años veinte condujo a conclusiones erróneas. Así, Mackintosh y Wheeler trataron a las modas dominantes como las únicas clases de edad sucesivas e infraestimaron seriamente la edad de las ballenas llegando a establecer, evidentemente de modo incorrecto, la edad de maduración sexual para ambas especies en tan sólo dos años.

Algunos años más tarde el mismo Wheeler (1934) intentó distinguir diferentes grupos de edad por medio del grado de cicatrización de las heridas producidas por parásitos durante la migración invernal. Los resultados fueron muy ambiguos pero sugerían que el método Petersen podía no haberse aplicado de modo correcto en su anterior estudio.

En su misma publicación de 1929, Mackintosh y Wheeler también consideraron la utilización del número de cuerpos ováricos como indicadores de la edad en el caso particular de las hembras. Sin embargo, este procedimiento presenta serios inconvenientes. En primer lugar, la formación de cuerpos ováricos se produce a partir del momento en que el cetáceo alcanza la madurez sexual, pero no antes, por lo que este sistema no es útil en los ejemplares jóvenes y su fiabilidad depende, en los ejemplares adultos, de una correcta determinación de la edad de maduración por un método independiente. En segundo lugar



es preciso determinar la tasa de ovulación media de la población, lo que es de nuevo muy difícil sin una estima independiente y fiable de la edad. Además, este procedimiento conlleva gran número de asunciones más o menos incorrectas implícitas en él, como por ejemplo que la edad de maduración es constante y uniforme en cada clase de edad, o que la tasa de ovulación no varía a medida que el animal envejece.

No obstante, este método fue utilizado posteriormente por diversos autores en estudios de varias especies de cetáceos con mayor o menor fortuna (Jonsgard, 1969), aunque en los últimos años ha sido totalmente abandonado, excepto en aquellos casos en que es el único sistema disponible.

Otra aproximación al problema fue la sugerida por Nishiwaki y Hayashi (1950), que observaron un cambio en el color y la opacidad del cristalino de las ballenas azules y de aleta conforme aumentaba su tamaño y número de cuerpos ováricos. Más tarde, Nishiwaki (1950a) diseñó un aparato para medir la transparencia de los cristalinos y examinó varios cientos de ejemplares de estas dos especies, demostrando un aumento progresivo en la coloración de este órgano con la edad. Recientemente Nerini (1983) se basó en el grado de racemización del ácido aspártico del cristalino para determinar la edad de varios ejemplares de ballena de aleta, pero todos estos métodos han sido dejados de lado en beneficio de otros más sencillos y fiables.

Aparte de estos procedimientos, y al igual que en otros órdenes zoológicos, la metodología que se presentaba más prometedora y que se ha revelado finalmente como más eficaz es la detección y cuantificación de capas de deposición anual en los tejidos duros. Por desgracia, el sistema comúnmente utilizado en los odontocetos y en muchos otros mamíferos, que es la lectura de las capas de dentina, no puede aplicarse en el caso de los misticetos, por lo que fue necesario buscar otros elementos anatómicos que presentasen capas anuales de deposición.

Un primer intento en este sentido fueron los trabajos de Ruud (1940; 1945), que estudió el desarrollo de las barbas y su relación con el envejecimiento del animal en cuatro especies de ballenas. Ruud vio que existían unas rugosidades transversales en la barba que podían asociarse a ciclos de crecimiento e investigó varios procedimientos para determinar la edad a partir de ellos. Sin

embargo, y a pesar de que el método tuvo algunos seguidores, pronto se vio que, además de su complejidad, tan sólo era válido en ejemplares muy jóvenes en los que la barba no había comenzado aún a desgastarse (Nishiwaki, 1950b). Así se comprobó, varios años más tarde, cuando se pusieron a punto métodos fiables de determinación de la edad, que la barba dejaba de ser útil - en el caso concreto de B. physalus - a partir de los cuatro años de edad (Ichihara, 1966).

Por otra parte, durante los años sesenta, varias piezas óseas de distintos cetáceos fueron examinadas en busca de capas de deposición. En el caso de los odontocetos, algunos de estos elementos resultaron útiles y han sido utilizados posteriormente, en especial en aquellas especies en que la lectura de dientes es insatisfactoria debido a una falta de contraste de las capas o a la oclusión temprana de la cavidad pulpar (Laws, 1960; Nishiwaki et al. 1961; Brodie, 1969; Klevezal, 1980 entre otros).

En el caso de Balaenoptera physalus, sin embargo, los huesos son muy porosos y tan sólo una pieza ósea, la bulla timpánica, parece presentar capas de crecimiento reconocibles (Klevezal y Mitchell, 1971). Recientemente, las lecturas de edad en la bulla timpánica han sido utilizadas en balenoptéridos en los que otros sistemas de determinación de la edad son poco fiables, como en el caso del rorcual aliblanco, Balaenoptera acutorostrata (Christensen, 1981; Larsen y Kapel, 1982), pero en el rorcual común la solución al problema vino cuando Purves (1955) halló capas de deposición en unos acúmulos cereos de forma cónica que se encuentran en el conducto auditivo y los asoció a bandas de crecimiento. Estos acúmulos, que a partir de aquí llamaremos conos de cera, se forman por deposición del recubrimiento de las paredes internas del conducto auditivo y de la membrana timpánica. Dado que este conducto no conduce al exterior sino que está obliterado, las células de desecho del epitelio de recubrimiento no pueden ser expulsadas y se acumulan formando este depósito.

Por otra parte, la membrana timpánica, además de desprender células muertas, segrega ceras. Sin embargo, parece ser que los productos de desecho no se depositan todos de manera continua, por lo que existen diferencias estructurales en los yacimientos a lo largo del año. Así, pueden distinguirse unos estratos de color claro formados por células de reducido tamaño y

y elevado contenido en lípidos y otros estratos de color oscuro, constituidos por células queratinizadas de mayor tamaño y menor riqueza en lípidos.

Ichihara (1966) y Roe (1967), estudiando precisamente los conos de cera del rorcual común, vieron que la formación de bandas era un proceso continuo a lo largo del año y que las capas de color claro se depositaban en verano y las oscuras en invierno, mostrando una clara correlación con el momento en el que la ballena iniciaba su migración. Estudios posteriores en otras especies de balaenoptéridos (Lockyer, 1974) han venido a confirmar esta hipótesis.

La causa primera que parecía provocar el cambio en la deposición de capas era la variación en la cantidad de alimento ingerido por la ballena. No obstante, tanto Ichihara (1966) como Roe (1967) sugirieron que factores ambientales (temperatura del agua, fotoperíodo) o fisiológicos (niveles hormonales) podían influir de algún modo en el proceso. Aún hoy en día el mecanismo no está del todo claro, aunque se supone que más de un factor debe afectar la calidad de la deposición de la membrana timpánica.

De cualquier modo, la alternancia estructural de las capas fue reconocida inmediatamente como un método válido para la determinación de la edad. El problema, sin embargo, residía en saber cuántas de estas capas se depositaban por año y si esta tasa se mantenía constante a lo largo de la vida del animal.

Desde un principio varios investigadores sugirieron, aun antes de conocerse la variación estacional de deposición de capas, que una banda clara y una oscura se formaban cada año (Nishiwaki, 1957; Purves y Mountford, 1959) y, de hecho, la mayoría de estudios posteriores tendieron a confirmar esta hipótesis. No obstante, la recuperación de algunas ballenas marcadas en las que la edad estimada parecía no cuadrar bien con el lapso de tiempo existente entre el momento de marcaje y su recaptura, así como otros estudios sobre el tema, contribuyeron a arrojar dudas sobre la tasa de deposición inicialmente asumida (Jonsgard, 1969; Kozicki y Mitchell, 1974)

No fue hasta la reunión de la IWC en 1968 en Oslo (IWC, 1969) cuando se aceptó la cifra de dos capas (una clara y otra oscura) como válida, aunque se señaló que podían existir problemas debido a la presencia de bandas

accesorias o secundarias, especialmente en ejemplares jóvenes. Actualmente, los conos de cera han sido estudiados en la mayor parte de misticetos y son utilizados con mayor o menor fortuna en la determinación de la edad (Lockyer, 1984).

### 5.1.2. METODOLOGIA

=====

En el presente estudio se han examinado dos sistemas de determinación de la edad: lecturas en cortes de la bulla timpánica y lecturas en secciones de los conos de cera. El primer sistema, sin embargo, fue pronto abandonado debido a la mayor dificultad en la preparación del material objeto de estudio y a la pobreza de los resultados. Los conos de cera, por el contrario, han sido estudiados con detalle en la casi totalidad de ejemplares examinados desde la campaña de 1979, obteniéndose unos resultados excelentes.

#### 5.1.2.1. Bullas timpánicas

=====

La bulla timpánica es una cápsula ósea de estructura compacta que aloja la membrana timpánica. Su localización en la parte ventral del neurocráneo es relativamente fácil debido a que se encuentra recubierta de una masa de tejido graso en forma de semiesfera de unos 40-50 cm de diámetro, claramente diferenciada de la musculatura adyacente.

Una vez extraídas las bullas, se limpiaron y etiquetaron, guardándose en seco hasta su examen en el laboratorio. La preparación del material siguió la metodología propuesta por Christensen (1981) en su estudio sobre las bullas timpánicas del rorcual aliblanco, consistente en seccionar la pieza por la parte de mayor grosor y sumergirla en un baño de ácido fórmico al 20%.

Al examinar la bulla timpánica ya preparada, puede distinguirse fácilmente una estrecha zona periosteal que recubre toda la pieza ósea, que es a su vez de densa estructura reticular. Es precisamente en el periosteo donde aparecen, acentuadas por efecto del ácido, capas de deposición que pueden asociarse a ritmos anuales. De hecho, al examinar a la lupa binocular (5-

10 aumentos) la pieza tratada, las capas aparecen en relieve y puede considerarse el conjunto de un surco y una cresta como una anualidad.

Sin embargo, la línea divisoria entre el periosteo y el mesosteo no siempre es clara y ello confunde en gran medida la lectura de las capas de deposición ya de por sí difíciles de distinguir.

Los pobres resultados obtenidos en la lectura de cinco ejemplares examinados, así como la dificultad en conseguir secciones suficientemente finas de la cápsula, aconsejó abandonar esta técnica en beneficio de los conos de cera. No se descarta, sin embargo, la posibilidad sugerida por Klevezal y Mitchell (1971) de utilizar las bullas como sistema alternativo de la determinación de la edad en el rorcual común.

#### 5.1.2.2. Conos de cera

=====

##### 5.1.2.2.1. Recolección y conservación

La recolección del cono de cera se inicia una vez la cabeza de la ballena ha sido separada del tronco y se halla boca arriba y libre al máximo de tejidos blandos. Entonces pueden seguirse tres caminos: buscar directamente el canal auditivo tomando como orientación el colchón de tejido graso que recubre la cápsula timpánica y extraer el cono perpendicularmente, quitar la cápsula y sacar el cono por la boca libre del conducto, o bien al contrario, empujar el cono y extraerlo por la boca distal del canal siempre que la parte lateral del neurocráneo haya sido seccionada en sentido longitudinal respecto al eje del animal.

La elección de uno u otro método para la obtención del cono depende esencialmente de la presencia o ausencia de tejidos blandos que estorban la manipulación en una zona u otra y de las preferencias del recolector. No obstante, el tercer método es el de mayor rapidez y el que produce una menor incidencia de roturas en el cono, aunque tan sólo es factible si los cortes longitudinales del cráneo han sido efectuados en el lugar correcto.

En general las piezas más fáciles de obtener son las de tamaño intermedio; las de animales muy jóvenes y de reducido tamaño son de consistencia más blanda y por ello fácilmente dañadas durante las manipulaciones; los conos de cera de ballenas de edad muy avanzada, por otra parte, son muy largos y se fragmentan con cierta frecuencia, sobre todo si se extraen longitudinalmente por la boca proximal del conducto, una vez extraída la cápsula timpánica.

Una vez obtenidos, ambos conos se guardan en bolsas de polietileno perforadas y etiquetadas y se sumergen en un baño de formaldehído al 10%, en el que se conservan hasta su lectura en el laboratorio. Es importante que la pieza haya permanecido varios días en la solución conservadora a fin de que se haya endurecido, pues los conos frescos tienen generalmente una textura demasiado blanda y cremosa como para permitir un cortado y una lectura eficiente.

#### 5.1.2.2.2. Preparación del cono para la lectura

A pesar de que algunos investigadores han utilizado muelas o esmeriles para rebajar el cono y sacar a la luz las bandas de crecimiento (Mitchell y Kozicki, 1974), en el presente estudio se ha preferido ir cortando de modo progresivo el cono con una cuchilla, hasta alcanzar el plano central en sentido longitudinal a la pieza. La superficie así expuesta es luego pulida en una piedra de esmeril de grano fino a fin de eliminar las irregularidades en el corte.

Las capas de deposición en los conos de Balaenoptera physalus están suficientemente bien espaciados y suelen estar poco pigmentados aunque con buen contraste, por lo que no son necesarias las técnicas de blanqueado o de rayos X para denotar su presencia, como sucede con otras especies (Masaki, 1968; Lockyer, 1974). Tampoco para la lectura del número de bandas se ha considerado necesaria la utilización de mecanismos ópticos o la realización de secciones microscópicas, de las que se han valido otros investigadores en el pasado (Ichihara, 1963; IWC, 1974), pues la lectura directa ha permitido la determinación de la edad en la mayoría de casos; tan sólo cuando los conos de cera provenían de un ejemplar de edad avanzada (mayor de unos 20-25 años) ha sido necesario efectuar la lectura bajo la lupa binocular.



### 5.1.2.2.3. Lectura del cono de cera

El cono de cera es una pieza que en Balaenoptera physalus llega a medir unos 25 cm de longitud por 3-4 cm de sección máxima en la base. Su consistencia suele ser blanda, especialmente en las ballenas jóvenes, por lo que a menudo se fragmenta por su parte distal.

