

8 MODELOS PREDICTIVOS

Los rendimientos a futuro y los niveles de biomasa de los stocks se pueden predecir por medio de modelos matemáticos que son similares a aquellos, ya mencionados, de análisis de población virtual, APV, y del análisis de cohortes (véase el Capítulo 5). Las fórmulas matemáticas utilizadas para los análisis de APV y cohorte, que analizan la historia de una pesquería, pueden ser transformados de tal manera que el conocimiento del pasado puede ser utilizado para pronosticar los rendimientos a futuro y las biomásas a diferentes niveles de esfuerzo de pesca. En otras palabras, estos modelos pueden ser usados para pronosticar los efectos de las medidas de desarrollo y manejo, tales como incrementos o reducciones de las flotas pesqueras, cambios en el tamaño mínimo de las mallas, cierre de temporadas, cierre de áreas, etc. Por lo tanto, estos modelos constituyen un enlace directo entre la evaluación de stocks de peces y el manejo de recursos pesqueros.

Los modelos de predicción también pueden incorporar aspectos relativos a precios y valor de la captura, lo que los hace apropiados como base para efectuar análisis bioeconómicos, donde se incorporan datos biológicos y económicos para predecir futuros rendimientos, niveles de biomasa y valor de la captura bajo todo tipo de supuestos. Este capítulo contiene sólo una introducción muy básica a los aspectos bioeconómicos, y para una mayor profundidad de estudio el lector puede consultar a Sparre y Willmann (1992).

Los primeros modelos predictivos fueron desarrollados ya en los años treinta por Thompson y Bell (1934). Sin embargo, debido al gran número de cálculos requeridos, el llamado "*modelo de Thompson y Bell*" no alcanzó gran popularidad sino hasta que se introdujo el uso de computadoras.

Entre tanto, un modelo más simple, basado en supuestos rigurosos y, por consiguiente, requiriendo mucho menos cálculos fue desarrollado por Beverton y Holt (1957). Su modelo de "*Rendimiento por recluta*" fue ampliamente utilizado, pero más recientemente ha sido reemplazado por el modelo de Thompson y Bell en aquellas regiones donde se está aplicando el APV y el análisis de cohorte.

El modelo de rendimiento por recluta de Beverton y Holt puede ser considerado como una aplicación especial del modelo de Thompson y Bell. Esto significa que cualquier conclusión general, derivada de este modelo, también se mantiene para el de Thompson y Bell.

Aunque no es probable que el modelo de Beverton y Holt sea utilizado intensamente en el futuro, ha sido incorporado en este capítulo por razones históricas y didácticas. El modelo de rendimiento por recluta es apropiado para calculadoras y, por lo tanto, para la demostración de ciertos aspectos relativos a la evaluación de stocks de peces. La segunda parte de este capítulo (Secciones 8.6 a 8.8) trata el modelo de Thompson y Bell, en base a edad y en base a las tallas, y la relación del modelo con algunos aspectos de la selectividad de los artes de pesca.

El propósito final del uso de los modelos predictivos es el proveer a los responsables del manejo de los recursos pesqueros con información sobre los efectos biológicos y/o económicos de la pesca sobre los stocks. Se espera que los administradores tomen las medidas que conducirán a un nivel de explotación de los recursos donde se obtiene el rendimiento máximo, ya sea en sentido biológico o económico sobre una base sustentable, es decir, sin causar daño a los stocks que pudiera afectar los rendimientos futuros.

Los administradores deberían tratar de prevenir situaciones en que la presión de pesca llega a ser muy alta, por la que se llega a la "*sobrepesca*" de los stocks. Por lo general, no es posible predecir con exactitud los rendimientos futuros, porque los stocks rara vez están en "estado latente", situación que se supone que existe para la aplicación de muchos modelos. Ha sido demostrado que la

abundancia de ciertos stocks, en particular de las especies pelágicas pequeñas que ocurren en áreas de surgencia, depende en gran medida de factores ambientales que están fuera del control de cualquier interferencia humana (Sharp y Csirke, 1984). En tales casos, el valor predictivo de los modelos que se describen más adelante, es prácticamente nulo. Sin embargo, en el caso de algunas pesquerías pelágicas y de la mayoría de las pesquerías demersales de peces y camarones, los modelos han probado ser extremadamente útiles.

Antes de profundizar en estos dos modelos, vale la pena considerar primeramente el modelo más simple y discutir el concepto de sobrepesca.

El modelo clásico que describe la pesquería sobre un stock en particular, es el proporcionado por Russell (1931). El modelo tiene la forma de una “caja negra” que representa lo que Ricker (1975) ha definido como “stock utilizable”: el peso de todos los peces que son más grandes de la talla mínima útil. Los datos de entrada al stock utilizable son el peso de los nuevos reclutas y el crecimiento de los peces que ya forman parte del stock. Los datos de salida son las muertes por causas naturales y el rendimiento (captura en peso) de la pesquería.

En un stock no sometido a pesca, la combinación de datos de entrada son, en promedio, iguales a la remoción de biomasa por muertes naturales. Por otra parte, cuando una población es sometida a pesca, ésta tiene efecto sobre todos los otros factores; habrá una mayor tasa de reclutamiento, una mayor tasa de crecimiento y una reducida tasa de muertes naturales. Esto es porque la pesca crea “espacio” para una mayor cantidad de nuevos reclutas, extrae los peces grandes de crecimiento lento que son reemplazados por peces pequeños de crecimiento rápido, y remueve peces antes que estos puedan morir de viejos o por otras causas naturales. Por lo tanto, una pesquería tiene un efecto estimulante sobre la producción de peces, siempre y cuando se le dé al stock suficiente tiempo para ajustarse a la nueva situación y en tanto la presión de pesca no llegue a ser demasiado intensa. Cuando ocurre una situación de “sobrepesca”, la salida bajo la forma de muertes causadas por pesca afecta las entradas, primero el crecimiento individual de los peces y cuando llega a ser muy severa también afecta el reclutamiento. Por lo tanto, hay dos tipos de sobrepesca: “*sobrepesca por crecimiento*” y “*sobrepesca por reclutamiento*”. La sobrepesca de crecimiento ocurre cuando el esfuerzo es tan alto que el rendimiento total disminuye al aumentar el esfuerzo. Los peces son capturados antes de que puedan crecer hasta alcanzar una talla lo suficientemente grande como para contribuir substancialmente a la biomasa. En general, en términos biológicos es razonable decir que un stock ha sido sobrepescado por crecimiento si F excede al F_{RMS} (véase la Fig. 8.2.3). El término “biológico” es utilizado en la frase anterior para indicar que se está considerando únicamente el rendimiento medido en unidades de peso. De este modo, la valorización del rendimiento y el costo de la pesca no esta siendo considerado en esa definición.

Para poder entender el concepto de sobrepesca por efecto del reclutamiento es necesario considerar primeramente la relación existente entre el reclutamiento y la biomasa del stock desovante, como se ilustra en la Fig. 8.0.1. Como se indica por medio de signos de interrogación, esta relación no está bien comprendida. El único punto que se conoce con seguridad es (0,0), es decir, cuando no hay stock parental no puede haber descendencia. Es entonces razonable suponer que a niveles bajos de stock parental hay una relación lineal positiva directa con el número de descendencia o reclutamiento. Bajo condiciones normales, tal condición de relación “lineal” directa no se nota, pero cuando ocurre, significa que el stock parental ha descendido a un nivel muy bajo y en tal caso se habla de sobrepesca de reclutamiento.

8.1 SUPUESTOS Y MODELOS SUBYACENTES EN EL MODELO DE RENDIMIENTO POR RECLUTA DE BEVERTON Y HOLT

El modelo de rendimiento por recluta (Beverton y Holt, 1957) es en principio un “*modelo de equilibrio*”, vale decir, un modelo que describe el estado del stock y el rendimiento en una situación, cuando el patrón de pesca ha sido el mismo por tanto tiempo que todos los peces vivos han sido expuestos a

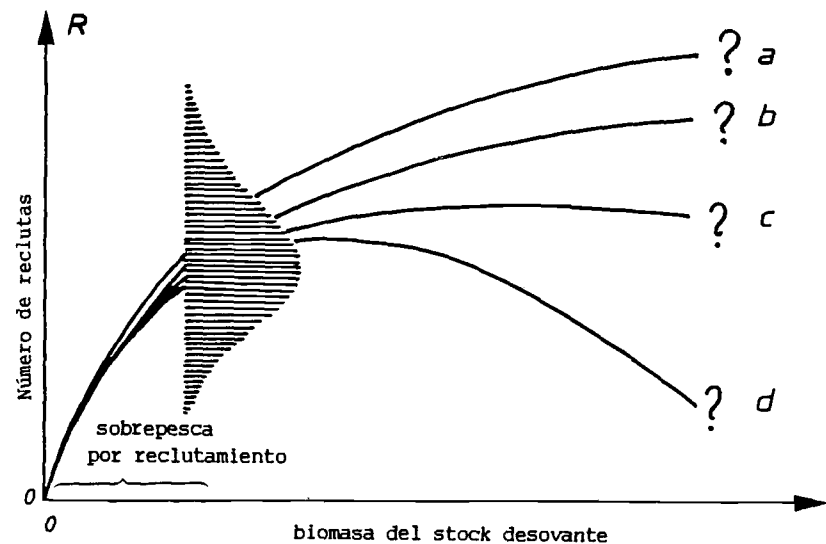


Fig. 8.0.1 La relación stock-reclutamiento en conexión con el concepto de “sobrepesca por reclutamiento”.

éste desde que fueron reclutados. Hay extensiones al modelo en relación con la fase transitoria después de un cambio en el patrón de pesca, pero rara vez se utilizan porque los modelos del tipo Thompson y Bell (Secciones 8.6 a 8.8) proveen de una descripción más simple en aquellas situaciones en que no hay equilibrio.

Los rigurosos supuestos bajo el modelo de aproximación de Beverton y Holt son:

1. El reclutamiento es constante, aún cuando no se especifica
2. Todos los peces de una cohorte nacen en la misma fecha
3. El reclutamiento y la selección son instantáneos, es decir tipo “*filo de cuchillo*” (véase el Capítulo 6)
4. Las mortalidades, naturales y por pesca, son constantes desde el momento de entrada a la fase de explotación
5. Dentro del stock la mezcla es completa
6. La relación talla-peso (Ec. 2.6.1) tiene exponente 3, es decir, $W = q \cdot L^3$.

Bajo el modelo de Beverton y Holt subyace el modelo de extinción exponencial que fue introducido en la Sección 4.2 y que matemáticamente fue expresado mediante la Ec. 4.2.2. Las definiciones y terminología introducida en la Sección 4.1 son también aplicables al modelo de Beverton y Holt (por ejemplo, T_c , T_r , $R = N(T_r)$).

La historia de vida supuesta para una cohorte cualquiera, de acuerdo al modelo de Beverton y Holt, según se muestra en la Fig. 8.1.1, es como sigue:

- 1) A la edad T_r todos los peces que pertenecen a una cohorte dada, se reclutan a la zona de pesca al mismo tiempo: “*reclutamiento filo de cuchillo*”.
- 2) Desde la edad T_r hasta la edad T_c la cohorte no está expuesta a la mortalidad por pesca. (Se supone que todos los peces con edades entre T_r y T_c escapan a través de las mallas, si es que entran a las redes). Así, en ese período sólo son afectados por la mortalidad natural, M , que se supone permanece constante a través de toda la vida de la cohorte.

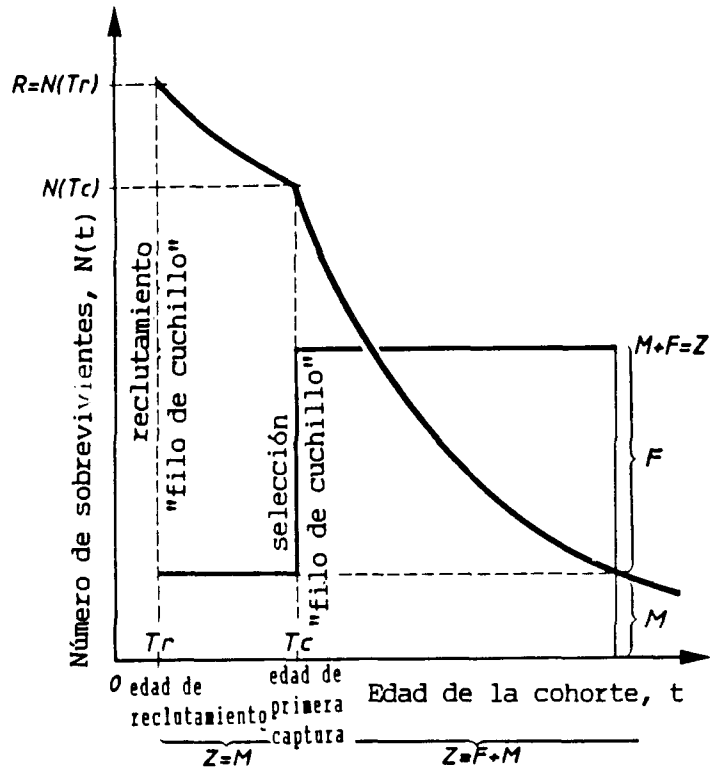


Fig. 8.1.1 Historia de vida de una cohorte según el modelo de Beverton y Holt.

- 3) A la edad T_c , la "edad de primera captura", se supone que la cohorte está súbita y totalmente expuesta a la mortalidad por pesca, F , que supuestamente permanece constante durante el resto de vida de la cohorte. La curva de selección del arte, de forma sigmoídea, introducida en el Capítulo 6, se aproxima por medio de la llamada "selección tipo filo de cuchillo" (véase la Fig. 6.4.1.1). Se supone, por lo tanto, que la captura de la cohorte es cero hasta que ésta ha alcanzado la edad T_c .

El número de sobrevivientes a la edad T_r corresponde al reclutamiento a la pesquería:

$$R = N(T_r) \quad (8.1.1)$$

El número de sobrevivientes a la edad T_c es:

$$N(T_c) = R \cdot \exp[-M \cdot (T_c - T_r)] \quad (8.1.2)$$

El número de sobrevivientes a la edad t , donde $t > T_c$, es:

$$N(t) = N(T_c) \cdot \exp[-(M+F) \cdot (t - T_c)] = R \cdot \exp[-M \cdot (T_c - T_r) - (M+F) \cdot (t - T_c)]$$

La fracción del reclutamiento total $N(T_r)$ o R que sobrevive hasta la edad t se obtiene, dividiendo ambos lados de la ecuación por R , con lo que se obtiene:

$$N(t)/R = \exp[-M \cdot (T_c - T_r) - (M+F) \cdot (t - T_c)] \quad (8.1.3)$$

Esto significa que la Ec. 8.1.3 da el número de peces en el tiempo t "por recluta", es decir, la fracción de cada pez que se reclutó a la pesquería.

El otro modelo subyacente al modelo de Beverton y Holt es la "ecuación de captura" bajo la forma de la Ec. 4.2.10, como se explica en la siguiente sección.

8.2 MODELO DE RENDIMIENTO POR RECLUTA DE BEVERTON Y HOLT

Para derivar la expresión matemática del modelo de rendimiento por recluta de Beverton y Holt se toma, como de costumbre, un punto de partida en la ecuación de captura bajo la forma de la Ec. 4.2.10:

$$C(t,t+\Delta t) = \Delta t * F * N(t) \quad (8.2.1)$$

La Ec. 8.2.1 entrega el número de peces capturados de una cohorte en el período de tiempo de t a $t+\Delta t$, cuando Δt es pequeño. Para obtener el rendimiento en peso correspondiente, este número se debe multiplicar por el peso individual del pez. Si Δt es pequeño, entonces el peso de un pez permanecerá aproximadamente constante durante el período de tiempo que media entre t y $t+\Delta t$, y el rendimiento será:

$$Y(t,t+\Delta t) = \Delta t * F * N(t) * w(t) \quad (8.2.2)$$

donde $w(t)$ es el peso de un pez de t años de edad, del modo en que se definió de acuerdo a la ecuación de von Bertalanffy (Ec. 3.1.2.1). Para obtener el rendimiento por recluta para el período de tiempo t a $t+\Delta t$, se divide la Ec. 8.2.2 por el número de reclutas, R :

$$\frac{Y(t,t+\Delta t)}{R} = F * \frac{N(t)}{R} * w(t) * \Delta t \quad (8.2.3)$$

donde $N(t)/R$ se define por la Ec. 8.1.3.

La Ec. 8.2.3 es el “modelo de Beverton y Holt para un período de tiempo corto”. Para obtener el rendimiento total por recluta para toda la vida de la cohorte, Y/R , se deben sumar todas las pequeñas contribuciones definidas por la Ec. 8.2.3 :

$$\begin{aligned} Y/R &= Y(T_c, T_c+\Delta t)/R + Y(T_c+\Delta t, T_c+2\Delta t)/R + \\ &Y(T_c+2\Delta t, T_c+3\Delta t)/R + Y(T_c+3\Delta t, T_c+4\Delta t)/R + \\ &Y(T_c+4\Delta t, T_c+5\Delta t)/R + Y(T_c+5\Delta t, T_c+6\Delta t)/R + \\ &\dots \\ &\dots \\ &+ Y(T_c+(n-1)*\Delta t, T_c+n*\Delta t)/R \end{aligned}$$

donde “ n ” es algún número grande, tan grande que el número de peces más viejos que $T_c+n*\Delta t$, vale decir, $N(T_c+n*\Delta t)$, es tan pequeño que puede ser ignorado.

El próximo paso, es convertir la suma escrita más arriba en una forma que sea fácilmente calculable. Si el número de términos, n , en la suma es elevado (y debe ser grande para que la aproximación para $w(t)$ sea razonable), tomará mucho tiempo hacer esta operación. Sin embargo, utilizando una larga serie de derivaciones matemáticas, cuya explicación está fuera del propósito de este manual, se puede demostrar que la suma de arriba se puede escribir de un modo más conveniente como:

$$Y/R = F * \exp[-M*(T_c - T_r)] * W_\infty * \left[\frac{1}{Z} - \frac{3S}{Z+K} + \frac{3S^2}{Z+2K} - \frac{S^3}{Z+3K} \right] \quad (8.2.4)$$

donde:

$$\begin{aligned} S &= \exp[-K*(T_c - t_0)] \\ K &= \text{parámetro de crecimiento de von Bertalanffy} \\ t_0 &= \text{parámetro de crecimiento de von Bertalanffy} \\ T_c &= \text{edad de primera captura} \end{aligned}$$

| | |
|----------------|-------------------------|
| Tr | = edad al reclutamiento |
| W _∞ | = peso asintótico |
| F | = mortalidad por pesca |
| M | = mortalidad natural |
| Z | = F+M, mortalidad total |

La Ec. 8.2.4 es el “*modelo de rendimiento por recluta de Beverton y Holt*” (1957) o modelo Y/R, escrito en la forma sugerida por Gulland (1969). Aunque la ecuación parece complicada, es bastante fácil de manejar con una calculadora de bolsillo programable.

Debido a que Beverton y Holt expresan los rendimientos “en base a cada recluta”, los rendimientos son relativos, es decir, relativos al reclutamiento. De esta manera, si un reclutamiento de 100 millones de peces da un rendimiento de 10000 toneladas, entonces, de acuerdo al modelo, 200 millones de reclutas rendirían 20000 toneladas. Este supuesto podría parecer trivial, pero no lo es, ya que uno perfectamente se podría imaginar que cuanto más abundante llegue a ser una especie peores serán las condiciones para los individuos, debido a, por ejemplo, la competencia por el alimento y el canibalismo. Los resultados del modelo se expresan en unidades de rendimiento por recluta (gramos por recluta).

En el ejemplo anterior el rendimiento por recluta es:

$$\frac{10\ 000\ 000\ 000}{100\ 000\ 000} = 100 \text{ gramos por recluta}$$

El modelo permite calcular Y/R con diferentes datos de entrada para los distintos parámetros, tales como F y Tc, y entonces evaluar que efecto tienen los diferentes valores de entrada sobre el rendimiento por recluta de la especie que se investiga. Es importante hacer notar aquí que los dos parámetros F y Tc son aquellos que pueden ser controlados por los administradores, porque:

- 1) F es proporcional al esfuerzo (véase la Ec. 4.3.0.7)
- 2) Tc es una función de selectividad del arte

Por lo tanto, Y/R se considera una función de F y Tc. Frecuentemente se verá graficado Y/R contra F (o el esfuerzo).

La Fig. 8.2.1 muestra el resultado de una evaluación del rendimiento, empleando el modelo de rendimiento por recluta. La edad de entrada a la fase de explotación, Tc, se mantiene constante. La variable independiente es el esfuerzo expresado por el coeficiente F de mortalidad por pesca. La variable dependiente es el rendimiento anual en gramos por recluta. Cuando el rendimiento total anual es conocido, en una situación de equilibrio, para un valor dado de F, entonces el número de reclutas se puede calcular dividiendo el rendimiento total por el rendimiento en gramos por recluta.

La “*curva de rendimiento por recluta*” tiene a menudo un máximo: el “*rendimiento máximo sostenible (RMS)*”. La posición de este máximo depende de la edad de primera captura, Tc, la que a su vez depende del tamaño de malla, utilizado en la pesquería.

Cambios en el tamaño de malla, Tc, conducen a diferentes RMS. La Fig. 8.2.2 muestra tres curvas con diferentes Tc. El más alto RMS se alcanza con el valor más alto de Tc, a un nivel de esfuerzo, F, ligeramente más alto. Combinando un rango de valores de Tc con un rango de valores de F, se puede determinar el rendimiento máximo sostenible más alto, válido para una cierta combinación de Tc y F. El término sostenible significa que el rendimiento puede ser mantenido “para siempre”, en tanto las condiciones no cambien. No obstante, se podrían obtener rendimientos aún más altos por un súbito aumento del esfuerzo, pero no se podrían mantener en el tiempo, y tendría que ser seguido por un período de rendimientos mucho más bajos. Todo esto siempre bajo el supuesto que nada más ha cambiado.

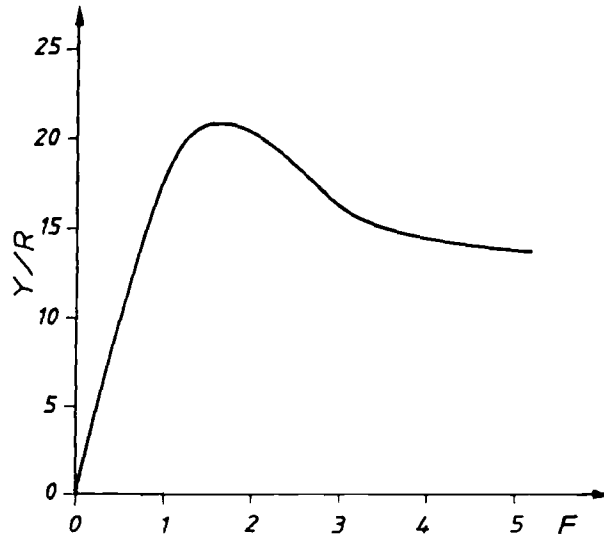


Fig. 8.2.1 Resultado de la evaluación de un stock, utilizando el modelo de rendimiento por recluta.

El modelo Y/R es originalmente un modelo basado en la edad, pero la edad se puede convertir fácilmente a tallas, usando nuevamente los principios de conversión de la curva de captura (véanse las Secciones 4.4.2 y 8.5).

Ejemplo 28: *Y/R como una función de F, para especies tropicales*

A modo de ejemplo se calcula Y/R para *Nemipterus marginatus* como una función de F, utilizando los siguientes parámetros:

$$\begin{array}{lll}
 K = 0.37 \text{ por año} & T_c = 1.0 \text{ año} & t_o = -0.2 \text{ años} \\
 M = 1.1 \text{ por año} & T_r = 0.4 \text{ año} & W_\infty = 286 \text{ gramos}
 \end{array}$$

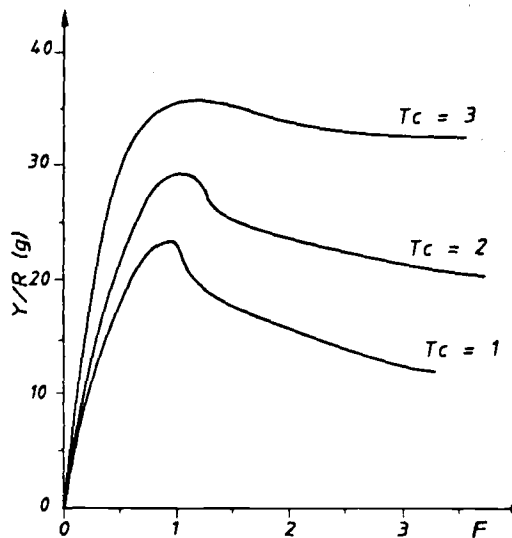


Fig. 8.2.2 Curvas de rendimiento por recluta, obtenidas utilizando diferentes edades de primera captura (Tc).

Se comienza calculando los términos de la Ec. 8.2.4, que son independientes de F:

$$S = \exp[-K*(Tc-t_0)] = \exp[-0.37*(1.0+0.2)] = 0.6415$$

$$3S = 1.9244, 3S^2 = 1.2344, S^3 = 0.2639$$

$$M+K = 1.47, M+2K = 1.84, M+3K = 2.21$$

$$\exp[-M*(Tc-Tr)]*W_\infty = \exp[-1.1*(1.0-0.4)]*286 = 147.8$$

Insertando estos valores en la Ec. 8.2.4 se tiene:

$$Y/R = F*147.8* \left[\frac{1}{F+1.1} - \frac{1.9244}{F+1.47} + \frac{1.2344}{F+1.84} - \frac{0.2639}{F+2.21} \right]$$

Para producir un gráfico correspondiente a la Fig. 8.2.1 esta expresión debe ser evaluada para un rango de valores F, proporcionando un número suficientemente grande de puntos para poder ajustar la curva a ojo.

Por ejemplo, para F = 0.5:

$$\begin{aligned} Y/R &= 0.5*147.8* \left[\frac{1}{0.5+1.1} - \frac{1.9244}{0.5+1.47} + \frac{1.2344}{0.5+1.84} - \frac{0.2639}{0.5+2.21} \right] = \\ &= 0.5*147.8*0.0785 = 5.8 \text{ gramos por recluta} \end{aligned}$$

Repetiendo estos cálculos para diversos valores de F, que van de F = 0 a F = 6.0, se obtienen los resultados que se entregan en la primera y cuarta columna de la Tabla 8.2.1, que han sido utilizados para generar el gráfico que se muestra en la Fig. 8.2.3.

Probando con varios valores de F se encuentra que F = 2.3 da el valor máximo de Y/R, el “Rendimiento Máximo Sostenible por Recluta” (RMS/R):

$$RMS/R = 7.9 \text{ gramos por recluta}$$

TABLA 8.2.1
Rendimiento por recluta y biomasa promedio por recluta de *Nemipterus marginatus* como una función de F. Los parámetros según se indican en la leyenda de la Fig. 8.2.3

| F | Y/R | B/R | B/R como % de Bv | F | Y/R | B/R | B/R como % de Bv |
|-----|------|-----------|------------------|-------|--------|-------|------------------|
| 0.0 | 0 | 22.4 (Bv) | 100 | 1.3 | 7.66 | 5.9 | 26 |
| 0.1 | 1.92 | 19.2 | 86 | 1.5 | 7.79 | 5.2 | 23 |
| 0.2 | 3.33 | 16.7 | 75 | 1.7 | 7.86 | 4.6 | 21 |
| 0.3 | 4.38 | 14.6 | 65 | 1.9 | 7.90 | 4.2 | 19 |
| 0.4 | 5.18 | 13.0 | 58 | 2.1 | 7.92 | 3.8 | 17 |
| 0.5 | 5.79 | 11.6 | 52 | 2.3 # | 7.93 # | 3.5 # | 15 # |
| 0.6 | 6.26 | 10.4 | 46 | 2.5 | 7.92 | 3.2 | 14 |
| 0.7 | 6.62 | 9.5 | 42 | 3.0 | 7.88 | 2.6 | 12 |
| 0.8 | 6.91 | 8.6 | 38 | 4.0 | 7.77 | 1.9 | 8 |
| 0.9 | 7.14 | 7.9 | 35 | 5.0 | 7.66 | 1.5 | 7 |
| 1.0 | 7.32 | 7.3 | 33 | 6.0 | 7.57 | 1.3 | 6 |
| 1.1 | 7.46 | 6.8 | 30 | | | | |

al RMS

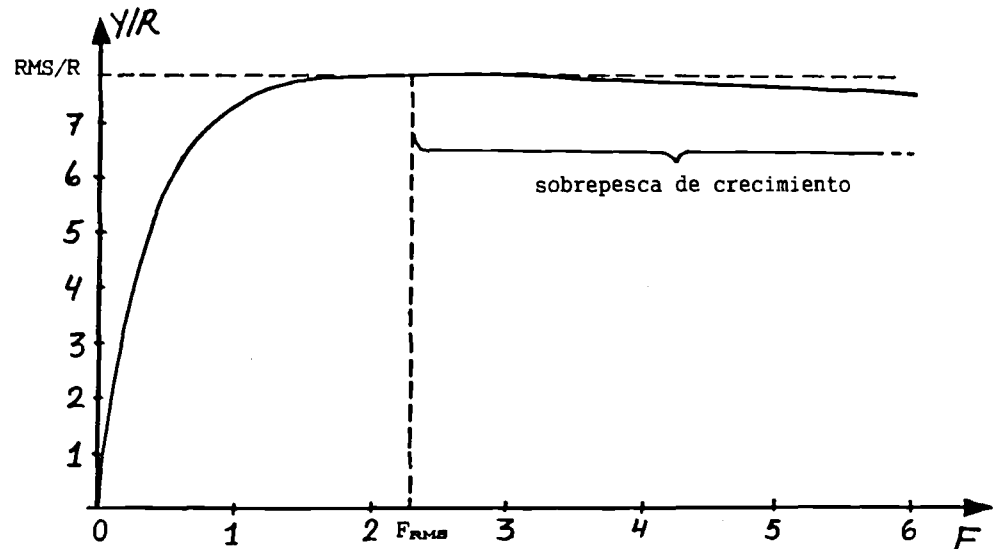


Fig. 8.2.3 Curva de rendimiento por recluta de *Nemipterus marginatus* como una función de F , utilizando los siguientes parámetros:

$$\begin{array}{lll} K = 0.37 \text{ por año} & T_c = 1.0 \text{ año} & t_0 = -0.2 \text{ años} \\ M = 1.1 \text{ por año} & T_r = 0.4 \text{ año} & W_\infty = 286 \text{ gramos} \end{array}$$

que corresponde a la mortalidad por pesca óptima:

$$F_{RMS} = 2.3 \text{ por año (véase la Tabla 8.2.1 y la Fig. 8.2.3).}$$

Debido a que el modelo Y/R supone un sistema de parámetros constante (véase la Sección 4.4.1), los resultados que se leen de la curva sólo son aplicables luego que el sistema ha tenido parámetros constantes por un cierto tiempo. Cuando F es cambiado toma algún tiempo antes que el Y/R sea el predicho por la curva. Cuan prolongado sea este período de cambio depende de la longevidad de la especie en cuestión. De la Tabla 8.2.1 y Fig. 8.2.3 se ve que el nivel de F_{RMS} no se determina con mucha precisión. En realidad, para $F > 1.5$ el Y/R permanece igual para un amplio rango de esfuerzo.

La curva B en la Fig. 8.2.4 es un ejemplo de una curva de Y/R que difiere en su forma de aquella presentada en la Fig. 8.2.3 (que se indica en la figura como curva A). La curva B muestra un máximo pronunciado, teniendo un menor valor de F_{RMS} y un mayor valor de RMS/R en comparación con la curva A. La única diferencia en los valores de entrada entre ambas curvas es el valor de la tasa de mortalidad natural, M , es decir $M = 0.2$ por año en la curva B y $M = 1.1$ por año en la curva A. Las conclusiones que se pueden sacar de las diferencias entre estas dos curvas son las siguientes:

1. Un valor de M más bajo produce un F_{RMS} inferior y un RMS/R más alto, mientras que niveles de esfuerzo de pesca por sobre F_{RMS} conducen a una severa reducción del rendimiento total.
2. Si M es alta es difícil estimar F_{RMS} por medio de la curva Y/R .

Estas conclusiones son la consecuencia lógica del efecto del nivel de mortalidad natural, M , sobre la producción de biomasa.

Si M es alta, los peces muy pronto alcanzarán la edad en que las pérdidas causadas por la mortalidad natural exceden la ganancia en biomasa debida al crecimiento. Por lo tanto, F tiene que ser alto para capturar los peces antes que mueran por causas naturales.

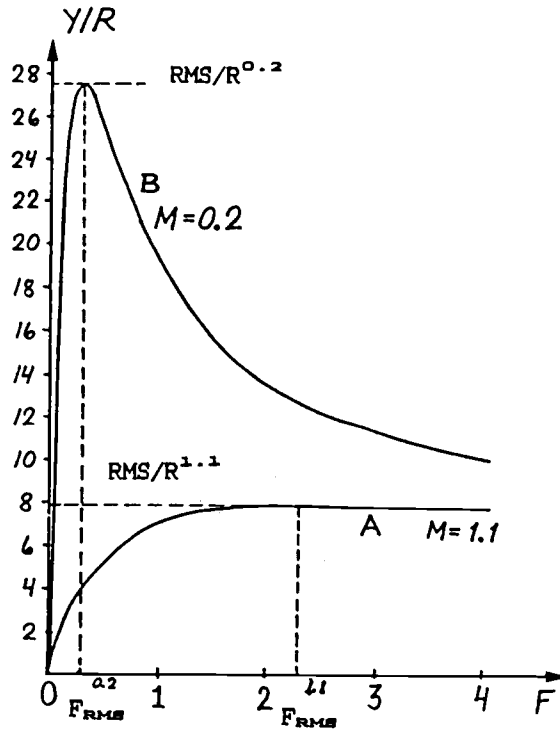


Fig. 8.2.4 Curva de rendimiento por recluta como una función de F , utilizando los siguientes parámetros:

| | | |
|----------------------|-------------------------|------------------|
| A: $M = 1.1$ por año | B: $M = 0.2$ por año | |
| $K = 0.37$ por año | $T_c = 1.0$ años | $t_0 = -0.2$ año |
| $r = 0.4$ año | $W_\infty = 286$ gramos | |

Si M es baja la ganancia en biomasa debido al crecimiento excederá las pérdidas causadas por la mortalidad natural para una gran parte del ciclo de vida de la cohorte. En este caso, es rentable dejar que los peces crezcan hasta alcanzar tallas más grandes, lo que significa que para lograr una explotación óptima F debiera ser bajo.

En algunos casos (véase el Ejercicio 8.3), la curva Y/R ni siquiera presenta un máximo y una persona sin experiencia podría llegar a la conclusión errónea que el esfuerzo debiera ser incrementado indefinidamente. En tales casos, que son comunes en las pesquerías tropicales, se recomienda observar también la curva de biomasa por recluta (B/R), que se introduce en la siguiente sección. Las dos curvas proveen diferente información y es, por lo tanto, recomendable graficarlas siempre juntas.

El Y/R como una función de T_c , la edad de primera captura, está estrechamente relacionado con la estimación del tamaño óptimo de malla (véase la Fig. 8.2.2 y los Ejercicios 8.3 y 8.4).

8.3 MODELO DE BIOMASA POR RECLUTA DE BEVERTON Y HOLT

El modelo de biomasa por recluta de Beverton y Holt expresa la biomasa promedio anual de los sobrevivientes en función de la mortalidad por pesca (o esfuerzo). La biomasa promedio está relacionada con la captura por unidad de esfuerzo (véase la Sección 4.3). La Ec. 4.3.0.2 expresa la relación entre la CPUE y el número de individuos capturado, $CPUE(t) = q \cdot N(t)$, el que multiplicado por el peso de los ejemplares a ambos lados da:

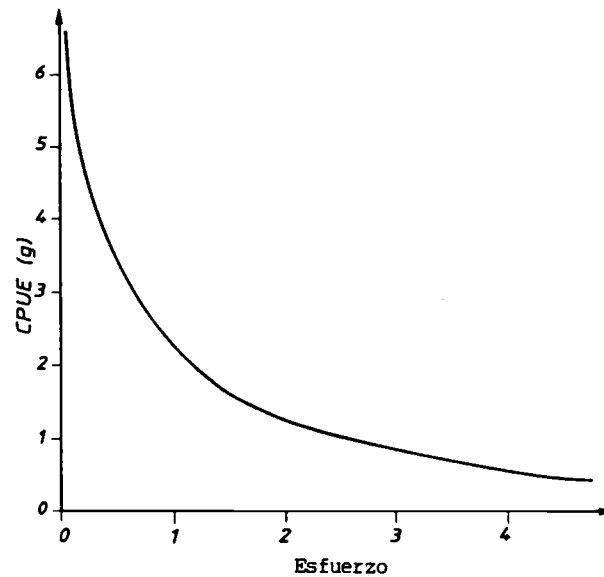


Fig. 8.3.1 Curva de CPUE (en peso) en función del esfuerzo.

$$CPUE(t) * w(t) = q * N(t) * w(t)$$

o si $N(t) * w(t)$ se reemplaza por $B(t)$, el símbolo para biomasa:

$$CPUEw(t) = q * B(t) \quad (8.3.1)$$

donde $CPUEw$ es el "peso de la captura por unidad de esfuerzo". Así, se espera que la biomasa muestre la misma declinación con el aumento del esfuerzo de pesca que muestra la curva de $CPUEw$ en la Fig. 8.3.1.

La captura en números por año se puede expresar como:

$$C = F * \bar{N}$$

(véase la Ec. 4.2.8 con $t_2 - t_1 = 1$ año). Por medio de un argumento similar se puede demostrar que el rendimiento por año es:

$$Y = F * \bar{B}$$

donde \bar{B} es la biomasa promedio en el mar durante un año. Se sigue que:

$$\frac{\bar{B}}{R} = \frac{Y}{R} * \frac{1}{F}$$

Debido a que se supone un sistema de parámetros constante (véase la Sección 4.4.1) el rendimiento de un stock durante un año es igual al rendimiento de una sola cohorte durante su ciclo de vida.

Por lo tanto, se tiene la siguiente relación simple entre Y/R (Ec. 8.2.4) y la biomasa promedio por recluta, \bar{B}/R :

$$Y/R = F * \bar{B}/R \quad (8.3.2)$$

La fórmula utilizada para calcular \bar{B}/R es la misma que la Ec. 8.2.4, dividida por F:

$$\bar{B}/R = \exp[-M*(Tc-Tr)] * W_{\infty} * \left[\frac{1}{Z} - \frac{3S}{Z+K} + \frac{3S^2}{Z+2K} - \frac{S^3}{Z+3K} \right] \quad (8.3.3)$$

Se recomienda calcular siempre juntos Y/R y \bar{B}/R . El modo más fácil de hacerlo es comenzando por calcular \bar{B}/R mediante la Ec. 8.3.3 y luego utilizar la Ec. 8.3.2 para calcular Y/R. En el caso de $F = 0$, el valor de \bar{B}/R es la llamada biomasa virgen por recluta, B_v/R , la biomasa del stock inexplorado.

La biomasa promedio por recluta según se definió en la Ec. 8.3.2 ó Ec. 8.3.3 es la biomasa promedio de la parte *explotada* de la cohorte, es decir, la biomasa de los peces de edad T_c o mayores.

Los valores de \bar{B}/R relacionados con los valores Y/R calculados en la Sección 8.2 se presentan en la Tabla 8.2.1, donde también \bar{B}/R se muestra como un porcentaje de la biomasa virgen, B_v . Se muestra que para *Nemipterus marginatus* la biomasa que corresponde al nivel óptimo de F, F_{RMS} , es sólo el 15% de la biomasa virgen, B_v . La Fig. 8.3.2 muestra la "curva de biomasa por recluta" que es siempre decreciente al ser incrementado el esfuerzo. La curva es proporcional a la captura por unidad de esfuerzo bajo el supuesto subyacente al modelo (véase la Ec. 8.3.1). Esto significa que en cualquier pesquería se debería esperar una disminución en la captura por unidad de esfuerzo y en la biomasa cuando el esfuerzo (por ejemplo, el número de embarcaciones) aumenta. Una disminución en la captura por unidad de esfuerzo no es, por lo tanto, una indicación *per se* que el stock está siendo sobrepescado. La sobrepesca ocurre cuando el esfuerzo de pesca llega a ser tan alto que el crecimiento y eventualmente el reclutamiento son severamente afectados.

Otro modo de usar la curva \bar{B}/R , que a veces es la forma más apropiada, es interpretarla como una curva de CPUEw. Cuando se maneja una pesquería, la consideración de los posibles ingresos por embarcación son esenciales y esta cantidad está, por supuesto, estrechamente relacionada con la CPUEw (véase Sparre y Willmann, 1992).

(Véanse los Ejercicios en la Parte 2).

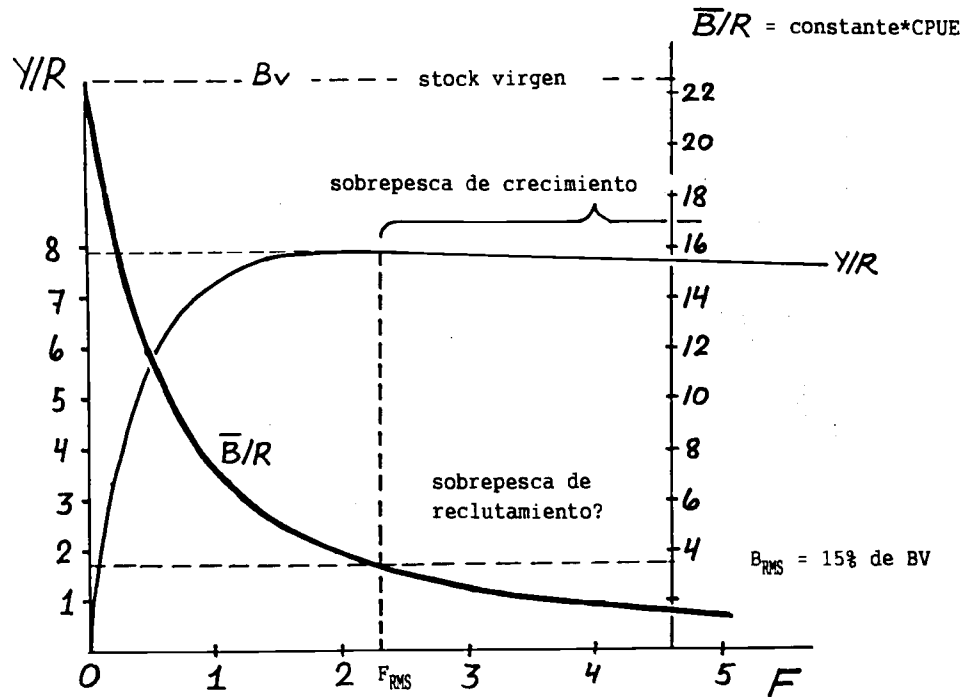


Fig. 8.3.2 Curva de biomasa por recluta en *Nemipterus marginatus*, correspondiente a la curva Y/R de la Fig. 8.2.3 que se repite aquí.

Edad promedio y talla media en el rendimiento

La edad promedio, la talla media y el peso promedio en el rendimiento anual son estimados fácilmente bajo el supuesto del modelo de Beverton y Holt, en el que Z permanece constante a partir de una cierta edad T_c (T_r cuando $T_r > T_c$). La edad media en el rendimiento anual es:

$$\bar{T}_y = \frac{1}{Z} + T_c \quad (8.3.4)$$

La fórmula también es aplicable en aquella situación en que Z varía en la fase de explotación, pero es constante para los peces más viejos. La edad media de los peces viejos es $1/Z$ más la edad a la cual Z comienza a ser constante.

La talla media en el rendimiento anual es:

$$\bar{L}_y = L_\infty \left[1 - \frac{Z \cdot S}{Z + K} \right] \quad (8.3.5)$$

$$S = \exp(-K \cdot (T_c - t_0)) = 1 - L_c / L_\infty$$

Nuevamente T_c o L_c pueden ser reemplazados por cualquier edad a partir de la cual los peces tienen una tasa de mortalidad constante, con el fin de obtener la talla media en esa parte de la población.

De modo similar, el peso medio en el rendimiento anual es:

$$\bar{W}_y = Z \cdot W_\infty \cdot \left[\frac{1}{Z} - \frac{3 \cdot S}{Z + K} + \frac{3 \cdot S^2}{Z + 2 \cdot K} - \frac{S^3}{Z + 3 \cdot K} \right] \quad (8.3.6)$$

con S igual que en la Ec. 8.3.5. La expresión se puede aplicar al "grupo-plus" en el APV (Sección 5), reemplazando T_c o L_c por la edad o talla de ingreso al "grupo-plus" (véase la Ec. 5.3.16).

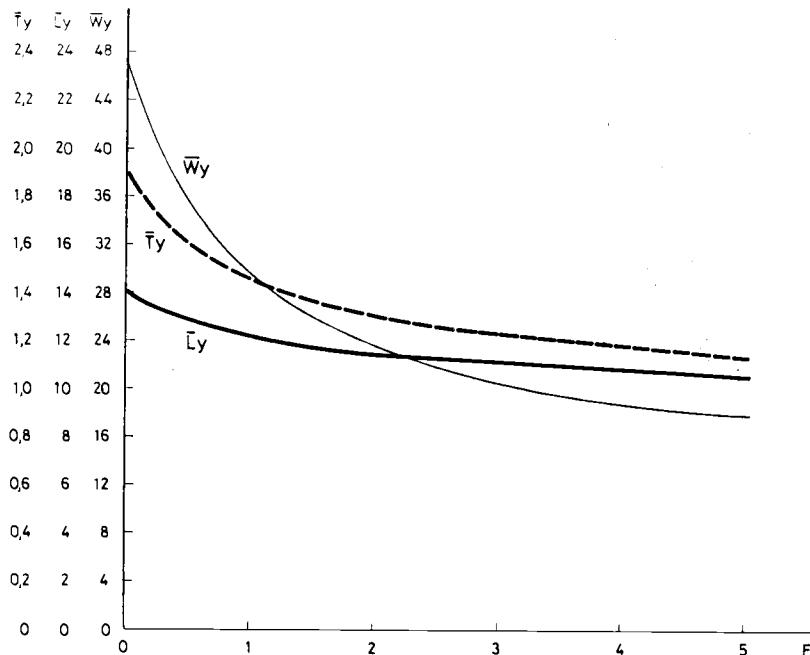


Fig. 8.3.3 Edad media (\bar{T}_y), longitud media (\bar{L}_y) y peso promedio (\bar{W}_y) en el rendimiento anual de *Nemipterus marginatus* correspondiente a la curva de biomasa (CPUE) de la Fig. 8.3.2.

\bar{T}_y , \bar{L}_y y \bar{W}_y así como la biomasa explotada y la captura por unidad de esfuerzo siempre disminuyen si se incrementa Z , vale decir al aumentar el esfuerzo, véase la Fig. 8.3.3. La disminución es más rápida para valores bajos de F (vale decir, del esfuerzo) como sucede en las primeras etapas de una nueva pesquería. Nótese que T_c (determinado por el tamaño de las mallas empleadas) es un parámetro que está presente en las tres ecuaciones. Un tamaño de malla más grande da una edad promedio más alta y de allí se obtiene una talla mayor en las capturas.

Anteriormente, la disminución de la captura por unidad de esfuerzo y la disminución de la talla de los peces desembarcados a menudo se pensaba que indicaba sobrepesca, pero, como se muestra claramente en las Figs. 8.3.2 y 8.3.3, estas disminuciones son una consecuencia lógica del aumento del esfuerzo de pesca. Sin embargo, un aspecto importante es que las disminuciones son más pronunciadas en los niveles de esfuerzo más bajos. Esto significa que en una pesquería nueva, que se desarrolla sobre un stock virgen, casi de inmediato conducirá a la obtención de menores tasas de captura y peces de tallas más pequeñas. Estos factores han sido a menudo pasados por alto en los estudios de factibilidad para el desarrollo de pesquerías.

8.4 MODELO RELATIVO DE RENDIMIENTO POR RECLUTA DE BEVERTON Y HOLT

Para propósitos de manejo de pesquerías, es importante ser capaz de determinar cambios en la relación Y/R para diferentes valores de F ; así, por ejemplo, si F es incrementado en 20%, entonces el rendimiento disminuirá en 15%. Los valores absolutos de Y/R , expresados en gramos por recluta, no son importantes para este propósito. Por lo tanto, Beverton y Holt (1966) también desarrollaron un "modelo relativo de rendimiento por recluta", que puede proporcionar el tipo de información necesaria para el manejo. Este modelo tiene la gran ventaja de requerir menos parámetros, y, al mismo tiempo, es especialmente adecuado para evaluar el efecto de las regulaciones sobre el tamaño de las mallas. Pertenece a la categoría de los modelos basados en las tallas, porque se basa en datos de tallas más que en edades.

El "modelo relativo de rendimiento por recluta de Beverton y Holt" se define por:

$$(Y/R)' = E * U^{M/K} * \left[1 - \frac{3U}{1+m} + \frac{3U^2}{1+2m} - \frac{U^3}{1+3m} \right] \quad (8.4.1)$$

donde:

$U = 1 - L_c/L_\infty$ la fracción de crecimiento a ser completada después de entrar en la fase de explotación

$$m = \frac{1-E}{M/K} = K/Z$$

$E = F/Z$ la tasa de explotación o la fracción de muertes causadas por pesca (véase la Sección 4.2).

El modelo $(Y/R)'$ se considera una función de U y E , teniendo como único parámetro M/K . La ecuación da una cantidad que es proporcional a Y/R definida por la Ec. 8.2.4 como se puede demostrar por medio de una cantidad de manipulaciones algebraicas. Se puede demostrar que:

$$(Y/R)' = (Y/R) * \exp[-M(T_r - t_0)] / W_\infty$$

Nótese que no se requiere la estimación por separado de K como dato de entrada y que la Ec. 8.4.1 se basa en datos de tallas (L_∞ y L_c en U) más que en edades.

El modelo $(Y/R)'$ puede ser calculado para valores de entrada dados de M/K , L_∞ y L_c para valores de E entre 0 y 1, correspondientes a valores de F cuyo recorrido está entre 0 e ∞ .

El gráfico $(Y/R)'$ contra E da una curva con un valor máximo, E_{RMS} , para un valor dado de L_c . Así, cuando L_c , F y M/K son conocidos para una cierta pesquería, la tasa de explotación real puede ser comparada con el nivel de E_{RMS} y así se pueden proponer medidas de manejo según sea necesario.

La Fig. 8.4.1 muestra la curva $(Y/R)'$ correspondiente a la curva Y/R de *Nemipterus marginatus* (Fig. 8.2.3) en el caso de:

$$L_c = L(T_c) = L(1.0) = 28.4 * [1 - \exp(-0.37 * (1 + 0.2))] = 10.2 \text{ cm}$$

donde $L_\infty = 28.4 \text{ cm}$ (véase la Sección 3.1.2 y la Fig. 3.1.2.1).

$$U = 1 - L_c/L_\infty = 1 - 10.2/28.4 = 0.641$$

Como ejemplo se calculará $(Y/R)'$ para $E = 0.5$:

$$m = \frac{1 - 0.5}{1.1/0.37} = 0.168$$

$$(Y/R)' = 0.5 * 0.641^{2.973} * \left[1 - \frac{3 * 0.641}{1 + 0.168} + \frac{3 * 0.641^2}{1 + 2 * 0.168} - \frac{0.641^3}{1 + 3 * 0.168} \right] = 0.0135$$

(Véanse los Ejercicios en la Parte 2).

8.5 RENDIMIENTO POR RECLUTA, EN BASE A DATOS DE TALLAS

Casi con el mismo procedimiento algebraico referido en la Sección 8.4 se transforma la ecuación para Y/R (Ec. 8.2.4) en un modelo basado en las tallas. Los parámetros y variables originales son F , M , W_∞ ,

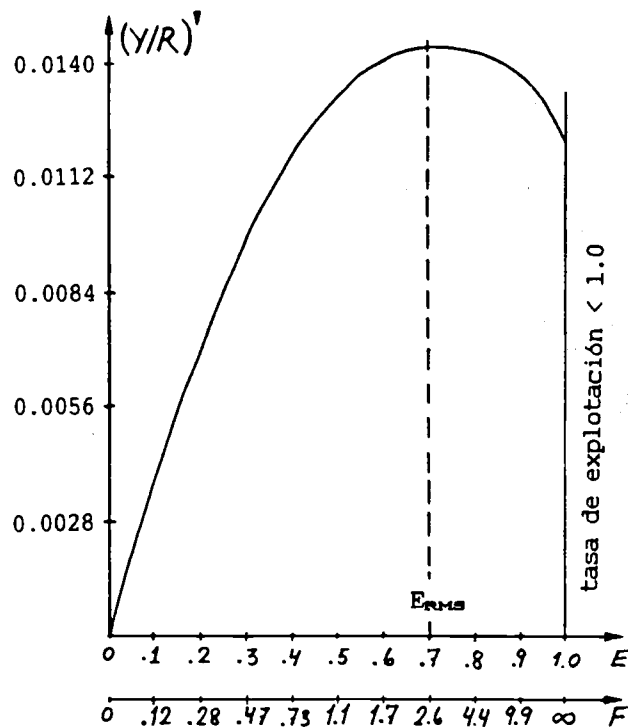


Fig. 8.4.1 Curva de rendimiento relativo por recluta $(Y/R)'$ de Beverton y Holt, correspondiente a la curva Y/R de la Fig. 8.2.3 ($L_c = 10.2 \text{ cm}$).

K, t_0 , Tr y Tc. En el modelo transformado a tallas se tiene L_∞ , Lr y Lc en lugar de t_0 , Tr y Tc. La nueva ecuación es en este caso:

$$Y/R = F \cdot A \cdot W_\infty \cdot \left[\frac{1}{Z} - \frac{3U}{Z+K} + \frac{3U^2}{Z+2K} - \frac{U^3}{Z+3K} \right] \quad (8.5.1)$$

donde $U = 1 - L_c/L_\infty$ como en la Ec. 8.4.1 y

$$A = \left[\frac{L_\infty - L_c}{L_\infty - L_r} \right]^{M/K}$$

Recordando que varios métodos de estimación de parámetros descritos en los capítulos precedentes aportan valores de Z/K ó M/K , puede ser de interés formular también la Ec. 8.5.1 en tales términos. Dividiendo por K por fuera, multiplicando por K dentro de los paréntesis, y substituyendo z por Z/K , se obtiene la siguiente expresión:

$$Y/R = \frac{F}{K} \cdot A \cdot W_\infty \cdot \left[\frac{1}{z} - \frac{3U}{z+1} + \frac{3U^2}{z+2} - \frac{U^3}{z+3} \right] \quad (8.5.2)$$

Esta ecuación contiene F/K , M/K (en A) y Z/K (en z), no hace ninguna referencia a la edad y no requiere la estimación de K por separado.

Así también, Marten (1978), utilizando el crecimiento lineal en lugar del modelo de von Bertalanffy presenta un modelo Y/R similar, basado en las tallas.

8.6 MODELO DE THOMPSON Y BELL, BASADO EN LA EDAD

Como se dijo en la introducción a este capítulo el primer modelo predictivo fue desarrollado por Thompson y Bell (1934), mucho antes que el modelo de Beverton y Holt. El modelo de Thompson y Bell es el exacto caso opuesto a los modelos tratados en el Capítulo 5, correspondientes al análisis de cohorte y APV. Se usa para *predecir* los efectos de los cambios en el esfuerzo de pesca sobre los rendimientos futuros, en tanto que el análisis de cohorte y APV son utilizados para determinar el número de peces que deben haber estado presentes en el mar, a objeto de explicar una captura sostenida conocida, y el esfuerzo de pesca que se debe haber ocupado para cada edad o grupo de talla para obtener los números capturados (véanse las Secciones 5.1 y 5.2). Por lo tanto, el análisis de cohorte y APV son denominados modelos *históricos* o *retrospectivos*, mientras que el modelo de Thompson y Bell es *predictivo*.

El modelo de Thompson y Bell consiste en el desarrollo de dos etapas principales: 1) provisión de entradas esenciales y opcionales, y 2) el cálculo de salidas bajo la forma de predicciones de rendimientos futuros, niveles de biomasa y aún del valor de los rendimientos futuros.

- 1) *Provisión de entradas*: La entrada principal es un llamado "arreglo de referencia de F a la edad", un arreglo de valores de F por grupo de edad. En principio, se podría utilizar cualquier arreglo-F como entrada, pero, por supuesto, no cualquier arreglo-F producirá resultados relacionados con la situación real de una pesquería. Por lo tanto, es costumbre utilizar un arreglo-F que haya sido obtenido de un análisis de datos históricos, en otras palabras, de un APV o de un análisis de cohortes. Sin embargo, el arreglo-F de referencia también se puede originar desde otras fuentes, tales como en el caso del Ejemplo 29, que se presenta más adelante.

Otro importante parámetro de entrada es el número de reclutas, que también se puede obtener del análisis de cohorte o APV. Esta entrada se necesita para obtener predicciones

de rendimientos en cantidades absolutas. Sin embargo, si esta entrada no está disponible, todavía se puede utilizar el modelo de Thompson y Bell para proveer cifras de salida relativas, como, por ejemplo, bajo la forma de unidades “por 1000 reclutas” (véase el Ejemplo 29).

El modelo requiere además un “arreglo de peso a la edad”, los pesos de peces individuales por grupo de edad. Para efectuar análisis económicos, el modelo también precisa como entrada el precio, generalmente bajo la forma de precio por kg por grupo de edad. (Para el modelo de Thompson y Bell basado en las tallas, se requiere el mismo tipo de entrada por grupo de tallas).

- 2) *Salidas*: La salida del modelo es bajo la forma de predicciones de la captura en número, el número total de muertes, el rendimiento, la biomasa promedio y el valor, todo por grupo de edad, relacionadas con valores de F para cada grupo de edad. Los nuevos valores de F se pueden obtener multiplicando el arreglo- F de referencia como un todo, por cierto factor, generalmente denominado X , o aplicando tales factores sólo a una parte del arreglo- F de referencia. Este último se aplica, por ejemplo, en el caso de un cambio en el tamaño mínimo de malla, o para separar los efectos de flotas con diferentes características (por ejemplo, artesanal e industrial) sobre un stock particular. Realizando una serie completa de cálculos con diferentes valores para X (factores F), se pueden dibujar los gráficos que ilustran claramente los efectos de cambio de F sobre el rendimiento, la biomasa promedio y el valor de la captura.

El modelo de Thompson y Bell es una herramienta muy importante para el investigador pesquero, ya que le permite demostrar el efecto que ciertas medidas de manejo, tales como cambios en el tamaño mínimo de malla, disminución o aumento del esfuerzo de pesca, o cierre de temporadas, tendrán sobre el rendimiento, la biomasa y el valor de la captura. Puesto que se requiere de un gran número de cálculos, es esencial usar computadoras.

Un aspecto importante del modelo de Thompson y Bell es que permite la incorporación del valor de la captura. Por lo tanto, el modelo ha llegado a ser la base para el desarrollo de los llamados modelos bio-económicos, que son extremadamente útiles para proveer las predicciones necesarias para la adopción de decisiones de manejo.

Programas computacionales

El paquete LFSA contiene programas para realizar análisis relativamente simples de Thompson y Bell, tanto basados en las tallas como basados en la edad. Programas similares han sido incorporados en el paquete FiSAT. La FAO ha desarrollado y publicado una serie de programas computacionales para el análisis bio-económico de pesquerías, los llamados programas BEAM (**B**io-**E**conomic **A**nalYTical **M**odel) (BEAM 1 y 2, Coppola *et al.*, 1992, BEAM 3, Cochet y Gilly, 1990 y BEAM 4, Sparre y Willmann, 1992).

Ejemplo 29: Análisis de Thompson y Bell, basado en la edad, camarón tropical

Datos de entrada

Para ilustrar el modelo se usaran datos de la pesquería del camarón de Kuwait (García y van Zalinge, 1982). Las columnas A hasta la E de la Tabla 8.6.1 contienen los datos de entrada. En este caso, las mortalidades, F , fueron estimadas de los datos de captura y las estimaciones de la biomasa obtenidas por el método de área barrida (véase el Capítulo 13). Sin embargo, el arreglo- F también podría haber sido estimado por medio del análisis de cohorte o APV.

El ciclo de vida del camarón *Penaeus semisulcatus* no es mucho mayor que un año, de modo que los grupos de edad en la Columna A de la Tabla 8.6.1 son dados en meses. La especie es reclutada a

la pesquería a la edad de un mes ($Tr = 1$). La Columna B entrega el peso promedio por grupo de edad. La Columna C contiene el valor relativo, que equivale al precio por kg de colas sin pelar en cada grupo de edad. La Columna D contiene las mortalidades por pesca, el “arreglo de referencia de F a la edad”, y la Columna E la mortalidad total anual por grupo de edad.

En la Columna F se comienza con 1000 reclutas, que tienen la edad de 1 mes al comienzo del período. En otras palabras, la población o número del stock del grupo de edad 1 es 1000. Todos los cálculos subsecuentes son relativos a 1000 reclutas. En el caso en que se haya hecho un análisis de cohorte y se haya obtenido un estimado del número efectivo de reclutas, los valores obtenidos por 1000 reclutas podría ser convertido en rendimientos y tamaños de stock efectivos (véase la Sección 5.2).

Salida en base a arreglo de referencia de F a la edad

De acuerdo a las cifras de entrada presentadas en las Columnas A a E y el número de reclutas a la edad de 1 mes (= 1000), se puede calcular la población por grupo de edad, expresada en números presentes al comienzo de cada mes (Columna F). También se pueden calcular los siguientes valores: el número de muertes por mes (Columna G); la captura en número, equivalente al número de muertes debidas a la pesca (Columna H); el rendimiento en gramos (Columna I); la biomasa media en gramos (Columna J); y, el valor expresado en unidades monetarias (Columna K).

TABLA 8.6.1
Modelo de Thompson y Bell basado en la edad ilustrado con datos de la pesquería del
camarón de Kuwait (García y van Zalinge, 1982).
M = 3.0 por año para todas las edades

| ENTRADA | | | | | SALIDA | | | | | |
|---------|--------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------------------|------------------------|---------|-------------|---------------|------------------|
| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
| edad* | peso medio | valor por g | mortalidad por pesca | mortalidad total | población*) | muertes | captura | rendimiento | biomasa media | valor |
| t | $\bar{w}(t)$ | $\bar{v}(t)$ | F(t) | Z(t) | N(t) | $N(t) - N(t+\Delta t)$ | C(t) | Y(t) | $\bar{B}(t)$ | $Y * \bar{v}$ |
| meses | g | unidad monetaria | por año | por año | número | número | número | g | g | unidad monetaria |
| 1=Tr | 5.7 | 0.73 | 1.20 | 4.20 | 1000.0 | 295.3 | 84.4 | 481 | 4809 | 351 |
| 2 | 9.3 | 0.93 | 1.32 | 4.32 | 704.7 | 213.0 | 65.1 | 605 | 5504 | 563 |
| 3 | 13.0 | 1.20 | 1.32 | 4.32 | 491.6 | 148.6 | 45.4 | 590 | 5367 | 708 |
| 4 | 17.6 | 1.45 | 1.44 | 4.44 | 343.0 | 106.1 | 34.4 | 606 | 5046 | 878 |
| 5 | 22.0 | 1.70 | 1.92 | 4.92 | 236.9 | 79.7 | 31.1 | 684 | 4276 | 1163 |
| 6 | 26.1 | 1.90 | 1.20 | 4.20 | 157.2 | 46.4 | 13.3 | 346 | 3463 | 658 |
| 7 | 30.3 | 2.08 | 1.56 | 4.56 | 110.8 | 35.0 | 12.0 | 363 | 2793 | 755 |
| 8 | 33.8 | 2.14 | 1.20 | 4.20 | 75.8 | 22.4 | 6.4 | 216 | 2161 | 462 |
| 9 | 37.0 | 2.18 | 1.20 | 4.20 | 53.4 | 15.8 | 4.5 | 167 | 1667 | 363 |
| 10 | 40.3 | 2.23 | 1.80 | 4.80 | 37.6 | 12.4 | 4.7 | 187 | 1250 | 418 |
| 11 | 43.1 | 2.24 | 2.76 | 5.76 | 25.2 | 9.6 | 4.6 | 199 | 863 | 445 |
| 12 | 44.7 | 2.27 | 2.52 | 5.52 | 15.6 | 5.8 | 2.6 | 117 | 559 | 267 |
| 13 | - | - | - | - | 9.9 | - | - | - | - | - |
| | | | | | Totales | | 4561 | | 37758 | 7031 |
| | | | | | Biomasa media: 37758/12 = 3146.5 | | | | | |

*) Al comienzo del período

Los procedimientos de cálculo se presentan ahora paso a paso, utilizando como ejemplos numéricos los cálculos para los primeros tres grupos de edad.

Paso 1:

Calcule la población en número al comienzo de cada período (mes):

$$\begin{aligned} N(1) &= 1000, \text{ use} \\ N(t+\Delta t) &= N(t) \cdot \exp(-Z \cdot \Delta t), \text{ donde} \\ \Delta t &= 1 \text{ mes} = 0.08333 \text{ año, para calcular los números subsiguientes} \\ N(2) &= 1000 \cdot \exp(-4.20 \cdot 0.08333) = 704.7 \\ N(3) &= 704.7 \cdot \exp(-4.32 \cdot 0.08333) = 491.6 \end{aligned}$$

Paso 2:

Calcule el número total de muertes en cada período:

$$\begin{aligned} \text{Número total de muertes } D(t) &= N(t) - N(t+\Delta t) \\ D(1) &= 1000 - 704.7 = 295.3 \\ D(2) &= 704.7 - 491.6 = 213.1 \\ D(3) &= 491.6 - 343.0 = 148.6 \end{aligned}$$

Paso 3:

Calcule el número de individuos capturados en cada período:

$$\begin{aligned} C(t) &= [N(t) - N(t+\Delta t)] \cdot F(t) / Z(t) = D(t) \cdot F(t) / Z(t) \\ C(1) &= 295.3 \cdot 1.20 / 4.20 = 84.4 \\ C(2) &= 213.1 \cdot 1.32 / 4.32 = 65.1 \\ C(3) &= 148.6 \cdot 1.32 / 4.32 = 45.4 \end{aligned}$$

Paso 4:

Calcule el rendimiento (= captura en peso) en cada período:

$$\begin{aligned} Y(t) &= C(t) \cdot \bar{w}(t) \\ Y(1) &= 84.4 \cdot 5.7 = 481 \\ Y(2) &= 65.1 \cdot 9.3 = 605 \\ Y(3) &= 45.4 \cdot 13.0 = 590 \end{aligned}$$

Paso 5:

Calcule la biomasa media en cada período:

$$\begin{aligned} \bar{B}(t) &= Y(t) / [F(t) \cdot \Delta t] \\ \bar{B}(1) &= 481 / (1.20 \cdot 0.08333) = 4810 \\ \bar{B}(2) &= 605 / (1.32 \cdot 0.08333) = 5500 \\ \bar{B}(3) &= 591 / (1.32 \cdot 0.08333) = 5373 \end{aligned}$$

Nota: Estos cálculos de biomasa se derivan de la Ec. 4.2.8, $C = F \cdot \Delta t \cdot \bar{N}$, la que multiplicando por \bar{w} en ambos lados queda:

$$Y = F \cdot \Delta t \cdot \bar{B} \quad \text{y} \quad \bar{B} = Y / (F \cdot \Delta t)$$

Paso 6:

Calcule el valor del rendimiento en cada período:

$$\begin{aligned} V(t) &= Y(t) \cdot \bar{v}(t) \\ V(1) &= 481 \cdot 0.73 = 351 \\ V(2) &= 605 \cdot 0.93 = 563 \\ V(3) &= 590 \cdot 1.20 = 708 \end{aligned}$$

Paso 7:

Calcule el rendimiento total, la biomasa media sobre todo el período y el valor total (véase la última fila de la Tabla 8.6.1):

El rendimiento total es la suma de todos los rendimientos mensuales.

El valor total es la suma de todos los valores mensuales.

La biomasa media aproximada es (véase la Fig. 4.2.3):

$$\bar{B} = \frac{\sum_{t=1}^{12} (\bar{B}(t) * \Delta t)}{\sum_{t=1}^{12} \Delta t}$$

Como $\Delta t = 1/12$ y el período total es de 12 meses, en este caso particular,

$$\bar{B} = \frac{\sum \bar{B}(t)}{12} = \frac{37758}{12} = 3146.5$$

El concepto de biomasa media en el caso más complicado donde Δt no permanece constante se discute en la Sección 5.3.

El siguiente bloque de ecuaciones resume, de un modo general, las fórmulas para el modelo de Thompson y Bell en base a la edad, incluyendo X (factor F). El índice i se refiere al intervalo de edad ($t_i, t_i + \Delta t$). El índice t_i indica el comienzo del intervalo, mientras que $t_i + \Delta t$ indica el término del mismo.

intervalo de edad: $i = (t_i, t_i + \Delta t)$

$$Z_i = M + X * F_i$$

$$N(t_i + \Delta t) = N(t_i) * \exp(-Z_i * \Delta t)$$

$$C_i = [N(t_i) - N(t_i + \Delta t)] * X * F_i / Z_i$$

$$\bar{w}_i = w(t_i + \Delta t / 2) \tag{8.6.1}$$

$$Y_i = C_i * \bar{w}_i$$

$$\bar{B}_i = Y_i / [F_i * \Delta t * X]$$

$$V_i = Y_i * \bar{v}_i$$

El modelo de Thompson y Bell, utilizando un “grupo-plus”

La última línea del grupo de edad en la Tabla 8.6.1, edad 13, contiene sólo el número de sobrevivientes y ninguna de las otras entradas. Ello debido a que en este ejemplo se ha considerado que el número de sobrevivientes mayores de 12 meses es un número insignificante y, por lo tanto, ha sido ignorado.

En casos donde el número es significativo existe una manera para tomarlo en cuenta, aún cuando se consideren sólo 12 grupos de edad. Esto se hace tratando el grupo de edad 12 como un “grupo-plus”, que significa el grupo de la última edad y mayores. En este caso, se reemplaza el número de muertes entre las edades 12 y 13 años

$$N(12) - N(13)$$

por el número total de muertes después de la edad 12. Puesto que todos los camarones eventualmente morirán, este número es $N(12) = N(12+) = 15.6$ en el Ejemplo 29 (Tabla 8.6.1).

Aun más, suponiendo que los grupos de edad más viejos tienen la misma mortalidad que el grupo de edad 12, el número de camarones capturados del grupo de mayor edad y mayores (“grupo-plus”) pasa a ser:

$$C(12+) = \frac{F(12)}{Z(12)} * N(12)$$

$$C(12+) = (2.52/5.52) * 15.6 = 7.1$$

Así, dejando fuera los grupos de mayor edad y superiores en la Tabla 8.6.1, la captura de $7.1 - 2.6 = 4.5$ ha sido ignorada.

Si el crecimiento se ha detenido a la edad 12 entonces $\bar{w}(12)$ es el peso máximo y el rendimiento correspondiente a $C(12+)$ será $44.7 * 4.5 = 201$ g. Este rendimiento corresponde al valor de $201 * 2.27 = 456$ unidades monetarias, que constituye el 6% del total, lo que es una cantidad significativa. Por lo tanto, para estar seguro respecto a ignorar capturas significativas, es mejor tratar siempre el último grupo, como un “grupo-plus” (que corresponde a la última edad y mayores).

Predicción, salida en base a diferentes arreglos de F

Con la salida basada en el arreglo de referencia F a la edad, calculado arriba, se dispone de todos los datos básicos para predecir el efecto de los aumentos o disminuciones del esfuerzo de pesca o de la mortalidad por pesca. Se pueden obtener nuevas cifras para el rendimiento total, la biomasa media total y el valor total, incrementando las mortalidades por pesca de la Columna D en la Tabla 8.6.1 por un cierto porcentaje. El arreglo -F presentado en la Tabla 8.6.1, llamado arreglo de referencia F, es entonces reemplazado por uno nuevo, multiplicando el arreglo de referencia F, o una parte de él por el factor $X = (\text{nuevo F}) / (\text{F de referencia})$.

Si, por ejemplo, el esfuerzo se incrementa en un 20 por ciento, las nuevas mortalidades por pesca de la Columna D serán:

$$1.20 * 1.20 = 1.44, \quad 1.32 * 1.20 = 1.58, \text{ etc.}$$

Luego, rehaciendo nuevamente todo el proceso con los nuevos F, se obtienen el correspondiente rendimiento total, la biomasa media total y el valor total.

Un ejemplo de los resultados de tales series de cálculos con $X =$ factores F, que van desde 0 a 3.0 se presentan en la Tabla 8.6.2. El arreglo de referencia F, donde $X = 1.0$, da un rendimiento total de 4560, una biomasa media total de 3146 y un valor total de 7029. Estas cantidades se obtienen con los mismos datos de entrada usados en la Tabla 8.6.1, sin embargo, hay ligeras diferencias con los resultados presentados en esa tabla, debido al hecho que el programa computacional utilizado para calcular la Tabla 8.6.2 utiliza el máximo número de dígitos para todos los cálculos. Pequeñas diferencias como éstas, insignificantes desde el punto de vista de la evaluación de stocks, también se pueden encontrar en otros cálculos presentados en este mismo manual.

En la Fig. 8.6.1 las cifras del rendimiento total, biomasa media total y valor total que corresponden a la Tabla 8.6.2 han sido graficados contra X (factor F), dibujándose las curvas respectivas. Nótese que la curva de valor tiene un máximo, en tanto que la curva de rendimiento no tiene máximo en el rango de los factores F (X) considerados. Cuando el precio por kg de los camarones varía con la talla, las dos curvas tendrán su máximo a diferentes niveles de F.

Recuerde que la biomasa es proporcional a la captura por unidad de esfuerzo (Secciones 4.3 y 8.3). La Fig. 8.6.1 ilustra el importante conflicto que se produce entre el deseo de maximizar el rendimiento total de una pesquería, en peso o valor, y la necesidad de dar a los pescadores y dueños de embarcaciones ingresos adecuados. La captura por embarcación disminuye continuamente a medida que aumenta el esfuerzo y en la práctica se hace demasiado pequeña para que la pesquería sea rentable, aún a niveles de esfuerzo menores, que aquellos que corresponden al máximo en la curva, para el valor total del rendimiento.

TABLA 8.6.2
Rendimiento, valor del rendimiento y biomasa para varios niveles de F.
 El arreglo de F de referencia está dado en la columna D de la Tabla 8.6.1
 (véase la Fig. 8.6.1)

| factor-F X | rendimiento total | biomasa total media | valor total |
|---------------|----------------------|------------------------|----------------|
| 0.0 | 0 | 5382 | 0 |
| 0.4 | 2549 | 4271 | 4209 |
| 0.8 | 4055 | 3466 | 6396 |
| 1.0 | 4561*) | 3146*) | 7031*) |
| 1.2 | 4954 | 2870 | 7465 |
| 1.5 | 5383 | 2522 | 7842 |
| 2.0 | 5814 | 2075 | 8025 |
| 3.0 | 6138 | 1497 | 7683 |

*) véase la Tabla 8.6.1

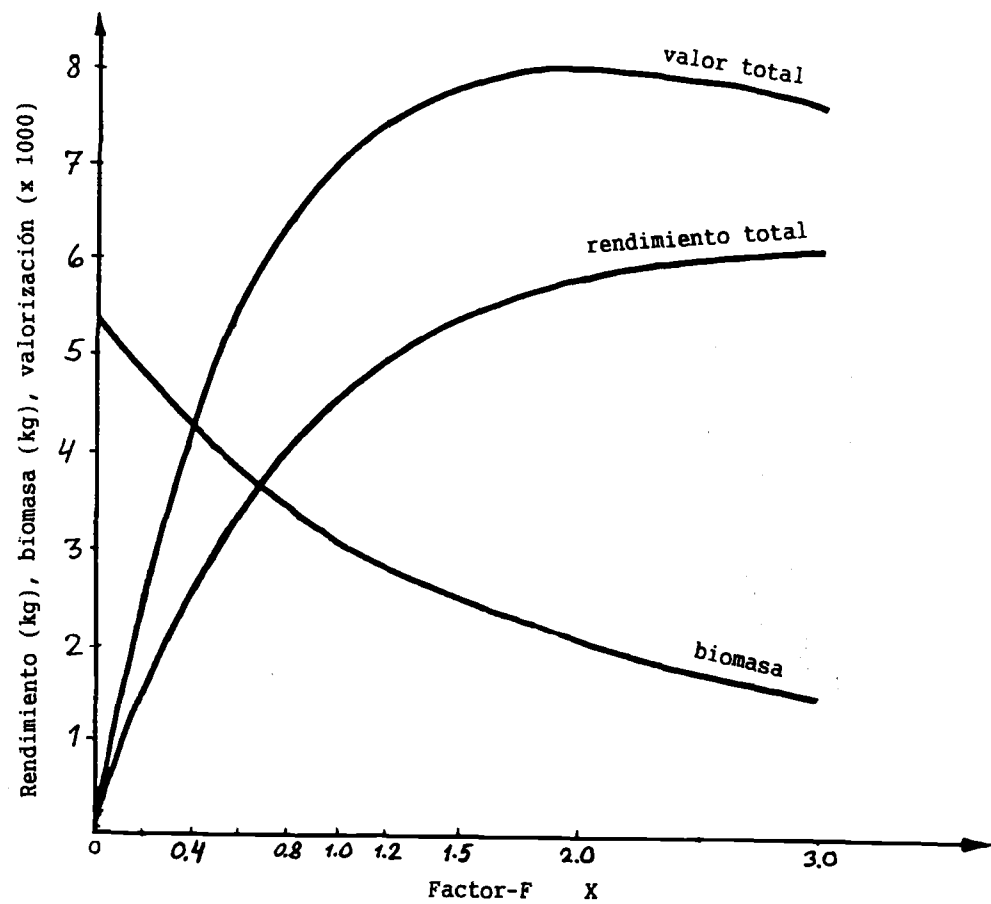


Fig. 8.6.1 Rendimiento, biomasa y valorización de los rendimientos de 1000 camarones, calculado con el modelo de Thompson y Bell basado en la edad. Datos de la Tabla 8.6.2.

Predicción por flota

La pesquería del camarón en aguas de Kuwait se compone de una “pesquería artesanal” y una “pesquería industrial”. La Tabla 8.6.3 muestra los resultados del fraccionamiento de la mortalidad total por pesca de la Tabla 8.6.1 en una componente artesanal y una componente industrial (García y van Zalinge, 1982). Tal división de las mortalidades por pesca, causadas por diferentes flotas, se basa generalmente en la proporción del número de camarones (o peces) capturados por cada flota.

La mortalidad por pesca ejercida por una flota, por decir, la flota n^oi, F(i), es

$$F(i) = F_{\text{total}} * C(i) / C_{\text{total}} \quad (8.6.2)$$

donde C(i) es el número de camarones (o peces) capturados por la flota n^oi, y F(total) y C(total) son las mortalidades por pesca y el número de individuos capturados por todas las flotas. F(total) puede ser obtenido del análisis de cohorte. La separación de la captura (Columna H en la Tabla 8.6.1), en sus respectivos componentes por flota se obtiene de la siguiente forma:

$$C(i) = C_{\text{total}} * F(i) / F_{\text{total}} \quad (8.6.3)$$

Así, el rendimiento y valorización del rendimiento son fácilmente separados en componentes por flota. La Tabla 8.6.4 muestra la separación del rendimiento total y correspondiente valorización del rendimiento, señalado en la Tabla 8.6.2, entre las dos flotas.

En este caso, los mismos factores, XA = XI se aplican a los valores F de ambas flotas; en el ejercicio desarrollado en la Tabla 8.6.4 se ha supuesto que el esfuerzo de la flota artesanal es siempre la misma proporción del esfuerzo total. La Fig. 8.6.2 muestra el gráfico correspondiente a la Tabla 8.6.4.

La Tabla 8.6.5 y la Fig. 8.6.3 muestran un ejemplo donde el factor, XA, para la flota artesanal se mantiene constante en tanto que el factor XI, para la flota industrial varía. Esto corresponde a una situación donde la pesquería industrial esta cambiando, mientras que la pesquería artesanal se supone que permanece en un mismo nivel. Nótese que la flota artesanal obtiene una parte menor de captura total, cuanto más alto es el nivel de esfuerzo de la flota industrial. Esto es lo que se podría

TABLA 8.6.3
Fraccionamiento de la mortalidad total por pesca de la pesquería del camarón de Kuwait en sus componentes artesanal e industrial (García y van Zalinge, 1982)

| edad (meses) | mortalidad por pesca (F) | | |
|-----------------|--------------------------|------------------|------------------|
| | artesanal FA | industrial FI | total F total |
| 1 | 0.720 | 0.480 | 1.20 |
| 2 | 0.960 | 0.360 | 1.32 |
| 3 | 0.840 | 0.480 | 1.32 |
| 4 | 0.480 | 0.960 | 1.44 |
| 5 | 0.600 | 1.320 | 1.92 |
| 6 | 0.480 | 0.720 | 1.20 |
| 7 | 1.080 | 0.480 | 1.56 |
| 8 | 0.480 | 0.720 | 1.20 |
| 9 | 0.084 | 1.116 | 1.20 |
| 10 | 0.120 | 1.680 | 1.80 |
| 11 | 0.240 | 2.520 | 2.76 |
| 12 | 0.240 | 2.280 | 2.52 |

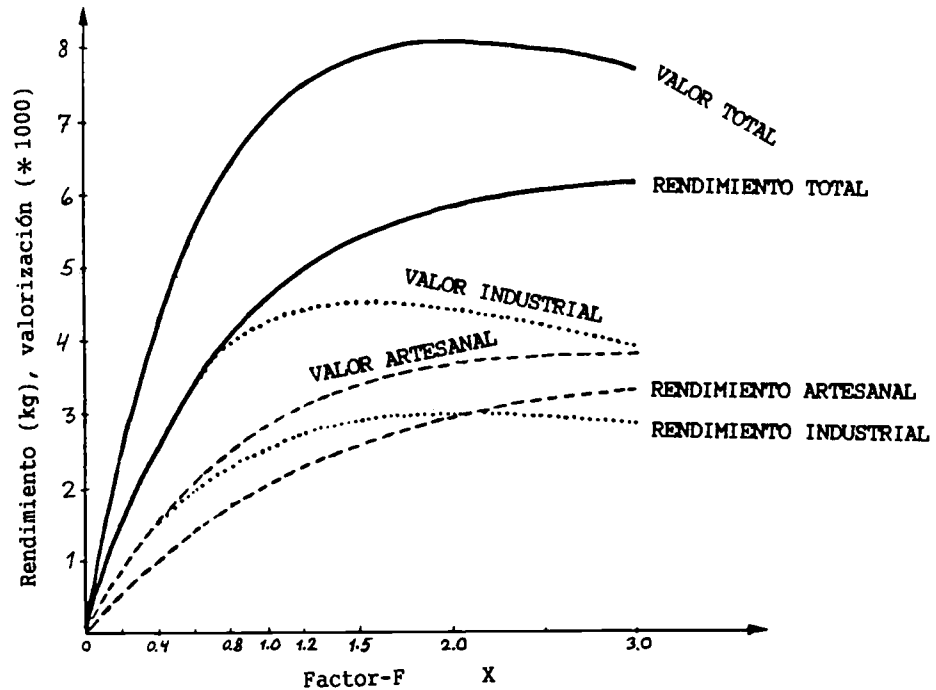


Fig. 8.6.2 Rendimiento total y valor total del rendimiento de la Fig. 8.6.1 separada en sus componentes industrial y artesanal (véase la Tabla 8.6.4).

esperar, en la medida que un incremento en el esfuerzo de la flota industrial reduce el stock de manera tal que deja una menor porción para la flota artesanal.

En una forma similar es posible evaluar el efecto de cualquier medida de regulación para cada componente de flota, siempre que se pueda convertir la regulación del esfuerzo en mortalidad por pesca en forma apropiada. Por ejemplo, García y van Zalinge (1982) usan el modelo de Thompson y Bell para evaluar el efecto del cierre de una temporada de pesca.

El modelo de Thompson y Bell también se puede utilizar para evaluar el efecto de un cambio en el tamaño de la malla. En este caso la curva de selección para la pesquería actual debiera ser

TABLA 8.6.4
Fraccionamiento de rendimientos y valores de rendimiento de la Tabla 8.6.1
en sus componentes artesanal e industrial (García y van Zalinge, 1982).
Los factores-X son como en la Tabla 8.6.2 (XA = XI) (véase la Fig. 8.6.2)

| rendi- miento total | valor total | flota artesanal | | | flota industrial | | |
|---------------------------|----------------|-----------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|
| | | factor-F XA | rendi- miento | valor | factor-F XI | rendi- miento | valor |
| 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 |
| 2549 | 4209 | 0.4 | 1048 | 1531 | 0.4 | 1501 | 2678 |
| 4055 | 6396 | 0.8 | 1773 | 2486 | 0.8 | 2284 | 3910 |
| 4560 | 7029 | 1.0 | 2048 | 2815 | 1.0 | 2512 | 4216 |
| 4954 | 7465 | 1.2 | 2281 | 3073 | 1.2 | 2673 | 4392 |
| 5383 | 7842 | 1.5 | 2563 | 3354 | 1.5 | 2819 | 4488 |
| 5814 | 8025 | 2.0 | 2903 | 3627 | 2.0 | 2910 | 4398 |
| 6138 | 7683 | 3.0 | 3291 | 3783 | 3.0 | 2847 | 3900 |

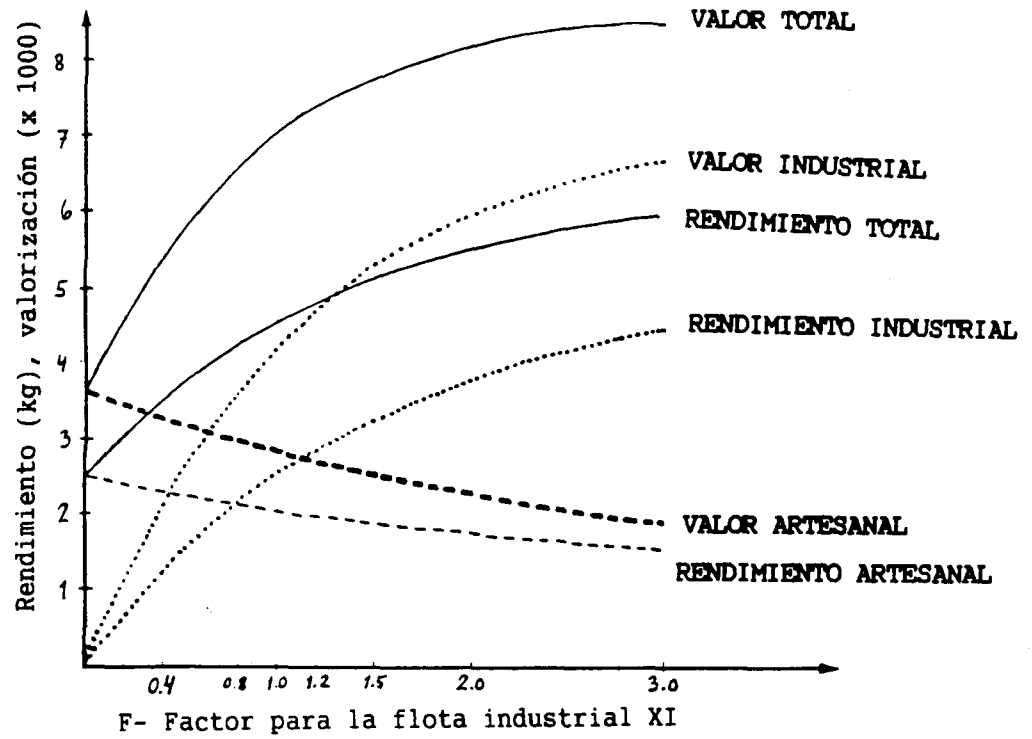


Fig. 8.6.3 Evaluación del efecto de cambios en la pesquería industrial, si se mantiene la pesquería artesanal a nivel constante (véase la Tabla 8.6.5).

estimada usando alguno de los métodos descritos en el Capítulo 6. El método que se puede emplear será discutido en la Sección 8.8.

La aplicación del modelo de Thompson y Bell descrito arriba (incluyendo la evaluación del tamaño de las mallas descrito más abajo) es el principal método que se aplica actualmente para predecir capturas y para fijar cuotas de captura en el área del ICES (Atlántico Noreste) y en muchos otros lugares.

(Véanse los Ejercicios en la Parte 2).

TABLA 8.6.5
Evaluación del efecto de modificar el esfuerzo industrial (XI) mientras se mantiene constante el esfuerzo artesanal (XA = 1.0)
(véase la Fig. 8.6.3)

| rendimiento total | valor total | flota artesanal | | | flota industrial | | |
|-------------------|-------------|-----------------|-------------|-------|------------------|-------------|-------|
| | | factor-F XA | rendimiento | valor | factor-F XI | rendimiento | valor |
| 2479 | 3603 | 1.0 | 2479 | 3603 | 0.0 | 0 | 0 |
| 3522 | 5403 | 1.0 | 2289 | 3250 | 0.4 | 1234 | 2154 |
| 4270 | 6598 | 1.0 | 2124 | 2950 | 0.8 | 2146 | 3648 |
| 4560 | 7029 | 1.0 | 2048 | 2815 | 1.0 | 2512 | 4216 |
| 4811 | 7383 | 1.0 | 1979 | 2691 | 1.2 | 2832 | 4692 |
| 5120 | 7783 | 1.0 | 1883 | 2520 | 1.5 | 3237 | 5263 |
| 5501 | 8203 | 1.0 | 1740 | 2271 | 2.0 | 3761 | 5932 |
| 5951 | 8499 | 1.0 | 1510 | 1880 | 3.0 | 4441 | 6619 |

Ejemplo 29a: Predicciones de corto y largo plazo

Inmediatamente después de un cambio en el esfuerzo o en el tamaño de las mallas empleadas, ocurre un cambio en las capturas que no se refleja en la situación de equilibrio que se alcanza cuando todos los grupos de edad en la población, han sido expuestos al nuevo esfuerzo o nuevo tamaño de malla durante toda su vida. El Ejemplo 29 trata sólo de la estimación del nuevo estado de equilibrio.

Para calcular las capturas, año por año, después del cambio en el esfuerzo (vale decir, de F) se continúa con el análisis de cohorte (o APV) para los años futuros, usando los números estimados en cada grupo de edad al final del período, empleando el antiguo nivel de esfuerzo, y los nuevos valores que toma F después del cambio. Los cálculos comienzan con el grupo de edad más joven y prosiguen hacia abajo en las tablas, en forma contraria al procedimiento del APV y del análisis de cohorte. El reclutamiento no puede predecirse. Por lo tanto, se requiere suponer que el reclutamiento es constante.

Volviendo a los datos del plegonero del mar del Norte, se debe recordar que en el análisis de cohorte en base a edad, Sección 5.2, Ejemplo 19a, se utiliza un reclutamiento promedio de 2849 millones para los años 1974 - 79 (véase la Tabla 5.2.2). A continuación se investigará el efecto de duplicar el esfuerzo ejercido sobre el recurso. Así, el factor X del Ejemplo 29 tomaría un valor de 2:

$$F(\text{nuevo}, t, t+1) = F(1980, t, t+1) * 2$$

Sin embargo, los valores de F dispuestos para 1980 son valores "terminales de F ", i.e., son supuestos. En realidad, en el Ejemplo 19a se usaron los estimados de F para la clase anual 1974. Si se inspecciona la Tabla 5.2.2 se observará que hay muy poca, si es que alguna, indicación de un cambio en el esfuerzo a lo largo de los años de muestreo. Por lo tanto, se reemplazan, los valores F -terminales originales por los promedios de los estimados para los años de muestreo 1974 - 79, tal como se observa en la última columna de la Tabla 5.2.2. Se adoptan estos valores como $F(1980, t, t+1)$.

El cambiar los valores finales de F de 1980 obliga también a recalcular los números de ejemplares en la población al comienzo de 1980. Nuevamente se usa la expresión para "N final" del Ejemplo 19:

$$N(1980, t) = \frac{C(1980, t, t+1)}{(F/Z) * (1 - \exp(-Z))}$$

donde $F = F(1980, t, t+1)$, $Z = F + M$, con $M = 0.2$ como se empleó anteriormente. Los resultados están en la primera columna de la Tabla 8.6.6.

Se supone que la duplicación del esfuerzo ocurre el 1º de enero de 1981. Para predecir el efecto que esto ocasiona, se deben calcular los números $N(1981, t)$ de los antiguos valores F y usarlos como punto de partida. Ellos son:

$$N(1981, t+1) = N(1980, t) * \exp[-(F(1980, t, t+1) + M)]$$

como, por ejemplo,

$$N(1981, 4) = 412 * \exp[-(1.02 + 0.2)] = 122$$

véase la Tabla 8.6.6. Para $N(1981, 0)$ se inserta el reclutamiento medio en 1974 - 79, que alcanza a 2849 millones según la Tabla 5.2.2. Con un factor X de 2 se insertan los nuevos números en

$$N(1982, t+1) = N(1981, t) * \exp[-(X * F(1980, t, t+1) + M)]$$

de tal modo que:

$$N(1982, 5) = 122 * \exp[-(2 * 0.91 + 0.2)] = 16$$

y similarmente para los años siguientes. Al mantener el factor X y el reclutamiento constantes, la

TABLA 8.6.6
Predicciones de corto y largo plazo en el número de peces en la población
(millones) después de un incremento en el esfuerzo ($F_{\text{nuevo}} = 2 * F_{\text{antiguo}}$).
Plegonero del Mar del Norte, de las Tablas 4.4.3.1 y 5.2.2.
Reclutamiento constante, $M = 0.2$. Los peces de más de 7 años no se consideran.
Las capturas están en la Tabla 8.6.7

| grupo edad t | 1 año antes del cambio | durante el último año antes del cambio | 1º enero del año de cambio | nuevo F | número de peces al comienzo de los años siguientes | | | | |
|------------------------|------------------------------|---|----------------------------------|----------|--|-----------|-----------|-------|---|
| | N(1980,t) | F(1980,t,t+1) | N(1981,t) | F(t,t+1) | N(1982,t) | N(1983,t) | N(1984,t) | | cambio en el largo plazo N(1987,t) |
| 0 | 1700 | 0.24 | 2849 | 0.48 | 2849 | 2849 | 2849 | | 2849 |
| 1 | 801 | 0.50 | 1095 | 1.00 | 1443 | 1443 | 1443 | | 1443 |
| 2 | 614 | 0.85 | 398 | 1.70 | 330 | 435 | 435 | | 435 |
| 3 | 412 | 1.02 | 215 | 2.04 | 60 | 49 | 65 | | 65 |
| 4 | 146 | 0.91 | 122 | 1.82 | 23 | 6 | 5 | | 7 |
| 5 | 75 | 0.60 | 48 | 1.20 | 16 | 3 | 1 | | 1 |
| 6 | 22 | 0.50 | 34 | 1.00 | 12 | 4 | 1 | | 0 |

población gradualmente se estabiliza a medida que las clases anuales presentes en 1980 se van muriendo. En 1987, los números en los grupos de edad de 0-6 años están todos estabilizados. La columna 1987 representa la predicción en el largo plazo de los efectos de doblar el esfuerzo.

Para las capturas se hacen cálculos similares, (Tabla 8.6.7) usando la Ec. 4.2.7:

$$C(y,t,t+1) = N(y,t) * [1 - \exp(-Z)] * X * F(1980,t,t+1) / Z$$

donde:

$$Z = X * F(1980,t,t+1) + M$$

Así, para el grupo de edad 4 en 1981:

$$Z = 2 * 0.91 + 0.2 = 2.02$$

$$C(1981,4,5) = 122 * [1 - \exp(-2.02)] * 2 * 0.91 / 2.02 = 95$$

El peso del rendimiento anual se obtiene multiplicando el número de peces por el peso individual en cada grupo de edad, resultado que se muestra en la Fig. 8.6.5. Las capturas en el primer año después del aumento del esfuerzo son grandes, porque el stock todavía está ajustado a la situación previa con esfuerzo mas bajo. Durante 1987 y años posteriores, cuando se logra la condición de equilibrio, las capturas de los peces sobre los cuatro años de edad son casi del todo despreciables, como se puede ver en la Tabla 8.6.7.

Los resultados están influenciados por la situación existente a la fecha del cambio, 1º de enero de 1981. El mismo cambio efectuado en otro año daría diferentes resultados en el corto plazo, dependiendo de la distribución de edad en el stock en ese momento, en tanto que la predicción a largo plazo sería la misma. Para generalizar, los efectos de un incremento en el esfuerzo se debe examinar cómo una situación en la cual el cambio se produce de un estado de equilibrio a otro. La Fig. 8.6.4 muestra tales efectos en el stock de arenque del Mar del Norte. En este caso el esfuerzo fue incrementado y el tamaño de la malla reducido al mismo tiempo. Cambios de este tipo ocurren usualmente cuando una pesquería se desarrolla sin regulaciones y está a un nivel de esfuerzo más allá del RMS.

TABLA 8.6.7
Predicciones de corto y largo plazo en las capturas (en millones) después de un
incremento del esfuerzo. Plegonero del Mar del Norte.
Los números de peces en la población están en la Tabla 8.6.6

| grupo de edad | último año antes del cambio | después del cambio en el esfuerzo | | | | |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-------|--------------------------|
| | | 1 ^{er} año | 2 ^{do} año | 3 ^{er} año | | cambio en el largo plazo |
| t | C(1980,t,t+1) | C(1981,t,t+1) | C(1982,t,t+1) | C(1983,t,t+1) | | C(1987,t,t+1) |
| 0 | 330 | 992 | 992 | 992 | | 992 |
| 1 | 288 | 638 | 841 | 841 | | 841 |
| 2 | 323 | 303 | 251 | 331 | | 331 |
| 3 | 243 | 175 | 49 | 40 | | 53 |
| 4 | 80 | 95 | 18 | 5 | | 5 |
| 5 | 31 | 31 | 10 | 2 | | 1 |
| 6 | 9 | 20 | 7 | 2 | | 0 |

El efecto es un incremento inmediato en el número de peces capturados y en el rendimiento total en peso (Figs. 8.6.4, C y A), seguido de un rápido descenso hacia un nuevo nivel. La biomasa y la talla media de los peces decrecen todo el tiempo hasta alcanzar el nuevo estado de equilibrio (Figs. 8.6.4, B y D). La tentación de incrementar el esfuerzo, por ejemplo, mejorando la eficiencia de los artes y reduciendo el tamaño de las mallas es obvio, porque el efecto que se observa de inmediato es el mejoramiento del rendimiento.

Volviendo al ejemplo del plegonero del Mar del Norte, se examina igualmente el efecto de reducir las mortalidades por pesca (Tabla 8.6.6, columna 3) a la mitad de su valor actual, i.e., $X = 0.5$ (Tabla 8.6.8, columna 2). Se anticipa un considerable incremento en el número de peces viejos en la captura, de tal modo que ahora no es recomendable desechar en los análisis los peces del grupo de edad 7 y mayores. Por lo tanto, el grupo de edad 6 es reemplazado por un de grupo de edad seis y superiores o "grupo plus 6+". Esto no afecta el cálculo de los números $N(t)$, porque el número de 6 - años de edad en el primer día del año es todavía la cantidad que se necesita. La captura del "grupo-plus" está definido por la Ec. 5.1.7:

$$C(6+) = N(6) * F(6+)/Z(6+)$$

donde las mortalidades son definidas por el valor "F terminal" del APV multiplicado por el factor X, que ahora es 0.5.

Si se quiere el número medio de todos los grupos de edad en el "grupo-plus" (correspondiente al grupo de mayor edad y superiores), éste está dado por:

$$N(6+) = N(6)/Z(6+)$$

El número de todas las edades que integra el "grupo-plus" se puede calcular para el primer día del año, como la suma de una progresión geométrica con el primer término = $N(6)$ y un cuociente de $\exp(-Z(6+))$:

$$N(6+) = N(6)/[1 - \exp(-Z(6+))] \quad (8.6.4)$$

Fi

Cualquier tratamiento en que se considere un "grupo-plus" debe ser considerado como de carácter aproximativo. Las expresiones anteriores suponen que todas las clases anuales en el "grupo-plus" han tenido una evolución histórica idéntica: que han tenido el mismo reclutamiento y la misma mortali-

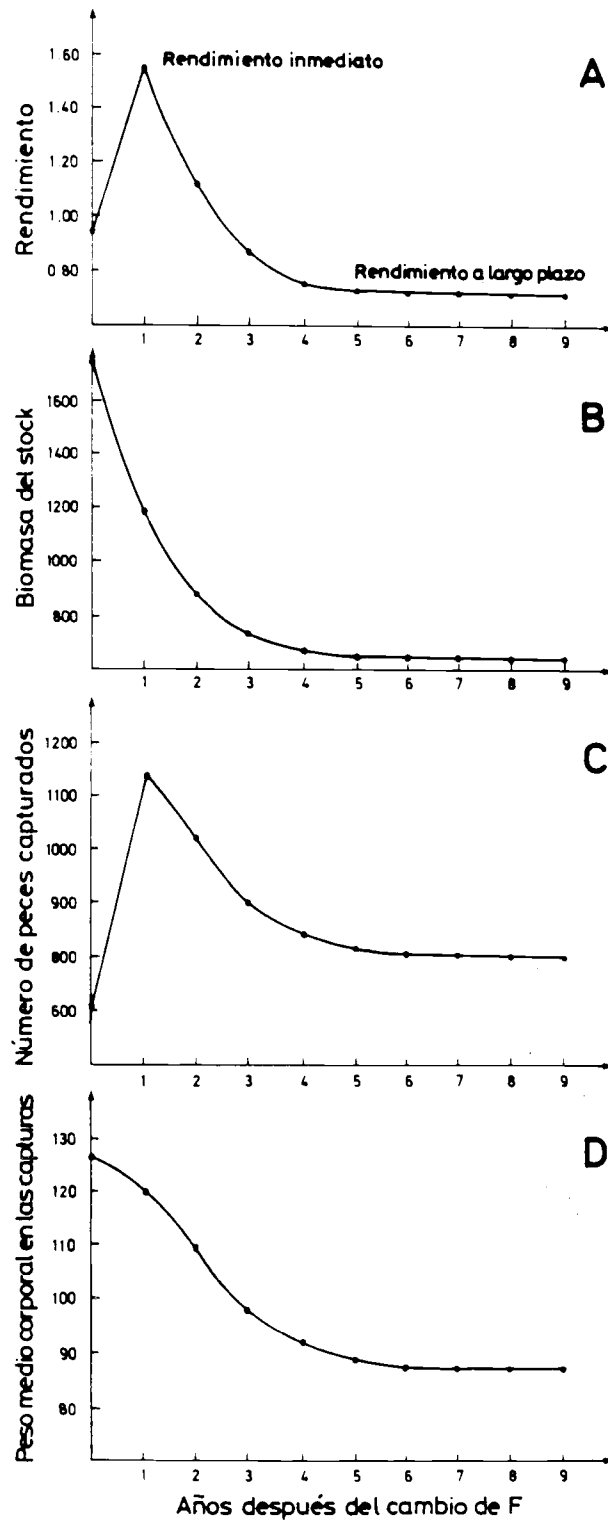


Fig. 8.6.4 Efectos inmediatos y a largo plazo de cambios efectuados en la pesquería del arenque del Mar del Norte. El ejemplo considera en forma simultánea aumento en el nivel de esfuerzo aplicado y reducción en el tamaño de malla utilizado. Lapso transicional desde un período de equilibrio a otro, nueve años después (modificado de Beyer y Sparre, 1983).

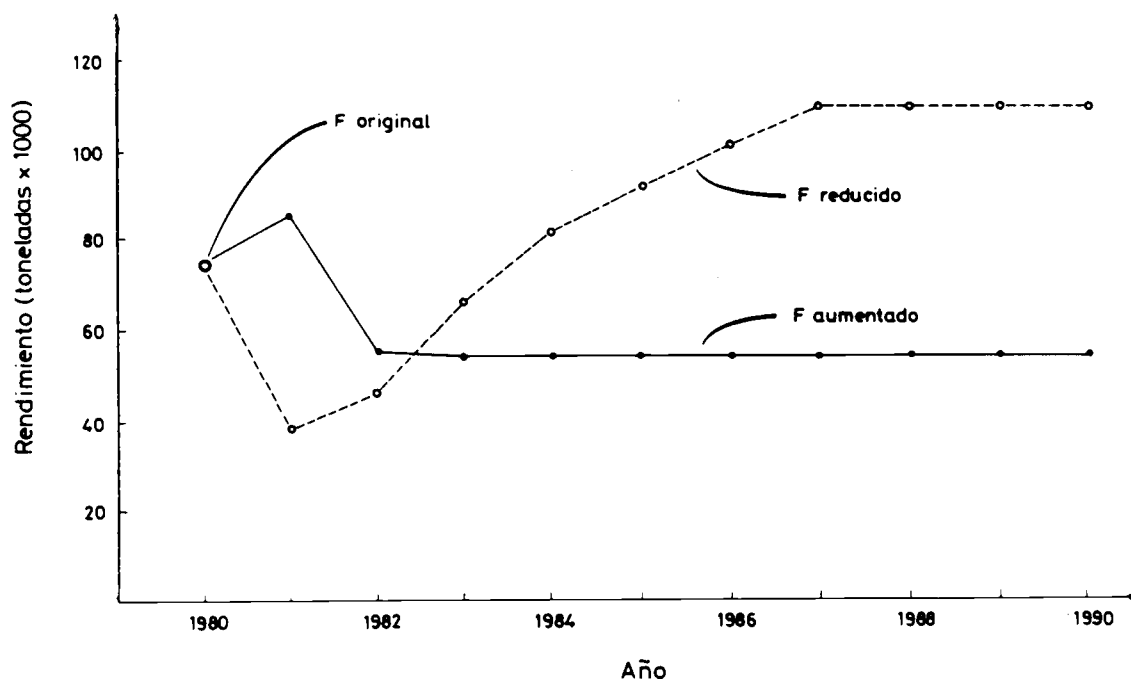


Fig. 8.6.5 Fase transicional después de un cambio en el nivel del esfuerzo aplicado sobre el plegonero del Mar del Norte. Rendimiento en miles de toneladas.

dad a través de los años antes de entrar al “grupo-plus”. Un efecto de esto es que parece que se ha alcanzado un nuevo estado de equilibrio cuando la última clase anual, nacida antes del cambio de esfuerzo, se une al “grupo-plus”. Si el “grupo-plus” fuera definido como 7+ en lugar de 6+ esto sucedería un año más tarde, vale decir en 1988. La adopción de un grupo 8+ sería en 1989, etc. Usando 6+ como en este ejemplo, significa que se reconoce la necesidad de considerar peces de más de 7 años de edad, pero se juzga satisfactorio tratarlos con cierta flexibilidad.

La Tabla 8.6.8 entrega los números en el stock el 1º de enero y las capturas anuales después de la reducción de la mortalidad por pesca a la mitad de su valor original. Después de una inmediata caída de las capturas, el número de peces grandes aumenta notoriamente. La línea quebrada en la Fig. 8.6.5 muestra la evolución del rendimiento (captura en peso), obtenida multiplicando el número de peces capturados por el peso medio de los ejemplares en cada grupo de edad. Obsérvese que el rendimiento cae a la mitad, en el primer año, y, luego comienza a aumentar progresivamente, más allá del valor original. Primeramente, la industria pesquera sufre la inmediata falta de materia prima, lo que podría influenciar el nivel de precio pagado por el producto de la pesca.

El saber cómo podría afectar este cambio en forma individual a una determinada embarcación pesquera dependerá de como se logró la reducción del esfuerzo. Si se redujo la flota a la mitad de su tamaño anterior habrá, por lo tanto, la mitad de embarcaciones, de forma que compartirán entre ellas el rendimiento e incidentalmente, la caída inmediata podría ser a la mitad del rendimiento del año anterior (de 76000 a 38000 toneladas), de tal modo que la captura por unidad de esfuerzo podría permanecer igual en el primer año, para seguidamente aumentar en los años siguientes. Si, por otra parte, la reducción del esfuerzo se alcanzó estableciendo una prohibición sobre los artes de pesca particularmente eficientes o introduciendo medidas regulatorias que limiten las temporadas de pesca, entonces se tendría el mismo número de embarcaciones para compartir el reducido rendimiento que se obtendría el primer año. En este caso particular, las capturas por embarcación alcanzarán el valor previo únicamente después de algunos años y luego los superarán.

TABLA 8.6.8
Predicciones en el corto y largo plazo del número de peces en el stock y de las
capturas después de una disminución del esfuerzo ($F_{\text{nuevo}} = 0.5 * F_{\text{antiguo}}$).
Plegonero del Mar del Norte. Los peces sobre los 6 años están incluidos en el grupo 6+.
Véase las Tablas 8.6.6 y 8.6.7

| grupo de edad t | nuevo F | número de peces al comienzo de los años siguientes | | | | capturas | | | |
|------------------------|---------|--|---------|---------|---------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| | | | | | | último año antes del cambio | después del cambio de esfuerzo | | |
| | | a la fecha del cambio | N(1981) | N(1982) | N(1983) | | | cambio en el largo plazo N(1987) | 1 ^{er} año C(1981) |
| 0 | 0.120 | 2849 | 2849 | 2849 | 2849 | 330 | 293 | 293 | 293 |
| 1 | 0.250 | 1095 | 2069 | 2069 | 2069 | 288 | 220 | 417 | 417 |
| 2 | 0.425 | 398 | 698 | 1319 | 1319 | 323 | 126 | 221 | 417 |
| 3 | 0.510 | 215 | 213 | 374 | 706 | 243 | 79 | 78 | 258 |
| 4 | 0.455 | 122 | 106 | 105 | 347 | 80 | 41 | 35 | 116 |
| 5 | 0.300 | 48 | 64 | 55 | 180 | 31 | 11 | 15 | 42 |
| 6+ | 0.250 | 34 | 29 | 39 | 109 | 9 | 19 | 16 | 61 |

Cuando el manejo de los stocks contempla una reducción del esfuerzo ejercido, es de suma importancia considerar los problemas que probablemente surgirán durante el período de transición. Un dueño de embarcación, con un capital pequeño, no encontrará consuelo en la promesa de un posible aumento de los ingresos que podría llegar a obtener en unos pocos años más, si es que éste quiebra en el primer año por los magros rendimientos que se van a obtener.

8.7 MODELO DE THOMPSON Y BELL, BASADO EN LAS TALLAS

El "modelo de Thompson y Bell basado en las tallas" utiliza como valores de entrada los resultados de un análisis de cohorte basado en las tallas. Los valores de entrada consisten en las mortalidades por pesca por grupo de talla, el arreglo de F a las tallas, el número de peces en el grupo de talla más pequeño, y el factor H de mortalidad natural por grupo de talla, que deben ser las mismas que las utilizadas en el análisis de cohorte. Valores de entrada adicionales son los parámetros de una relación talla-peso (o el peso promedio de un pez o camarón por grupo de tallas) y el precio promedio por kg por grupo de talla.

Las salidas son las mismas que las correspondientes al modelo basado en la edad, vale decir, para cada grupo de talla se obtiene el número de individuos en el límite inferior del grupo de talla, $N(L1)$, la captura en número de peces, el rendimiento en peso, la biomasa multiplicada por Δt , es decir, el tiempo requerido para crecer desde el límite inferior al límite superior del grupo de talla y la valorización del rendimiento. Así también se obtienen los valores totales de la captura, del rendimiento, de la biomasa* Δt promedio y la valorización del rendimiento global. Los cálculos se repiten para un rango de valores de X (factores F) y se grafican los resultados finales (totales). El principio involucrado en este análisis es el mismo que se describió anteriormente en los modelos basados en la edad, aunque las fórmulas son ligeramente diferentes. Ellos pueden

ser derivados de aquellos usados para el análisis de Jones, basado en las tallas, Ecs. 5.3.4 y 5.3.7, de la forma siguiente:

Primero se reordena la Ec. 5.3.7 :

$$C(L1,L2) = [N(L1)-N(L2)]*F(L1,L2)/Z(L1,L2) \quad (8.7.1)$$

luego se inserta en la Ec. 5.3.4 que da:

$$N(L1) = \{N(L2)*H(L1,L2)+[N(L1)-N(L2)]*F(L1,L2)/Z(L1,L2)\}*H(L1,L2)$$

donde:

$$H(L1,L2) = \left[\frac{L_{\infty}-L1}{L_{\infty}-L2} \right]^{M/2K}$$

que es el mismo factor usado en el análisis de cohorte de Jones en base a datos de tallas (Ec. 5.3.3).

Resolviendo esta ecuación con respecto a N(L2) se obtiene:

$$N(L2) = N(L1) * \frac{1/H(L1,L2) - F(L1,L2)/Z(L1,L2)}{H(L1,L2) - F(L1,L2)/Z(L1,L2)} \quad (8.7.2)$$

Para calcular el rendimiento (captura en peso) por grupo de talla, la captura C (en números) tiene que ser multiplicada por el peso medio del grupo de talla, $\bar{w}(L1,L2)$, que se obtiene como sigue:

$$\bar{w}(L1,L2) = q*[(L1+L2)/2]^b$$

donde q y b son los parámetros de la relación longitud-peso.

El rendimiento de este grupo de talla es el dado por:

$$Y(L1,L2) = C(L1,L2) * \bar{w}(L1,L2) \quad (8.7.3)$$

La valorización del rendimiento está dado por:

$$V(L1,L2) = Y(L1,L2) * \bar{v}(L1,L2) \quad (8.7.4)$$

donde $\bar{v}(L1,L2)$ es el precio promedio por kg de los peces entre las tallas L1 y L2.

Durante el tiempo $\Delta t(L1,L2)$, que equivale al lapso que toma a la cohorte para crecer de L1 a L2, el número de peces sobrevivientes disminuye de N(L1) a N(L2). El número medio de sobrevivientes de ese grupo de tallas se calcula como sigue:

$$\bar{N}(L1,L2)*\Delta t(L1,L2) = [N(L1)-N(L2)]/Z(L1,L2) \quad (8.7.5)$$

La correspondiente biomasa media multiplicada por Δt es:

$$\bar{B}(L1,L2)*\Delta t(L1,L2) = \bar{N}(L1,L2)*\Delta t(L1,L2)*\bar{w}(L1,L2) \quad (8.7.6)$$

El rendimiento anual es simplemente la suma del rendimiento de todos los grupos de talla:

$$Y = \sum Y_i$$

La valorización anual es la suma de la valorización de todos los grupos de tallas:

$$V = \sum V_i$$

Como se discutió en la Sección 5.3

$$\bar{B} = \sum B_i * \Delta t_i$$

es un estimado de la biomasa promedio durante el ciclo de vida de una cohorte, o de todas las cohortes durante un año. En el método basado en la edad, Sección 8.6, no fue necesario multiplicar cada biomasa por Δt , porque ésta era constante e igual a 1/12 de año, o un mes, pero en este caso Δt es variable.

Las Ecs. 8.7.1 a 8.7.6 han sido presentadas para un grupo de talla específica (L_1, L_2). Como en la versión basada en edad, el siguiente bloque de fórmulas resume las fórmulas para el modelo de Thompson y Bell basado en las tallas, en forma general, incluyendo X (factor F). El índice i se refiere aquí al intervalo de talla (L_i, L_{i+1}). El índice L_i se refiere al límite inferior del intervalo de talla y L_{i+1} al límite superior del mismo.

$$\begin{aligned}
 &\text{intervalo de talla: } i = (L_i, L_{i+1}) \\
 &Z_i = M + X * F_i \\
 &N(L_{i+1}) = N(L_i) * \frac{1/H_i - X * (F_i/Z_i)}{H_i - X * (F_i/Z_i)} \quad \text{donde} \\
 &H_i = \left[\frac{L_\infty - L_i}{L_\infty - L_{i+1}} \right]^{M/2K} \\
 &C_i = [N(L_i) - N(L_{i+1})] * X * F_i / Z_i \quad (8.7.7) \\
 &\bar{w}_i = q * [(L_i + L_{i+1}) / 2]^b \\
 &Y_i = C_i * \bar{w}_i \\
 &V_i = Y_i * \bar{v}_i \\
 &\bar{N}_i * \Delta t_i = [N(L_i) - N(L_{i+1})] / Z_i \\
 &\bar{B}_i * \Delta t_i = \bar{N}_i * \Delta t_i * \bar{w}_i
 \end{aligned}$$

Características del análisis de Thompson y Bell, basado en las tallas

Puesto que el análisis basado en las tallas de Thompson y Bell, está derivado del análisis de cohorte de Jones, basado en las tallas (Sección 5.3) el que a su vez está basado en el análisis de cohorte de Pope basado en la edad (Sección 5.2), el método basado en la talla de Thompson y Bell tiene las mismas limitaciones que el análisis de cohorte en base a la edad de Pope. La aproximación al APV en el modo predictivo es válido para valores de $F * \Delta t$ hasta 1.2 y de $M * \Delta t$ hasta 0.3 (Pope, 1972). Si los valores de F son altos, se obtendrán resultados sin ningún sentido en el análisis, tales como números negativos de stock. Si ese es el caso, se requieren grupos de tallas más pequeños y por tanto valores Δt más pequeños.

Sin embargo, la aproximación no es necesaria, porque la versión anterior del APV no involucra la solución iterativa para F (Ec. 5.1.3). Al utilizar la técnica del APV en el análisis de Thompson y Bell se requieren reemplazar la segunda y tercera fórmula de las Ecs. 8.7.7 por la Ec. 4.2.6 y Ec. 4.4.5.1:

$$N(L_{i+1}) = N(L_i) * \exp(-Z_i * \Delta t_i) \quad (8.7.8)$$

donde:

$$\Delta t_i = \frac{1}{K} * \ln \frac{L_\infty - L_i}{L_\infty - L_{i+1}}$$

El peso medio en el “grupo-plus” se obtiene con la Ec. 5.3.16.

TABLA 8.7.1
Datos de entrada para realizar el análisis de Thompson y Bell, basado en las tallas.
Merluza de Senegal

| grupo de talla (L_i, L_{i+1}) | $F(L_i, L_{i+1})$ | $H(L_i, L_{i+1})$ | $\bar{w}(L_i, L_{i+1})$ (kg) | $\bar{v}(L_i, L_{i+1})$ (unidades monetarias /kg) |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|--|
| 6-12 | 0.04 | 1.0719 | 0.0073 | 1.0 |
| 12-18 | 0.39 | 1.0758 | 0.0338 | 1.0 |
| 18-24 | 1.07 | 1.0801 | 0.0926 | 1.0 |
| 24-30 | 0.65 | 1.0850 | 0.196 | 1.5 |
| 30-36 | 0.49 | 1.0905 | 0.359 | 1.5 |
| 36-42 | 0.59 | 1.0967 | 0.593 | 2.0 |
| 42-48 | 0.65 | 1.1039 | 0.911 | 2.0 |
| 48-54 | 0.39 | 1.1122 | 1.33 | 2.5 |
| 54-60 | 0.29 | 1.1220 | 1.85 | 2.5 |
| 60-66 | 0.31 | 1.1337 | 2.50 | 2.5 |
| 66-72 | 0.40 | 1.1478 | 3.29 | 3.0 |
| 72-78 | 0.39 | 1.1652 | 4.22 | 3.0 |
| 78-84 | 0.11 | 1.1873 | 5.31 | 3.0 |
| 84-∞ | 0.28 | - | 12.25 | 3.0 |

Ejemplo 30: Análisis de Thompson y Bell, basado en las tallas, merluza, Senegal

Como ejemplo de un análisis de Thompson y Bell basado en las tallas, se utilizarán los datos de la Tabla 5.3.3 para la merluza (*Merluccius merluccius*) capturada frente a Senegal. Se utilizan los siguientes parámetros de entrada (véase la Sección 5.3):

$$L_\infty = 130 \text{ cm}, K = 0.1 \text{ por año}, M = 0.28 \text{ por año}, q = 0.00001 \text{ kg/cm}^3$$

$$b = 3, N \text{ (primer grupo de talla)} = N(6) = 98919.3$$

Usando los valores F y los factores de mortalidad natural, H , de la Tabla 5.3.3 y los pesos derivados de $\bar{w}_i(L_1, L_2) = q * [(L_i + L_{i+1}) / 2]^b$, la relación talla-peso, y algunos precios por kg para la merluza (en este caso seleccionados arbitrariamente), los valores de entrada pueden resumirse como en la Tabla 8.7.1.

Utilizando las Ecs. 8.7.7 con $X = 1$ y los datos de entrada de la Tabla 8.7.1 se puede calcular el número de peces en el grupo de talla subsiguiente, la captura, rendimiento, biomasa media* Δt y la correspondiente valorización, como se presentan en el siguiente ejemplo:

$$N(12) = N(6) * [1/H(6,12) - F(6,12)/Z(6,12)] / [H(6,12) - F(6,12)/Z(6,12)] =$$

$$= 98919.3 * [1/1.0719 - 0.04/0.32] / [1.0719 - 0.04/0.32] =$$

$$= 84400.8$$

$$C(6,12) = [N(6) - N(12)] * X * F(6,12) / Z(6,12) =$$

$$= [98919.3 - 84400.8] * 1 * 0.04 / 0.32 = 1814.8$$

$$\bar{w}(6,12) = q * [(6 + 12) / 2]^b =$$

$$= 0.00001 * 9^3 = 0.007290$$

$$Y(6,12) = C(6,12) * \bar{w}(6,12) =$$

$$= 1814.8 * 0.007290 = 13.23$$

$$\begin{aligned}\bar{B}(6,12)*\Delta t(6,12) &= [N(6)-N(12)]/Z(6,12)*\bar{w}(6,12) \\ &= [98919.3 - 84400.8]/0.32]*0.007290 = 330.7 \\ V(6,12) &= Y(6,12) * \bar{v}(6,12) \\ &= 13.23*1.0 = 13.23\end{aligned}$$

Estos cálculos se continúan hasta llegar al último grupo de tallas. Puesto que ese es el llamado "grupo-plus" es necesario hacer algunos supuestos adicionales: $N(\infty) = 0$ y $\bar{w}(84,\infty) = \bar{w}(84,90)$. Los resultados son:

$$\begin{aligned}C(84,\infty) &= [N(84)-N(\infty)]*F(84,\infty)/Z(84,\infty) \\ &= [92 - 0]*0.28/0.56 = 46 \\ \bar{w}(84,\infty) &= \bar{w}(84,130) = q*[(84+130)/2]^b \\ &= 0.00001*107^3 = 12.25 \\ Y(84,\infty) &= C(84,\infty)*\bar{w}(84,\infty) \\ &= 46*12.25 = 563.5 \\ \bar{B}(84,\infty)*\Delta t(84,\infty) &= [N(84)-N(\infty)]/Z(84,\infty) * \bar{w}(84,\infty) \\ &= [(92 - 0)/0.56]*12.25 = 2012.5 \\ V(84,\infty) &= Y(84,\infty)*\bar{v}(84,\infty) \\ &= 563.5*3.0 = 1690.5\end{aligned}$$

TABLA 8.7.2
Resultado del análisis de Thompson y Bell, basado en las tallas, aplicado a la merluza de Senegal, utilizando el factor-F, X = 1.0. Los pesos están expresados en toneladas (véase la Tabla 5.3.4)

| grupo de talla (L_i, L_{i+1}) | F (L_i, L_{i+1}) X = 1.0 | N(L_i) (*1000) | C (L_i, L_{i+1}) (*1000) | rendimiento (L_i, L_{i+1}) (ton) | biomasa media* Δt $\bar{B}*\Delta t$ (ton) | valor (L_i, L_{i+1}) (unidades monetarias *1000) |
|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|--|---|--|
| 6-12 | 0.04 | 98919.3 | 1823 | 13.3 | 330.7 | 13.3 |
| 12-18 | 0.39 | 84392.7 | 14463 | 488.1 | 1260.1 | 488.1 |
| 18-24 | 1.07 | 59475.8 | 25277 | 2336.3 | 2191.5 | 2336.3 |
| 24-30 | 0.65 | 27623.0 | 8143 | 1601.0 | 2475.2 | 2401.5 |
| 30-36 | 0.49 | 15967.8 | 3889 | 1397.6 | 2845.9 | 2096.4 |
| 36-42 | 0.59 | 9861.5 | 2959 | 1755.3 | 2970.1 | 3510.5 |
| 42-48 | 0.65 | 5500.5 | 1871 | 1704.9 | 2638.4 | 3409.9 |
| 48-54 | 0.39 | 2818.8 | 653 | 866.2 | 2247.1 | 2165.5 |
| 54-60 | 0.29 | 1691.5 | 322 | 596.3 | 2069.4 | 1490.8 |
| 60-66 | 0.31 | 1056.6 | 228 | 570.1 | 1853.8 | 1710.3 |
| 66-72 | 0.40 | 621.0 | 181 | 594.6 | 1481.9 | 1783.8 |
| 72-78 | 0.39 | 313.7 | 96 | 405.0 | 1040.1 | 1215.0 |
| 78-84 | 0.11 | 148.7 | 16 | 85.0 | 772.0 | 255.1 |
| 84- ∞ | 0.28 | 92.0 | 46 | 563.5 | 2012.6 | 1690.6 |
| Total | | | 59908 | 12977.2 | 26189.0 | 24567.1 |

Siguiendo estos procedimientos el resultado final será como el que se indica en la Tabla 8.7.2. Sin embargo, se debe notar que hay diferencias entre los resultados previos, efectuados con una calculadora de bolsillo y los de la Tabla 8.7.2, realizados considerando 8 cifras significativas en todos los cálculos.

Nótese que los valores de $N(L_i)$, $C(L_i, L_{i+1})$ y el rendimiento (L_i, L_{i+1}) son exactamente los mismos que aquellos calculados a través del análisis de cohorte, basado en las tallas de Jones (Tablas 5.3.3 y 5.3.4). No obstante, pueden ocurrir pequeñas diferencias, como las observadas en el cálculo de la biomasa media $\cdot \Delta t$, debido al redondeo de los valores de F y \bar{w} .

Los cálculos se pueden repetir para diferentes valores de X .

La Tabla 8.7.3 presenta los resultados correspondientes a la Tabla 8.7.2 pero ahora con el factor F , $X = 2.0$, vale decir, se obtiene la predicción de la captura, rendimiento, biomasa media $\cdot \Delta t$ y valor, bajo el supuesto de que se ha duplicado el esfuerzo de pesca. En este caso, el efecto de duplicar el esfuerzo sería una dramática caída en el rendimiento y en la valorización del rendimiento.

La Tabla 8.7.4 muestra el resumen de los resultados para 16 diferentes factores $F(X)$. Cada fila está basada en cálculos como aquellos que se ilustran en las Tablas 8.7.2 y 8.7.3. El rendimiento total, biomasa media y valorización calculados y presentados en la última fila de estas dos tablas también se pueden encontrar en la Tabla 8.7.4. Las dos últimas filas de la Tabla 8.7.4 muestran el rendimiento máximo sostenible (RMS) y el rendimiento económico máximo sostenible (valor) (REMS) junto con el correspondiente factor F y la biomasa del stock. Cuando el precio por kg difiere de un grupo de talla a otro, el factor F que da el RMS usualmente difiere del factor F que da el REMS. Las Tablas 8.7.2 a 8.7.4 fueron calculadas por el programa "MIXFISH" que se incluye en el paquete LFSA (Sparre, 1987). Este programa calcula el RMS y el REMS, usando una técnica iterativa.

TABLA 8.7.3
Resultado del análisis de Thompson y Bell, basado en las tallas, aplicado a
la merluza de Senegal, utilizando el factor-F, $X = 2.0$
(véase la Tabla 8.7.2)

| grupo de talla (L_i, L_{i+1}) | F (L_i, L_{i+1}) $X = 2.0$ | N(L_i) (*1000) | C (L_i, L_{i+1}) (*1000) | rendimiento (L_i, L_{i+1}) (ton) | biomasa media $\cdot \Delta t$ $\bar{B} \cdot \Delta t$ (ton) | valor (L_i, L_{i+1}) (unidades monetarias *1000) |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|--|---|---|
| 6-12 | 0.08 | 98919.3 | 3611.6 | 26.3 | 327.6 | 26.3 |
| 12-18 | 0.77 | 82724.1 | 26041.2 | 878.9 | 1134.4 | 878.9 |
| 18-24 | 2.13 | 47271.6 | 32863.1 | 3043.4 | 1427.4 | 3043.4 |
| 24-30 | 1.29 | 10092.9 | 5154.2 | 1014.5 | 784.2 | 1521.7 |
| 30-36 | 0.98 | 3823.1 | 1652.3 | 593.8 | 604.6 | 890.7 |
| 36-42 | 1.18 | 1699.7 | 881.6 | 523.0 | 442.5 | 1046.0 |
| 42-48 | 1.29 | 609.2 | 351.7 | 320.5 | 248.0 | 640.9 |
| 48-54 | 0.77 | 181.3 | 74.9 | 99.3 | 128.8 | 248.3 |
| 54-60 | 0.58 | 79.3 | 27.4 | 50.8 | 88.1 | 126.9 |
| 60-66 | 0.62 | 38.5 | 14.9 | 37.3 | 60.6 | 111.9 |
| 66-72 | 0.80 | 16.8 | 8.5 | 27.9 | 34.7 | 83.6 |
| 72-78 | 0.78 | 5.4 | 2.8 | 11.9 | 15.3 | 35.8 |
| 78-84 | 0.22 | 1.5 | 0.3 | 1.7 | 7.5 | 5.0 |
| 84-∞ | 0.56 | 0.8 | 0.5 | 6.7 | 12.0 | 20.2 |
| Total | | | 70685.0 | 6636.0 | 5315.9 | 8679.7 |

TABLA 8.7.4
Resultado del análisis de Thompson y Bell basado en las tallas, aplicado a la merluza de Senegal. RMS = Rendimiento Máximo Sostenible. REMS = Rendimiento Económico Máximo Sostenible (valor) (véase la Fig. 8.7.1)

| factor-F X | rendimiento total (ton) | biomasa media total *Δt (ton) | valor total (unidades monetarias) |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------------|---|
| 0.0 | 0 | 571297 | 0 |
| 0.2 | 18903 | 268193 | 48329 |
| 0.4 | 20717 | 135343 | 49701 |
| 0.6 | 18360 | 73209 | 40925 |
| 0.8 | 15474 | 42376 | 31836 |
| 1.0 *) | 12977 *) | 26189 *) | 24567*) |
| 1.2 | 10999 | 17216 | 19168 |
| 1.4 | 9470 | 11976 | 15236 |
| 1.6 | 8287 | 8761 | 12370 |
| 1.8 | 7365 | 6697 | 10259 |
| 2.0**) | 6636**) | 5316**) | 8680**) |
| 2.2 | 6053 | 4357 | 7480 |
| 2.4 | 5580 | 3670 | 6554 |
| 2.6 | 5191 | 3163 | 5829 |
| 2.8 | 4868 | 2780 | 5253 |
| 3.0 | 4596 | 2484 | 4790 |

RMS = 20919 para F-factor, X = 0.343 Biomasa al RMS = 163296
 REMS = 51544 para F-factor, X = 0.301 Biomasa al REMS = 188207

*) véase la Tabla 8.7.2

***) véase la Tabla 8.7.3

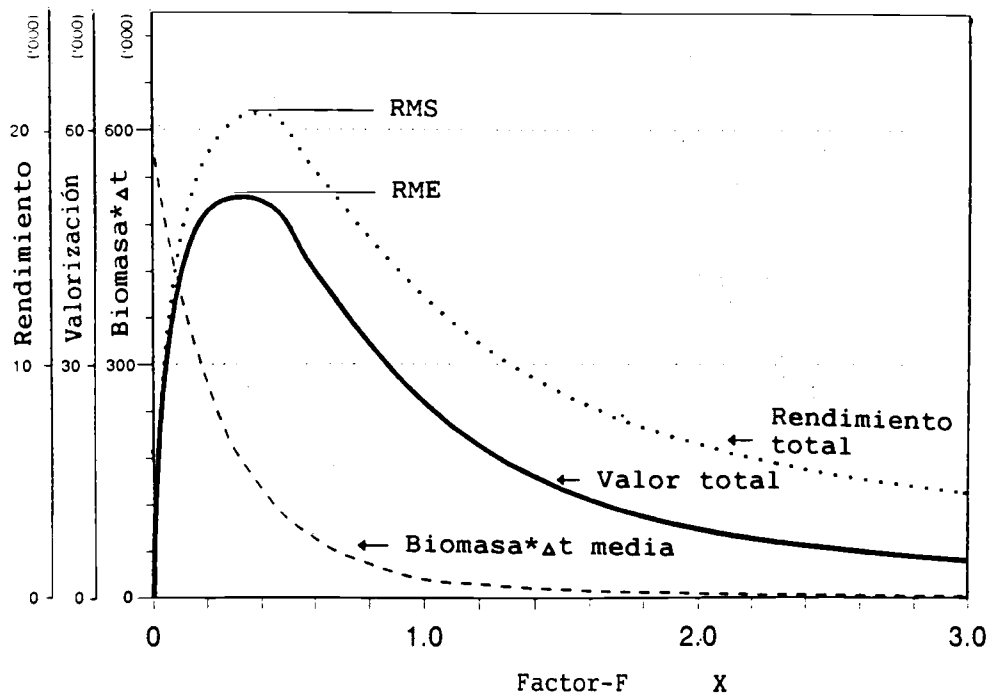


Fig. 8.7.1 Representación de los resultados del análisis de Thompson y Bell basado en las tallas, merluza, Senegal (véase la Tabla 8.7.4).

Los resultados de la Tabla 8.7.4 han sido graficados en la Fig. 8.7.1. Dicho gráfico muestra claramente que el actual nivel de esfuerzo de pesca está muy por encima del que produce el rendimiento máximo sostenible, y la conclusión a sacar de este análisis es que el stock está sometido a sobrepesca, ya que una reducción en el esfuerzo aplicado produciría un rendimiento más alto.

En el caso de una interacción económica, donde varias flotas están explotando un mismo recurso, las capturas predichas por el análisis de Thompson y Bell, basado en las tallas, puede ser particionado exactamente en el mismo modo que se muestra en la Sección 8.6 (véanse las Tablas 8.6.3 a 8.6.5).

El supuesto detrás del análisis basado en las tallas de Thompson y Bell (y subyacente al análisis de cohorte de Jones en base a datos de tallas) es que el stock permanece en un estado de equilibrio, con todos los parámetros (por ejemplo, el reclutamiento) constantes. Así, se obtiene una predicción de la “*capturas promedio en el largo plazo*”. Se espera que en años considerados individualmente haya variaciones respecto de las capturas predichas.

(Véanse los **Ejercicios** en la Parte 2)

8.8 PREDICCIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO DEL TAMAÑO DE MALLA, USANDO EL METODO DE THOMPSON Y BELL

La regulación del tamaño de mallas es una importante herramienta de manejo empleada en muchas pesquerías. Por lo tanto, es importante estar en posición de predecir el resultado de un posible cambio en el tamaño de la malla empleada. Puesto que un cambio en el tamaño de malla causará un cambio en el patrón de pesca, es decir, en el arreglo de valores de F , se pueden utilizar las fórmulas presentadas en las Secciones 6.6.1 y 6.6.2 para obtener una predicción, en otras palabras se usa la situación “actual” para predecir una “nueva” situación.

Se puede expresar la mortalidad por pesca actual por medio del modelo basado en la edad o en las tallas (véase la Ec. 6.6.1.1):

$$F_{\text{actual}} = F_m * S_{t_{\text{actual}}} \quad (8.8.1)$$

y

$$F_{L_{\text{actual}}} = F_m * S_{L_{\text{actual}}} \quad (8.8.2)$$

donde F_m es la máxima mortalidad por pesca y $S(\text{actual})$ la curva de selección del arte actual, por ejemplo, si el arte tiene la curva de selección del tipo de ojiva, característico de los artes de arrastre:

$$S_{\text{actual}} = 1 / [1 + \exp(T1 - T2 * t)] \quad (8.8.3)$$

y

$$S_{L_{\text{actual}}} = 1 / [1 + \exp(S1 - S2 * L)] \quad (8.8.4)$$

Los parámetros $T1$ y $T2$ están definidos por las Ecs. 6.4.3.4 y 6.4.3.5 respectivamente, mientras que $S1$ y $S2$ son definidos por las Ecs. 6.1.6 y 6.1.7, correspondientemente.

Los parámetros $t_{50\%}$ y $t_{75\%}$ son las edades a las cuales el 50% y 75% de los peces son retenidos por el arte, respectivamente. Usualmente se conoce las tallas $L_{50\%}$ y $L_{75\%}$ que corresponden a $t_{50\%}$ y $t_{75\%}$.

Con los parámetros conocidos, $L_{50\%}$ y $L_{75\%}$, para el arte actualmente en uso, se está en posición de calcular una nueva curva de selección basada en edades o tallas para los nuevos valores de $L_{50\%}$ y $L_{75\%}$ (ó $t_{50\%}$ y $t_{75\%}$). A partir de la nueva ojiva de selección, y el F_m de la pesquería actual, se puede calcular un nuevo arreglo de mortalidades por pesca, usando la Ec. 6.6.1.1:

$$F_{\text{nuevo}} = F_m * S_{t_{\text{nuevo}}} \quad (8.8.5)$$

y

$$F_{L_{\text{nuevo}}} = F_m * S_{L_{\text{nuevo}}} \quad (8.8.6)$$

Los nuevos F son entonces usados como entradas para el modelo de Thompson y Bell, y se pueden comparar los resultados para el patrón alternativo de F, F(actual) y F(nuevo) (Hoydal *et al.*, 1980 y 1982). Este método es una generalización del método sugerido por Gulland (1961), Jones (1961) y Kimura (1977).

Programas computacionales

El programa "MIXFISH" en el paquete computacional LFSA (Sparre, 1987) contiene una opción para la evaluación del efecto de utilizar distintos tamaños de malla, siguiendo el procedimiento descrito anteriormente. Este programa genera un resultado que muestra el rendimiento total para varias combinaciones de esfuerzo y L50%, por ejemplo, una tabla de la forma:

| | | Esfuerzo relativo | | | | |
|------------------------|------------|-------------------|-------|-------------|-------|-------|
| | | - 20% | - 10% | sin cambio | + 10% | + 20% |
| Valor relativo de L50% | - 30% | | | | | |
| | - 15% | | | | | |
| | sin cambio | | | RENDIMIENTO | | |
| | + 15% | | | | | |
| | + 30% | | | | | |

El programa MIXFISH supone que L75% es proporcional a L50%. Así también MIXFISH le permite probar cualquier combinación de L50% y esfuerzo aplicado, lo que posibilita establecer la combinación óptima entre estas dos variables (L50% y esfuerzo). La celda central, en la que el programa inscribe "RENDIMIENTO" corresponde a la situación actual de pesca.

Un programa similar al anteriormente descrito, también se ha incorporado en el programa computacional FiSAT.

