

MODELO ITERATIVO DE CONSTRUCCION DE CLAVE EDAD-LONGITUD PARA ESTIMAR LA COMPOSICION DE LA CAPTURA POR EDAD EN LA PESQUERIA INCIPIENTE DE *DISSOSTICHUS ELEGINOIDES* EN CHILE

H. Robotham V. y Z. Young U.*

Abstract

Traditional estimation of age composition of catch requires that age/length data and random length frequency have been sampled from the same population. If such sampling is not possible the estimates of the age distribution could be biased. By using an iteration algorithm it is possible to overcome this limitation. The age composition of catch for *Dissostichus eleginoides* was obtained with the application of a single age/length key to the monthly length distribution using the non-linear model (Hoenig and Heisey, 1987). We found that age distribution derived from the model is not significantly different from the one obtained by using traditional methods.

Résumé

La mortalité naturelle (M) de *Dissostichus eleginoides* a été calculée d'après Sparre (1989) à partir des données provenant de la pêche à la palangre chilienne dans la sous-zone 48.3 (N = 7 848). Les paramètres de croissance de von Bertalanffy obtenus indépendamment par trois auteurs ont été utilisés. Trois variables ont été examinées: le lieu de pêche, la profondeur de pêche et le type d'hameçon. Il a été établi que la valeur de M ne variait pas de manière significative lorsqu'elle était estimée en fonction de la profondeur de la pêche ou du type d'hameçon avec différents paramètres de croissance mais variait en fonction des sites de pêche. Par ailleurs, en comparant les différentes valeurs moyennes de M pour les différentes variables, on a pu observer des différences notables selon les lieux de pêche et entre les hameçons courbes N°14 et les hameçons droits N° 22. La valeur moyenne générale de M calculée pour les 44 situations analysées était de $0,14 \pm 0,03$.

Резюме

Оценка возрастного состава в уловах обычным путем требует, чтобы данные по возрасту/длине и случайной частоте длин брались из одной и той же популяции. Если это условие не соблюдается, возможно получить смещенные оценки распределения возрастных групп. Мы можем преодолеть это ограничение используя итеративный алгоритм. Возрастной состав *Dissostichus eleginoides* в уловах был рассчитан с применением одного размерно-возрастного ключа к ежемесячному распреде-

* Instituto de Fomento Pesquero, Casilla 8-V, Valparaíso, Chile

лению длин используя нелинейную модель (Hoenig and Heisey, 1987). Полученная нами с помощью модели картина распределения возраста не отличается в значительной мере от распределения, полученного традиционными методами.

Resumen

El método de cálculo empleado comúnmente para estimar la composición de edad de la captura requiere que los datos de edad-longitud y frecuencia de longitud sean muestreados aleatoriamente de la misma población. La vulneración de esta premisa puede llevar a estimaciones sesgadas. Mediante el uso de modelos que utilizan algoritmos iterativos es posible llegar a corregir este problema. De la aplicación del modelo log-linear propuesto por Hoenig and Heisey (1987) en *Dissostichus eleginoides*, se tiene que al emplear una misma clave edad-longitud a las distribuciones de longitud mensual, se genera una composición de edad de la captura cuyo patrón es similar al obtenido con el método tradicional. Este método iterativo resulta ser una herramienta de alternativa frente a restricciones del uso del método tradicional.

1. INTRODUCCION

La composición de edad de la captura constituye un dato de entrada relevante en la aplicación de los métodos tradicionales de evaluación de stock que se basan en la estructura etaria de la captura.

Para obtener la composición de la captura por edad, el método tradicional de construcción de la clave longitud-edad (CLE) desarrollado por Fridriksson (1934) sigue siendo un método frecuentemente usado; sin embargo, una de las principales limitantes de la CLE radica en que ésta no puede ser empleada para aplicarse a distribuciones de longitud de otras áreas o períodos distintos de la cual fue extraída la muestra (Kimura, 1977; Westrheim and Ricker, 1978). Frente a esta situación, hay desarrollos alternativos interesantes para construir claves longitud-edad mediante algoritmos iterativos (CLEI) (Kimura and Chikuni, 1987; Hoenig and Heisey, 1987).

En el presente trabajo se usa el modelo formulado por Hoenig and Heisey con el método iterativo EM (Dempster *et al.*, 1977) para estimar la composición por edad de la captura en el caso de la nueva pesquería de *Dissostichus eleginoides* que se desarrolla en el sur de Chile. La gran ventaja del método iterativo en ésta aplicación es que, disponiendo sólo de una clave para el período, es posible reconstruir la composición de la captura por edad mes a mes, permitiendo de esta manera efectuar un seguimiento más estricto del impacto de la actividad extractiva, situación que puede incluso ser casi instantánea a la obtención de la distribución de frecuencias de longitud del mes o período de interés.

2. METODO

La estructura del modelo de Hoenig and Heisey (1987), se corresponde con un modelo Log-Linear en el que se usa el algoritmo EM para cálculos iterativos de estimaciones máximo - verosímiles. Este tipo de algoritmo ha sido también empleado por Kimura and Chikuni (1987) y discutido con más detalle en Akamine and Matsumiya (1992).

El algoritmo EM consiste en usar una etapa E de esperanza seguido de una etapa M de maximización, cuando los datos son considerados como información incompleta. Esta última condición está presente en el modelo, dado que en la muestra de longitudes extraída del muestreo de la captura, los datos sólo se clasifican por categorías de longitud, omitiéndose la correspondiente lectura de edad, las que deberán ser estimadas con la clave longitud-edad previamente construida.

El modelo sostiene el supuesto que la tasa de clasificación o distribución de probabilidad a la edad $P(i/j)$ de que un individuo de la edad j ($j = 1, \dots, a$) se encuentre en la longitud i ($i = 1, \dots, n$), sean iguales tanto, en la primera muestra ($k = 1$) usada para estimar la clave longitud-edad como, en la segunda muestra ($k = 2$) usada para estimar la distribución de longitudes, es decir:

$$P(i/j)_{k=1} = P(i/j)_{k=2}$$

La función de distribución del modelo propuesto se ajusta a una multinomial dada por

$$f(\{n_{ijk}\} | \{P_{jk}\}) = \prod_{k=1}^2 \frac{n_{..k}!}{n!} \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^a (P(i/j) P_{jk})^{n_{ijk}}$$

Tanto $P(i/j)$, la distribución de longitud a la edad, como P_{j2} , probabilidad a la edad j en la segunda muestra deben ser estimadas por el modelo. $P(i/j)$ incorpora la información proporcionada por las dos muestras a la estimación. Las cantidades n_{ijk} y $n_{..k}$, representan las frecuencias observadas por categorías de longitud i a la edad j en la muestra k y la frecuencia total en la muestra k , respectivamente.

3. ALGORITMO EM DE HOENIG AND HEISEY

3.1 Indices

$i = 1, 2, \dots, n$	Categorías de longitud
$j = 1, 2, \dots, a$	Categorías de edad
$k = 1, 2$	Muestras
$s = 1, 2, \dots$	Iteraciones
.	Suma sobre índices

3.2 Parámetros

n_{ij2} :	Número estimado de peces de longitud i de edad j en la segunda muestra
n_{ij1} :	Número de peces de longitud i de edad j en la primera muestra
$\hat{P}(i/j)$:	Probabilidad condicional estimada a la longitud i dada la edad j
\hat{P}_{j2} :	Probabilidad estimada a la edad j en la segunda muestra
L:	Logaritmo de la función de verosimilitud, sin incluir términos constantes

3.3 Etapas del algoritmo

$$n_{ij2}^{(g)} = \frac{n_{i.2} n_{ij1}}{n_{i.1}} \tag{1}$$

$$\hat{P}(i/j)^{(s+1)} = \frac{(n_{ij1} + \hat{n}_{ij2}^{(s)})}{(n_{.j1} + \hat{n}_{.j2}^{(s)})} \quad (2)$$

$$\hat{P}_{j2}^{(s+1)} = \frac{\hat{n}_{.j2}^{(s)}}{n_{.2}} \quad (3)$$

$$\hat{n}_{ij2}^{(s+1)} = \frac{\hat{P}(i/j)^{(s+1)} \hat{n}_{.j2}^{(s)} n_{i.2}}{\sum_{j=1}^a \hat{P}(i/j)^{(s+1)} \hat{n}_{.j2}^{(s)}} \quad (4)$$

$$D = |L^{(s+1)} - L^{(s)}| \quad (5)$$

$$\{\hat{P}_j\} = \hat{P}_{j2}^{(s)} \quad (6)$$

En la etapa 5, si D no es menor que una magnitud de error máxima permitida, el algoritmo debe volver a la etapa 2.

El término L del logaritmo de la función de verosimilitud a maximizar sin incluir términos constantes, está dado por

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^a n_{ij1} \log(\hat{P}(i/j)P_{j1}) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^a \hat{n}_{ij2} \log(\hat{P}(i/j)\hat{P}_{j2})$$

4. APLICACION EN EL RECURSO *DISSOSTICHUS ELEGINOIDES*

Entre los meses de septiembre de 1991 y junio de 1992, en el área del Pacífico Oriental entre los paralelos 47° y 57°LS, se realizó una prospección exhaustiva con la participación de una flota de 10 barcos palangreros factoría, buscando un compromiso entre los objetivos de una pesca comercial y la adquisición de datos que aporte a la evaluación de la pesquería. El estudio fue ejecutado por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) y empresas pesqueras nacionales, a solicitud de la Subsecretaría de Pesca, con objeto de evaluar el recurso *D. eleginoides* en la perspectiva de expandir nuevas opciones de explotación de la Pesquería Demersal Sur Austral.

Los datos colectados por personal técnico del IFOP a bordo de las embarcaciones, permitieron disponer de muestras de escamas para lecturas de edad y de frecuencias de longitud de la captura en el período cubierto. El muestreo de escamas se basó en un muestreo aleatorio estratificado por categorías de longitud, leyéndose un total de 3.655 escamas.

En la captura de bacalao aparecieron representados 18 grupos de edad, que van desde el grupo 3 al 20. El rango de edades de los machos fluctuó entre 3 y 16 años, observándose una mayor frecuencia en los 11 años. Por su parte en las hembras, fluctuó entre los 3 y 20 años y la moda estuvo en el grupo de edad 12. En general se aprecia que los machos son más abundantes en la captura hasta la edad 13; en tanto, en las edades superiores el predominio de las hembras es evidente.

El análisis se efectuó sin diferenciar por sexo, teniendo en consideración que el crecimiento entre machos y hembras no presenta diferencias significativas (Young *et al.*, 1992).

La figura 1 muestra la distribución de frecuencias y la composición de la captura por edad en cada uno de los meses de estudio, obtenida con el modelo de Hoenig and Heisey. Se deduce que no todas las clases de edad estuvieron soportando igual esfuerzo de pesca o proporcionalmente el mismo en cada mes. En efecto, durante los 3 primeros meses la pesca de investigación, se aprecia una mayor proporción de ejemplares juveniles en la captura, período en el cual la flota operó a menor profundidad donde la proporción de ejemplares pequeños es mayor, debido a la estratificación por talla que presenta el recurso en sentido batimétrico (Young *et al.*, op cit).

La distribución total de la composición de edades de la captura para el período, se obtuvo como producto de la suma de cada mes a la respectiva edad.

La comparación de la composición de la captura por edad obtenida por el modelo iterado y el tradicional, muestra diferencias en las distribuciones (tabla 1; figura 2); no obstante, las diferencias por efecto de aplicar estos dos métodos distintos no indican la presencia de un "error estructural" importante (Rivar, 1989).

5. DISCUSION

Los resultados indican que el método propuesto constituye una alternativa interesante de explorar, principalmente en pesquerías para las cuales no existe información de clave longitud-edad para cada período y/o zona de pesca.

Este método presenta ventajas interesantes respecto al tradicional. De hecho, este método permite sin incrementar los costos que significaría obtener una clave mensual longitud-edad, reconstruir la composición por edad de la captura mensualmente y realizar un seguimiento estricto del comportamiento de la captura. Además, permite proyectarse a zonas y áreas aún más localizadas, siempre que se disponga de una adecuada distribución de frecuencia de longitud y matriz de clasificación $P(i/j)$. Si la especie no sufre alteraciones importantes en la matriz $P(i/j)$ de un período a otro, es posible mantenerla y aplicarla recursivamente (Robotham *et al.*, en prensa).

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es un resultado de aplicación de un proyecto de investigación sobre métodos de construcción de claves longitud-edad iteradas, financiado por la Universidad Diego Portales.

BIBLIOGRAFIA

- AKAMINE, T. and Y. MATSUMIYA. 1992. Mathematical analysis of age-length key method for estimating age composition from length composition. *Bull. Japan Sea Natl. Fish. Res. Inst.*, 42: 17-24.
- DEMPSTER, A.P., N.M. DAVID and D.B. RUBIN. 1977. Maximum likelihood via the EM algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Methodological*, 39: 1-22.
- FRIDRIKSSON, A. 1934. On the calculation of age distribution within a stock of cod by means of relatively few age determinations as a key to measurements on a large scale. *Rapports et Procés Verbaux des Reunions, Conseil International pour Exploration de la Mer*, 86: 1-14.
- HOENIG, J.M. and D.M. HEISEY. 1987. Use of a log-linear model with the EM algorithm to correct estimates of stock composition and to convert length to age. *Trans. of the American Fisheries Society*, 116: 232-243.

- KIMURA, D.K. 1977. Statistical assesment of the age-length key. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 34: 317 - 324.
- KIMURA, D. and S. CHIKUNI. 1987. Mixtures of empirical distributions: an iterative application of the age-length key. *Biometrics*, 43: 23-35.
- RIVAR, D. 1989. Overview of the systematic, structural and sampling errors in cohort analysis. *American Fisheries Society Symposium*, 6: 49-65.
- ROBOTHAM, H., V. OJEDA y W. ARANDA. 1993. Aplicación del algoritmo EM en claves longitud-edad para estimar la distribución de edad de la captura de *Merluccius australis*. En prensa.
- WESTRHEIM, S.J. and RICKER, W.E. 1978. Bias in using an age-length key to estimate age-frequency distributions. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 35: 184-189.
- YOUNG, Z., A. ZULETA, H. ROBOTHAM, M. AGUAYO y L. CID. 1992 Evaluación del stock de bacalao de profundidad entre las latitudes 47° y 57°S, Chile. *Informe Técnico Instituto de Fomento Pesquero*: 63 pp. y anexos.

Tabla 1: Composición de edad de la Captura de *D. eleginoides*, empleando el Método Iterado y el Método Tradicional

Edad	Método			
	Iterado	%	Tradicional	
3	485	0,06	788	0,09
4	3846	0,44	6890	0,78
5	13280	1,51	11605	1,32
6	18017	2,05	18003	2,05
7	18451	2,09	28664	3,26
8	42519	4,83	55122	6,26
9	83937	9,52	85562	9,72
10	116126	13,18	106982	12,16
11	129356	14,69	122082	13,88
12	145641	16,54	134447	15,28
13	105385	11,97	108287	12,31
14	79372	9,01	82075	9,33
15	56400	6,4	57512	6,54
16	32309	3,67	29262	3,33
17	18416	2,09	16816	1,91
18	14378	1,63	12631	1,44
19	1796	0,20	1760	0,20
20	1058	0,12	1378	0,16
Total	880772	100,00	879866	100,00

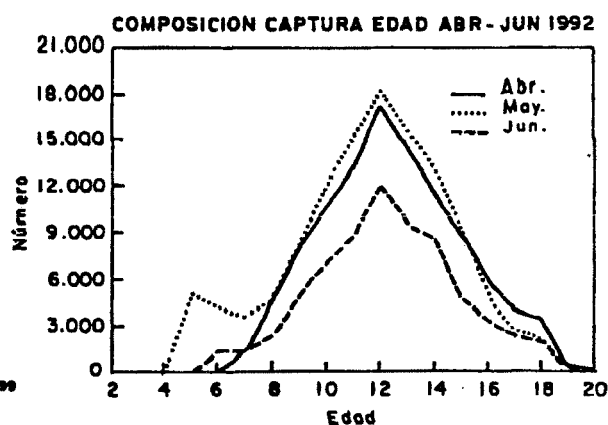
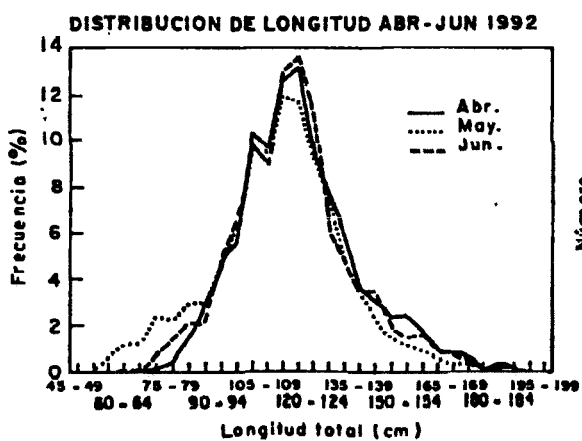
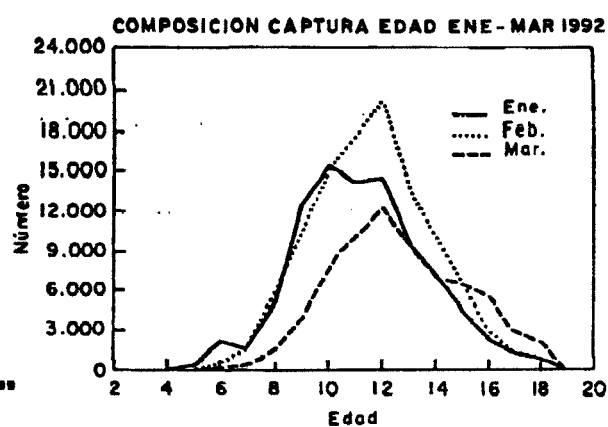
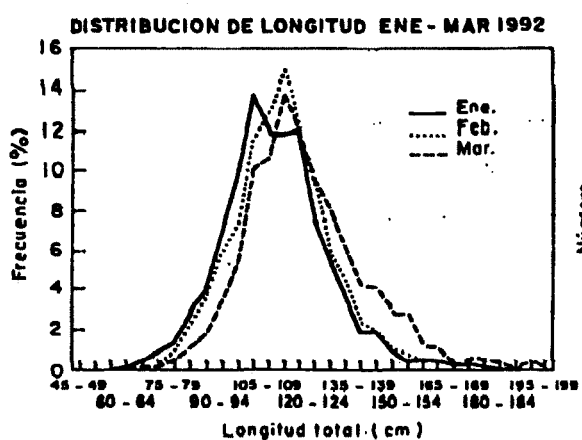
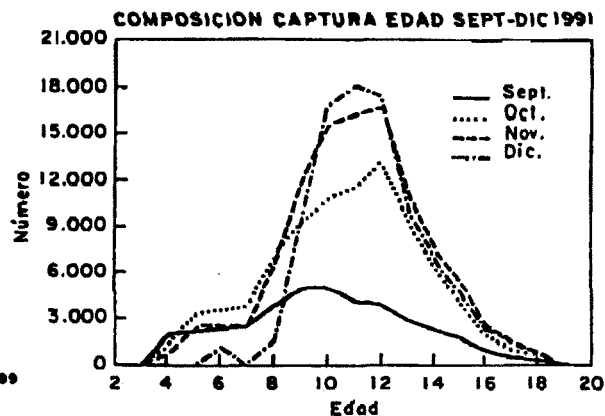
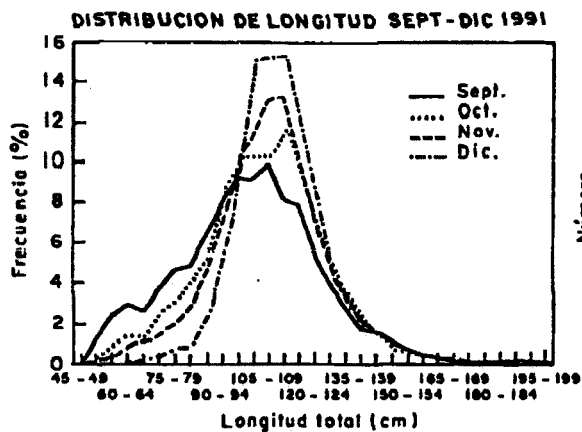


Figura 1: Composición por talla y edad de la captura de *Dissostichus eleginoides*. Sept. 1991 - Junio 1992.

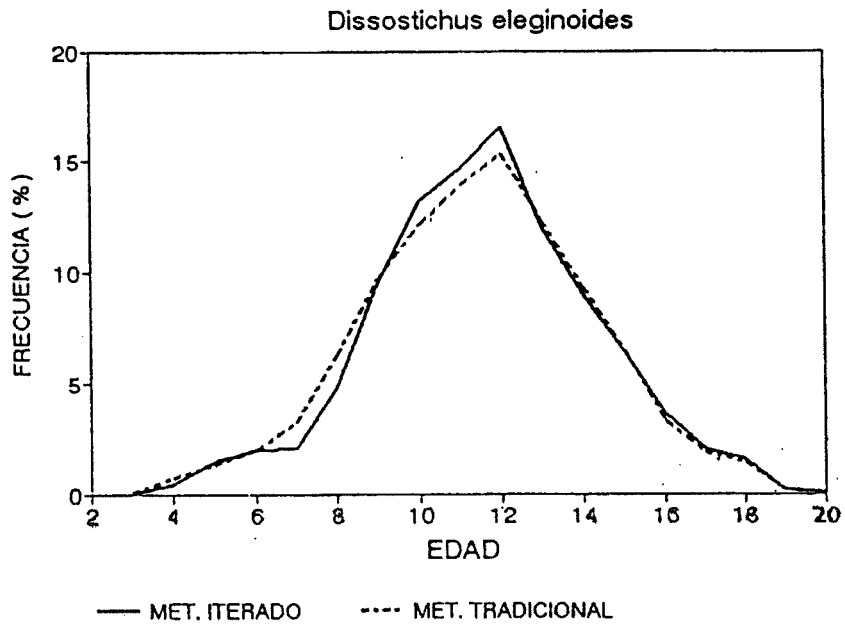


Figura 2: Composición de la captura por grupo de edad.

List of Tables

Table 1: Age composition of *D. eleginoides* catches obtained by using iterative and traditional methods.

List of Figures

Figure 1: Age/length composition of *D. eleginoides* catches.

Figure 2: Age composition of *D. eleginoides* catches obtained by using iterative and traditional methods. September 1991 to June 1992.

Légende des tableaux

Tableau 1: Composition des classes d'âges des captures de *D. eleginoides* obtenue par les méthodes itérative et traditionnelle.

Légende des figures

Figure 1: Composition âges/longueurs des captures de *D. eleginoides*.

Figure 2: Composition des classes d'âges des captures de *D. eleginoides* obtenue par les méthodes itérative et traditionnelle. De septembre 1991 à juin 1992.

Список таблиц

Таблица 1: Возрастной состав в уловах *D. eleginoides* с использованием итеративных и традиционных методов вычисления.

Список рисунков

Рисунок 1: Размерно-возрастной состав в уловах *D. eleginoides*.

Рисунок 2: Возрастной состав в уловах *D. eleginoides* с использованием итеративных и традиционных методов вычисления. Сентябрь 1991 - июнь 1992 г.