Una vez cortado por su plano medio longitudinal, en el cono pueden apreciarse dos partes bien diferenciadas: un núcleo central con bandas de crecimiento que llamaremos "corazón" y una envoltura sin utilidad para la determinación de la edad (ver figura 5.1.). Por su parte proximal, es decir, la que está en contacto con la membrana timpánica, se distingue un estrato germinativo de aspecto poroso y color claro, que es el que va formando el resto de capas o estratos. Lógicamente, las capas de formación más reciente serán las más cercanas a este estrato germinativo, mientras que las depositadas en los primeros años de vida serán las que ocupan una posición más lejana.

Comenzando por el extremo distal del corazón, se aprecia en primer lugar una banda queratinizada de color oscuro, que según Ichihara (1964;1966) se forma en Balaenoptera physalus durante la gestación, cuando el feto cuenta con unos seis meses y medio de edad; esta banda queratinizada no es siempre patente y en algunos casos es difícil de observar. A continuación y ya más conspicua, se dispone una banda de color muy claro, según Ichihara formada cuando el feto alcanza los ocho meses de vida intrauterina. A la combinación de estas dos capas se la denomina "banda neonatal" y es el punto de partida o año cero en el contaje de bandas.

A partir de aquí, y comenzando por un estrato que en general es relativamente ancho y que se supone representa el período de lactancia, se van disponiendo estratos oscuros y claros de modo alternativo. Como se ha dicho en el apartado 5.1.1., el cambio en la coloración es debido a variaciones estacionales en los productos segregados por la membrana timpánica. A efectos de clarificación, utilizaremos de ahora en adelante el término de "banda de crecimiento" para la combinación de dos estratos, uno de color oscuro y otro claro, que asociamos con una anualidad.

El corazón de los conos provenientes de ballenas adultas suele estar mucho más pigmentado que en los individuos jóvenes y sus bandas de crecimiento más comprimidas (figuras 5.2. y 5.3.), pero esto no parece afectar su legibilidad. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que en ejemplares de poca edad aparecen con frecuencia estratos accesorios o secundarios, que pueden engañar en la lectura del cono de cera.

Además de la determinación de la edad total de la ballena, las bandas de crecimiento también pueden permitir establecer la edad a la que el ejemplar objeto de estudio alcanzó la madurez sexual, gracias a un cambio brusco en el ritmo de espaciamiento de los estratos, conocido bajo el nombre de "fase de transición". Muy posiblemente esta variación debe asociarse a la dramática caída en la tasa de crecimiento a partir del momento en que las ballenas alcanzan la madurez sexual.

La fase de transición fue inicialmente descrita por Lockyer (1972) en el rorcual común del hemisferio sur y ha sido luego observada y utilizada en otras varias especies de balaenoptéridos por distintos investigadores (Lockyer, 1984 para una revisión del tema). Dada su importancia como indicador de la edad de maduración sexual, los resultados de la lectura de la fase de transición se examinarán con detalle en los apartados 6.1. y 6.2.

### 5.1.3. RESULTADOS DE LA LECTURA DE LOS CONOS DE CERA

=====

#### 5.1.3.1. Material recolectado

=====

La eficiencia de recolección de los conos de cera fue bastante elevada en comparación con otras muestra biológicas, obteniéndose conos de 317 hembras (94% de los ejemplares examinados) y 274 machos (92% de los ejemplares examinados).



Figura 5.1.: Cono de cera de un ejemplar de 12 años de edad que no muestra todavía la fase de transición.

Figura 5.2.: Cono de cera de un ejemplar de 17 años de edad, mostrando una clara fase de transición entre las bandas de crecimiento correspondientes a los 7 y 8 años.

Figura 5.3.: Cono de cera de un ejemplar de 82 años de edad, mostrando la fase de transición entre las bandas de crecimiento correspondientes a los 9 y 10 años.

En todos los casos:

e: Envoltura

eg: Estrato germinativo

c: Corazón

bn: Banda neonatal

el: Estrato de lactancia

ft: Fase de transición

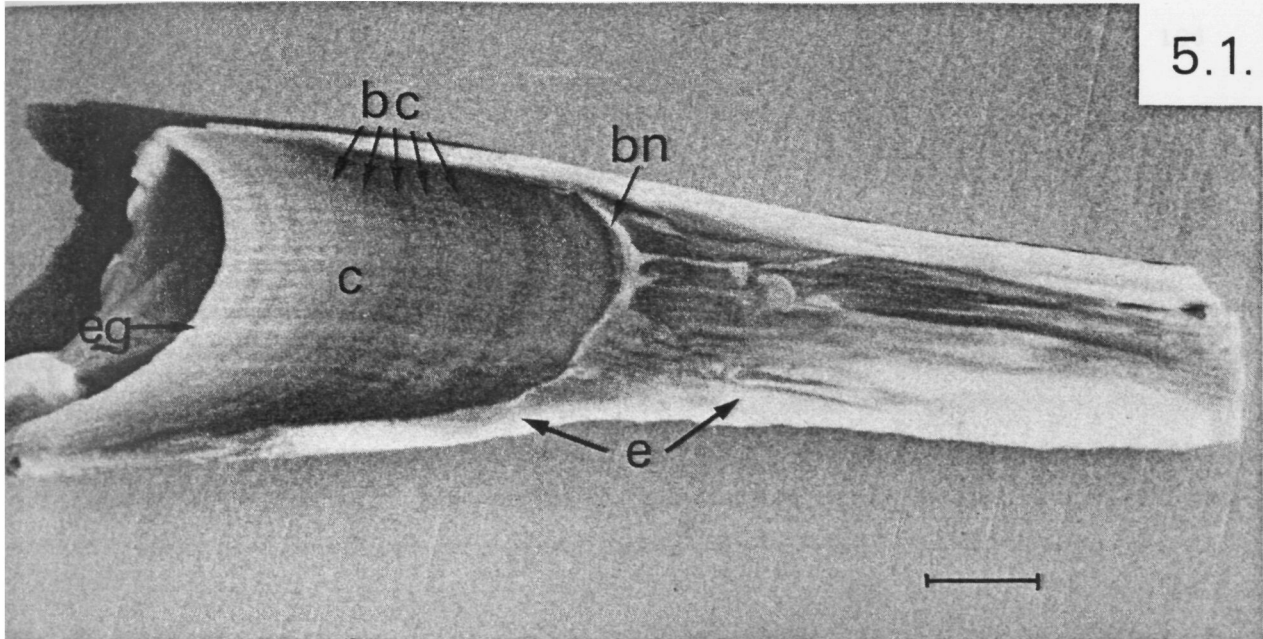
bc: Bandas de crecimiento

bci: Bandas de crecimiento de inmadurez sexual

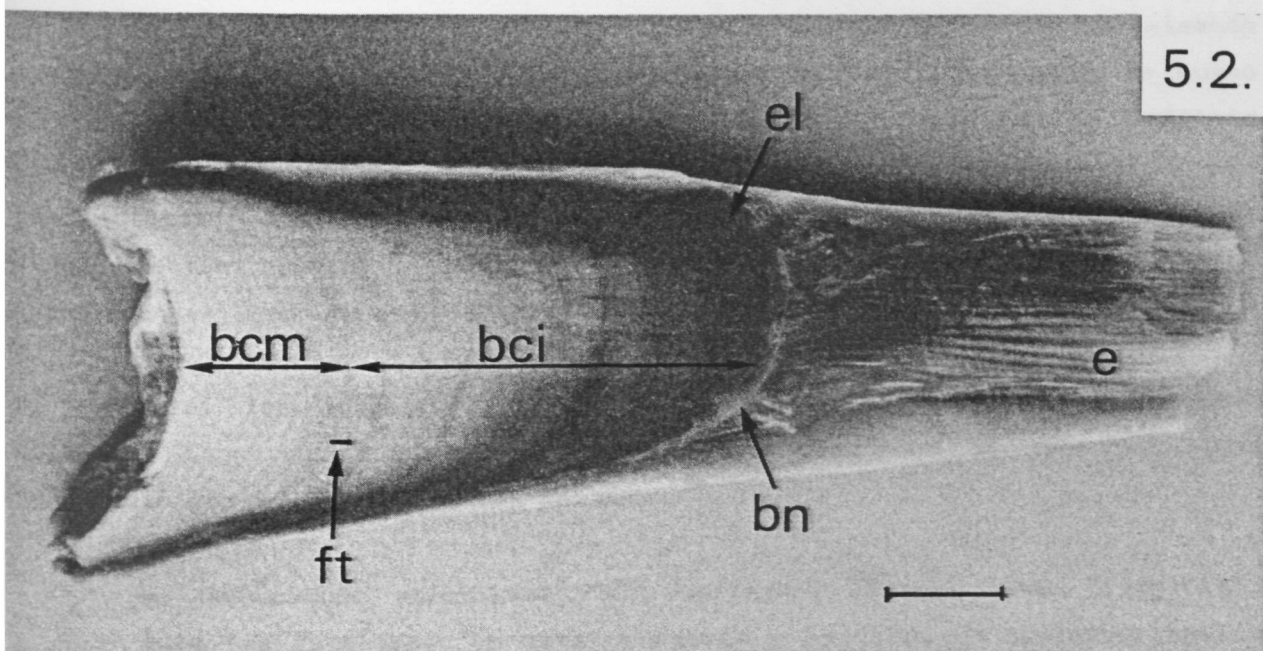
bcm: Bandas de crecimiento de madurez sexual

La escala representa 1cm.

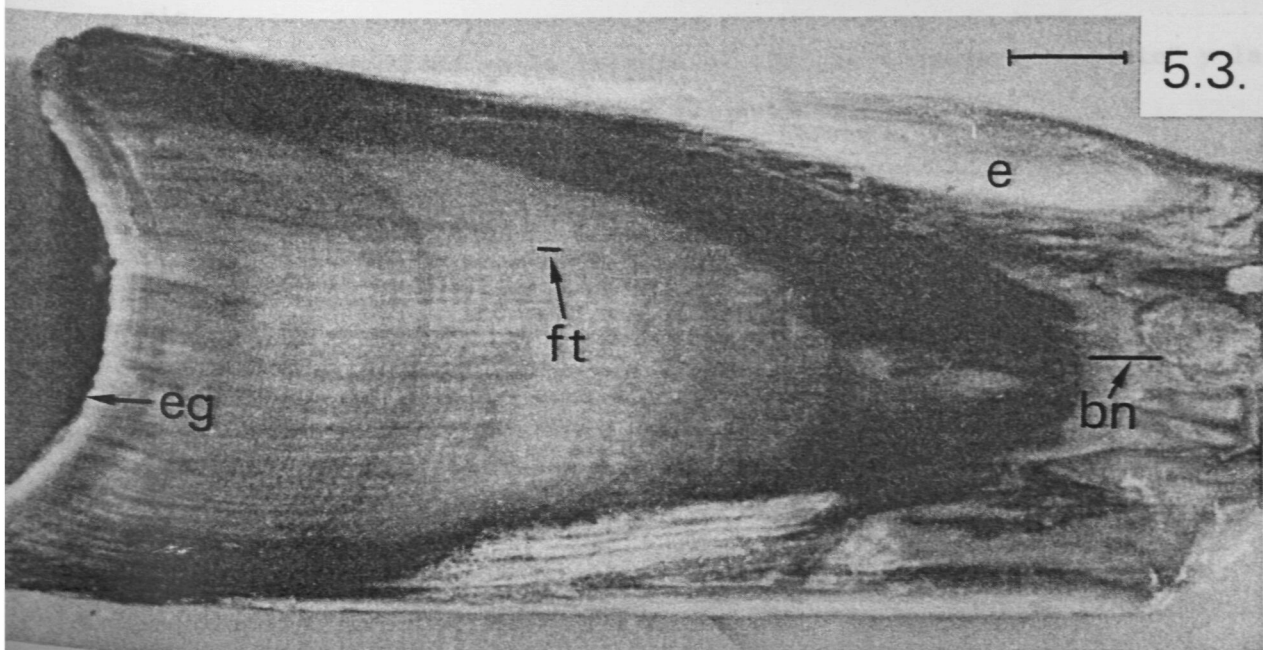
5.1.



5.2.



5.3.



### 5.1.3.2. Legibilidad

=====

Los factores que influyen en la legibilidad de los conos no están bien establecidos, aunque parece que el comportamiento migratorio y las variaciones estacionales de habitat favorecen el contraste y la diferenciación de los estratos. De cualquier modo, la facilidad de interpretación varía de una pieza a otra y es necesario comprobar si existen tendencias en la eficiencia de lectura de los conos, a fin de evitar diferencias en la representatividad de las edades de determinados componentes poblacionales.

En el presente estudio, la lectura de los conos fue realizada siempre por más de un lector y, en las temporadas de 1980, 1981, 1982 y 1983, un elevado porcentaje de los conos (en general alrededor del 70%) fue leído de nuevo por un mismo lector. En todos los casos de dobles lecturas un análisis de correlación-regresión reveló que la correlación entre lecturas de distintos lectores y entre distintas lecturas de un mismo lector era alta y que ningún lector tendía a infraestimar o sobreestimar las lecturas de modo significativo (con una  $p < 0.05$ ).

No obstante, las divergencias entre uno u otro lector fueron en algunas ocasiones importantes y en la elaboración definitiva de los resultados se decidió seguir las siguientes normas:

- Cuando hubo unanimidad en considerar el cono como "ilegible", éste fue catalogado en esta categoría y excluido de cualquier análisis.
- Si hubo unanimidad en la lectura el cono se consideró "legible" y la edad establecida válida en todos los aspectos.
- Cuando la lectura del cono ofreció distintas interpretaciones, se consideró a efectos de cómputo la media de las edades estimadas, excepto si la diferencia entre las lecturas excedía el 10% de la lectura más baja, en cuyo caso los conos fueron catalogados como "ilegibles".
- En aquellas ocasiones en las que los lectores veían distintas posibilidades de lectura se aplicaron los criterios anteriores, aunque considerando los rangos extremos de la variación para la regla del 10%.
- Cuando, por una razón u otra, los conos estaban incompletos,

fueron catalogados siempre como "ilegibles", aun a pesar de que porción disponible permitiese una estima mínima de la edad.

La aplicación de este procedimiento en la selección de los conos produce una representatividad más equilibrada de las ballenas muestreadas, pues en los ejemplares más viejos los estratos están comprimidos y es necesario efectuar su interpretación con ayuda de una lupa binocular, por lo que suele existir una cierta variabilidad de lectura en términos absolutos (aunque en términos porcentuales reducida), incluso entre exámenes sucesivos de un mismo lector.

Por ello, los análisis que tan sólo aceptan las lecturas con unanimidad subrepresentan seriamente las clases de edad más avanzadas, lo que cuestiona su utilización en muchos aspectos, como por ejemplo en el cálculo de las tasas de mortalidad.

Siguiendo el procedimiento antes descrito, se consideró como apto para la determinación de la edad un 82.6% de los conos de los ejemplares examinados. Este porcentaje es semejante o superior a los porcentajes de utilización en estudios similares de Balaenoptera physalus en otras áreas (Lockyer et al., 1977; Lockyer y Brown, 1979) y claramente superior a los de otras especies (Lockyer, 1978; IWC, 1984b). De hecho, los conos del rorcual común son los que permiten una lectura más precisa, tanto por su tamaño como por su consistencia y grado de pigmentación, aunque pueden existir diferencias sustanciales entre una población y otra que favorezcan o dificulten su interpretación (IWC, 1974).

En otras especies de menor tamaño corporal y en las que el cono es menos consistente las piezas de las hembras suelen ser más fáciles de recolectar, preparar e interpretar, posiblemente debido al mayor tamaño corporal que alcanzan éstas (Lockyer, 1978; Kato, 1984). Este factor no parece influir en Balaenoptera physalus y Lockyer et al. (1977) y Lockyer y Brown (1979) observaron que los machos de esta especie en aguas islandesas tienen conos en general más legibles que las hembras, aunque una prueba de independencia no demostró diferencias estadísticamente significativas; un resultado similar se desprende de IWC (1974).

No obstante, en nuestro estudio encontramos un resultado contrario, siendo el porcentaje de lectura en las hembras (83.5%) algo superior al de los machos (81.5%), aunque la diferencia dista mucho de ser estadísticamente significativa (aplicando una prueba de  $X^2$  con 1 grado de libertad,  $0.9 < p < 0.5$ ).

Más importante que la diferencia entre sexos es la posible existencia de tendencias en la legibilidad asociadas con la edad del ejemplar. Dividiendo la población muestreada en clases de talla de 1 metro y representando el porcentaje de conos legibles sobre el total recogido en cada talla siempre que el tamaño muestral fue al menos de 10 conos (ver figura 5.4.), puede observarse una tendencia en las hembras a aumentar su dificultad de interpretación conforme envejecen (correlación significativa para  $p < 0.05$ ). Ello significa que las clases de edad más avanzadas estarán subrepresentadas en comparación con las más jóvenes, lo que introducirá un desvío positivo en el cálculo de las tasas de mortalidad.

En los machos, por el contrario, no se observa tendencia alguna en este sentido (correlación no significativa), aunque existe una gran variabilidad en el porcentaje de legibilidad de las distintas tallas. Al no existir una tendencia, sin embargo, no puede hablarse de un desvío y debemos asumir, en el cálculo de las tasas de mortalidad, que todas las edades se hallan representadas de modo semejante.

Lockyer et al. (1977) en un estudio similar del rorcual común en aguas islandesas encontraron unos resultados semejantes, tanto en machos como en hembras. En un muestreo posterior, sin embargo, estas tendencias ya no fueron tan evidentes, posiblemente debido a que el análisis se efectuó por anualidades y el tamaño muestral se redujo considerablemente (Lockyer y Brown, 1979).

Como decíamos más arriba, el mayor tamaño y consistencia de los conos de los ejemplares de edad avanzada podía favorecer su interpretación en aquellas especies, como Balaenoptera borealis o Balaenoptera acutorostrata, en las que la pieza de estudio es reducida y difícil de manipular (Lockyer, 1978; Kato, 1984). En Balaenoptera physalus, no obstante, el alto grado de empaquetamiento parece dificultar la lectura de los conos de los ejemplares más viejos y en especial de las hembras, aunque de hecho son los machos los que suelen alcanzar edades más avanzadas. Este hecho debe ser tenido en cuenta en el momento de analizar las tasas de mortalidad de cada sexo.

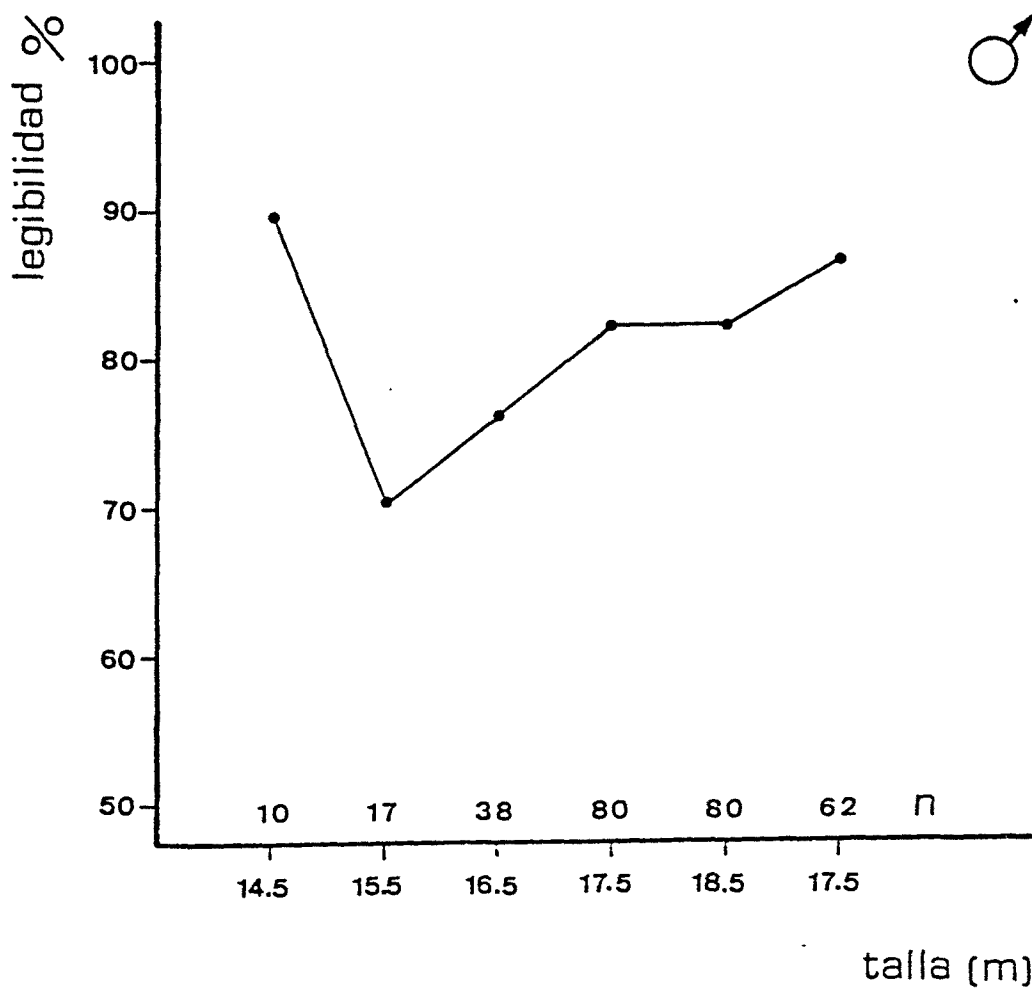
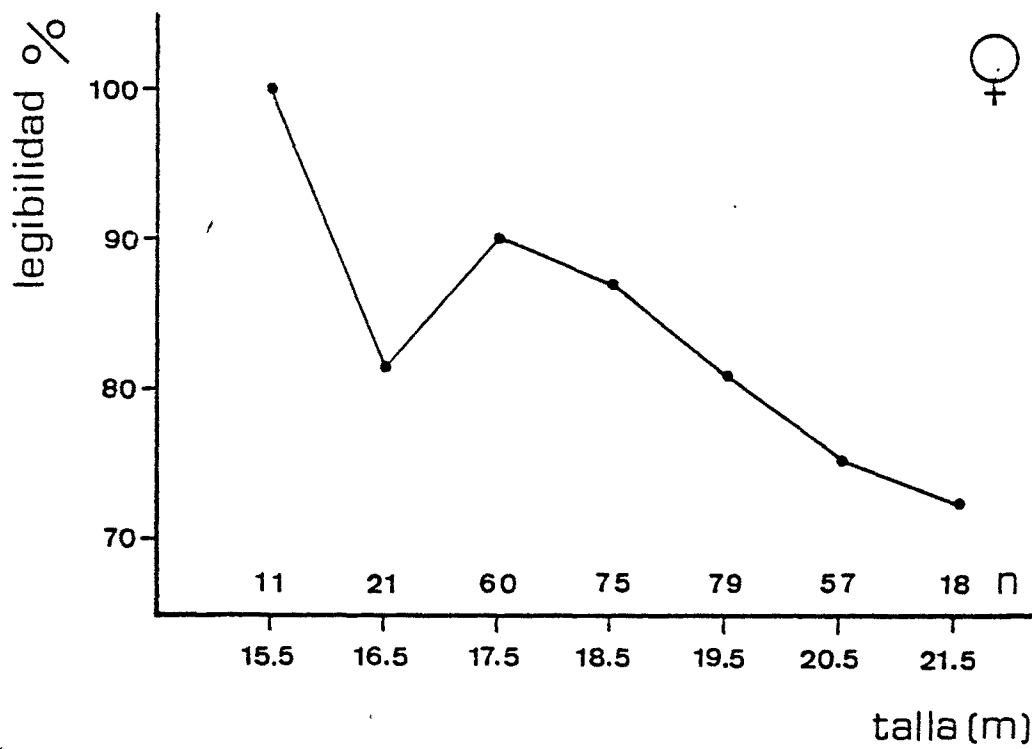


Figura 5.4.- Relación entre el porcentaje de legibilidad de los conos y la talla.

### 5.1.3.3. Tamaño del corazón del cono

=====

La utilización de las dimensiones del corazón del cono como indicadores de la edad de la ballena de aleta ha sido estudiada por varios investigadores (Purves, 1955; Nishiwaki, 1957; Ichihara, 1959; Lockyer, 1972; Masaki, 1973, entre otros). Si la deposición de capas es constante a lo largo de toda la vida de la ballena, la longitud del corazón debería aumentar progresivamente y reflejar la edad del ejemplar. De ser así, esta medida podría utilizarse para estimar la edad de aquellas ballenas que presentan estratos pobremente definidos o ilegibles.

En la figura 5.5. se ha representado la relación entre la longitud de la parte central del corazón una vez seccionado y el número de estratos observados. Como puede verse existe una correlación altamente significativa ( $p < 0.001$ ) durante los primeros 20 o 25 años, en los que el crecimiento de la ballena guarda una proporcionalidad con la edad.

Sin embargo, a partir de esta edad la correlación se pierde y el corazón no muestra un incremento en sus dimensiones, aun a pesar de que prosigue la deposición de estratos. Ello se debe sin duda a que al alcanzar la madurez física el cráneo interrumpe su crecimiento y, con ello, deja de aumentar el espacio disponible en el canal auditivo para el desarrollo del cono. La deposición de capas es continua, pero su empaquetamiento es más denso y la distancia entre los estratos se hace menor, especialmente entre los que se secretan a edades más avanzadas (Purves, 1955). Este proceso puede observarse claramente en los conos de ejemplares de edad muy avanzada (figura 5.3.).

Por este motivo la longitud del corazón no es un indicador fiable de la edad de los ejemplares adultos. Además, en la figura 5.3. puede verse que la variabilidad individual es grande incluso entre los animales jóvenes, por lo que incluso entre éstos su utilización es desaconsejable.

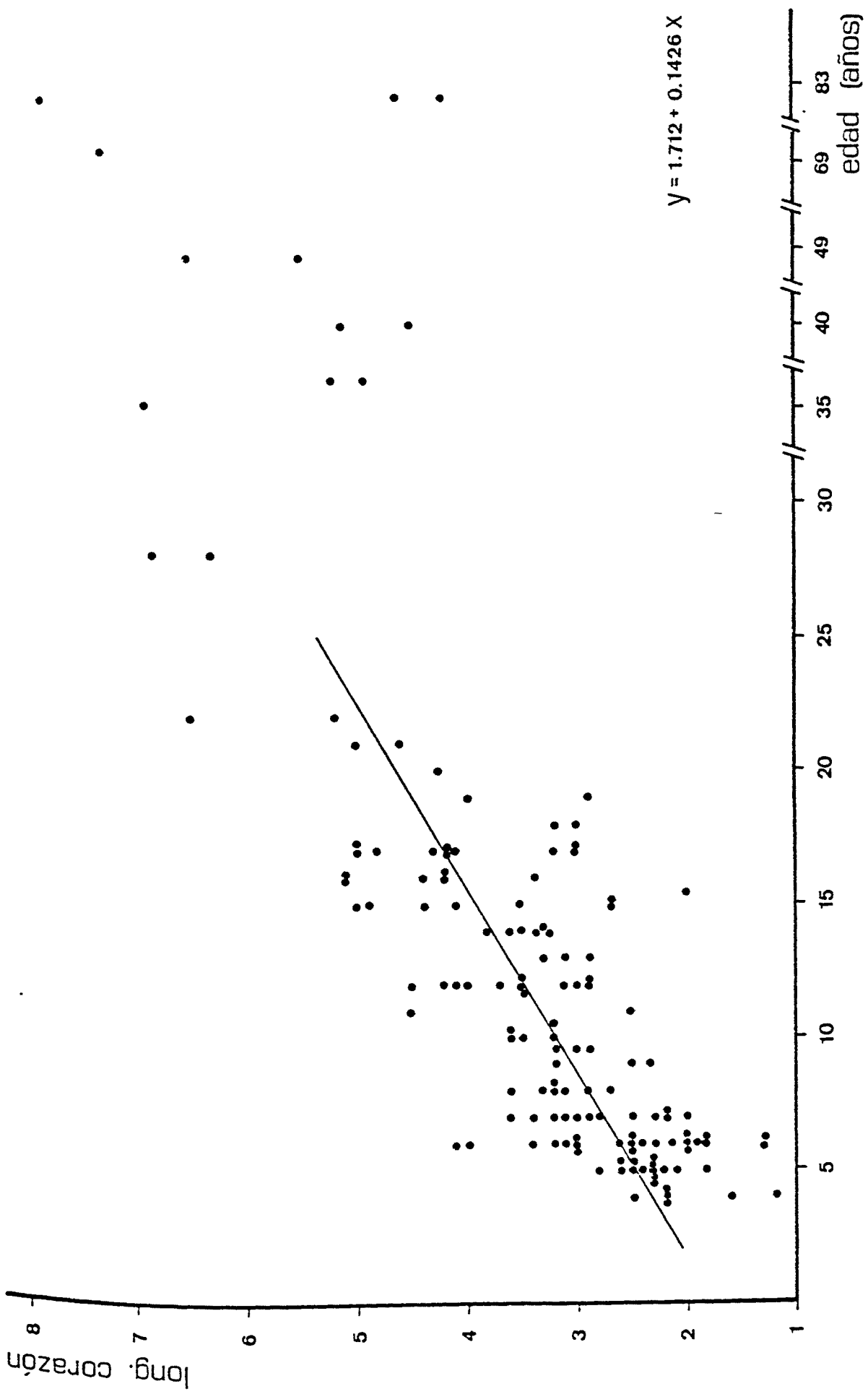


Figura 5.5.- Relación entre la longitud del corazón del cono y la edad. La regresión se ha calculado tan solo considerando los ejemplares más jóvenes de 30 años (n=130).



