

9 ESTIMACION DEL RENDIMIENTO MAXIMO SOSTENIBLE MEDIANTE MODELOS DE PRODUCCION EXCEDENTARIA

A diferencia de los Capítulos 3 al 8, los Capítulos 9 y 13 no se basan en los “modelos analíticos”, sino en los “modelos holísticos” (véase la Fig. 1.8.1), en los cuales se considera al stock como una gran unidad de biomasa y donde no se hace ningún intento por modelar en base a la edad o a las tallas. Los “*modelos de producción excedentaria*”, que son discutidos en este capítulo, tratan con el stock en su globalidad, el esfuerzo total de pesca y el rendimiento total obtenido de este stock, sin entrar en detalles sobre los parámetros de crecimiento y mortalidad o del efecto del tamaño de la malla sobre la edad de los peces capturados, etc. Los modelos de producción excedentaria fueron introducidos por Graham (1935), pero a menudo se les llama “modelos de Schaefer” (véase más abajo).

El objetivo perseguido en la aplicación de los “modelos de producción excedentaria” es determinar el nivel óptimo de esfuerzo, es decir, el esfuerzo que produce el máximo rendimiento que puede ser sostenible sin afectar la productividad a largo plazo del stock, lo que se denomina rendimiento máximo sostenible (RMS). La teoría tras los modelos de producción excedentaria ha sido revisada por varios autores, por ejemplo, Ricker (1975), Caddy (1980), Gulland (1983) y Pauly (1984).

Debido a que los modelos holísticos son mucho más sencillos que los modelos analíticos, los datos requeridos son también menores. No hay, por ejemplo, necesidad de determinar edades. Esta es una de las principales razones de la relativa popularidad de los modelos de producción excedentaria para la evaluación de peces tropicales. Los modelos de producción excedentaria se pueden aplicar cuando se cuenta con registros de rendimientos por especie y del esfuerzo aplicado en un cierto número de años, durante los cuales éste debe haber variado en forma apreciable.

9.1 LOS MODELOS DE SCHAEFER Y FOX

El rendimiento máximo sostenible (RMS) se calcula a partir de los siguientes datos de entrada:

$$f(i) = \text{esfuerzo aplicado en el año } i, i = 1, 2, \dots, n$$

$$Y/f = \text{rendimiento (captura en peso) por unidad de esfuerzo en el año } i,$$

Y/f se puede determinar del rendimiento logrado en toda la pesquería, $Y(i)$, en el año i , y del correspondiente esfuerzo aplicado, $f(i)$, utilizando la fórmula:

$$Y/f = Y(i)/f(i), i = 1, 2, \dots, n \quad (9.1.1)$$

La manera más simple de expresar el rendimiento por unidad de esfuerzo en función al esfuerzo es a través del modelo lineal propuesto por Schaefer (1954):

$$Y(i)/f(i) = a + b \cdot f(i) \quad \text{si } f(i) \leq -a/b \quad (9.1.2)$$

La Ec. 9.1.2 se denomina como el “*modelo de Schaefer*”.

La pendiente, b , debe ser negativa si la captura por unidad de esfuerzo, Y/f , decrece a medida que aumenta el esfuerzo, f , (véase la Fig. 9.1.1). El intercepto, a , es el valor Y/f que se obtiene inmediatamente después de que la primera embarcación extrae la primera captura del stock. Por lo tanto, el intercepto debe ser positivo. Así, $-a/b$ es positivo e Y/f es igual a cero para $f = -a/b$. Puesto que un valor negativo de captura por unidad de esfuerzo (Y/f) es absurdo, el modelo sólo se aplica a valores de f inferiores a $-a/b$.

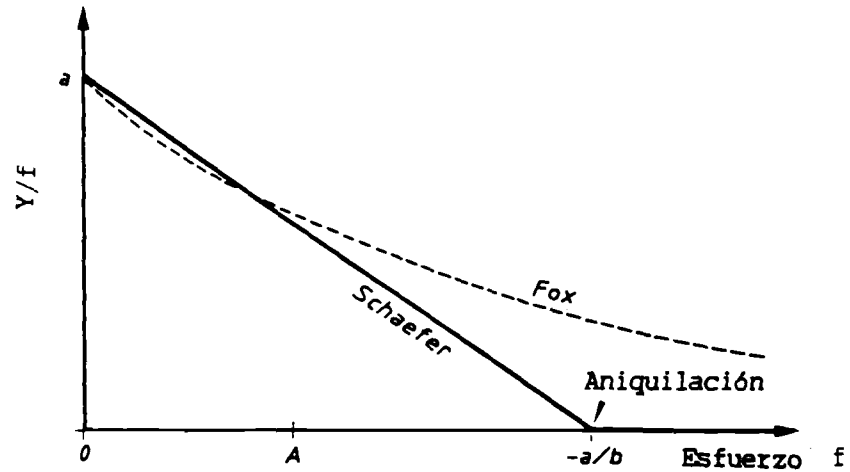


Fig. 9.1.1 Ilustración de los diferentes supuestos que sustentan los modelos de Schaefer y de Fox.

Posteriormente, Fox (1970) introdujo un modelo alternativo al ya explicado. En este nuevo modelo resulta una línea curva cuando se gráfica directamente Y/f respecto al esfuerzo, f , (véase la Fig. 9.1.1), mientras que se obtiene una línea recta cuando se grafican los logaritmos de Y/f contra el esfuerzo:

$$\ln (Y(i)/f(i)) = c + d*f(i) \tag{9.1.3}$$

La Ec. 9.1.3 se denomina el “*modelo de Fox*”.

Ambos modelos concuerdan con el supuesto de que Y/f disminuye a medida que aumenta el esfuerzo, pero difieren en el sentido de que el modelo de Schaefer implica un cierto nivel de esfuerzo para el cual Y/f es igual a cero, es decir cuando $f = -a/b$, mientras que en el modelo de Fox, Y/f es mayor que 0 para cualquier valor de f .

Esta diferencia se puede observar claramente en la Fig. 9.1.1, ya que la relación entre Y/f y f resulta ser una línea recta en el caso del modelo de Schaefer, y en el caso del modelo de Fox se obtiene una línea curva, que se aproxima a cero (asintóticamente) sólo a muy altos valores de esfuerzo, pero sin llegar nunca a 0.

En la Sección 8.3 se demostró que el $CPUEw(t) = q*B(t)$ (Ec. 8.3.1). Ya que Y/f es también la captura por unidad de esfuerzo en peso, se puede escribir:

$$Y(i)/f(i) = q*B = a + b*f(i) \text{ para el modelo de Schaefer y}$$

$$Y(i)/f(i) = q*B = \exp(c + d*f(i)) \text{ para el modelo de Fox}$$

donde B es la biomasa y q el coeficiente de capturabilidad (una constante).

La Fig. 9.1.1 muestra otra característica básica de los dos modelos. Para f cercano a cero, Y/f toma el valor máximo y lo mismo hace la biomasa ya que $Y/f = q*B$, y q es una constante. La biomasa correspondiente a $f=0$ se denomina “*biomasa del stock virgen*” o “*biomasa no explotada*” y se expresa por B_v . De esta manera, reemplazando Y/f por $q*B_v$ en las Ecs. 9.1.2 y 9.1.4 queda:

$$q*B_v = a \quad \text{o} \quad B_v = a/q \quad (\text{Schaefer})$$

$$q*B_v = \exp(c) \quad \text{o} \quad B_v = \exp(c)/q \quad (\text{Fox})$$

La B_v de los dos modelos debe ser la misma. Cuando f aumenta de cero al nivel A (véase la Fig. 9.1.1), las dos curvas son aproximadamente iguales, pero a la derecha de A , las diferencias se vuelven más grandes. De este modo, la elección entre los modelos es importante sólo cuando se observan valores

relativamente grandes de f . No se puede demostrar que uno de estos modelos sea superior al otro. Se puede escoger el que se considere más razonable en cada caso particular o el que dé el mejor ajuste a los datos observados. El modelo de Beverton y Holt concuerda más con el modelo de Fox, ya que ambos tienen una relación curvilínea entre la captura por unidad de esfuerzo y el esfuerzo (véanse las Figs. 8.3.1 y 9.1.1), así como también entre la biomasa promedio por recluta \bar{B}/R y F (véanse las Figs. 8.3.2 y 9.1.1).

Ejemplo 31: Modelos de Schaefer y Fox, peces demersales, Mar de Java

La Fig. 9.1.2 presenta un ejemplo gráfico de la relación entre la CPUE, $Y(i)/f(i)$ versus el esfuerzo, $f(i)$ y del rendimiento, $Y(i)$ versus el esfuerzo. Los datos corresponden a registros de la pesca demersal efectuada frente a la costa norte de Java, en el período 1969-1977 (Dwiponggo, 1979). En este caso, el rendimiento, Y , corresponde a la captura anual medida en unidades de 1000 toneladas mientras que Y/f se refiere al rendimiento anual de mil embarcaciones estándar.

Debido a que la flota está compuesta por diferentes tipos de barcos, el esfuerzo de cada categoría de barco ha sido convertida a unidades estándares, antes de sumarlo para obtener el esfuerzo total. No es algo extraño que se observe en este ejemplo como tendencia general que Y/f

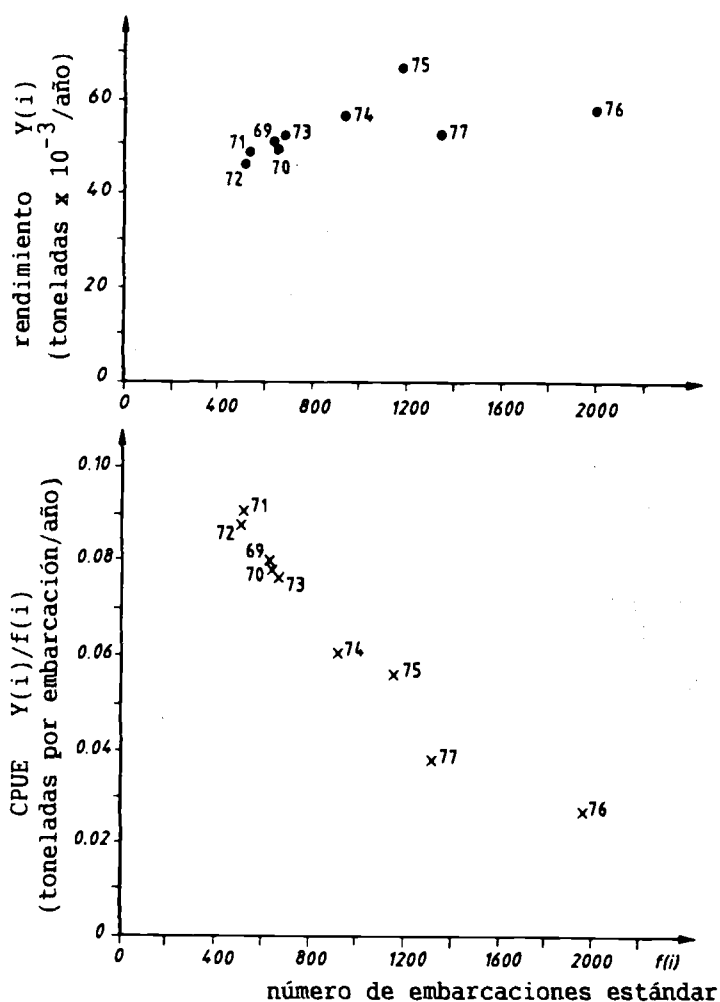


Fig. 9.1.2 Tendencias del rendimiento, $Y(i)$, y de la captura por unidad de esfuerzo, $Y(i)/f(i)$, frente a la costa norte de Java (basada en los datos de la Tabla 9.1.1).

declina al ir aumentando el esfuerzo. Considerando la biomasa del stock como un recurso limitado y que éste es compartido por los barcos que participan en la pesca, es plausible esperar que cada embarcación obtenga una menor cantidad en la medida que ingresan más barcos a pescar.

En este caso, no hay una tendencia clara en la relación entre rendimiento, Y , y esfuerzo, f . A continuación se mostrará como se pueden aplicar ambos modelos a este tipo de datos.

Los procedimientos de estimación para los parámetros (Schaefer: a y b , Fox: c y d) serán explicadas en base a los datos que se entregan en la Tabla 9.1.1 y la Fig. 9.1.2. Dado que se trata de una línea recta en el caso del modelo de Schaefer y con una curva que ha sido linealizada al tomar los logaritmos de Y/f en el caso del modelo de Fox. El determinar a , b y c , d requiere del ajuste de dos regresiones lineales, de $f(i)$ versus $Y(i)/f(i)$ y de $f(i)$ versus $\ln(Y(i)/f(i))$, respectivamente. El resultado de ambas regresiones se entrega en la Tabla 9.1.1, incluyendo las desviaciones estándar de las pendientes y de los interceptos. Las líneas ajustadas se muestran en la Fig. 9.1.3. Así, se han determinado las relaciones entre la captura por unidad de esfuerzo y el esfuerzo con ambos modelos.

Sin embargo, el objetivo del análisis es obtener un estimado del rendimiento máximo sostenible (RMS) y determinar a qué nivel de esfuerzo ha sido o será obtenido el RMS. Con este propósito se

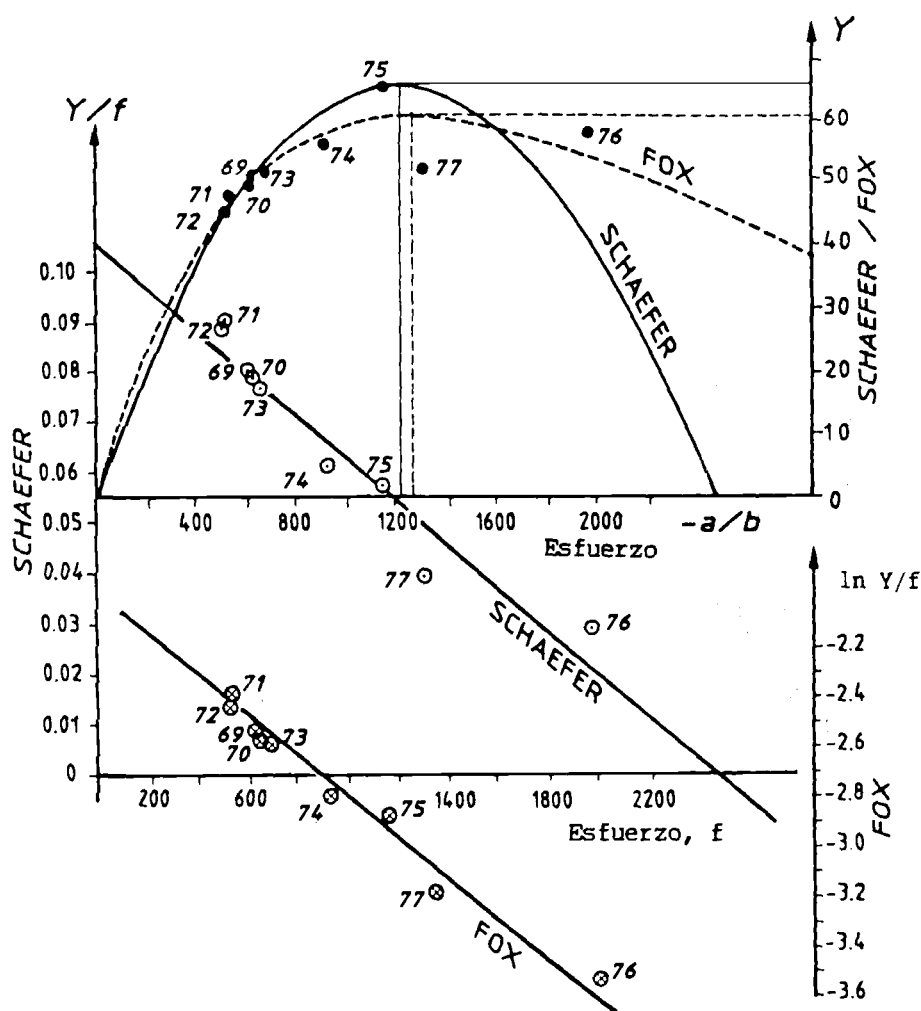


Fig. 9.1.3 Ilustración de los modelos de Schaefer y de Fox, utilizando datos de la pesquería demersal de frente a la costa norte de Java (valores de la Tabla 9.1.1).

TABLA 9.1.1
Procedimiento de cálculo para estimar el RMS y el f_{RMS} mediante el modelo de Schaefer y el modelo de Fox, usando datos de captura y esfuerzo de la pesca de arrastre efectuada en la costa norte de Java (Dwiponggo, 1979) (#)

año	rendimiento (miles de toneladas)	esfuerzo (número de embarcaciones estándar)	SCHAEFER	FOX
i	Y(i)	f(i) x	Y(i)/f(i) y	ln(Y(i)/f(i)) y
1969	50	623	0.080	-2.523
1970	49	628	0.078	-2.551
1971	47.5	520	0.091	-2.393
1972	45	513	0.088	-2.434
1973	51	661	0.077	-2.562
1974	56	919	0.061	-2.798
1975	66	1158	0.057	-2.865
1976	58	1970	0.029	-3.525
1977	52	1317	0.039	-3.232
valor medio		923.22	0.0667	-2.7648
desviación estándar		485.14	0.02171	0.3873
intercepto, a y c			0.1065	-2.0403
pendiente, b y d			-0.00004312	-0.0007848
varianza de la pendiente				
$sb^2 = ((sy/sx)^2 - b^2)/(9-2)$			$2.041 \cdot 10^{-11}$	$3.087 \cdot 10^{-9}$
desviación estándar de la pendiente, sb			0.00000452	0.0000556
límites de confianza de la pendiente				
$b + t_{9.2} \cdot sb \quad t_7 = 2.37$			-0.000032	-0.00065
$b - t_{9.2} \cdot sb$			-0.000053	-0.00092
varianza del intercepto				
$sa^2 = sb^2 \cdot (sx^2 \cdot (n-1) / n + \bar{x}^2)$			0.00002167	0.003277
desviación estándar del intercepto			0.0049	0.0572
límites de confianza del intercepto				
$a + t_{9.2} \cdot sa$			0.095	-2.18
$a - t_{9.2} \cdot sa$			0.118	-1.90
RMS Schaefer : $-0.25 \cdot a^2 / b$			65.8	
Fox : $-(1/d) \cdot \exp(c-1)$				60.9
f_{RMS} Schaefer : $-0.5 \cdot a / b$			1235	
Fox : $-1/d$				1274

(#) En las fórmulas descritas en esta tabla se deben reemplazar a y b por c y d con el modelo de Fox

deben reformular las Ecs. 9.1.2 y 9.1.4, expresando el rendimiento como una función del esfuerzo, al multiplicar ambos lados de la ecuación por $f(i)$. Así,

$$\text{Schaefer: } Y(i) = a*f(i) + b*f(i)^2 \quad \text{si } f(i) < -a/b, \quad (9.1.5)$$

ó

$$Y(i) = 0 \quad \text{si } f(i) = -a/b$$

$$\text{Fox: } Y(i) = f(i)*\exp[c + d*f(i)] \quad (9.1.6)$$

La Ec. 9.1.5, correspondiente al modelo de Schaefer, es una parábola (véase la Fig. 9.1.3), que tiene su valor máximo de $Y(i)$, equivalente al valor de RMS, en un nivel de esfuerzo que se determina por:

$$f_{\text{RMS}} = -0.5*a/b \quad (9.1.7)$$

y el rendimiento correspondiente:

$$\text{RMS} = -0.25*a^2/b \quad (9.1.8)$$

La Ec. 9.1.6, correspondiente al modelo de Fox, representa una curva asimétrica con un máximo (el nivel RMS), con una pendiente relativamente empinada en su lado izquierdo y una declinación mucho más gradual en el lado derecho del máximo (véase la Fig. 9.1.3).

Los valores de RMS y f_{RMS} para el modelo de Fox se pueden calcular con fórmulas derivadas de la Ec. 9.1.6, diferenciado Y , respecto a f , y, resolviendo $dY/df = 0$ para f , obteniéndose las siguientes ecuaciones:

$$f_{\text{RMS}} = -1/d \quad (9.1.9)$$

$$\text{RMS} = -(1/d)*\exp(c-1) \quad (9.1.10)$$

Los resultados de los cálculos de este ejemplo se presentan en la parte inferior de la Tabla 9.1.1.

En la Tabla 9.1.1 y la Fig. 9.1.3 se observa que con los dos modelos se obtienen resultados levemente diferentes. De acuerdo con el modelo de Fox el nivel de RMS es de 60900 toneladas, a un nivel de esfuerzo f_{RMS} de 1274 barcos estándar, mientras que de acuerdo al modelo de Schaefer el nivel de RMS es mucho más alto (65800 toneladas), el que se obtiene con un nivel más bajo de f_{RMS} , equivalente a 1235 barcos estándar. De acuerdo a ambos modelos, el nivel de esfuerzo sobrepasó f_{RMS} en 1976 y el rendimiento estuvo por debajo del RMS (véase la Fig. 9.1.2).

Hasta este momento se ha dado énfasis a los procedimientos de cómputo, que son sencillos. Cabría preguntarse ahora por qué hay que estudiar otros modelos tan complicados como el de rendimiento por recluta de Beverton y Holt, cuando es tan fácil obtener estimaciones del RMS con los modelos de producción excedentaria. Una respuesta es que lo que se gana en simplicidad con los modelos de producción excedentaria tiene como costo el aceptar una serie de supuestos sobre la dinámica de las poblaciones de peces que pueden ser (y casi siempre lo son) imposibles de justificar. Se sabe que estos supuestos casi nunca se cumplen cabalmente, pero se espera que se den al menos en forma aproximada. Algunos de ellos se examinan a continuación. El razonamiento se basa en el modelo de Schaefer, pero se aplica también al modelo de Fox.

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

El supuesto de una situación de equilibrio

Para explicar este concepto se considera una situación en que un stock virgen comienza a ser explotado; por ejemplo, en 1971 por 1000 embarcaciones (véase la Fig. 9.1.4). Suponga que la línea de Schaefer de la Fig. 9.1.4 se aplica a este stock. De acuerdo con el modelo, el rendimiento en 1971 debería ser x (véase la Fig. 9.1.4).

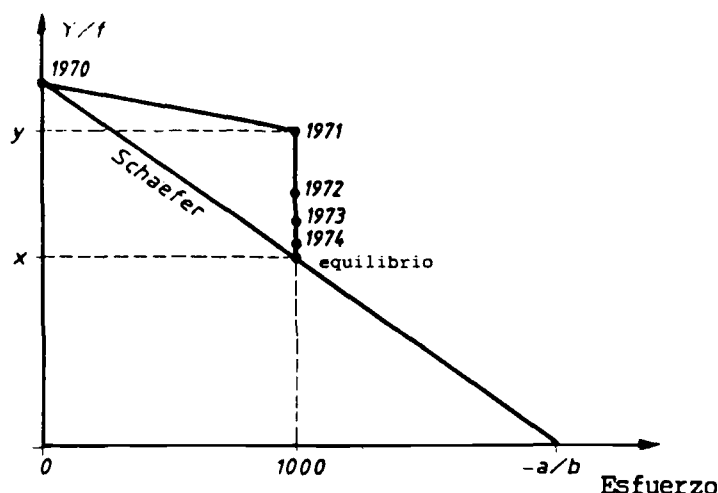


Fig. 9.1.4 Ilustración de los conceptos de una situación de equilibrio y de un período de transición (para mayores explicaciones, véase el texto).

Sin embargo, resultó un valor mayor que el previsto por el modelo. Esto se debe a que cuando comenzó la pesca en 1971, la biomasa era aún B_v (la biomasa del stock virgen), que empieza a disminuir sólo después de un cierto período de explotación.

Cuando la pesca continuó en 1972, la biomasa había disminuido, debido a la mortalidad por pesca en 1971, por lo que la captura de 1972 fue menor que la registrada en el año anterior. El recurso se reduce cada año y esta reducción es más pequeña mientras más prolongado sea el período transcurrido desde la introducción de las 1000 embarcaciones. Al final, el sistema se estabilizará en el nivel x de Y/f . Se dice que el sistema ha alcanzado una nueva “situación de equilibrio” después de un “período de transición”.

En la situación de equilibrio, la producción de biomasa por unidad de tiempo es equivalente a la fracción removida por la pesca, que constituye el rendimiento por unidad de tiempo, más la cantidad de peces que muere por causas naturales. Esto se ilustra en la Fig. 9.2.1.

La “situación de equilibrio” de los modelos de producción excedentaria es comparable al “sistema estabilizado de parámetros constantes” de los modelos de Beverton y Holt (véase la Sección 8.1).

Los supuestos biológicos

EL razonamiento biológico, que sustenta el modelo, fue formulado adecuadamente por Ricker (1975):

- “1. Cuando se está cerca de la densidad máxima del stock, se reduce la eficacia de la reproducción y a menudo el número real de reclutas es menor que con densidades más bajas. En esta situación, la reducción del stock aumentará el reclutamiento.
2. Cuando la disponibilidad de alimento es limitada, la conversión de éste en carne es menos eficiente si el stock es grande que si es pequeño. Cada pez de un gran stock obtiene menos alimento; por lo tanto, una proporción mayor de éste se utiliza tan sólo para mantener la vida, y una parte más pequeña se traduce en crecimiento.
3. Un stock no explotado tiende a tener relativamente más individuos viejos que un stock explotado. Esto da lugar a una disminución de la producción, por lo menos de dos formas:

- (a) Los peces de mayor tamaño tienden a comer presas más grandes, por lo que se puede introducir un nuevo paso en la pirámide alimentaria, con la consiguiente pérdida de eficiencia en la utilización de la producción básica de alimento.
- (b) Los peces más viejos convierten en carne una proporción más pequeña del alimento que consumen, en parte debido a que el organismo de los individuos maduros destina anualmente muchas sustancias a la maduración y a la producción de huevos y espermios.”

No obstante, también se puede considerar que estos modelos son puramente empíricos. Por ejemplo, si las observaciones de Y/f se grafican respecto de f , dan una curva que se aproxima al modelo de Fox, se puede aplicar este modelo sin preocuparse mayormente por una posible explicación biológica.

Supuestos sobre el coeficiente de capturabilidad

Se supone que la mortalidad por pesca es proporcional al esfuerzo (véase la Ec. 4.6.1):

$$F = q * f$$

Este supuesto en sí mismo no es discutible (si f es una medida razonable del esfuerzo). Los problemas surgen cuando f se mide, por ejemplo, en relación al número anual de días - embarcación para una serie de años. En la mayoría de los casos, la eficiencia de las embarcaciones cambia a lo largo del tiempo; tal vez se han vuelto más grandes y están mejor equipadas. Así, 100 días embarcación en 1978, por ejemplo, pueden producir una mortalidad por pesca mayor que 100 días embarcación de 1968. Esto significa que q pasa a ser una función del tiempo o, más bien, una función del desarrollo tecnológico, que generalmente está igualmente en función del tiempo. Pero como resulta muy difícil representar los cambios de q , causados por el aumento de la eficiencia en la pesca, en general, se supone que q permanece constante. Por lo tanto, hay que tener cuidado de no incluir una serie de tiempo demasiado larga en el análisis de producción excedentaria. De lo contrario, habrá que tener en cuenta los posibles cambios de q . En algunas pesquerías de especies pelágicas pequeñas en áreas de surgencia, por ejemplo, en la anchoveta de Chile y Perú, ocurre que los peces se concentran en áreas pequeñas, debido a cambios en las condiciones ambientales. En estos casos, no hay una relación directa entre q , f y F , y de allí que los modelos de producción excedentaria no se puedan aplicar.

9.2 LA FORMULA DE GULLAND

En esta sección se examina el caso de aquellos stocks que han sido escasamente investigados. En tal situación, usualmente no se dispone de series de tiempo de datos de captura y esfuerzo, pero se tienen algunas estimaciones de la biomasa total y de la mortalidad natural.

Sobre este particular, se han desarrollado varias fórmulas empíricas con el objeto de proveer una estimación inicial del RMS, utilizando estos escasos datos. Estas fórmulas han encontrado una amplia aplicación cuando se han obtenido estimaciones de la biomasa a través de prospecciones con redes de arrastre de fondo y/o reconocimientos acústicos. La primera fórmula fue desarrollada por Gulland (1971), mientras que Cadima (Troadec, 1977) propuso una modificación a la misma y, finalmente, una serie de fórmulas fueron desarrolladas por García *et al.* (1989), basado estrictamente en los modelos de producción excedentaria de Schaefer y Fox.

Gulland (1971) sugirió la siguiente manera de calcular el rendimiento máximo sostenible:

$$RMS = 0.5 * M * B_v \tag{9.2.1}$$

en donde B_v es la biomasa del stock virgen y M la mortalidad natural.

Esta fórmula se ha usado especialmente para stocks poco estudiados y poco explotados. La B_v ha sido estimada con el método del área barrida (Capítulo 13) y M es a menudo un valor estimado para una especie similar, en una zona que se considera parecida a la que se está investigando. Puesto que la fórmula de Gulland requiere de una estimación de la biomasa del stock virgen, B_v , en la

CONDICIONES DE EQUILIBRIO

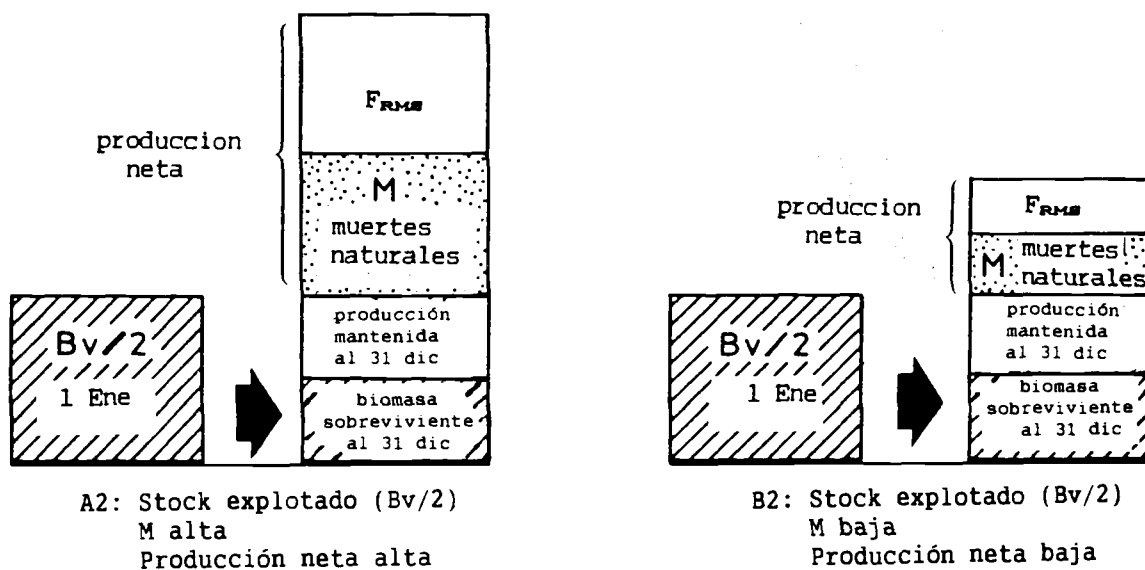
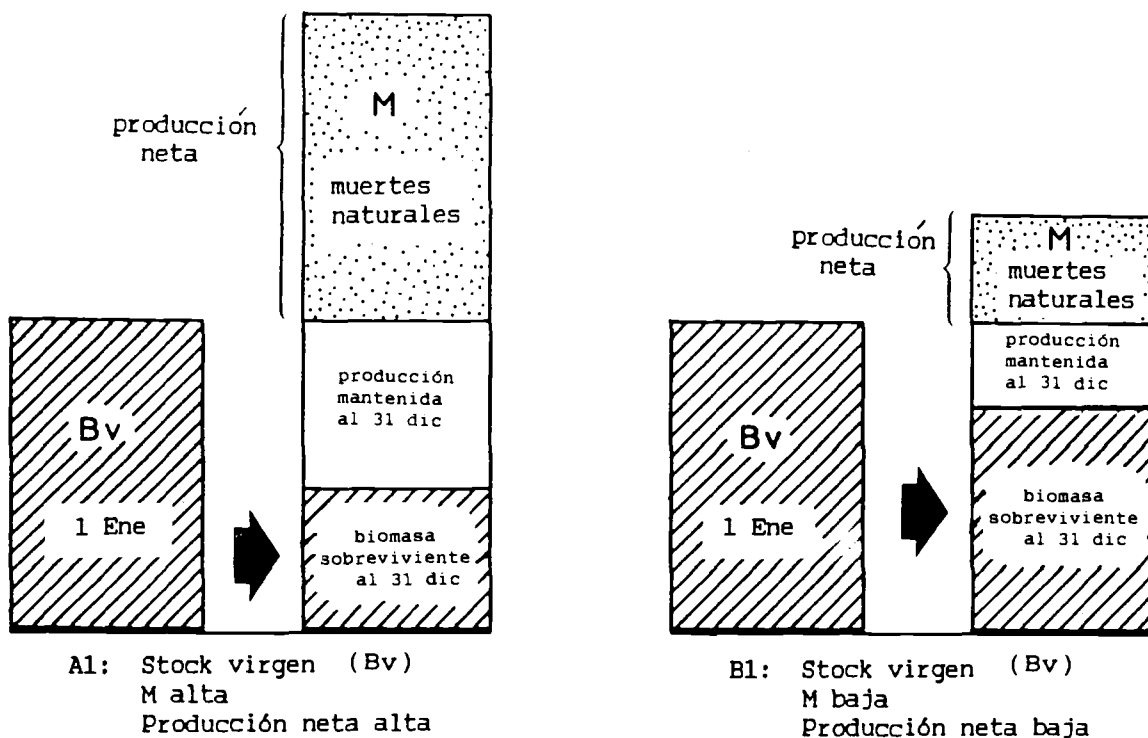


Fig. 9.2.1 Ilustración de la fórmula de Gulland $RMS = 0.5 * M * B_v$ (para mayores explicaciones, véase el texto).

práctica sólo es aplicable a stocks no explotados. No existe una verdadera justificación científica para la Ec. 9.2.1 (J. Gulland, com. pers.). Sin embargo, las siguientes afirmaciones hechas por Tiurin (1962) y Alverson y Pereyra (1969) parecen razonables:

1. El RMS debe depender de la biomasa del stock virgen, B_v .
2. Un valor de M alto corresponde a una producción alta (esto se analiza más detalladamente a continuación).
3. Si la biomasa = $0.5 * B_v$ y $F = M$ en condiciones de explotación óptima, se cumple la Ec. 9.2.1.

El punto 2 antes descrito se ilustra en la Fig. 9.2.1, en donde se considera el balance anual de la biomasa de dos stocks vírgenes: A1, con una alta tasa de producción, y B1, con una baja tasa de producción. En el stock A1 la pérdida, causada por la mortalidad natural, es grande, y para mantener la biomasa, la producción neta debe ser igualmente grande. En el stock B1 la pérdida causada por las muertes naturales es pequeña y, por lo tanto, sólo se requiere una pequeña producción neta para compensarla. Los casos A2 y B2 se refieren a los mismos dos stocks, pero después de haber estado sometidos ambos por algún tiempo a una explotación óptima, es decir que produce el RMS. En A2, gran parte de las muertes naturales ha sido reemplazada por muertes causadas por la pesca. Esto ha sucedido también en B2, pero el potencial de sustitución de muertes naturales por muertes debidas a la pesca es más reducido.

Aunque la Ec. 9.2.1 se utiliza ampliamente, ha sido criticada por diversos investigadores. Así, por ejemplo, Caddy y Csirke (1983) demostraron que el tercer supuesto ($F = M$, en condiciones de explotación óptima) no es aplicable a muchas poblaciones, especialmente las de especies presa (como los camarones). Beddington y Cooke (1983), basándose en estudios de simulación, concluyeron que la Ec. 9.2.1 generalmente sobreestima el RMS en un factor de 2 a 3 veces. Así pues, reemplazando "0.5" por "0.2" en la Ec. 9.2.1 tal vez se obtenga una estimación mejor (y por consiguiente mucho más baja) del RMS.

9.3 LA FORMULA DE CADIMA

Cadima (Troadec, 1977) propuso una versión generalizada del estimador de Gulland, aplicable a los stocks de peces explotados para los que se dispone de pocos datos para la evaluación.

El estimador de Cadima tiene la siguiente forma:

$$RMS = 0.5 * Z * \bar{B} \quad (9.3.1)$$

en donde \bar{B} es la biomasa media (anual) y Z la mortalidad total. Ya que $Z = F + M$ e $Y = F * \bar{B}$, el autor sugirió que en ausencia de datos de Z , la Ec. 9.3.1 se reformula como:

$$RMS = 0.5 * (Y + M * \bar{B}) \quad (9.3.2)$$

donde Y es la captura total de un año y \bar{B} es la biomasa media del mismo año.

Como actualmente la mayor parte de los stocks ya están explotados, esta ecuación se usa con más frecuencia en pesquerías en desarrollo y en algunas pesquerías desarrolladas para las que aún no se dispone de series de tiempo de captura y esfuerzo, pero en las que ocasionalmente se obtienen estimaciones de la biomasa, por ejemplo, por prospecciones acústicas o de arrastre.

9.4 ESTIMACIONES DEL RMS BASADAS EN EL MODELO DE PRODUCCION EXCEDENTARIA

De acuerdo a las consideraciones expuestas en la sección anterior, García *et al.* (1989) propusieron otras dos formas de estimar el rendimiento potencial de stocks explotados, que básicamente tienen

los mismos fundamentos y aplicaciones que los estimadores de Gulland y Cadima, pero que son coherentes con los modelos en los que se basan. Como ya se indicó, las dos propuestas se elaboraron, deduciéndolas del modelo de Schaefer y del modelo de Fox.

Ambos métodos suponen que las observaciones:

\bar{B} , (biomasa media), e Y (rendimiento actual)

están disponibles sólo para un año. También suponen que se conoce la mortalidad natural, M , y que entre M y f_{RMS} existe una relación del tipo:

$$f_{RMS} = k * M \quad (9.4.1)$$

donde k es una constante.

Debido a que $F = Y/\bar{B}$ e $Y/F = \bar{B}$, los modelos de producción excedentaria (Ecs. 9.1.2 y 9.1.3) se pueden escribir en la forma siguiente:

$$\text{Schaefer: } \bar{B} = a + b * (Y/\bar{B}) \quad (9.4.2)$$

$$\text{Fox: } \ln B = c + d * (Y/\bar{B}) \quad (9.4.3)$$

Suponga que se dispone de las observaciones B_1 e Y_1 y que cuenta con una "estimación" de M ; combinándolas con el supuesto de la Ec. 9.4.1 se obtiene que:

$$\begin{aligned} \text{Schaefer: } B_1 &= a + b * (Y_1/B_1) \\ \text{y} \quad f_{RMS} &= k * M = -a/2b \end{aligned} \quad (9.4.4)$$

$$\begin{aligned} \text{Fox: } \ln B_1 &= c + d * (Y_1/B_1) \\ \text{y} \quad f_{RMS} &= k * M = -1/d \end{aligned} \quad (9.4.5)$$

Estas ecuaciones se pueden resolver para a y b , y para c y d en los modelos de Schaefer y de Fox, respectivamente:

$$\text{Schaefer: } a = \frac{2 * f_{RMS} * B_1^2}{2 * f_{RMS} * B_1 - Y_1} \quad b = \frac{B_1^2}{2 * f_{RMS} * B_1 - Y_1} \quad (9.4.6)$$

$$\text{Fox: } c = \ln(B_1) + Y_1 / (B_1 * f_{RMS}) \quad d = -1 / f_{RMS} \quad (9.4.7)$$

Una vez que se tienen (a, b) o (c, d) se puede calcular el RMS mediante las Ecs. 9.1.8 y 9.1.10:

$$\text{Schaefer: } RMS = -0.25 * a^2 / b$$

$$\text{Fox: } RMS = -(1/d) * \exp(c-1)$$

y trazar las curvas de rendimiento (véanse las Ecs. 9.1.5 y 9.1.6).

La expresión del RMS correspondiente al modelo de Schaefer se encuentra, insertando la Ec. 9.4.6 en la Ec. 9.1.8:

$$RMS = \frac{f_{RMS}^2 * \bar{B}^2}{2 * f_{RMS} * \bar{B} - Y} \quad (9.4.8)$$

La curva de rendimiento está determinada por a y b (Ec. 9.4.6). Cuando f_{RMS} no se conoce (como sucede a menudo), se puede reemplazar por $k * M$. En el caso que $k = 1$ y $f_{RMS} = M$, se tiene que:

$$RMS = \frac{M^2 * \bar{B}^2}{2 * M * \bar{B} - Y} \quad (9.4.9)$$

Si el stock no está explotado (es decir, cuando $f = 0$, $Y = 0$ y $B = B_v$), la Ec. 9.4.9 pasa a ser la fórmula original de Gulland (Ec. 9.2.1).

Si el stock en cuestión responde mejor al modelo de producción de Fox (Ec. 9.1.10), se obtiene la expresión:

$$RMS = f_{RMS} \cdot \bar{B} \cdot \exp[Y / (f_{RMS} \cdot \bar{B}) - 1] \quad (9.4.10)$$

La curva de rendimiento está determinada por c y d (Ec. 9.4.7). En el caso especial en que $f_{RMS} = k \cdot M$, con $k = 1$ (o $f_{RMS} = M$), la Ec. 9.4.10 se convierte en:

$$RMS = M \cdot \bar{B} \cdot \exp[Y / (M \cdot \bar{B}) - 1] \quad (9.4.11)$$

Cuando $Y = 0$, el estimado del RMS comparable al estimador de Gulland, se obtiene:

$$RMS = M \cdot \bar{B} \cdot \exp(-1) = 0.37 \cdot M \cdot \bar{B} \quad (9.4.12)$$

Sin embargo, un par de observaciones (B_1, Y_1) y presunciones acerca de M y de la relación entre M y f_{RMS} ($f_{RMS} = k \cdot M$), son información suficiente para obtener una *estimación inicial aproximada* de la curva de rendimiento (Schaefer: a, b o Fox: c, d), a través de la cual se puede obtener una *estimación inicial aproximada* del RMS.

Para mayores detalles, el lector puede leer el artículo original (García *et al.*, 1989).

9.4.1 Validación de las estimaciones del RMS, basadas en fórmulas empíricas

Cuando los especialistas pesqueros trabajan con modelos matemáticos, deberían verificar que se cumpla con los supuestos básicos de los modelos. Esto se aplica, en particular, a las fórmulas empíricas mencionadas más arriba (García *et al.*, 1989). Por ejemplo, la biomasa (\bar{B}) debe ser la biomasa media explotada, y la captura y la biomasa deben tener la misma estructura de edad (o de tallas); la cifra de la biomasa no debe incluir las tallas pequeñas que no están disponibles a la pesca. Esta biomasa corresponde al valor anual, y las oscilaciones estacionales, causadas por cambios en el crecimiento, la mortalidad o el reclutamiento, que probablemente sean más importantes en las especies de vida corta, como ciertos camarones, calamares y anchoas, deberán tenerse en cuenta y, en lo posible, debe ser ponderada a fin de obtener una media anual apropiada de biomasa total.

Si las oscilaciones estacionales de la biomasa son causadas por la migración, entonces se deberá utilizar la biomasa máxima ya que ésta representa el tamaño real. Si otro país está explotando el mismo stock en otra estación del año, en otra zona, los cálculos deberán incluir la captura combinada y el RMS estimado deberá referirse a todo el stock. El rendimiento potencial estimado podría ser validado también por comparación con otros stocks sobre los que se disponga de mayor información.

Algunas de las preguntas que hay que plantearse son: ¿hasta qué punto la estimación del RMS/km² se parece a la realizada en otros stocks de la misma especie, en áreas ecológicas semejantes y explotados con regímenes de pesca similares?; y asimismo ¿la estructura de tallas de la captura ayuda a hacer una evaluación que indique que el stock está altamente sobreexplotado (por ejemplo, predominio de juveniles) o subexplotado (predominio de peces grandes y viejos)?.

Cabe señalar que una observación más detenida de la composición de las frecuencias de tallas de la captura, proporciona cierta orientación sobre los niveles relativos de explotación. No obstante, estos deberían ser de los primeros datos que se recolecten en cualquier pesquería en desarrollo, con el fin de hacer una estimación aproximada de la tasa de mortalidad total y verificar su exactitud comparándola con otros métodos (véanse los Capítulos 3 y 4).

Si el stock en cuestión ha sido explotado durante algún tiempo, es probable que se disponga de una serie de tiempo de datos de captura, que también deberían ser examinados. Aun si no se tienen datos detallados sobre el esfuerzo, la indicación de que después de un período de aumento sostenido la captura total se ha mantenido estable durante cierto tiempo puede significar que se ha alcanzado el RMS, al menos para el régimen actual de explotación. En cambio, si la captura ha disminuido en

relación con un nivel anterior alto, puede significar que el stock está sobreexplotado, y un promedio de capturas más grandes, que las obtenidas en el pasado, puede proporcionar una aproximación independiente del RMS. Al interpretar las series de tiempo de esta manera, se presupone que las variaciones de las capturas están motivadas por cambios en el esfuerzo de pesca y no por causas ambientales o de origen socioeconómico.

9.5 EL GRAFICO DE MUNRO Y THOMPSON

Los modelos de producción excedentaria se aplican generalmente a registros históricos consecutivos de CPUE y esfuerzo. Sin embargo, Munro y Thompson (1983 y 1983a) aplicaron el modelo de producción excedentaria a un conjunto de datos de la pesquería de Jamaica, reunidos todos en el mismo año, pero de diferentes caladeros o áreas de pesca. La Fig. 9.5.1 muestra un mapa esquematizado de Jamaica, dividido en 9 zonas. Con excepción de la zona B, todas las demás coinciden con la jurisdicción de Jamaica. La pesquería considerada por Munro y Thompson (1983) es la desarrollada en los arrecifes de coral jamaicanos (fundamentalmente una pesquería local con trampas operadas desde canoas). Se considera que los peces de los arrecifes de coral presentan escasa movilidad y se supone que cada zona (Fig. 9.5.1) tiene su propio stock, independiente de los stocks vecinos (se mezclan muy poco). Así pues, el supuesto básico es que los "regímenes ecológicos" no difieren substan-

TABLA 9.5.1
Datos de entrada para el gráfico de Munro y Thompson (para mayores detalles véase el texto). Tomado de Munro y Thompson (1983a)

	A	B	C = lnB	D = A*B
zona jurisdiccional (stock)	esfuerzo canoas por km ²	CPUE kg por canoa por año	ln(CPUE) modelo de FOX	rendimiento kg por km ² por año
A	1.63	2367	7.769	3858
B	0.38	3279	8.095	1246
C	3.09	1407	7.249	4348
D	5.63	556	6.321	3130
E	4.43	974	6.881	4315
(F)	5.51	1306	7.175	7196
G	4.58	564	6.335	2583
H	4.20	767	6.642	3221
I	1.49	1875	7.536	2794

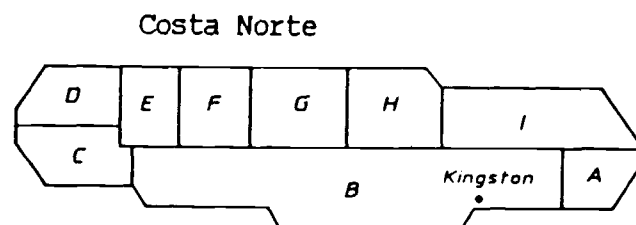


Fig. 9.5.1 Mapa esquemático de Jamaica en el que se muestran las jurisdicciones que se utilizan para el "gráfico de Munro y Thompson" (Fig. 9.5.2).

cialmente en torno a la isla. Basados en esta presunción tiene sentido suponer que la relación entre el rendimiento y el esfuerzo de pesca en las diferentes áreas corresponderá a un mismo modelo.

La Tabla 9.5.1 presenta los datos de CPUE y esfuerzo recolectados en 1968, para el análisis de la pesquería de la plataforma continental jamaicana, realizada en las diferentes comunidades (véase la Fig. 9.5.1).

El esfuerzo es expresado en unidades de canoas *por km²* por año, a fin de incorporar el supuesto de que cada zona tiene el mismo potencial relativo, es decir, puede sostener la misma producción por unidad de área. De este modo, si se aplica la misma tasa de explotación en todas las zonas (el mismo esfuerzo por unidad de área por año), todas las áreas deberían rendir el mismo número de kg por unidad de área anualmente ($\text{kg}/\text{km}^2/\text{año}$) (véase la columna D de la Tabla 9.5.1).

El rendimiento por unidad de área se basó en la zona de la plataforma continental y en los bancos de pesca próximos de cada división. Para mayores detalles, el lector debería consultar los artículos originales (Munro y Thompson, 1983 y 1983a).

Se supone aquí que la relación existente entre la CPUE y el esfuerzo es semejante a la requerida por el modelo de Fox (Ec. 9.1.3). La Fig. 9.5.2 presenta el gráfico de $\ln(\text{CPUE})$ con respecto al esfuerzo, así como el rendimiento de acuerdo al número de canoas por km^2 . Los autores tuvieron sus razones para excluir la zona F del análisis de regresión.

Cuando se aplica un gráfico de Munro y Thompson hay que asegurarse de no incluir en los análisis aquellas especies que se pueden desplazar libremente entre las áreas, como sucede con los peces pelágicos de gran tamaño.

El gráfico de Munro y Thompson puede resultar útil en aquellas situaciones en que se dispone sólo de una cantidad limitada de datos. Estos deben corresponder a registros para ciertas partes de una región que poseen pesquerías similares en arrecifes de coral o de otros recursos con igualmente escasa movilidad.

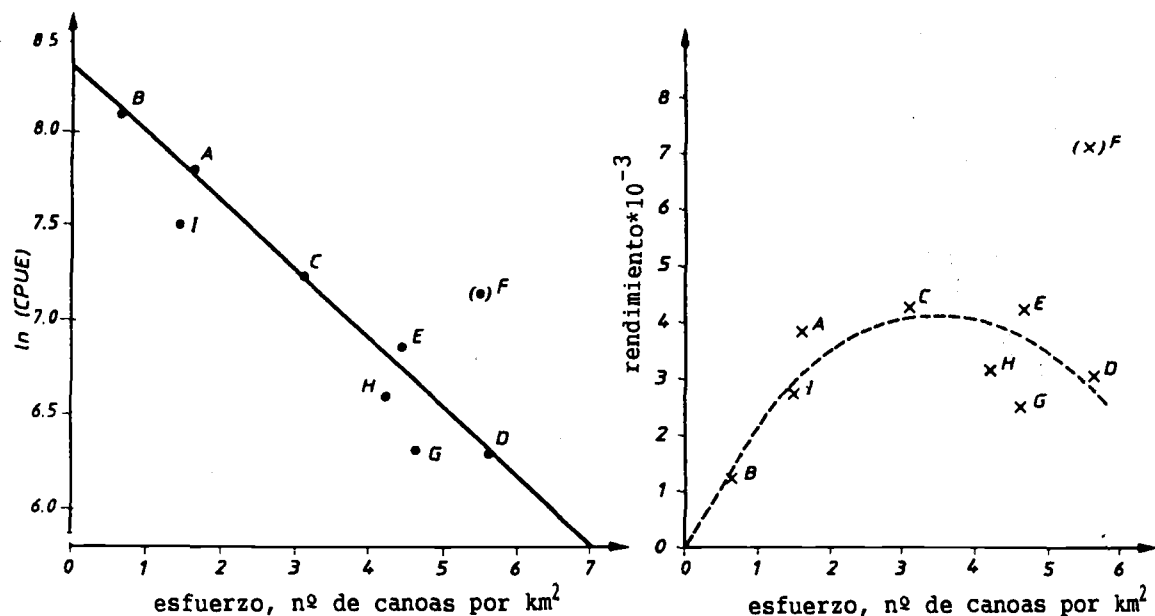


Fig. 9.5.2 Gráfico de Munro y Thompson, basado en los datos de la Tabla 9.5.1 (Munro y Thompson, 1983).

9.6 NORMALIZACION DEL ESFUERZO

En la Sección 4.3 se sugirió que el esfuerzo es proporcional a la mortalidad por pesca. