

11 EVALUACION DE POBLACIONES MIGRATORIAS

Varios de los métodos presentados hasta ahora suelen ser insuficientes cuando se aplican a las poblaciones migratorias o que nadan en cardúmenes. Todos se basan en el supuesto de que se pueden tomar muestras aleatorias representativas de la población, por ejemplo, el recorrido completo de las frecuencias de tallas. Cuando las poblaciones no son vulnerables a la pesca, debido a migraciones verticales u horizontales hacia zonas no cubiertas por la flota o por los artes de pesca normales durante parte de su vida, generalmente, no es posible muestrear esas poblaciones en esos períodos. Esto puede producir simplemente lagunas de períodos más o menos largos en las muestras, pero también puede ser que las muestras tomadas representen diferentes partes de la población, en cuyo caso es posible que los datos se interpreten equivocadamente. En particular, los métodos basados en la talla, como el análisis de progresión modal y el de la curva de captura, son difíciles de aplicar en el caso de las poblaciones migratorias.

Las migraciones de las poblaciones de peces que han estado expuestas a la pesca durante siglos y a las investigaciones pesqueras durante unos cien años (como el arenque del Mar del Norte) se conocen suficientemente bien, como para evitar los sesgos en el muestreo y las interpretaciones erróneas de los resultados. En cambio, sobre la mayoría de las poblaciones de peces tropicales se tienen, a menudo, conocimientos muy limitados, por lo que es fácil que ocurran problemas como sesgos en el muestreo, cobertura incompleta de las poblaciones y mala interpretación de los datos.

En este capítulo se ilustrarán los problemas relacionados con la migración. Se presentarán algunos métodos que pueden ayudar a interpretar los datos sobre frecuencias de tallas, obtenidos de poblaciones migratorias. Estos métodos deberían considerarse sólo como el primer paso en la solución de unos problemas que son complejos.

11.1 CONCEPTO Y ESTUDIO DE LA MIGRACION

En su trabajo, Harden Jones (1968) reconoció tres tipos de “movimientos migratorios”: a la deriva con las corrientes, movimientos locomotores al azar y movimientos locomotores orientados. En un documento posterior, Harden Jones (1984) declaró: “utilizo la palabra migración en el sentido de ir y venir con las estaciones, de forma regular”. Gerking (1953) definió el concepto de “retorno a las aguas propias” como: “el regreso a un lugar que se ha ocupado anteriormente en vez de dirigirse a otros lugares igualmente probables”. Se sabe que el retorno a las aguas propias es una característica importante de la migración de muchas poblaciones de peces.

Para los propósitos de la evaluación de poblaciones, la explicación de por qué migran los peces tiene poca importancia. Lo importante es saber dónde se encuentran los peces en las distintas épocas del año y conocer su ciclo de vida.

En este manual consideraremos la migración fundamentalmente como una fuente de sesgo. Definimos la migración como *cualquier tipo de desplazamiento sistemático de los individuos de una población* (véase la definición de sesgo en la Sección 7.1). En este contexto los desplazamientos al azar no se consideran migraciones, porque sólo nos interesan los tipos de migración que crean sesgos en un programa de muestreo de frecuencias de tallas. Si un pez se desplaza al azar, ese movimiento no modificará la probabilidad relativa de que sea muestreado. La distinción entre los movimientos al azar y los movimientos sistemáticos no es evidente. Los peces pueden encontrar concentraciones de alimento desplazándose aleatoriamente, y por medio de movimientos aleatorios permanecer junto al

alimento hasta que esté casi agotado. Pero si los peces que sirven de alimento se desplazan de forma sistemática (por ejemplo, determinada por la corriente y otras características oceanográficas sistemáticas), el desplazamiento de los peces que permanecen junto a ellos para alimentarse se considerará como una migración, aun cuando esté compuesto por movimientos aleatorios.

La migración se caracteriza también por ser previsible: en el caso de algunas poblaciones podemos predecir cuándo y dónde se encontrarán altas concentraciones.

La mayoría de las migraciones que causan sesgos son desplazamientos horizontales, a lo largo de la costa, de la costa a mar adentro, o incluso entre ríos o lagunas y zonas marítimas. No obstante, migraciones verticales, relativamente pequeñas y diferencias en la distribución en la columna de agua entre los distintos grupos de tallas (edades) de una misma especie también pueden provocar sesgos en los datos.

Las migraciones que crean sesgos se pueden clasificar en cinco tipos principales, algunos de los cuales se ilustran en la Fig. 11.1.1.

- 1a. Migración vertical diaria (por ejemplo, en el fondo durante el día y en la columna de agua durante la noche).
- 1b. Migración horizontal diaria (por ejemplo, se ha observado que el listado se aleja y regresa a una localidad precisa todos los días (Yuen, 1970)).
2. Migración de desove (es decir, el regreso anual a las zonas de desove seguido de un desplazamiento hacia una zona de alimentación o, en el caso de algunos cefalópodos y camarones peneidos con sólo un desove en su lapso vital, la migración a las zonas de desove seguida de la extinción. El retorno a las aguas propias puede ser una característica importante de este tipo de migración).
3. Migración vertical de los adultos dependiente de la talla (por ejemplo, en el listado, las

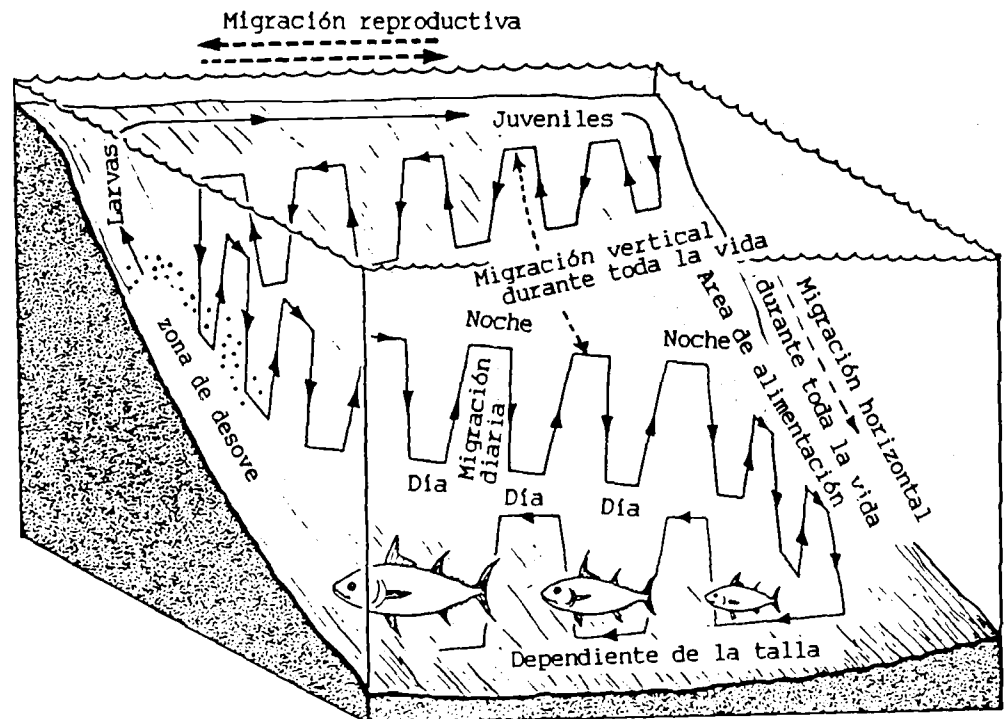


Fig. 11.1.1 Ilustración esquematizada de cinco tipos de sesgos potenciales creados por las migraciones.

clases anuales más jóvenes están en los cardúmenes superficiales, en tanto que los ejemplares más viejos se desplazan a profundidades mayores).

4. Migración horizontal dependiente de la talla (es decir, los ejemplares más grandes se trasladan a las aguas más profundas y efectúan en ellas las migraciones antes mencionadas).
5. Migración de los juveniles. A menudo, los juveniles emprenden migraciones diferentes de las de los adultos. Los juveniles pueden permanecer en las capas superiores día y noche, mientras que los adultos están en el fondo durante el día. También pueden ocupar zonas especiales de cría donde no se encuentran adultos. Para muchas especies, un período en aguas estuarinas o costeras constituye una etapa particular de la vida (véase, por ejemplo, Blaber y Blaber, 1980).

Una característica importante del complejo migración/sesgo, que es inherente sobre todo a la migración de desove, es la dependencia de la talla. A menudo, los cardúmenes con tallas medias más grandes llegan antes a las zonas de desove que los ejemplares más pequeños de la misma cohorte. Además del problema del sesgo en la evaluación de poblaciones, hay otras razones por las que debería estudiarse la migración. Una es la de las poblaciones compartidas por dos o más países (véase la Sección 1.2), que ha motivado también la definición de la UNCLOS de las especies altamente migratorias.

Entre los numerosos problemas asociados con las poblaciones compartidas están el de la identificación de las poblaciones y el de las rutas migratorias. Las poblaciones compartidas y su manejo se analizan, por ejemplo, en Caddy (1982, 1987) y Caddy y García (1986). Así también, Caddy (1982) clasifica los recursos marinos respecto de sus desplazamientos en relación con las ZEE (zonas económicas exclusivas) en cinco categorías:

1. Poblaciones que se encuentran casi por completo dentro de una sola jurisdicción nacional.
2. Recursos no migratorios que abarcan dos zonas adyacentes y que están continuamente disponibles en ambas zonas.
3. Especies migratorias que atraviesan las fronteras, pero sólo están disponibles en una u otra zona según la estación.
4. Poblaciones de alta mar que sólo se encuentran ocasional y parcialmente en las zonas nacionales.
5. Poblaciones de alta mar que se encuentran exclusivamente fuera de las ZEE.