#### 5.1.3.4. Crecimiento

El crecimiento de Balaenoptera physalus ha sido estudiado con anterioridad por varios autores en distintas áreas (Nishiwaki et al., 1958; Purves y Mountford, 1959; Laws, 1961; Ohsumi y Shimadzu, 1970; Mitchell y Kozicki, 1972; Panfilov, 1978a, 1978b; Lockyer y Brown, 1979).

Como es típico en todos los mamíferos marinos el crecimiento durante el período postnatal es muy rápido y el tamaño máximo es alcanzado a una edad relativamente temprana (Bryden, 1972). En general, y a diferencia de los odontocetos, en los que suele aparecer una discontinuidad al alcanzar la pubertad (Zweifel y Perrin, 1981), el crecimiento de los balenoptéridos muestra una evolución continua y acostumbra a ajustarse al modelo de Von Bertalanffy, excepto en los primeros años de vida. Según Lockyer (1981) el ajuste de este modelo al crecimiento del rorcual común es bueno a partir de los 2 años de edad.

Por razones obvias, el estudio del crecimiento en Balaenoptera physalus se ha efectuado examinando la relación entre la edad y la talla, aunque de modo oportunístico se ha recogido alguna información sobre el crecimiento en peso.

##### 5.1.3.4.1. Evaluación de los desvíos en la muestra

El reclutamiento de una generación dada a la población explotable no se produce de un modo instantáneo e idéntico para todos sus componentes, sino que la vulnerabilidad de cada ejemplar aumenta paulatinamente a medida que se aproxima a la talla media de reclutamiento. Como la variabilidad en la tasa de crecimiento es grande, especialmente en animales jóvenes, aquéllos que la tengan más alta serán reclutados a una edad más temprana, por lo que la mortalidad no se repartirá homogéneamente entre todos los componentes de la generación.

Esta mortalidad selectiva, que es la principal causante del bien conocido "fenómeno Lee" en los estudios de dinámica pesquera, es especialmente significativa entre las clases de edad inferiores a la de reclutamiento (tr), aunque puede aún detectarse en generaciones posteriores. Los efectos de una mortalidad selectiva por talla en los cálculos de las curvas de crecimiento han sido discutidos con detalle por Jones (1960) y Ricker (1969; 1975).

Hay que señalar además que la existencia de una talla mínima de captura y de una penalización sobre las piezas cobradas de tamaño inferior al estipulado (15.2 m) puede producir un efecto de "alargamiento" de los ejemplares de pequeña talla al ser medidos por los inspectores de la compañía ballenera. El efecto de este desvío se superpondría al de la mortalidad selectiva y actuaría de modo paralelo, por lo que es muy difícil diferenciar un factor de otro.

En principio parecería lógico que la distribución de tallas de aquellas clases de edad afectadas por una mortalidad selectiva reflejasen ésta, modificando su perfil y mostrando una distribución sesgada. En algunos casos esto es así y el efecto de la diferente vulnerabilidad puede reconocerse fácilmente (Ohsumi y Shimadzu, 1970).

En las figuras 5.6 y 5.7 se han representado las distribuciones de frecuencias de talla para cada clase de edad entre los 2 y los 8 años, en machos y hembras respectivamente. El reducido tamaño muestral de cada clase produce distribuciones erráticas y poco representativas. En ninguna de ellas puede observarse un sesgo claro, como no sea en los machos de dos años de edad, en los que además el tamaño muestral es especialmente reducido ( $n=7$ ).

Sin embargo, Jones (1958) demostró que si la relación entre la tasa de mortalidad instantánea y la talla es lineal, una distribución normal de las frecuencias de talla permanecerá normal independientemente de la severidad del gradiente de mortalidad. Por este motivo, la normalidad en la distribución de frecuencias de las tallas no es evidencia de la no existencia de desvíos en la muestra.

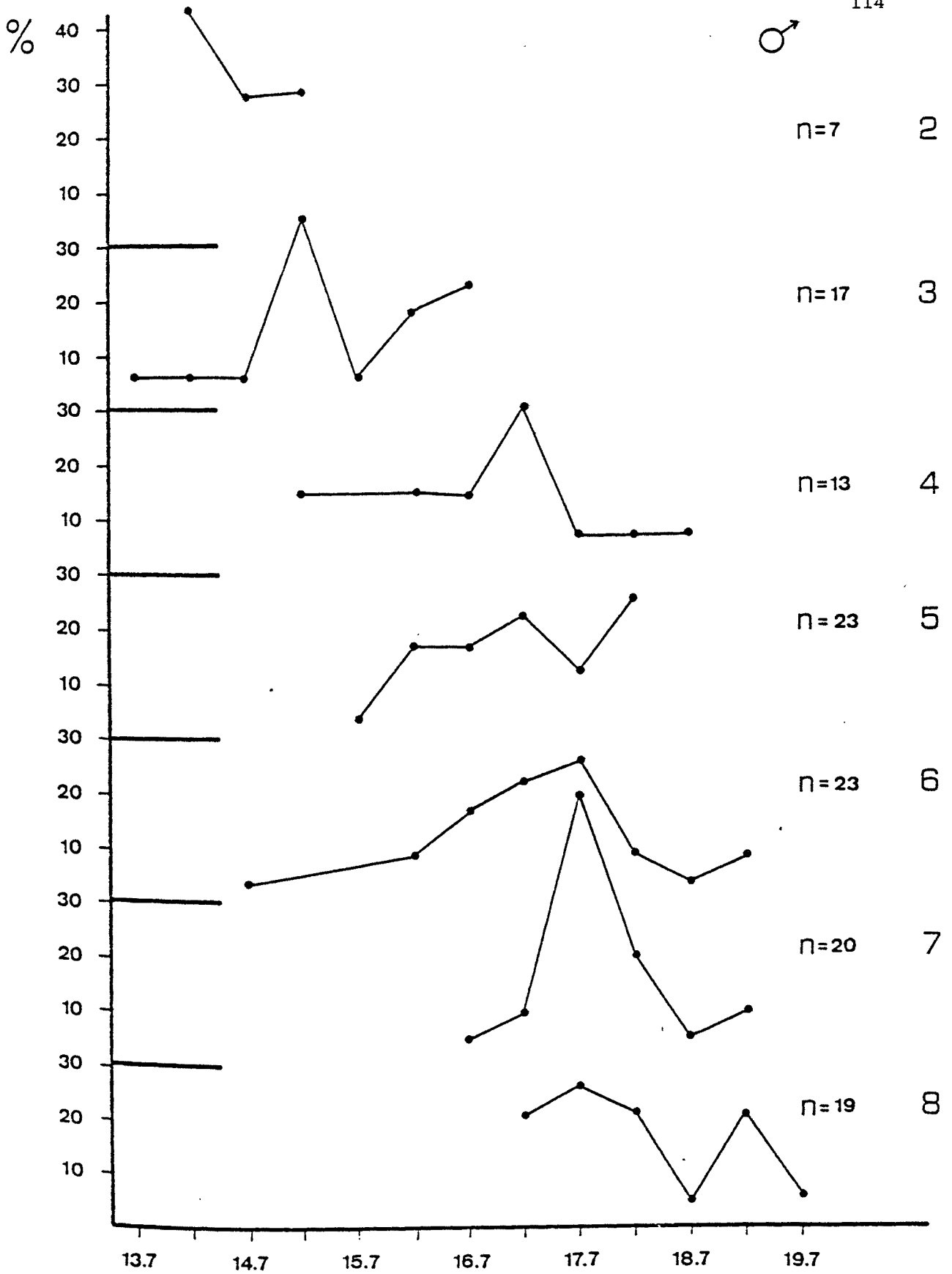


Figura 5.6.- Distribución de frecuencias de talla en cada clase de edad. Machos.

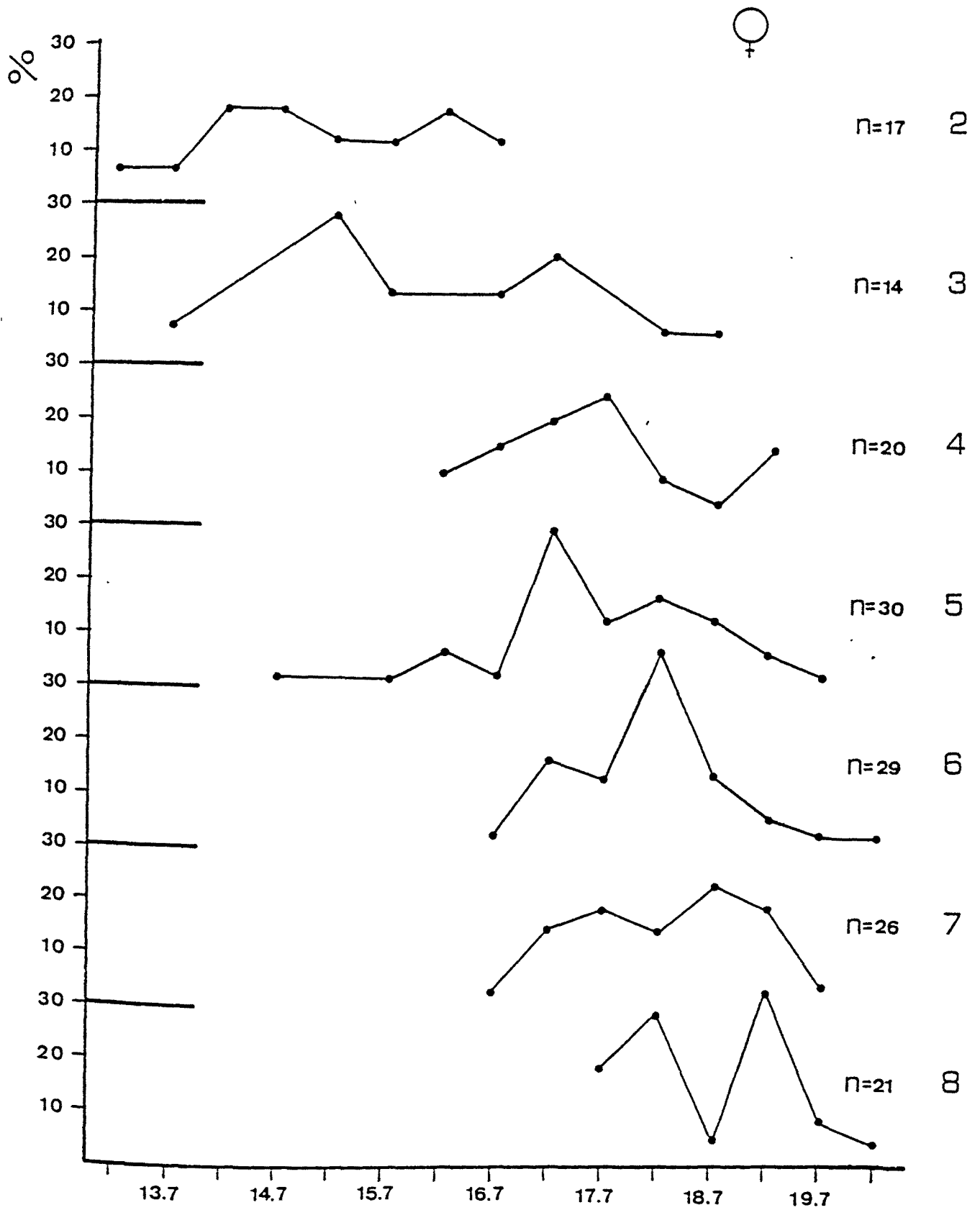


Figura 5.7.- Distribución de frecuencias de talla en cada clase de edad. Hembras.

Dado que el muestreo se extendió a lo largo de seis campañas sucesivas (1979-1984) puede efectuarse otra prueba de sesgo representando las curvas de crecimiento por generación a lo largo de estos años. Para ello se han escogido las generaciones de 1973, 1974 y 1975 en los machos y las de 1975, 1976 y 1977 en las hembras, por ser éstas las generaciones en las que se dispone de una muestra más abundante en las edades anteriores al reclutamiento.

Este procedimiento tiene la ventaja de no verse afectado por variaciones generacionales en la tasa de crecimiento, que, como veremos más adelante, es lábil, pero no elimina el desvío introducido por los cambios de selectividad de temporada a temporada.

En la figura 5.8 se han representado las tallas medias de los machos de edades sucesivas en sucesivas campañas, tomando como inicio las clases de edad de 4,5 y 6 años en 1979 (correspondientes a los años de nacimiento 1975, 1974 y 1973, respectivamente). En la misma figura se ha representado también la curva de crecimiento combinada de las tres generaciones.

El número de ejemplares que intervienen en las curvas es reducido, en general alrededor de la veintena, por lo que la variabilidad individual cobra importancia y produce anomalías en las pendientes. No obstante, resulta muy clara una sobreestima de la talla de los ejemplares de 4 años en la generación de 1975, de la de los de 5 en la generación de 1974 y un fenómeno semejante se insinúa también en los 6 años de la de 1974. En la curva combinada la sobreestima en los 4 y los 5 años de edad es muy aparente.

Ello significa que la selectividad de captura por talla tiende a subrepresentar sustancialmente los ejemplares de talla menores en las clases de edad inferiores a los 6 años. Es posible que el contingente de 6 años se halle también algo sesgado, especialmente si tenemos en cuenta que el reclutamiento en los machos ocurre precisamente a esta edad (ver apartado 5.1.3.5.).

En la figura 5.9 se ha realizado un análisis semejante para las hembras, esta vez tomando como inicio las clases de edad de 2, 3 y 4 años en 1979 (correspondientes a los años de nacimiento 1977, 1976 y 1975, respectivamente).

En este caso, y a pesar de que el tamaño muestral es mayor (99 ballenas en la curva combinada en comparación con 64 en los machos), el sesgo es menos evidente. En las generaciones de 1976 y 1977 se produce un escalonamiento que hace difícil la interpretación de las pendientes mientras que en la de 1975, a juzgar por la gráfica, el sesgo alcanza la edad de 7 años. En la curva combinada se insinúan dos discontinuidades una entre los 4 y 5 años de edad y otra a los 8, aunque es posible que esta última se produzca por el excesivo peso de dos ejemplares de gran tamaño para su edad capturados en 1984 y correspondientes a la clase de 9 años.

Es difícil, por ello, aventurar hasta qué edad la mortalidad selectiva tiene un efecto distorsionador, aunque parece evidente que existe un sesgo como mínimo hasta los 5 años. La edad media de reclutamiento en las hembras durante el período estudiado fue de 5 años, pero parece más conveniente no incorporar los datos de este contingente en el cálculo de las curvas de crecimiento e iniciarlas con el de los 6 años, al igual que hacíamos con los machos.

Hay que señalar aquí que la selectividad de captura ha variado sustancialmente de campaña a campaña, por lo que la vulnerabilidad de cada contingente habrá fluctuado de modo proporcional. El efecto de estas variaciones estacionales en la mortalidad selectiva nos es desconocido, pero podría ser parcialmente responsable de las anomalías que se han observado en las distribuciones de frecuencias de talla por edad o en las curvas generacionales de crecimiento antes examinadas.

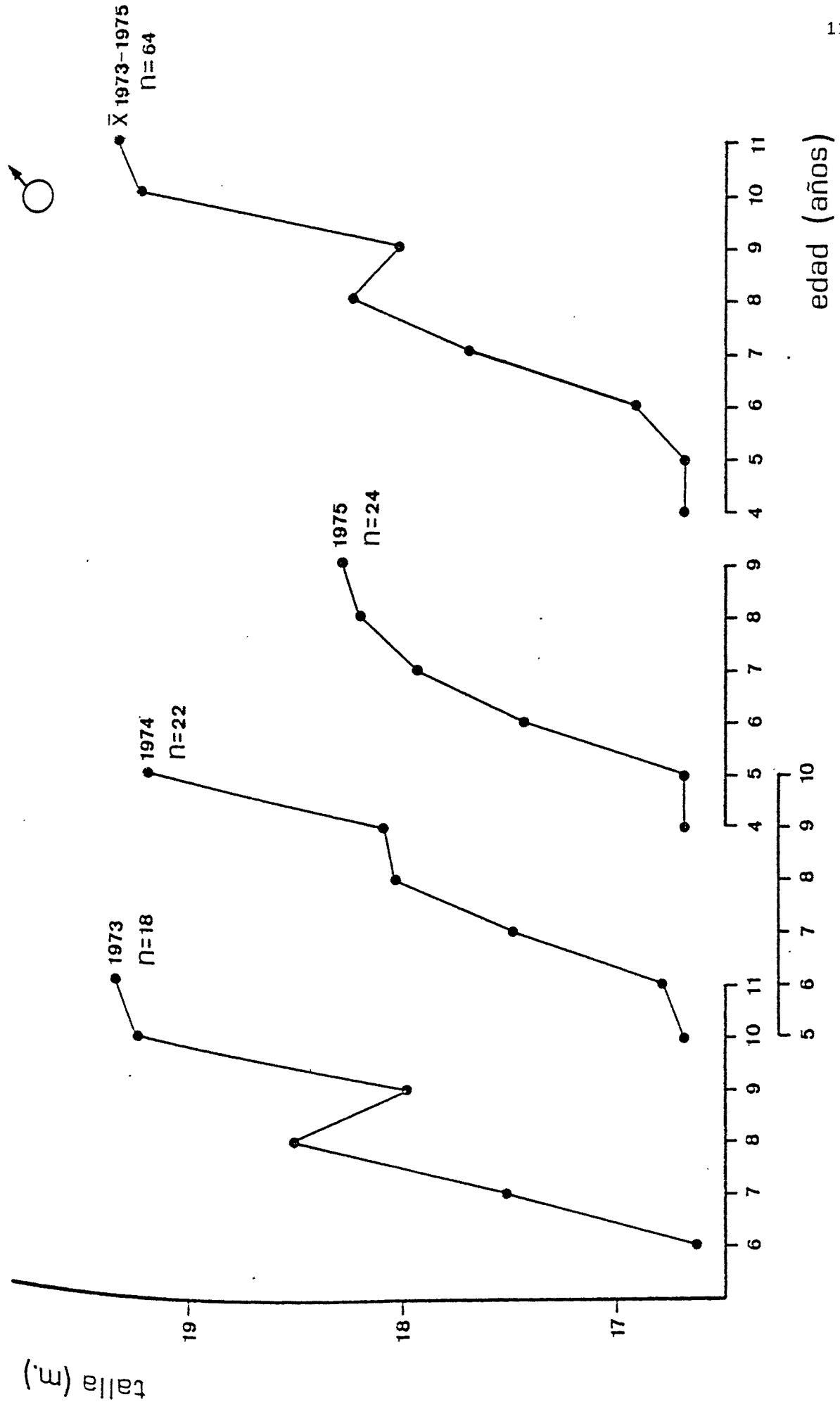


Figura 5.8.- Curvas de crecimiento de las generaciones nacidas entre 1973 y 1975. Machos.

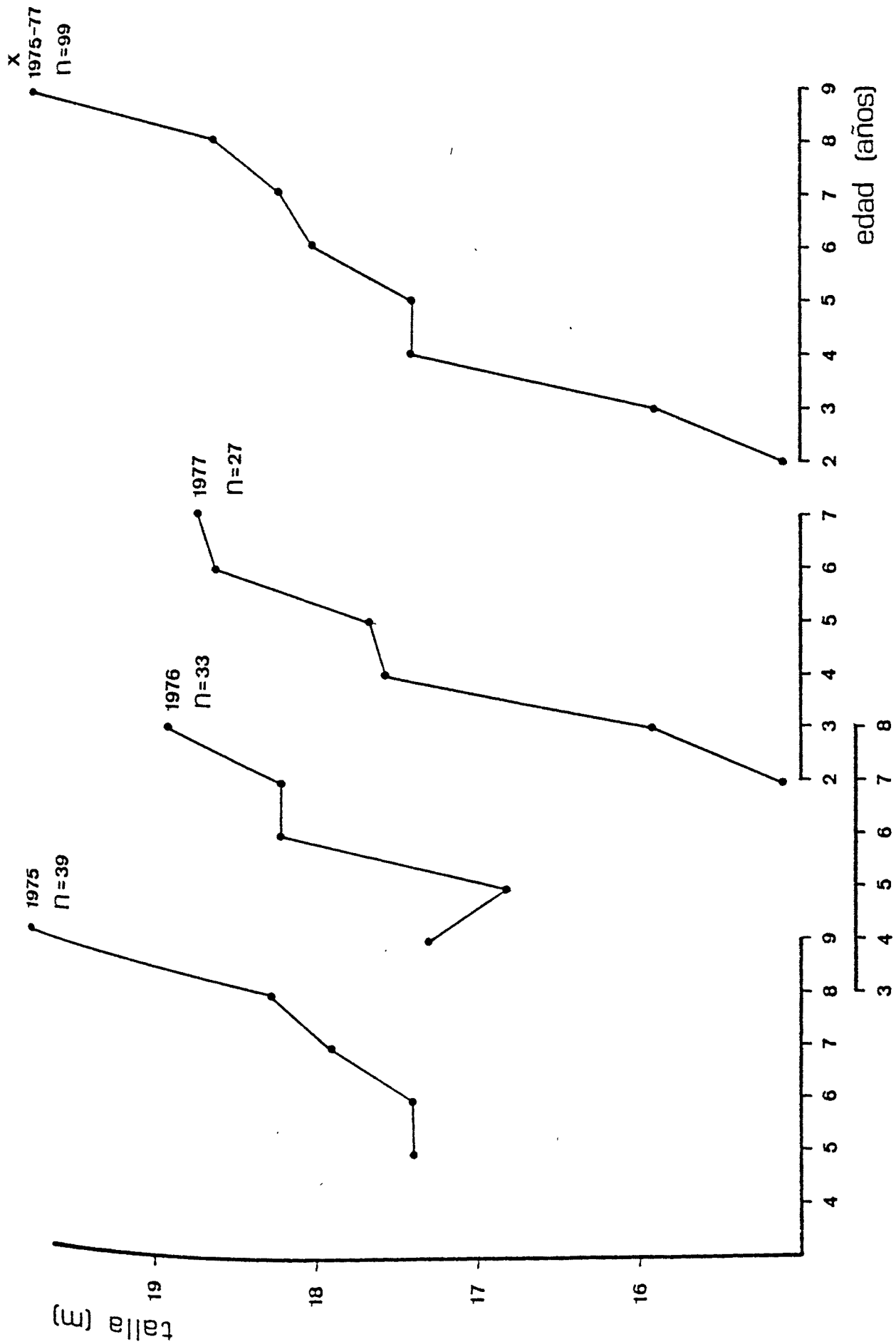


Figura 5.9.- Curvas de crecimiento de las generaciones nacidas entre 1975 y 1977. Hembras.



### 5.1.3.4.2. Ajuste de la curva de crecimiento

#### 5.1.3.4.2.1. METODOLOGIA

Como se comentaba anteriormente, el modelo de crecimiento que se considera más apropiado para describir el incremento en talla de los misticetos es el de von Bertalanffy, que puede expresarse en la forma:

$$l_t = L_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

donde  $l_t$  es la talla en la edad  $t$ ,  $L_{\infty}$  es el tamaño máximo hipotético que alcanza la especie en la población objeto de estudio,  $k$  es una constante que explica la tasa de aumento de los incrementos de talla (tasa de crecimiento) y  $t_0$  es la edad hipotética en la que la talla sería cero; hay que señalar que el ajuste del modelo al crecimiento en las primeras etapas de vida es malo, por lo que  $t_0$  suele tomar valores sin significado biológico aparente, a menudo negativos.

El modelo de von Bertalanffy (1938) ha sido totalmente asimilado en la teoría de pesquerías y suele adecuarse bien al crecimiento de organismos marinos, aunque las asunciones teóricas que lleva implícitas han sido objeto de discusión en repetidas ocasiones (Beverton y Holt, 1957; Richards, 1959; Ricker, 1975).

El ajuste de los datos observados a la curva teórica suele hacerse por la técnica de mínimos cuadrados (Tomlinson y Abramson, 1961; Allen, 1966) o a partir de métodos gráficos derivados del procedimiento de Walford (1946) (Beverton y Holt, 1957; Gulland, 1964; Ricklefs, 1967).

Los métodos gráficos son rápidos, pero, aparte de dar unos resultados tan sólo aproximados, cuentan en general con una serie de inconvenientes como el necesitar que los intervalos de tiempo entre las edades sean constantes y que el tamaño de muestra en cada clase de edad sea semejante o, en caso de no ser así, el peso que se da a los datos de cada clase es desigual.

En nuestro estudio existe una evidente desproporción entre el número de observaciones de individuos jóvenes y las de los adultos y a partir de una cierta edad se producen frecuentes discontinuidades en la serie, por todo lo cual se ha creído más oportuno utilizar un ajuste por mínimos cuadrados.

Los métodos de Stevens (1951) y Tomlinson y Abramson (1961) todavía conservan varias de las desventajas de los procedimientos gráficos, aunque el ajuste de las constantes ya es mucho más preciso. Sin embargo, el método de Allen (1966), derivado de los anteriores, da un ajuste excelente y permite salvar todos estos inconvenientes, por lo que ha sido ésta la técnica aplicada a nuestros datos.

Así, el método de Allen ajusta una curva de crecimiento del tipo de von Bertalanffy sin que haya limitación en los intervalos entre las clases de edad, sin necesitar trabajar con valores medios como en el caso de Stevens (1951), dando igual peso a cada una de las observaciones individuales, y sin que exista un límite en el número de éstas. Además, Allen (1966) facilita en su mismo trabajo las ecuaciones para calcular los límites de confianza de las estimas de cada una de las constantes.

El procedimiento de cálculo es engorroso y precisa de un ordenador a partir de un número de observaciones individuales superior a la decena. Esencialmente consiste en una corrección reiterada de una  $k$  seleccionada de modo aproximado al inicio del cálculo, de forma que la diferencia residual con los datos observados se minimice. El grado de precisión de ajuste se controla por el porcentaje de cambio de sucesivas correcciones de  $k$ .

Como la magnitud de la suma de cuadrados es independiente de los valores de  $L_{\infty}$  y  $t_0$ , éstos se calculan posteriormente a la estima precisa de  $k$  y, evidentemente, dependen de ésta.

El método ha sido aplicado a la muestra de ejemplares de edad superior a los seis años, por considerar que los animales más jóvenes podían ofrecer una distribución de frecuencias de talla sesgada, posiblemente tendiendo a sobreestimar el tamaño medio en cada clase de edad (ver apartado 5.1.3.4.1.).

## 5.1.3.4.2.2. RESULTADOS

Al aplicar el método de Allen (1966) a la muestra antes considerada se obtienen las siguientes ecuaciones de crecimiento:

$$\text{Machos} \quad L_t = 18.95 (1 - e^{-0.274(t + 3.46)})$$

$$\text{Hembras} \quad L_t = 20.4 (1 - e^{-0.185(t + 5.69)})$$

En las tablas 5.1. y 5.2. se detallan los resultados del ajuste de las curvas de crecimiento de los machos y las hembras de B.physalus, respectivamente.

Como puede verse, los intervalos de confianza (al 95%) son estrechos para todos los parámetros calculados, lo que indica que el tamaño muestral es perfectamente suficiente para definir de un modo correcto la curva.

El valor asintótico de la talla, como es lógico, es superior en las hembras que en los machos, estableciéndose una diferencia de 1.45 m entre ambos sexos. Esta diferencia ya es clara cuando se examina el período juvenil. Aunque la curva no representa fidedignamente el crecimiento en las primeras etapas las hembras son ya mayores que los machos a partir del primer año de edad, aunque la diferencia absoluta es entonces menor.

Sin embargo,  $k$ , la tasa de crecimiento, es mayor en el macho que en la hembra, pero esto se compensa alcanzando la talla asintótica a edad más temprana en el primer sexo.

Es decir, los machos crecen más rápidamente que las hembras, alcanzando su tamaño máximo antes que éstas. En las figuras 5.10. y 5.11. se han representado las curvas de crecimiento

de cada sexo así como los estadísticos muestrales para cada clase de edad y en ellas pueden observarse estas diferencias en el crecimiento relativo.

Mizroch y Breiwick (1984) vieron que, en varias especies de balenopteridos, la variabilidad de tamaño en una edad dada era consistentemente mayor en los extremos de las curvas, es decir, en los animales más jóvenes y los más viejos. En los de edad más joven estos investigadores señalaban dos posibles causas: una mayor dificultad de interpretación de los conos de cera o una mayor variabilidad inherente en sus tasas de crecimiento. En los de edad avanzada, proponían que era debida al incremento de edad sin un proporcional aumento de la talla.

En la figura 5.12. se ha representado la relación entre el coeficiente de variación de las tallas en cada clase de edad y la edad de las ballenas examinadas. La representación no se ha llevado más allá de los 30 primeros años de edad, ya que el tamaño muestral en los animales más viejos era insuficiente para un cálculo estadístico fiable.

Como puede verse, el comportamiento de las gráficas de cada sexo es diferente, pues, mientras los machos muestran un descenso aproximadamente lineal del coeficiente de variación con la edad, las hembras parecen indicar un aumento de éste en las edades extremas, ajustándose al modelo propuesto por Mizroch y Breiwick (1984).

Es útil considerar ahora estos resultados en conexión con la relación que se había observado anteriormente entre la talla de la ballena y el porcentaje de legibilidad del cono de cera (apartado 5.1.3.2. y figura 5.4). En las hembras, los conos de las ballenas de mayor edad són más difíciles de leer, cosa que no sucede en los machos, y esto podría asociarse con el aparente aumento del coeficiente de variación de las hembras mayores de veinte años.

VALOR FINAL ESTIMADO DE 'L' = .274  
 VALOR ESTIMADO DE Linf = 18.95406  
 VALOR ESTIMADO DE To = -3.459875  
 VARIANZA DE Linf = 5.080283E-03  
 VARIANZA DE To = 4.134968E-02  
 VARIANZA DE L = 4.167809E-05  
 INTERVALO DE 95% CONF. DE Linf ENTRE 18.81435 Y 19.09376  
 INTERVALO DE 95% CONF. DE L ENTRE .2613465 Y .2866535  
 INTERVALO DE 95% CONF. DE To ENTRE -3.858434 Y -3.061316

EDAD	LONGITUD	INT.95% SUP.	INT.95% INF.
1	13.36946	13.13316	13.52929
2	14.70791	14.61871	14.74478
3	15.72557	15.73402	15.68072
4	16.49934	16.57136	16.40141
5	17.08765	17.20001	16.95636
6	17.53497	17.67159	17.38367
7	17.87508	18.02633	17.71271
8	18.13368	18.29236	17.96607
9	18.33029	18.49209	18.16116
10	18.47979	18.64205	18.31139
11	18.59346	18.75462	18.42706
12	18.67988	18.83915	18.51613
13	18.74559	18.9026	18.58472
14	18.79555	18.95024	18.63753
15	18.83354	18.98601	18.6782
16	18.86242	19.01286	18.70951
17	18.88439	19.03303	18.73363
18	18.90109	19.04816	18.75219
19	18.91378	19.05953	18.76649
20	18.92343	19.06806	18.7775
21	18.93077	19.07446	18.78597
22	18.93635	19.07927	18.7925
23	18.94059	19.08288	18.79753
24	18.94382	19.08559	18.8014
25	18.94627	19.08763	18.80438
26	18.94814	19.08916	18.80667
27	18.94956	19.0903	18.80844
28	18.95063	19.09116	18.8098
29	18.95145	19.09181	18.81085
30	18.95208	19.0923	18.81165
31	18.95255	19.09266	18.81227
32	18.95291	19.09293	18.81275
33	18.95319	19.09314	18.81312
34	18.95339	19.09329	18.8134
35	18.95355	19.09341	18.81362
36	18.95367	19.0935	18.81379
37	18.95377	19.09356	18.81392
38	18.95384	19.09361	18.81402
39	18.95389	19.09365	18.8141
40	18.95393	19.09367	18.81416

Tabla 5.1: Resultado del ajuste de la curva de crecimiento de los machos de B.physalus. (n=255).

VALOR FINAL ESTIMADO DE 'K' = .1851  
 VALOR ESTIMADO DE L<sub>inf</sub> = 20.40694  
 VALOR ESTIMADO DE T<sub>0</sub> = -5.692302  
 VARIANZA DE L<sub>inf</sub> = 1.077005E-02  
 VARIANZA DE T<sub>0</sub> = .1266946  
 VARIANZA DE I = 5.001734E-05  
 INTERVALO DE 95% CONF. DE L<sub>inf</sub> ENTRE 20.20353 Y 20.61034  
 INTERVALO DE 95% CONF. DE I ENTRE .1712363 Y .1989617  
 INTERVALO DE 95% CONF. DE T<sub>0</sub> ENTRE -6.329949 Y -4.994656

EDAD	LONGITUD	INT.95% SUP.	INT.95% INF.
1	14.49407	14.35719	14.50382
2	15.49322	15.48537	15.40083
3	16.32354	16.41001	16.15668
4	17.01354	17.16783	16.79357
5	17.58696	17.72893	17.33023
6	18.06347	18.29796	17.78242
7	18.45947	18.71516	18.16346
8	18.78855	19.05708	18.48452
9	19.06202	19.33732	18.75506
10	19.28928	19.567	18.98302
11	19.47814	19.75524	19.1751
12	19.63509	19.90951	19.32695
13	19.76551	20.03596	19.47333
14	19.8739	20.13959	19.58225
15	19.96397	20.22452	19.66508
16	20.03882	20.29413	19.76667
17	20.10103	20.35118	19.83543
18	20.15272	20.39794	19.89336
19	20.19568	20.43626	19.94217
20	20.23138	20.46767	19.9833
21	20.26104	20.49341	20.01796
22	20.28569	20.51451	20.04717
23	20.30616	20.5316	20.07177
24	20.32321	20.54597	20.09251
25	20.33736	20.55758	20.10998
26	20.34911	20.5671	20.1247
27	20.35888	20.5749	20.13711
28	20.367	20.5813	20.14756
29	20.37375	20.58654	20.15637
30	20.37936	20.59083	20.16379
31	20.38402	20.59435	20.17005
32	20.38789	20.59724	20.17531
33	20.39111	20.5996	20.17975
34	20.39378	20.60154	20.1835
35	20.396	20.60313	20.18665
36	20.39785	20.60443	20.1893
37	20.39939	20.6055	20.19154
38	20.40066	20.60637	20.19343
39	20.40172	20.60709	20.19502
40	20.4026	20.60767	20.19636

Tabla 5.2: Resultado del ajuste de la curva de crecimiento de las hembras de B.physalus. (n= 295).

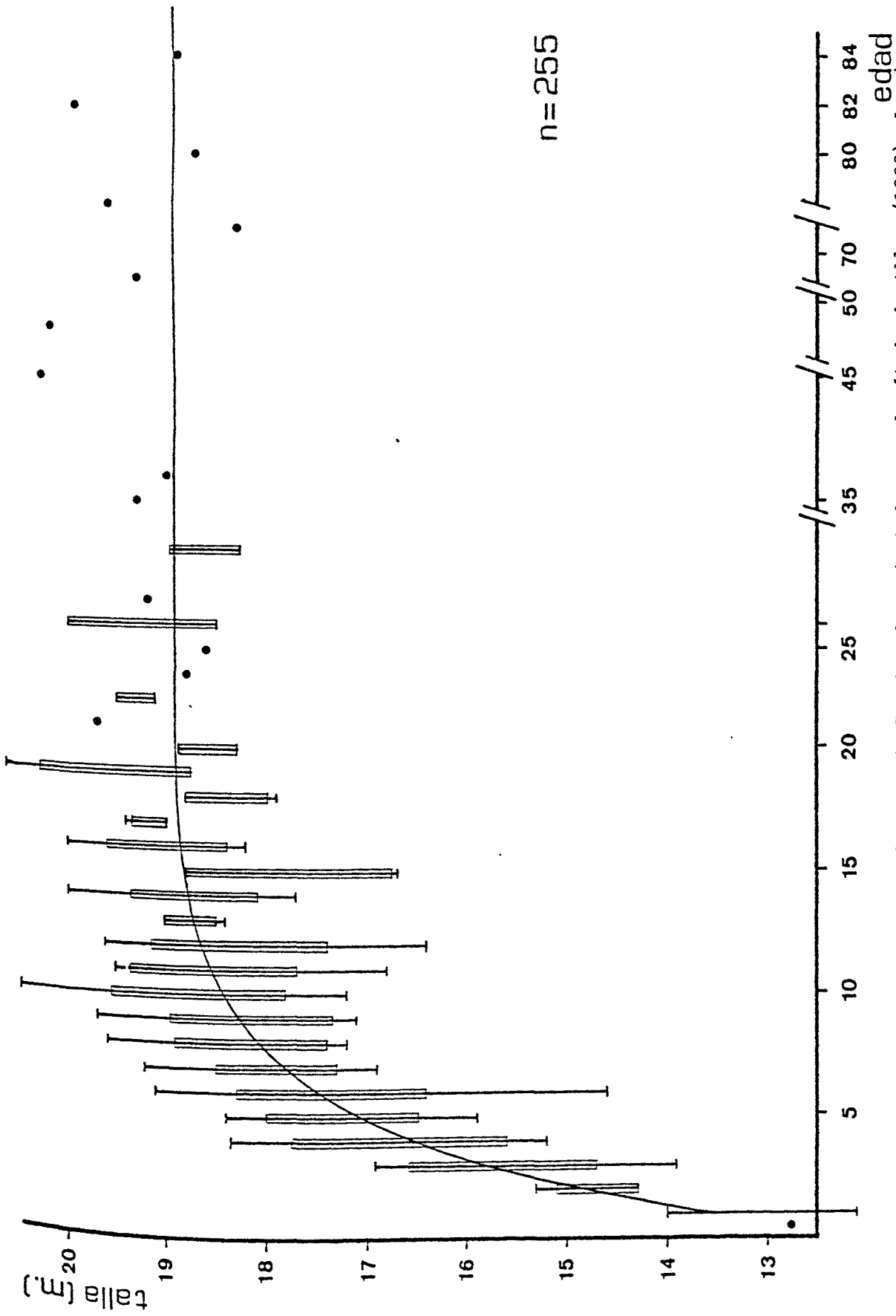


Figura 5.10.- Curva de crecimiento del macho de B. physalus ajustada por el método de Allen (1966). Las barras gruesas indican las desviaciones típicas de la muestra y las delgadas los valores máximos y mínimos en cada clase de edad.

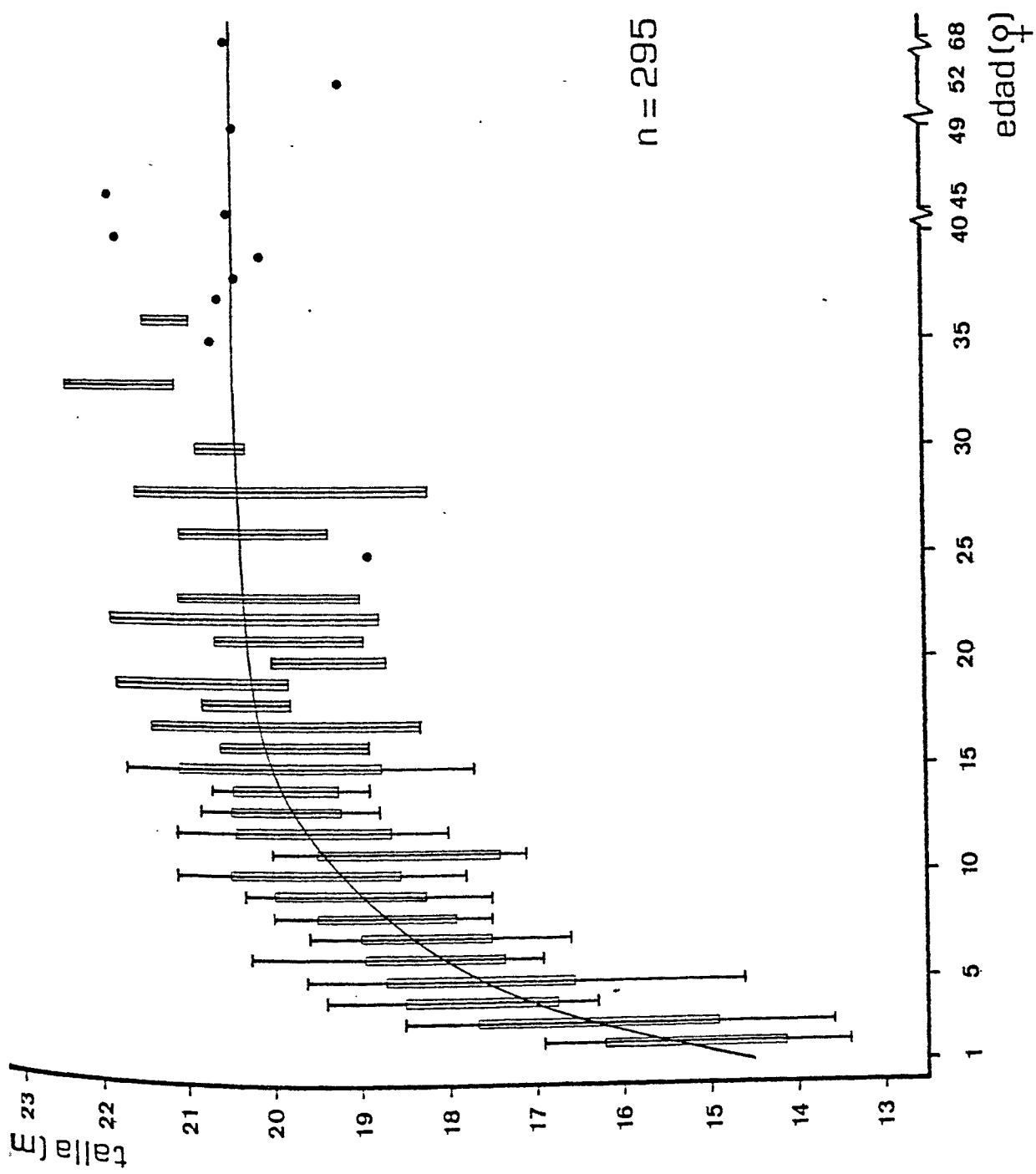


Figura 5.11.- Curva de crecimiento de la hembra de *B. physalus* ajustada por el método de Allen (1966). Las barras gruesas indican las desviaciones típicas de la muestra y las delgadas los valores máximos y mínimos en cada clase de edad.



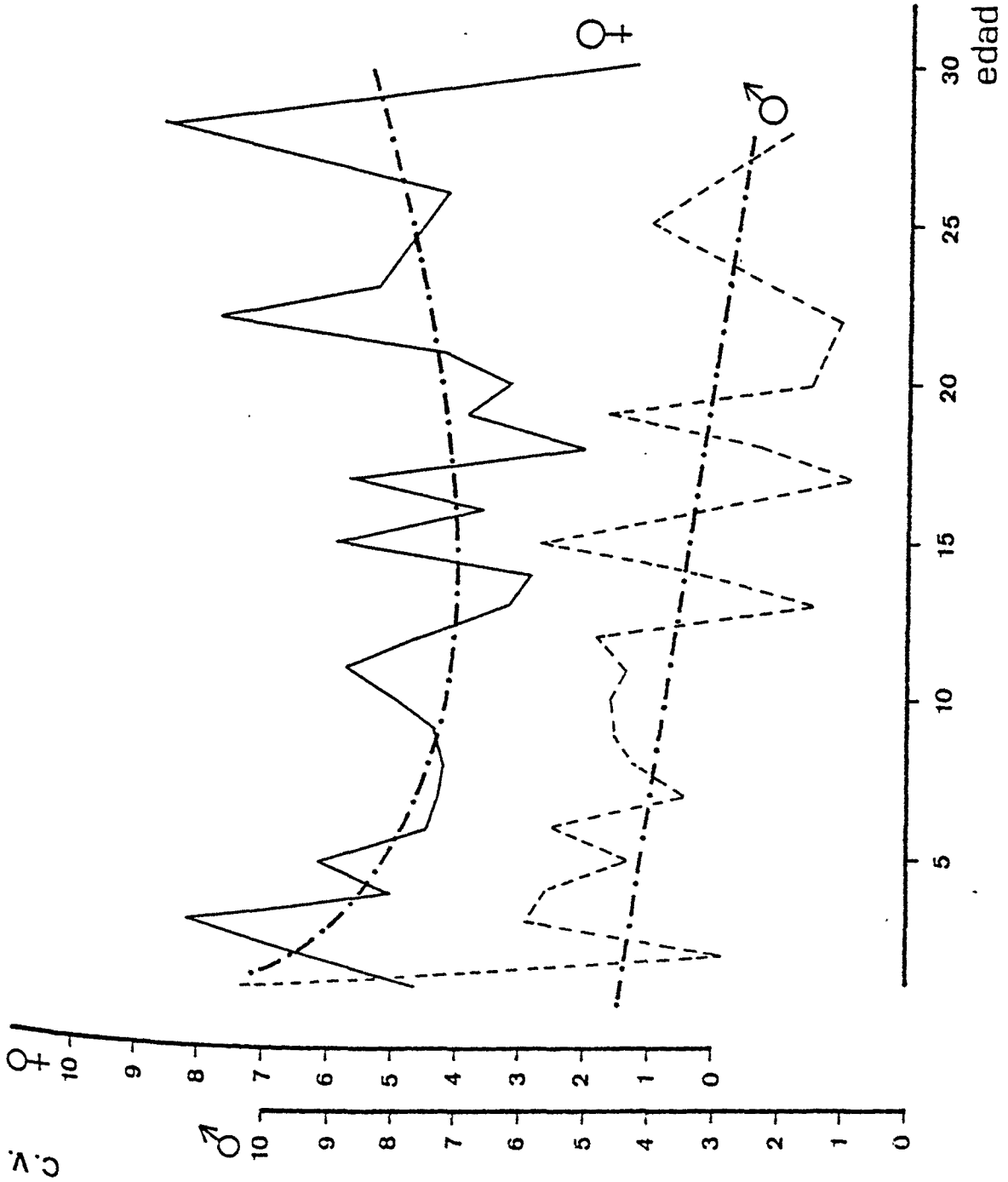


Figura 5.12.- Relación entre el coeficiente de variación de las tallas en cada clase de edad y la edad de las ballenas.

No obstante, entre los ejemplares jóvenes no sucede así; la legibilidad es semejante o mejor en ellos que en los viejos de ambos sexos, por lo que la mayor variabilidad de tallas observada en las edades tempranas debe asociarse más a variaciones en la tasa de crecimiento que a dificultades en la interpretación de los conos.

#### 5.1.3.4.3. Variabilidad en la tasa de crecimiento

Cuando en un estadio anterior del trabajo se estudió la muestra en busca de posibles desvíos producidos por la selectividad de captura o por el "alargamiento" de las medidas para evitar penalizaciones, se tuvo la impresión de que existía una fuente de anomalía no controlada y que parecía afectar a contingentes de edad superior a los susceptibles de verse desviados por estos motivos.

Las curvas de crecimiento generacionales (figuras 5.8. y 5.9.) revelaban desvíos a través de cambios bruscos en la tasa de crecimiento de una generación dada, que indicaban anomalías en el procedimiento de muestreo. Sin embargo, no son útiles para demostrar cambios en la  $k$  entre distintas generaciones. Por esta razón se ha recurrido a otras expresiones gráficas del crecimiento.

En las figuras 5.13. y 5.14. se ha representado el valor medio de las tallas para las edades más jóvenes (12 años en los machos y 15 en las hembras) distribuyendo la muestra en períodos de dos años consecutivos.

En el caso de los machos (figura 5.13.) existe aparentemente un claro aumento en la tasa de crecimiento a medida que pasan los años y las curvas sólo se juntan a partir de los nueve años de edad, cuando la ballena alcanza ya valores cercanos a la talla definitiva. En las hembras, no obstante, la situación no está tan clara (figura 5.14); la curva de 1983-84 es netamente superior a la de 1981-82, pero la de 1979-80 se entremezcla entre ambas.

Las diferencias en las tasas de crecimiento aparentes entre los distintos períodos son importantes. En los machos, donde el fenómeno parece más agudo, la diferencia media es de unos 60 cm entre 1979-80 y 1981-82 y de unos 30 cm entre 1981-82 y 1983-84.

En principio los motivos que pueden haber producido estos cambios son tres:

a) Una distinta interpretación de los conos de cera, tendiendo progresiva y consistentemente a infraestimar la edad de las ballenas a medida que pasa el tiempo. Se trataría entonces de un artefacto de medición y no de una realidad muestral. Sin embargo, dos de los lectores interpretaron conjuntamente el material desde 1979 hasta 1982 y uno de ellos desde 1979 hasta 1984, por lo que es razonable pensar que si existiese un desvío causado por un error de interpretación, la práctica totalidad de la muestra se hallaría distorsionada por éste de modo uniforme. No es lógico que todos y cada uno de los lectores haya ido tendiendo a infraestimar las lecturas de modo progresivo con el paso del tiempo.

b) Un aumento progresivo de la selectividad de captura que haya ido favoreciendo el muestreo de ejemplares de mayor tamaño en cada clase de edad. Este hecho debe tenerse especialmente en cuenta, ya que en el apartado 7.4. se verá que, realmente, la selectividad de pesca aumentó paulatinamente durante estos años.

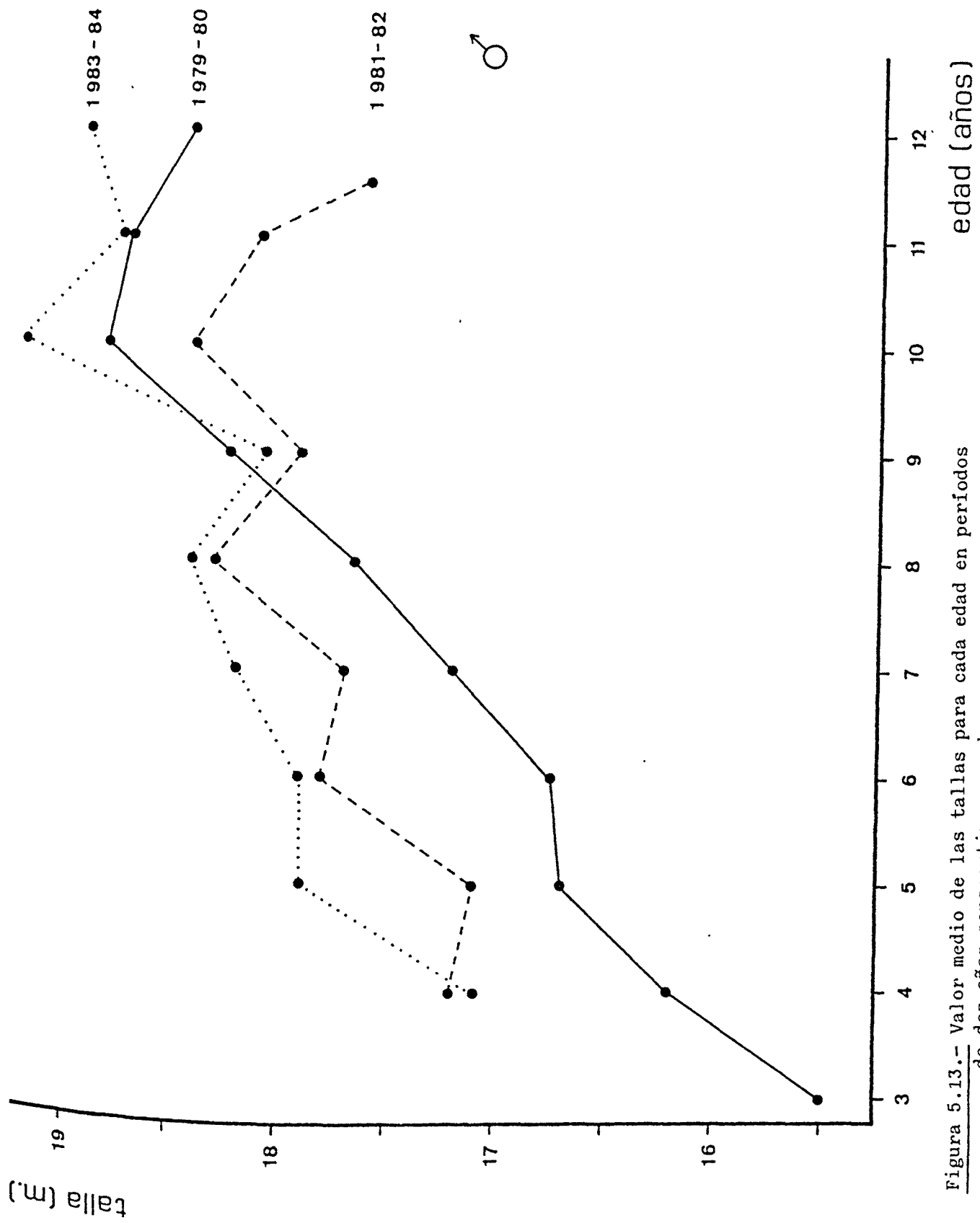


Figura 5.13.- Valor medio de las tallas para cada edad en períodos de dos años consecutivos; machos.

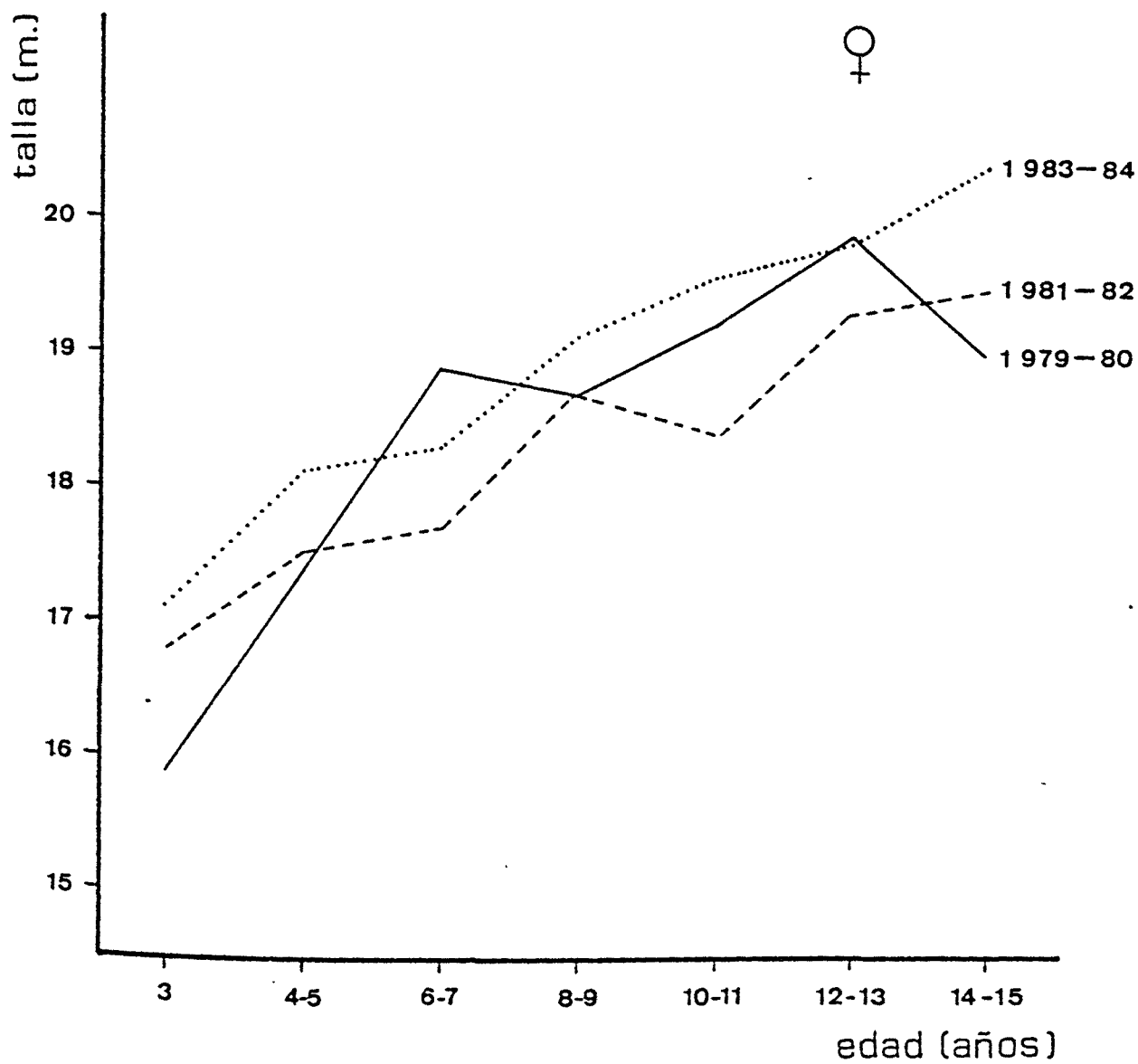


Figura 5.14.- Valor medio de las tallas para cada edad en períodos de dos años consecutivos. Hembras.

Es indicativo el hecho de que la distanciaci3n de las curvas sea mayor en los machos que en las hembras, ya que los primeros son mucho m1s susceptibles de verse afectados por cambios en la selectividad de captura debido a su menor tama1o corporal y ello reforzar1a este argumento.

Por otra parte, no obstante, puede verse que la diferencia entre las curvas se mantiene hasta edades relativamente avanzadas en las que la selectividad ya no deber1a producir distorsiones. Ello podr1a indicar que, adem1s de un problema de selectividad, existe una variaci3n real en la tasa de crecimiento de las generaciones.

c) Un incremento de la  $k$  individual debida a cambios biol3gicos como, por ejemplo, una mayor disponibilidad de alimento. Si se considera que la poblaci3n de rorcual com1n ha disminuido en los 1ltimos a1os (ver secciones 8 y 9) y que, de un modo paralelo, pueden tambi3n haber descendido los niveles poblacionales de otros organismos, como algunos t1nidos, que se alimentan tambi3n de krill, la disponibilidad de alimento para el stock de ballenas superviviente puede haberse visto sustancialmente aumentada (ver secci3n 3).

Lockyer (1978b) demostr3 que un incremento de menos del 5% en el consumo de alimento ya era suficiente para aumentar de modo tangible la tasa de crecimiento y numerosos estudios han revelado diferencias en las curvas de crecimiento muy posiblemente asociadas a diferentes disponibilidades de recursos tr3ficos (Purves y Mountford, 1959; Ohsumi y Shimadzu, 1970; Mitchell y Kozicki, 1972; Lockyer, 1977; Best, 1977; Ohsumi y Masaki, 1978). En la ballena de aleta de la Ant1rtida los cambios en la tasa de crecimiento parecen estar bien documentados (Clark, 1982) y parece que la disponibilidad de alimento durante el primer a1o de vida, especialmente durante la lactancia, es determinante en el crecimiento de la ballena y en la edad en la que 3sta alcanza la madurez sexual (Cooke y Beddington, 1981).

Sin embargo, la respuesta de la población estudiada al cambio en el ecosistema parece demasiado rápida, aunque concuerda con el hecho de afectar en mayor grado a los ejemplares jóvenes. Es decir, en la actualidad podría detectarse un cambio en la  $k$ , pero todavía sería demasiado temprano para observar una variación en la talla asintótica, en el caso de que se produjese.

De los tres motivos hasta aquí enumerados el primero de ellos puede ser eliminado. No disponemos, no obstante, de suficiente información para decidir cuál de los otros dos es el responsable del efecto observado o si ambos contribuyen para producirlo.

El desvío introducido por la selectividad no tiene más interés que el de conocerlo para poderlo eliminar o atenuar. En el caso de que los cambios aparentes en la  $k$  se relacionen con un desequilibrio de la población con el medio la situación, por el contrario, puede tener una trascendencia sustancial.

En primer lugar, debe recordarse que la edad de maduración sexual  $y$ , por ende, la eficacia reproductiva de la población, es función directa del tamaño corporal individual y no de la edad de las ballenas. En la sección 6.1.4.2. se verá que, mientras la edad media de maduración sexual varía de población a población y según el grado de explotación sufrido por éstas, la talla media de maduración se mantienen constante. Lógicamente, un aumento de  $k$  significaría un descenso de la edad a la que se alcanza la madurez sexual y un alargamiento relativo del período de fertilidad de la hembra, todo lo cual contribuiría a dinamizar la actividad procreadora del stock.

En segundo lugar, es importante también considerar la posibilidad de que la población entrase en un segundo estado de equilibrio distinto del inicial, en el que el tamaño individual habría aumentado manteniendo el número poblacional a un nivel inferior a fin de equilibrar la biomasa de ballenas con la del recurso trófico disponible. Un desplazamiento del equilibrio en este sentido ha sido observado en muchos otros organismos marinos sujetos a períodos prolongados de explotación intensiva y no es impensable en el caso de los mamíferos marinos (Botsford,

1981).

De cualquier modo, este tipo de anomalías o variaciones en la tasa de crecimiento debe examinarse cuidadosamente si se desea establecer comparaciones entre curvas de crecimiento de distintas poblaciones o subpoblaciones del tipo realizadas por Breiwick et al. (1981).

#### 5.1.3.4.4. Madurez física

La madurez física se alcanza cuando el organismo ha completado su crecimiento. En general, puede determinarse si un animal ha alcanzado este estado examinando el grado de anquilosamiento u osificación de su columna vertebral.

En los ejemplares jóvenes las epífisis vertebrales se hallan separadas de su centro por un cartílago de grosor variable. A medida que el animal envejece, este cartílago se va haciendo más delgado hasta que desaparece, fusionándose totalmente la epífisis y el centro y finalizando así el proceso de osificación vertebral. Después de la anquilosis puede aún perdurar durante algún tiempo una línea blanquecina que indica el punto de unión de ambas porciones. Cuando las epífisis de todas las vértebras se han fusionado el crecimiento del animal cesa totalmente y se alcanza la madurez física.

El proceso de osificación de las vértebras de la ballena de aleta ha sido estudiado con detalle por Wheeler (1930) y por Ohsumi et al. (1958), que llegaron a resultados prácticamente idénticos. La fusión de las epífisis con el cuerpo vertebral comienza por los dos extremos de la columna vertebral, pero el proceso de fusión de la porción posterior es más rápido, por lo que el último sector que se osifica es el torácico, concretamente entre la tercera y la sexta vértebra torácica.





La edad de madurez física puede determinarse, pues, a través del examen de estas vértebras. En otras ocasiones, sin embargo, si no se dispone de esta información puede también tenerse una idea de este parámetro determinando la edad a partir de la cual se alcanza la talla asintótica en la curva de crecimiento medio de la población.

En las tablas 5.3. y 5.4. se detallan respectivamente los resultados del examen vertebral de 15 machos y 18 hembras. Las ballenas se han clasificado como: inmaduras cuando las vértebras caudales no estaban totalmente osificadas, intermedias cuando éstas ya lo estaban por completo pero las torácicas no y maduras cuando las epífisis de las vértebras torácicas se hallaban totalmente fusionadas a su centro.

En el caso de los machos no fue posible encontrar ningún ejemplar totalmente maduro, a pesar de que dos de ellos, de 20 y 22 años de edad, parecían hallarse próximos a la madurez. Los individuos de menos de 17 años fueron siempre inmaduros, aunque mostrando un anquilosamiento parcial en grado variable de desarrollo.

Entre las hembras, por el contrario, sí ha sido posible detectar algunos ejemplares ya maduros, siendo la edad de éstos siempre superior a los 30 años y su talla media 21.2 m. La edad máxima de una hembra en estado intermedio es de 20 años, por lo que la madurez física debe alcanzarse en algún momento entre los 20 y los 30 años de edad.

Por otra parte, si examinamos las curvas de crecimiento de las figuras 5.10. y 5.11. puede apreciarse que las edades a las que se alcanza la talla asintótica son los 21 años en los machos y los 28 en las hembras. Estas edades se corresponden con unas tallas de 18.95 y 20.4 m, respectivamente.

Como puede verse, la edad de madurez física que se desprende de estas curvas es mayor en la hembra que en el macho y ello es consecuencia de la diferencia en las tasas de crecimiento que existe entre ambos sexos (ver sección 5.1.3.4.2.1.). El valor obtenido por el análisis de la curva en los machos (21) es menor que la edad de un ejemplar (22) que no tenía las epífisis totalmente fusionadas, pero la diferencia es pequeña y puede achacarse sin duda a la variabilidad individual inherente a este tipo de procesos biológicos.

El análisis de la curva es metodológicamente menos preciso que el de el examen del grado de anquilosamiento, pero tiene la ventaja sobre éste de incorporar información sobre un número mucho mayor de ejemplares.

En la tabla 5.5. se comparan los resultados obtenidos en el presente estudio con los de otras zonas del hemisferio norte. Lógicamente en la Antártida la talla de madurez física es superior a los valores típicos de las poblaciones boreales (Jonsgard, 1952), por lo que no se han incluido en la tabla. Como puede verse, excepto en Noruega en que se examinó un número muy reducido de ejemplares, las tallas a las que se alcanza la madurez física son muy similares: los 18.9 m en los machos y entre los 20 y los 21 m en las hembras.

Las edades tampoco varían mucho entre las distintas poblaciones, situándose en general entre los 20 y los 30 años para ambos sexos. Vale la pena señalar que los valores de la ballena de aleta antártica también entran dentro de estos límites (Purves y Mountford, 1959; Ohsumi y Shimadzu, 1970; Panfilov, 1978a; 1978b).

Código	Talla	Edad	Estado
79018	18.10	10	Inmadura
79019	19.00	11	Inmadura-intermedia
79024	19.00	11	Inmadura
79027	16.60	6	Inmadura
79030	15.10	3	Inmadura
79034	19.20	22	Intermedia
79050	19.00	-	Intermedia
79055	19.10	10	Inmadura
79058	15.70	-	Inmadura
80022	19.00	17	Intermedia
80023	15.40	3	Inmadura
80030	15.30	3	Inmadura
80037	12.10	1	Inmadura
80039	18.80	20	Intermedia
80109	17.50	7	Inmadura

Tabla 5.3.: Relación entre el estado de madurez física y la talla y la edad en los machos de B. physalus examinados.

Código	Talla	Edad	Estado
79010	19.50	6	Inmadura
79012	14.50	2	Inmadura
79015	19.20	7	Inmadura
79016	13.90	2	Inmadura
79021	21.00	36	Madura
79023	17.70	8	Inmadura
79028	18.30	15	Intermedia
79032	18.60	12	Intermedia
79044	16.10	2	Inmadura
80020	20.30	30	Madura
80021	20.30	14	Intermedia
80026	22.30	40	Madura
80029	21.00	10	Inmadura
80031	14.60	2	Inmadura
80052	16.40	-	Inmadura
80053	18.00	8	Inmadura
80057	16.30	4	Inmadura
80080	20.00	20	Intermedia

Tabla 5.4.: Relación entre el estado de madurez física y la talla y la edad en las hembras de B. physalus examinadas.

AREA	METODO	MACHOS		HEMBRAS		REFERENCIA
		TALLA	EDAD	TALLA	EDAD	
Pacífico Norte	A.C.	18.91	20-23	20.13	20-23	Nishiwaki et al., 1958
Pacífico Norte	A.V.	18.90	20-22	20.10	20-22	Ohsumi et al., 1958
Canadá (Pacífico)	A.V.	-	-	20.70	-	Pike, 1953
Noruega	A.V.	20.10	-	21.40	-	Jongard, 1952
Islandia	A.C.	18.90	25	20.10	25	Lockyer y Brown, 1979
Península Ibérica	A.V.	-	>22	21.20	20-30	Presente estudio
Península Ibérica	A.C.	18.95	21	20.40	28	Presente estudio

Tabla 5.5.: Tallas y edades a las que B. physalus alcanza la madurez física, en distintas zonas del hemisferio norte. A.V.= análisis vertebral. A.C.= análisis de la curva de crecimiento.