Sobre todo en el caso de las categorías 3 y 4, la identificación de las poblaciones es un requisito indispensable para el manejo inteligente de las poblaciones compartidas. La identificación y la evaluación de las poblaciones tienen que basarse en el conocimiento de sus rutas de migración.

Hay varias maneras de adquirir información sobre las posibles migraciones de las especies en estudio. Una forma obvia y barata es aprovechar los conocimientos de los pescadores, quienes seguramente han observado las variaciones estacionales o diurnas en la disponibilidad de las diversas especies objetivo.

Estas fluctuaciones pueden deducirse también de los registros de los desembarques de las diversas clases de embarcaciones pesqueras (estadísticas) y de un conocimiento general de los movimientos de las flotas. Los ecosondas empleados en la actualidad son muy útiles para detectar las migraciones verticales, mientras que el equipo acústico más perfeccionado permite trazar mapas de la distribución y estimar la abundancia, en particular de los peces pelágicos pequeños.

La forma clásica de estudiar los desplazamientos (y el crecimiento) de los peces e invertebrados es mediante un programa de marcado. Las marcas de identificación se colocan externamente o en la cavidad del cuerpo, los peces se miden y se sueltan en un lugar conocido y se ofrece una recompensa por todo ejemplar marcado, que se devuelva con información sobre la fecha y el lugar donde fue

capturado. Cuando tienen éxito, estos programas de marcado pueden proporcionar mucha información útil sobre los desplazamientos netos entre el punto de suelta y el de recuperación. Sin embargo, no proporcionan información sobre lo que ha ocurrido entre esos momentos y esos puntos.

Se han desarrollado marcas acústicas y de radio muy perfeccionadas que permiten observar continuamente los movimientos de un pez individual, siguiéndolo con un buque de investigación. Los últimos adelantos consisten en marcas que se sueltan en un momento previamente determinado, suben a la superficie y transmiten información a un satélite (se aplican en la investigación sobre el atún), y marcas que registran el rumbo magnético y el ángulo de inclinación del pez en estudio.

En la Sección 11.5 se examinan algunos aspectos de los programas de marcado común.

11.2 SESGOS CAUSADOS POR LA MIGRACION

Para explicar el problema nos serviremos de una población hipotética simplificada como la que se ilustra en la Fig. 11.2.1. Esta población hipotética de peces pasa la mitad del año en los fondos de pesca y la otra mitad en un área que no se explota, y que es también su zona de cría. La población está formada por dos componentes, A y B (podemos considerar que A son los peces reclutados antes del monzón y B los peces reclutados después del monzón). Como se muestra en la Fig. 11.2.1, los dos componentes realizan las mismas migraciones, pero en diferentes épocas del año. Supongamos que la especie tiene un lapso vital de sólo dos años y, para simplificar, digamos que las migraciones ocurren el primero de enero y el primero de julio. Sólo disponemos de muestras tomadas en los fondos de pesca.

Supongamos además que no conocemos el patrón de migración, pero que creemos, equivocadamente, que toda la población permanece en los caladeros durante todo el año. En este caso, tendremos problemas al muestrear datos para calcular los parámetros de crecimiento, porque no dispondremos de los datos importantes para los primeros seis meses de vida. Podemos explicar erróneamente la ausencia de peces pequeños como una consecuencia de la selectividad de los artes de pesca. También podemos observar un crecimiento aparentemente negativo, durante el período de junio a agosto; si creemos que los peces que se encuentran en el caladero en junio son los mismos que los de agosto. En junio el componente A consta de peces A de 1 y 2 años de edad, que en julio son reemplazados por los peces B de 0.5 y 1.5 años de edad.

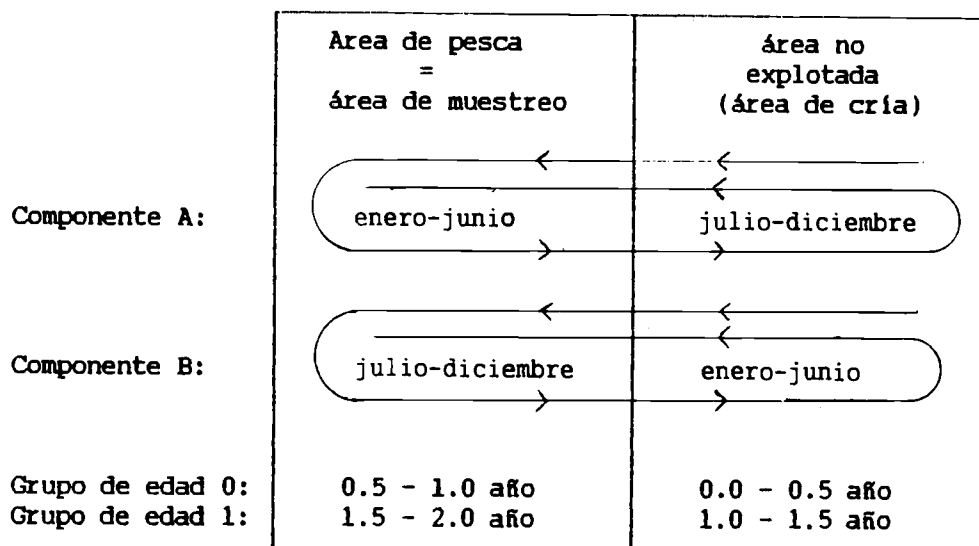


Fig. 11.2.1 Sistema simplificado hipotético para explicar el problema principal para obtener las muestras al azar.

En este ejemplo (no muy realista), probablemente no habría que muestrear la pesquería por mucho tiempo para adivinar el motivo de la ausencia de datos para los peces pequeños y del aparente crecimiento negativo. En realidad, las poblaciones de peces pelágicos tienen un comportamiento migratorio mucho más complejo y existe el riesgo de que los efectos que causan las migraciones se interpreten equivocadamente. Un ejemplo obvio es la interpretación errónea de la migración como mortalidad. Si, por ejemplo, los peces de una determinada talla se trasladan a aguas más profundas, donde no pueden ser capturados por los artes de pesca, podría pensarse (sobre la base de las muestras) que esos peces han muerto.

La situación más común es: que en una fecha dada y en un determinado caladero, sólo se puedan tomar muestras de cierta parte de la población. También la hora del día y el equipo utilizado pueden restringir la parte de la población disponible para el muestreo. Esta sección se basa en parte en el trabajo de Sousa (1988), quien analiza las fuentes de sesgo al evaluar las poblaciones de peces pelágicos pequeños, usando como ejemplo la macarela índica (*Decapterus russelli*) en las aguas de Mozambique. Los conocimientos actuales sobre los patrones de migración de los peces pelágicos pequeños en las aguas de Mozambique, son limitados, y no se han realizado experimentos de marcado con ellos.

Al intentar el análisis de progresión modal en muestras de frecuencias de tallas se presentaron varias dificultades, por ejemplo, un aparente crecimiento negativo. La Fig. 11.2.2 muestra un ejemplo de una serie de tiempo de frecuencias de tallas que plantea problemas de interpretación.

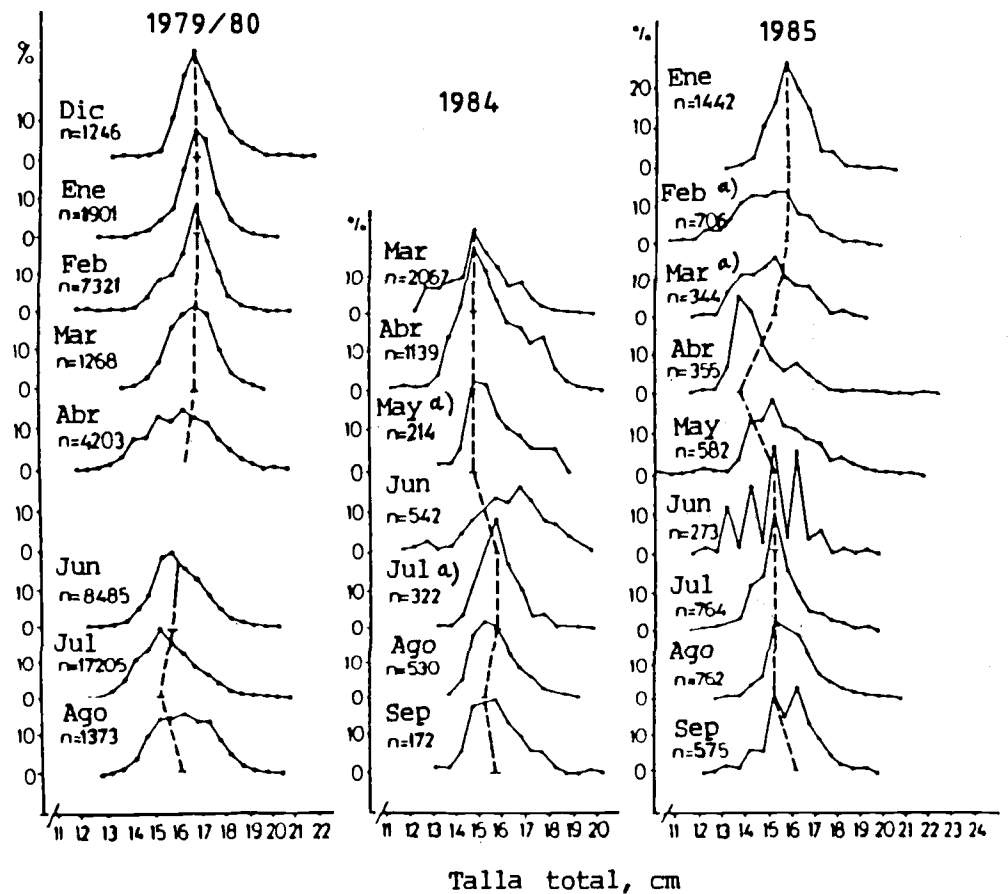


Fig. 11.2.2 Algunas series seleccionadas de las frecuencias de tallas de las capturas comerciales de *Decapterus russelli* del Banco Sofala, Mozambique, que explican los problemas con la interpretación de la progresión modal (Sousa, 1988).

A falta de datos exactos sobre las rutas de migración, Sousa (1988) buscó explicaciones plausibles para algunas de las aparentes incongruencias de la serie de tiempo observada en las frecuencias de tallas. En primer lugar, formuló hipótesis para el patrón de migración y luego ensayó esas hipótesis con los datos disponibles.

El razonamiento presupone que existan los patrones de migración, que se ilustran en las Fig. 11.1.1 y 11.2.3. Las hipótesis en que se basa la Fig. 11.2.3 son:

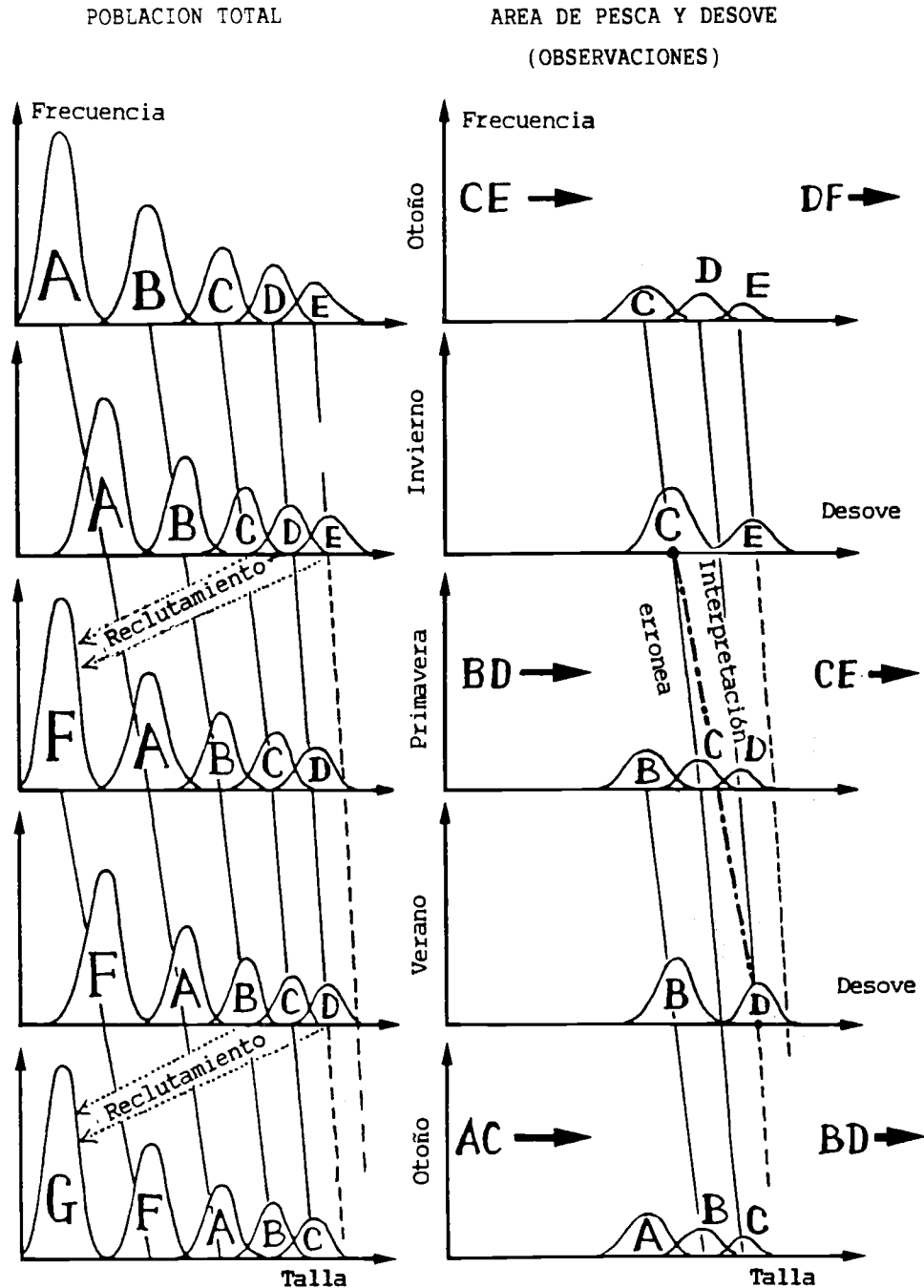


Fig. 11.2.3 Ilustración esquemática de la hipótesis de la migración de los pelágicos pequeños. Una simplificación irrealista es que las cohortes no se superponen. Para mayores detalles véase el texto. (Sousa, 1988).

Hay dos máximos de reclutamiento por año. Se denominan “cohortes de otoño” y “cohortes de primavera”.

Cada año los peces pasan un tiempo determinado en los caladeros, que son también las zonas de desove. El resto del año, están fuera de los caladeros. Las cohortes de primavera no están en las zonas de desove al mismo tiempo que las cohortes de otoño.

El primer medio año de vida transcurre fuera de los caladeros.

El lado izquierdo de la Fig. 11.2.3 ilustra la población total, donde A, C y E son las cohortes de otoño y B, D y F son las de primavera. El lado derecho de la Fig. 11.2.3 muestra la parte de la población que está en los caladeros. En el otoño, las cohortes C y E se dirigen hacia los caladeros, y D y F se alejan de ellos. Sólo ha llegado una parte de C y E, y se ha ido una parte de D y F. En el invierno, C y E solamente están representadas en los caladeros, pero todos los miembros de estas cohortes están presentes. Los gráficos para la primavera y el verano deben interpretarse de forma análoga.

Esta teoría, podría explicar, por qué hay tan poca progresión en las modas de las frecuencias de tallas. El lado derecho ilustra además el riesgo de conectar los puntos máximos de cohortes diferentes. En la Fig. 11.2.3 simplificada (sin superposiciones entre las cohortes), es fácil unir correctamente los puntos máximos; pero con un conjunto de datos reales la superposición entre las cohortes dificultaría mucho el análisis de progresión modal.

La Fig. 11.2.4 ilustra el sesgo creado por la “migración dependiente de la talla” en relación con la estimación de las tasas de crecimiento. El ejemplo utiliza dos cohortes. Las áreas sombreadas representan las partes de las dos cohortes que no se encuentran en el área de muestreo (caladeros). Se puede decir que son las que crean los sesgos. El supuesto en que se basa la Fig. 11.2.4 es que la migración anual (desove/alimentación) depende de la talla.

Se supone que las cohortes llegan a los caladeros durante el otoño y que los abandonan en la primavera. En la muestra de otoño, algunos de los ejemplares pequeños (cardúmenes con una talla media pequeña) no han llegado aún a los caladeros. El efecto de ello será una sobreestimación de las tallas medias de las dos cohortes. En la muestra de primavera la situación se invierte: han llegado todos

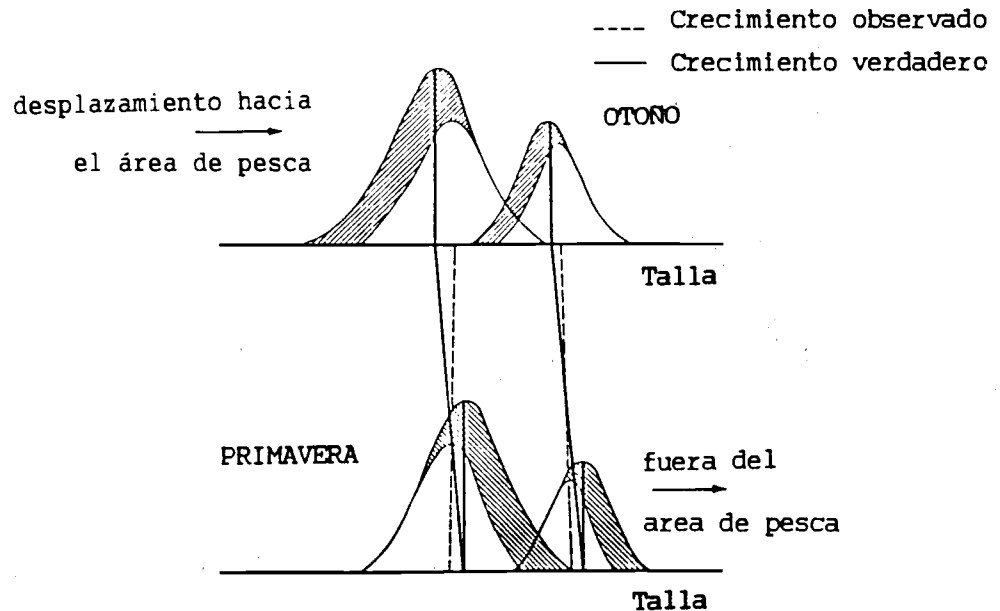


Fig. 11.2.4 Representación esquemática del sesgo provocado por la migración dependiente del tamaño. Las zonas achuradas indican la parte de la población que no se muestra (Sousa, 1988).

los peces pequeños, pero algunos más grandes se han ido. Ahora el efecto es una subestimación de las tallas medias. La consecuencia de estas fuentes de sesgo dan una subestimación de la tasa de crecimiento. Lo que se observará es la tasa de crecimiento correspondiente a la línea discontinua, mientras que la línea continua representa la verdadera tasa media de crecimiento de la población.

La Fig. 11.2.5 presenta una explicación plausible del crecimiento negativo aparente, basada en los mismos criterios aplicados para la Fig. 11.2.4. Así, el crecimiento negativo aparente se puede deber al efecto combinado de la migración anual y de la dependencia de la talla. Sin embargo, hay otras explicaciones posibles. El crecimiento negativo aparente también puede ser consecuencia de la selectividad del arte. Si la pesca varía de una estación a otra, por ejemplo, si cambia la distribución geográfica y/o el arte de pesca, el efecto puede ser una subestimación de la tasa de crecimiento. En algunos casos, la selectividad puede tener el efecto contrario, es decir, una sobreestimación de la tasa de crecimiento.

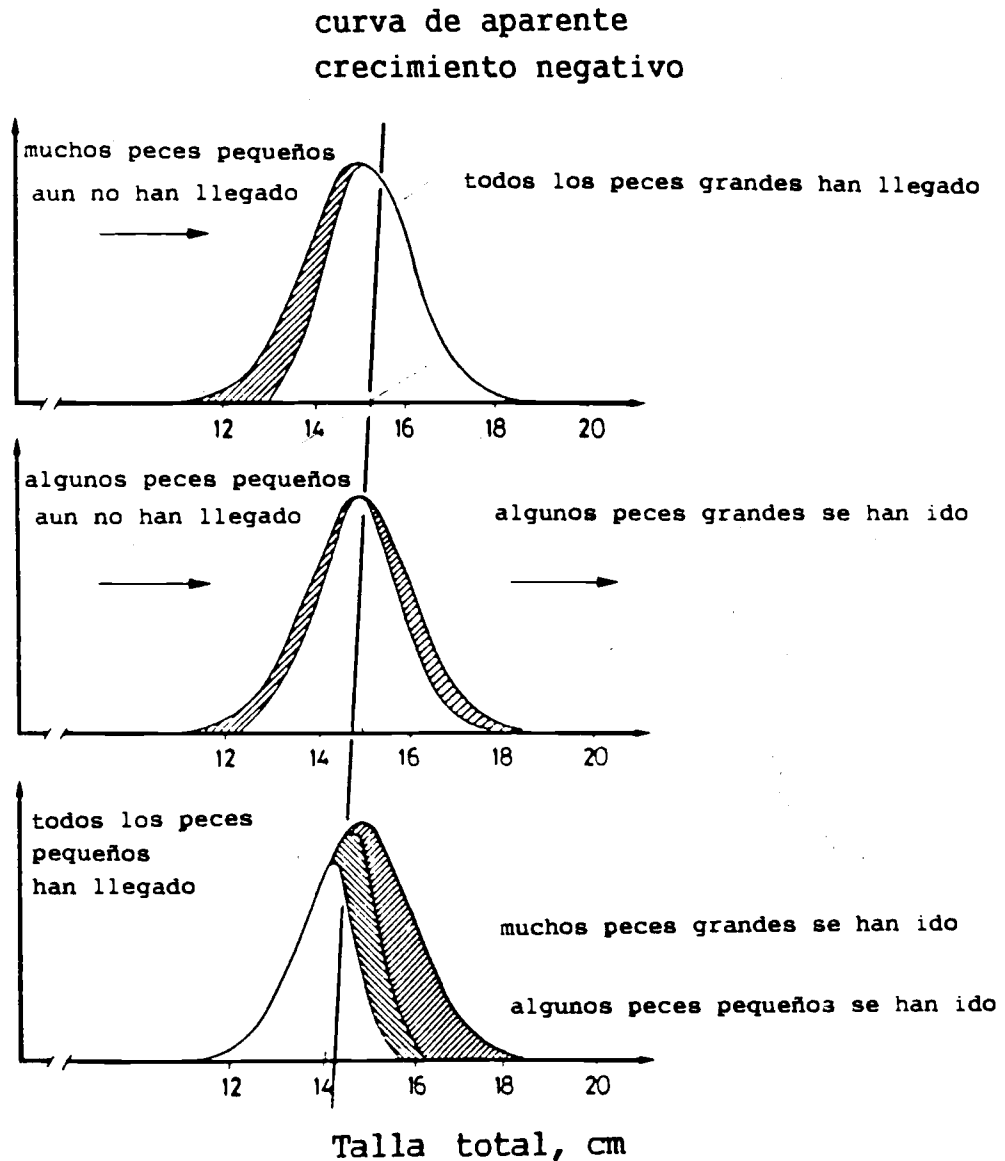


Fig. 11.2.5 Representación esquemática de las posibles razones de por qué se puede observar el aparente crecimiento negativo (Sousa, 1988).

La Fig. 11.2.6 ilustra el sesgo, provocado por la migración vertical dependiente de la talla y/o la selectividad del arte de pesca. La Fig. 11.2.6A muestra los datos talla/edad obtenidos de las lecturas de otolitos de 118 *D. russelli*, capturados por dos artes diferentes: una red de arrastre de fondo y una red de arrastre pelágico (Sousa, 1988). En este caso, se observaron anillos diarios, por lo que la edad de los peces se cuenta en días. Los ejemplares más pequeños se capturaron por medio de artes de arrastre pelágico y los más grandes con redes de arrastre de fondo. Los grupos presentan curvas de crecimiento diferente. Esto se puede explicar por el hecho de que la migración vertical del ciclo vital depende de la talla. Mientras más lentamente crezcan los individuos, más tiempo permanecerán en las capas superiores. Si se estimaran las curvas de crecimiento de cada grupo de peces, se obtendrían dos curvas completamente diferentes. La curva de crecimiento que aparece superpuesta en la Fig. 11.2.6A se basa en todas las observaciones. El cuadro resulta más claro en la Fig. 11.2.6B, donde los valores residuales (desviaciones respecto de la curva estimada en la Fig. 11.2.6) se representan respecto de la edad. Otra posibilidad es que los resultados que muestra la Fig. 11.2.6, se expliquen

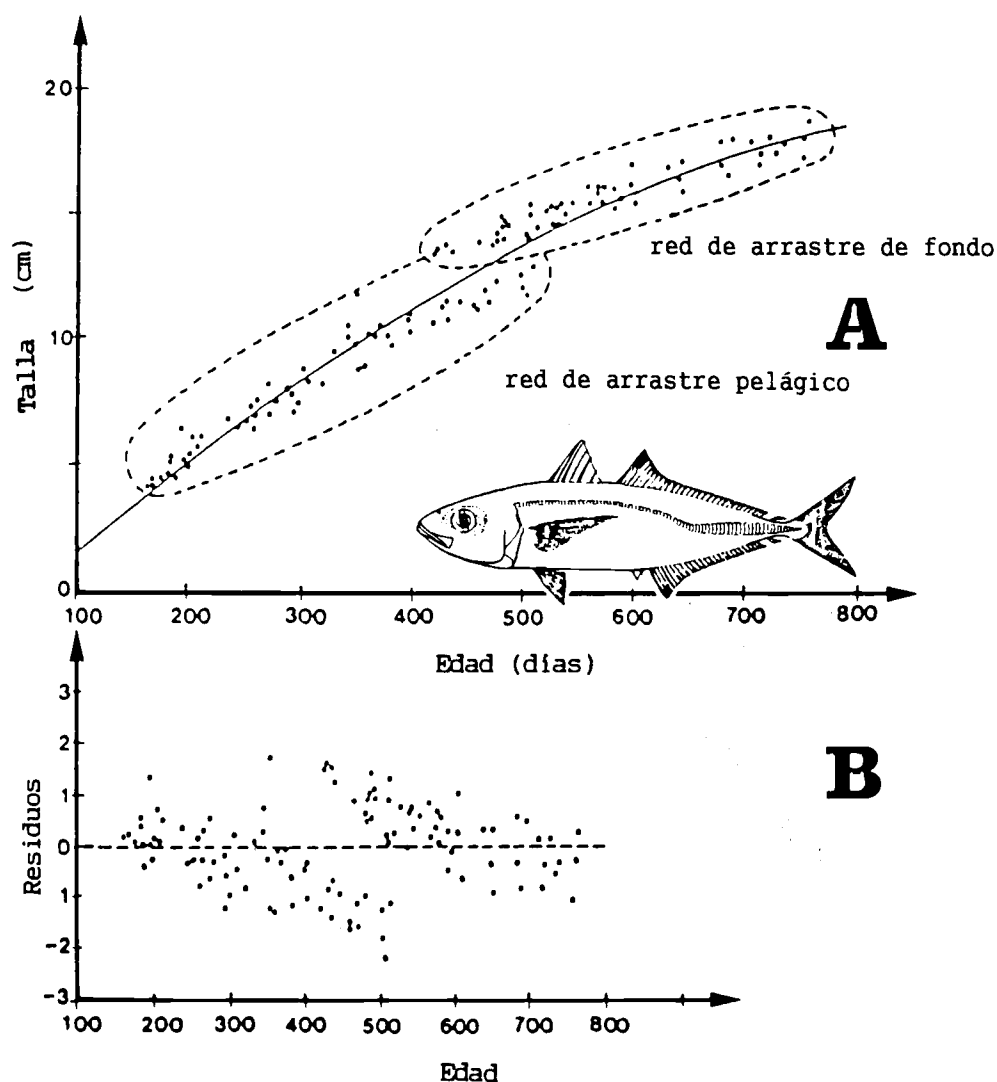


Fig. 11.2.6 Curva de crecimiento de *Decapterus russelli* en el Banco Sofala, Mozambique, basada en las lecturas diarias de edad en peces muestreados de la pesquería comercial realizada con redes de arrastre de fondo y de una investigación con red de arrastre pelágica, ambas efectuadas durante 1982 (Sousa, 1988).

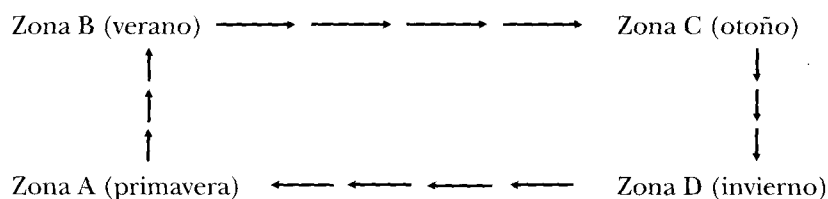
por la mayor velocidad de desplazamiento de los ejemplares más grandes, que reduce su capturabilidad por las redes de arrastre pelágico.

11.3 EL METODO DE MUESTRAS PAREADAS DE RETORNO ANUAL

El método que se presenta en esta sección es un caso especial simple del *método general de muestras pareadas*, que se tratará en la siguiente sección. El "método de muestras pareadas" es un método sencillo para estimar los parámetros de crecimiento y las tasas de mortalidad de las poblaciones migratorias. Al igual que otros métodos sencillos, se basa bastante en supuestos. El problema es saber si esos supuestos son o no aproximaciones razonables de la realidad.

El método descansa en el supuesto de que una población de peces sigue una ruta migratoria previsible. Si se conoce esa ruta de migración (por ejemplo, por experimentos de marcado) en términos de tiempo y espacio, se está en condiciones de seguir las cohortes y "parear" las muestras de tal forma que provengan de la misma cohorte.

Consideremos un modelo hipotético simple:



A, B, C y D simbolizan zonas geográficas. Damos por supuesto que la población emprende la misma migración todos los años y que el período correspondiente, por ejemplo, a la cohorte de primavera es el que se indica arriba. En este modelo, "parear" las muestras para la cohorte de primavera, significa realizar el análisis sobre la base de las muestras tomadas en:

primavera en la zona A, verano en la zona B,
otoño en la zona C e invierno en la zona D.

Las muestras pueden proceder de una zona solamente: por ejemplo, la zona A, en cuyo caso sólo deberán parearse las muestras recolectadas en la primavera (de distintos años).

Este modelo puede servir para las especies pelágicas pequeñas, como la caballa y la macarela indica, y se sabe que corresponde al modelo de migración de las especies pelágicas pequeñas de aguas templadas (véase la Sección 11.6). Se puede utilizar para estimar los parámetros de crecimiento, como se describe a continuación.

11.3.1 Parámetros de crecimiento estimados con el método de muestras pareadas de retorno anual

La Fig. 11.3.1.1 ilustra una serie de muestras de frecuencias de tallas de una especie, tomadas cada cuatro meses durante un período de dos años. Observe, que las distribuciones de períodos consecutivos indican en muchos casos un crecimiento negativo. Siguiendo el modelo, podemos conectar las modas de la distribución de un mismo mes de años consecutivos (por ejemplo, enero de 1982, enero de 1983 y enero de 1984), como en una progresión modal normal.

El próximo paso será usar el método de Chapman (Ec. 11.2), ya que el intervalo de tiempo Δt es relativamente largo, supuestamente de un año completo:

$$L(t+\Delta t) - L(t) = c * L_{\infty} - c * L(t), \text{ donde } c = 1 - \exp(-\Delta t * K)$$

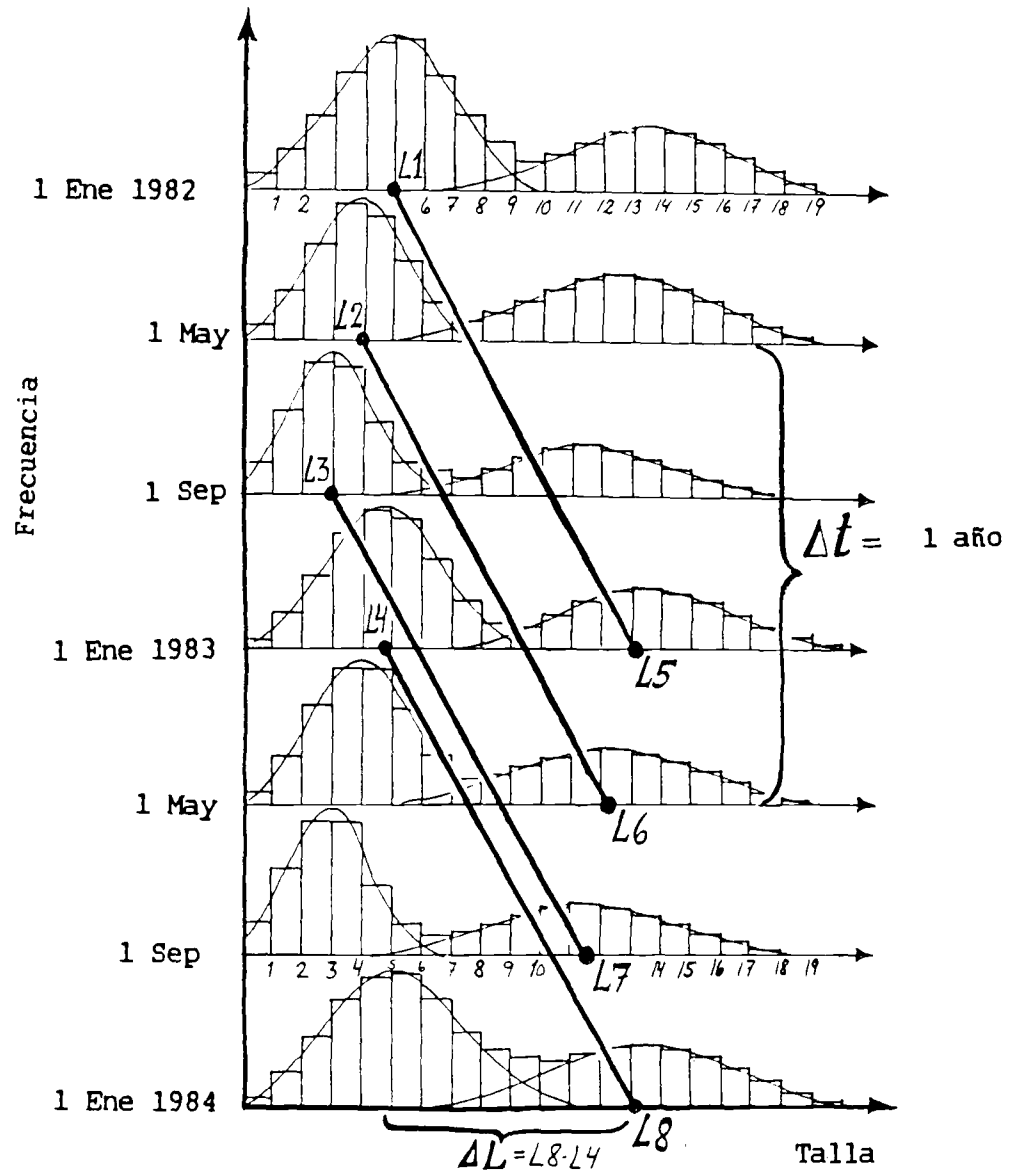


Fig. 11.3.1.1 Ilustración del cálculo de los parámetros de crecimiento por medio del método de muestras pareadas de retorno anual. Para mayores detalles, véase el texto.

Hay cuatro estimaciones de $\Delta L/\Delta t$ con $\Delta t=1$ año, a saber: (L_5-L_1) , (L_6-L_2) , (L_7-L_3) y (L_8-L_4) . El promedio de estas cuatro observaciones es de 8 cm, mientras que la media de las longitudes medias de las primeras modas $(L_1+L_2+L_3+L_4)/4$ es de 4.25 cm. Entonces tenemos:

la media de $L(t+1) - L(t)=8$ cm y $\bar{L}(t)=4.25$ cm

$$8 = c \cdot L_{\infty} - c \cdot L(t) = c \cdot L_{\infty} - c \cdot 4,25 \text{ o}$$

$$c = 8 / (L_{\infty} - 4.25) \text{ o bien como}$$

$K = -(1/\Delta t) \cdot \ln(1 - c)$ (véase la Sección 3.3.2), se obtiene

$$K = -(1/1) \cdot \ln[1 - 8 / (L_{\infty} - 4.25)]$$

Si se utiliza 18 cm como una primera estimación de L_{∞} se tiene que

$$K = -\ln(1 - 8/(18 - 4.25)) = 0.87$$

Usando $L_{\infty} = 18$ cm y $K = 0.87$ por año se obtiene una progresión modal de 4.3 a 12.2 cm en las edades 0.31 y 1.31 años (Fig. 11.3.1.1):

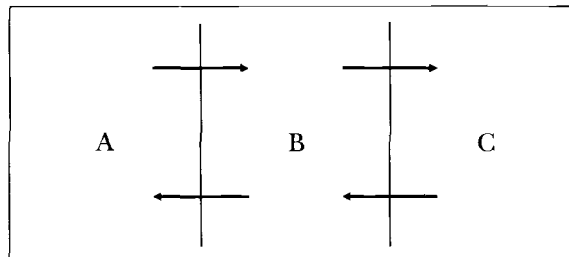
$$L(0.31) = 18*(1 - \exp(-0.87*0.31)) = 4.3 \text{ cm}$$

$$L(1.31) = 18*(1 - \exp(-0.87*1.31)) = 12.2 \text{ cm}$$

11.4 EL METODO GENERAL DE MUESTRAS PAREADAS

Este método presupone que se conozca la ruta de migración en términos de tiempo y espacio; o, que se tenga una hipótesis al respecto, para poder "parear" las muestras de modo que procedan (o se pueda hipotetizar que proceden) de las mismas cohortes (véase el comienzo de la sección anterior).

Con objeto de ilustrar las características del método general de muestras pareadas para estimar las mortalidades totales, se construyó un ejemplo hipotético sencillo. Este ejemplo simplificado trata de una cohorte que migra a través de tres zonas, A, B y C. Desde A, la cohorte se desplaza a B y luego a C, donde permanece un tiempo; luego vuelve a B y termina en la zona inicial A.



La Tabla 11.4.1 y la Fig. 11.4.1 ilustran el ejemplo en números de individuos capturados por unidad de esfuerzo. Las curvas superpuestas de la figura corresponden a los parámetros de crecimiento: $L = 10$ cm, $K = 2.0$ por año y $t_0 = 0$. Las flechas de la Fig. 11.4.1 indican la migración entre las zonas. Si se ignorara la migración, la primera parte de las frecuencias de la zona A se interpretaría como una cohorte que se extingue en mayo y las tasas de mortalidad se estimarían como sigue (véase la Tabla 11.4.1):

$$Z(\text{ENE}) = \ln(8465/5732) = 0.39 \text{ por mes}$$

$$Z(\text{FEB}) = \ln(5732/2911) = 0.68 \text{ por mes}$$

$$Z(\text{MAR}) = \ln(2911/986) = 1.08 \text{ por mes}$$

$$Z(\text{ABR}) = \ln(986/167) = 1.77 \text{ por mes}$$

Las mortalidades reales (de la cohorte completa en las tres zonas) son las siguientes (véase la Tabla 11.4.1):

$$\begin{aligned} Z(\text{ENE}) &= \ln(8465/(5732+1433)) \\ &= \ln(8465/7166) &= 0.17 \text{ por mes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z(\text{FEB}) &= \ln((5732+1433)/(2911+3154)) \\ &= \ln(7166/6065) &= 0.17 \text{ por mes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z(\text{MAR}) &= \ln((2911+3154)/(986+3614+534)) \\ &= \ln(6065/5134) &= 0.17 \text{ por mes} \end{aligned}$$

TABLA 11.4.1
Ejemplo hipotético para ilustrar el “método de muestras pareadas”

Area A

talla	número de individuos capturados por unidad de esfuerzo										total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ENE		8465										8465
FEB			5732									5732
MAR				1758	1153							2911
ABR					629	357						986
MAY						125	42					167
JUN												0
JUL												0
AGO												0
SEP							4	15	11	0		30
OCT								104	123	32		259
NOV								201	355	152		708
DIC								178	424	264		866
Total	0	8465	5732	1758	1782	482	46	498	913	448		20124

Area B

talla	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	total
ENE											0
FEB			1433								1433
MAR				1905	1249						3154
ABR					2306	1308					3614
MAY						1870	634				2504
JUN						271	606	111			988
JUL							94	74			168
AGO							50	98	30		178
SEP							98	351	239		688
OCT								422	499	129	1050
NOV								212	375	161	748
DIC								43	103	64	210
Total	0	0	1433	1905	3555	3449	1482	1311	1246	354	14735

Area C

talla	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	total
ENE											0
FEB											0
MAR											0
ABR					341	193					534
MAY						1252	424				1676
JUN						738	1650	302			2690
JUL							1650	1297			2947
AGO							690	1350	418		2458
SEP							216	771	526		1513
OCT								233	276	71	580
NOV								28	49	21	98
DIC									0		0
Total	0	0	0	0	341	2183	4630	3981	1269	92	12496

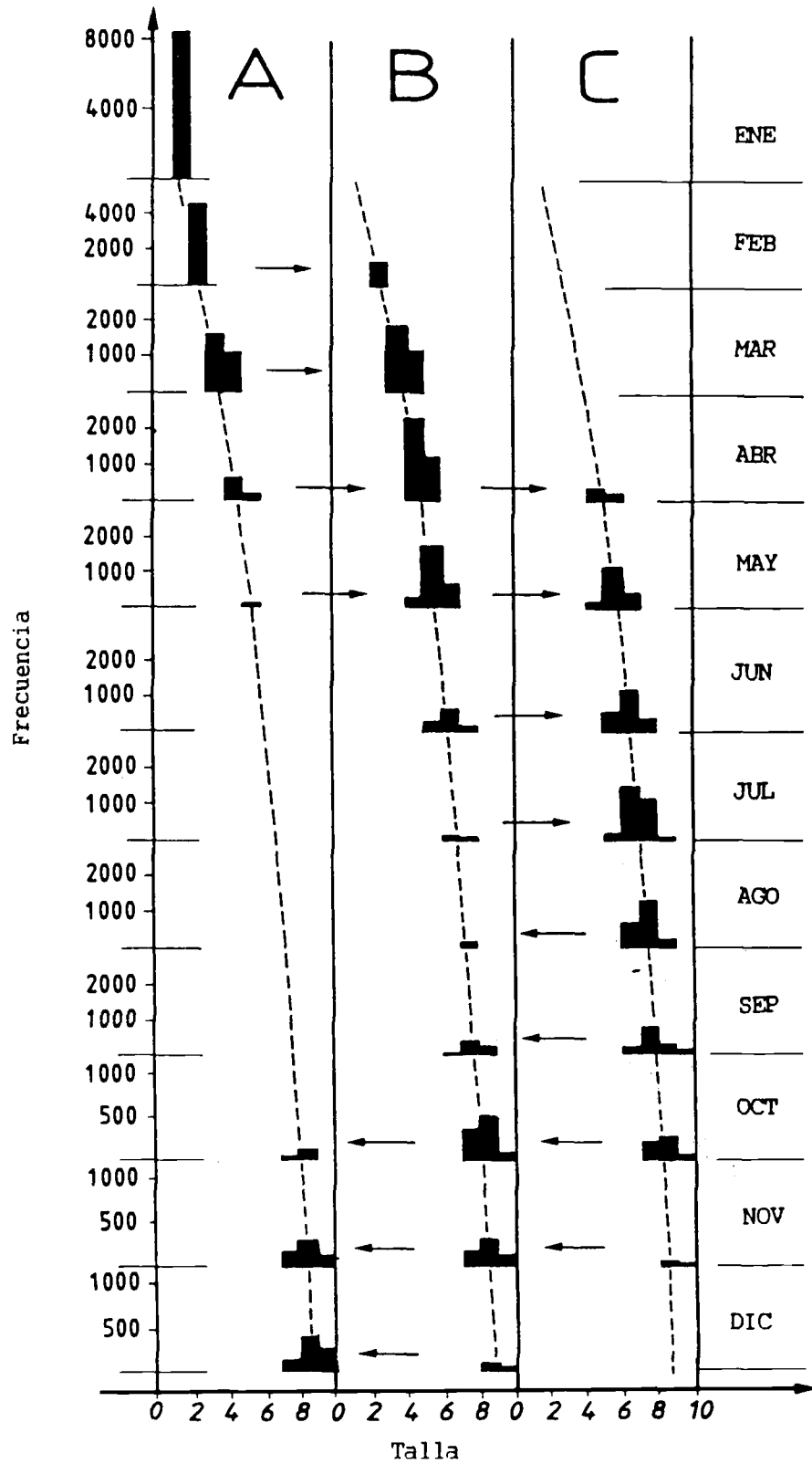


Fig. 11.4.1 Ejemplo hipotético para explicar el cálculo de las tasas de mortalidad por medio del "método de muestras pareadas". Obsérvese que las escalas difieren de un mes a otro.

$$\begin{aligned}
 Z(\text{ABR}) &= \ln((986+361+534)/(167+2504+1670)) \\
 &= \ln(5134/4346) &= 0.17 \text{ por mes}
 \end{aligned}$$

Las diferencias entre los dos conjuntos de valores de Z son los *coeficientes de migración*.

La Fig. 11.4.2 ilustra las dificultades con que se tropieza, a menudo, al tratar de estimar las curvas de crecimiento de especies migratorias. La Parte C muestra la ruta de migración de la población en cuestión. En este ejemplo hipotético, se supone que las muestras se toman sólo en los caladeros, y que los peces migran hacia y desde los caladeros, con arreglo a la talla. Durante el primer año de vida

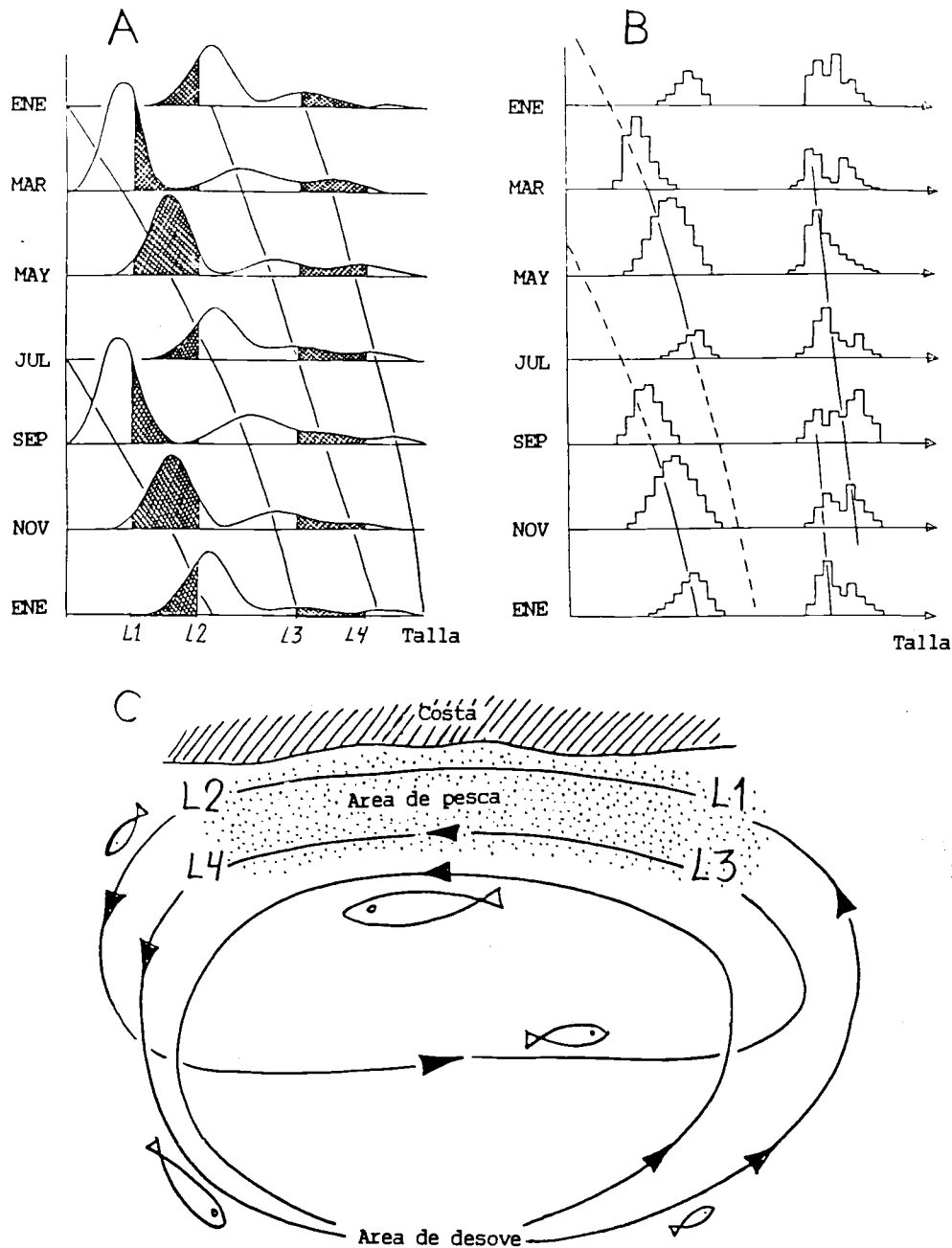


Fig. 11.4.2 Ilustración de los problemas de sesgo al calcular la curva de crecimiento de una especie migratoria en base a muestras "no pareadas".

estarán en los caladeros cuando tengan tallas comprendidas entre L1 y L2; y en el segundo año, cuando estén entre las tallas L3 y L4.

La Parte A presenta una serie cronológica de muestras de frecuencias de tallas insesgadas y las curvas de crecimiento que se estimarían a partir de ellas. Estas muestras se podrían obtener con un esquema de muestreo que cubriera toda la distribución en espacio y tiempo. Sin embargo, no sería posible obtener estas muestras insesgadas efectuando todo el muestreo solamente en los caladeros. Si los peces llegaran a las zonas de pesca exactamente cuando tienen las tallas L1 y L3 y se fueran exactamente a las tallas L2 y L4, se obtendrían las muestras representadas por las partes sombreadas de la distribución de frecuencias de la Parte A. En la práctica no se observará, desde luego, un reclutamiento tan preciso en los caladeros; lo que se verá es algo parecido a las muestras de frecuencias que aparecen en la Parte B, que ilustra dos grupos distintos de peces sin superposiciones en las frecuencias de tallas. El grupo de peces pequeños presenta cierta progresión en las modas; en tanto, que el grupo de peces más grandes se puede interpretar de cualquier manera. El grupo de tallas intermedias está ausente. Este patrón general se observa a menudo cuando se muestrean las frecuencias de tallas de una zona restringida, es decir, de una zona que constituye sólo una pequeña parte del área de distribución de la población en cuestión.

Las curvas superpuestas de la Parte B son las que se obtendrían de una progresión modal. Estas curvas son más inclinadas que las de la Parte A (las curvas de crecimiento verdaderas). Las modas muestrales de los peces más pequeños de la parte B presentan cierta progresión, pero menos que la de las modas de la Parte A, es decir, de las muestras insesgadas. El efecto de la migración dependiente de la talla (véase la Sección 11.2) es una subestimación de la tasa de crecimiento de los peces pequeños.

Las modas aparentes de los peces grandes de la Parte B son difíciles de interpretar en términos de crecimiento. En la práctica, estas modas pueden tener poco que ver con el crecimiento y reflejar más bien el ruido aleatorio y/o el sesgo del procedimiento de muestreo. En el caso de la Parte B, las curvas de crecimiento ajustadas a los peces grandes representan una subestimación de la tasa de crecimiento (véanse las Partes A y B), pero en la práctica también podrían ser una sobreestimación. En general, conviene proceder con cautela al interpretar la progresión modal de los grupos de tallas que se acercan a la longitud máxima de la especie.

11.5 EVALUACION BASADA EN DATOS DEL MERCADO

El éxito de los experimentos de marcado depende de la capacidad y voluntad de los pescadores y de las otras personas que se ocupan de la captura de informar dónde y cuándo se recuperó el ejemplar marcado. Si además los datos se utilizan para estimar parámetros de crecimiento, debería indicarse también la talla de los peces recuperados. La pesquería debe cubrir una parte relativamente grande de la distribución de la población en espacio y tiempo, a fin de asegurar, que se recupere un número suficiente de ejemplares para el procedimiento de estimación. Se supone que los peces marcados constituyen una muestra representativa de la población y tienen, por lo tanto, los mismos parámetros básicos que la parte no marcada. Modelos de este tipo han sido propuestos por Gulland (1955), Paulik (1963), Seber (1973) y Jones (1977). Cabe destacar que Seber (1973) presenta un examen exhaustivo del análisis de datos de captura/recuperación.

Por otra parte, Kleiber *et al.* (1983) propusieron un modelo para la evaluación del listado del Pacífico (*Katsowonus pelamis*) que se basa en datos del marcado. Es el modelo tradicional de la curva de captura (Ec. 4.2.7) con modificaciones para tener en cuenta la mortalidad, debida al marcado, el desprendimiento de las marcas y las recuperaciones no notificadas. La ecuación básica del modelo para calcular el tamaño de la población, P, y la "tasa de agotamiento A" (véase la definición abajo) es:

$$r(t) = a * b * N_0 * \exp(-t * A) * \frac{C(t)}{P * A} * (\exp(A) - 1) \quad (11.5.1.1)$$

donde

a = fracción de los sobrevivientes a corto plazo, mientras que

$1-a$ = mortalidad a corto plazo, debida a traumas causados por las operaciones de marcado.

A = tasa de agotamiento (incluye las mortalidades [F y M]; considera también el desprendimiento de las marcas, la invulnerabilidad al arte de pesca por aumento de tamaño y la migración fuera del área).

b = parte de los ejemplares marcados recuperados que se devuelve efectivamente con información útil.

$C(t)$ = captura en unidades de biomasa durante el período de tiempo t .

N_0 = número de peces marcados (en el momento $t = 0$).

P = población permanente en unidades de biomasa (se supone constante en el tiempo).

$r(t)$ = número de ejemplares marcados devueltos en el período de tiempo t .

t = índice del período de tiempo.

Para demostrar que la Ec. 11.5.1.1 es, básicamente, la misma que la ecuación de captura (Ec. 4.2.7) introducimos:

$N(t) = N_0 \cdot \exp(-(t-1) \cdot A)$ = número de peces marcados al comienzo del período t .

$F(t) = C(t)/P$, mortalidad por pesca.

Si suponemos que $a = b = 1$ y $A = Z$ (sin desprendimiento, ni otro tipo de factores de agotamiento), la Ec. 11.5.1.1 se convierte entonces en:

$r(t) = N(t) \cdot F/Z \cdot [1 - \exp(-Z)]$, o sea, la ecuación de captura (Ec. 4.2.7)

Esta descripción es sólo una breve introducción a la ecuación básica. Para una descripción completa del modelo, se puede consultar el trabajo original.

11.6 ESTIMACION DE LOS PARAMETROS DE CRECIMIENTO DE UNA POBLACION MIGRATORIA: LA CABALLA DEL ATLANTICO

Como se mencionó en la Sección 11.2, a veces, las especies que efectúan migraciones estacionales migran tanto más temprano cuanto más viejos y grandes sean los peces. Este problema se analiza en estudios bien documentados sobre una población de caballa del Atlántico norte, *Scomber scombrus*. Esta población vive al norte y al oeste del Reino Unido y de Irlanda. En la Fig. 11.6.1 se indica su ruta principal de migración. La población realiza una migración anual desde la zona donde pasa el invierno a la zona de desove, de esta última a la zona de alimentación, y desde allí de regreso a la zona de invierno. La distancia total que recorre es del orden de 500-1000 millas náuticas por año. El desove ocurre de marzo a julio en el área situada al sur de Irlanda (véase la Fig. 11.6.1).

Aquí nos concentraremos en los aspectos relacionados con la migración dependiente de la talla que analizamos en las Secciones 11.2 y 11.3. La migración dependiente de la talla de esta población

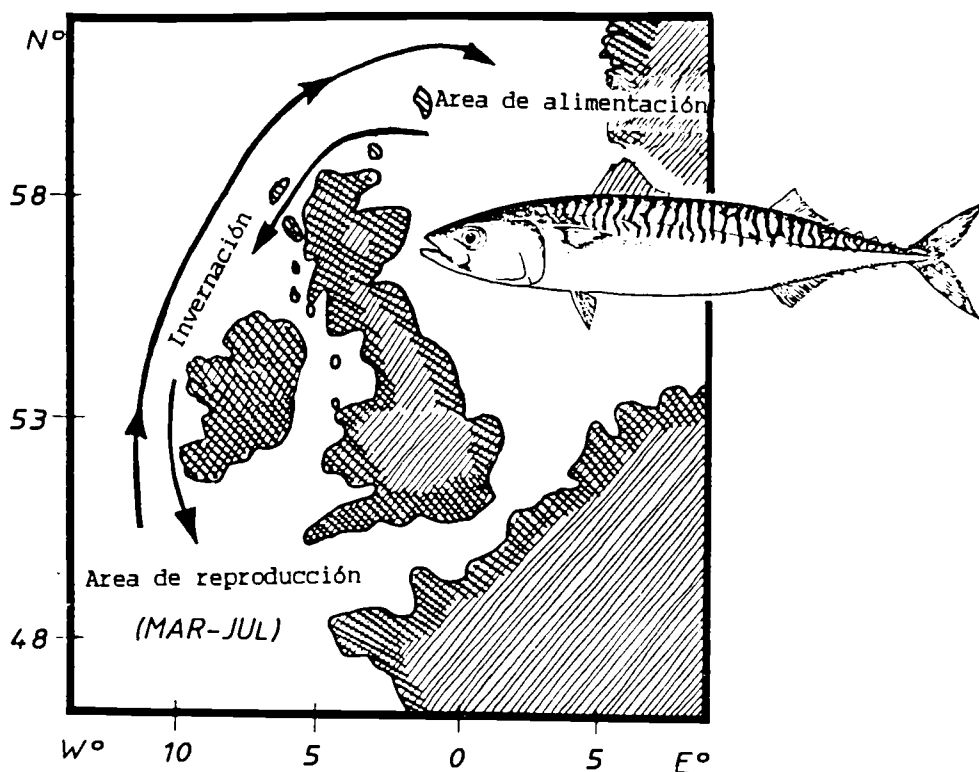


Fig. 11.6.1 Ruta principal de migración anual de un stock de *Scomber scombrus*, que se basa en diversas fuentes, que incluyen numerosos experimentos de marcado (adaptado de Eltink, 1987).

ha sido demostrada, entre otros, por Dawson (1986) y Eltink (1987). Lo que veremos a continuación se basa en estos dos documentos, que llegan a conclusiones parecidas, partiendo de conjuntos de observaciones independientes.

Como *Scomber scombrus* es una especie de aguas templadas, es relativamente fácil leer la edad de los peces en los otolitos. Los resultados de Dawson (1986) y Eltink (1987), se basaron en muestras aleatorias de caballa capturada por embarcaciones pesqueras comerciales, así como por buques de investigación en las zonas de desove durante el período de desove. A los peces muestreados se les medía la talla, se calculaba la edad y se registraba su estado de madurez. Las muestras se tomaban mensualmente. Las principales rutas de migración y las zonas de desove se conocían de antemano gracias a otras investigaciones (por ejemplo, experimentos de marcado).

Se halló que la migración desde la zona donde pasan el invierno hacia la zona de desove ocurre en una sucesión dependiente de la edad y la talla, en el sentido de que: los peces más viejos llegan antes que los jóvenes y también se van antes. Incluso dentro de un mismo grupo de edad, los ejemplares más grandes llegan antes que los más pequeños. Esto se ilustra en la Fig. 11.6.2, que muestra la talla media de los peces en la fase de madurez 6 de las muestras recogidas al azar en las zonas de desove para cada mes de la temporada de desove (Eltink, 1987). Allí se puede ver que mientras más grandes son los peces, más temprano ocurre el desove.

La Fig. 11.6.3 (Dawson, 1986) ilustra los problemas de sesgo que se plantean cuando se estiman los parámetros de crecimiento de una población migratoria. Las cinco curvas de crecimiento se estimaron por medio del método de muestras pareadas (véase la Sección 11.3). Cada curva se basa en los datos recolectados en la zona de desove durante un mes particular. Como era de prever, los

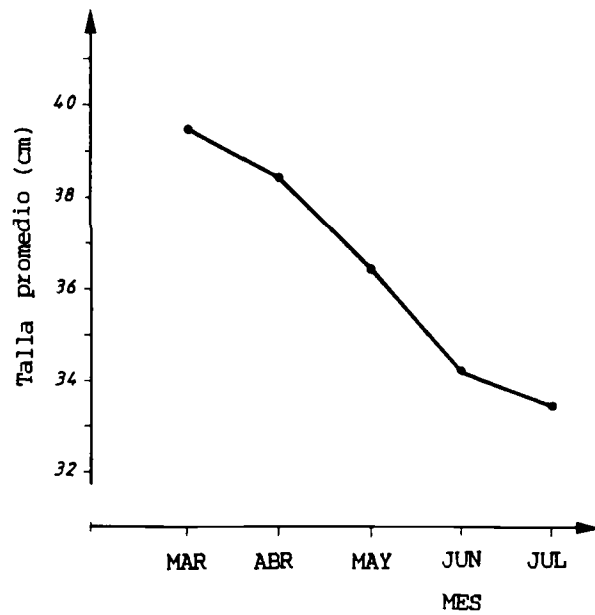


Fig. 11.6.2 Talla promedio mensual de *Scomber scombrus* de etapa 6 de madurez. Obsérvese que los peces más grandes desovan primero (adaptado de Eltink, 1987).

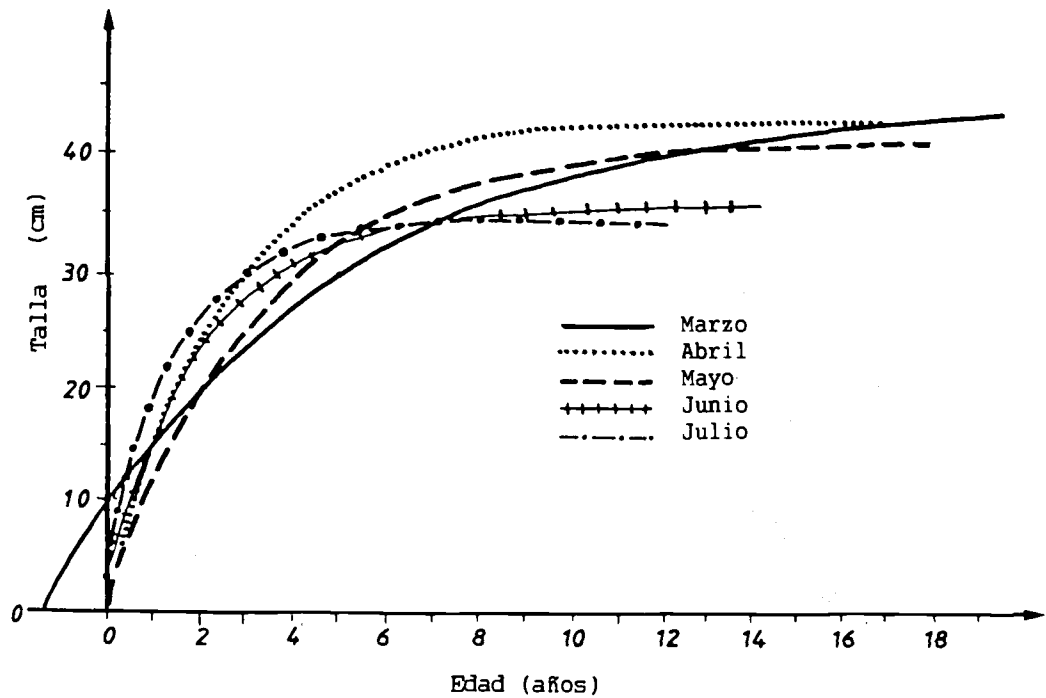


Fig. 11.6.3 Curvas de crecimiento de *Scomber scombrus* calculadas en base a datos de talla/edad de ejemplares muestreados en las zonas de desove desde marzo hasta julio; ilustración de un problema de sesgo (adaptado de Dawson, 1986).

datos del comienzo del período de desove (marzo) producen una curva para los peces grandes de crecimiento lento; mientras que los datos recogidos al final del período de desove dan una curva más abrupta con una L_{∞} más pequeña.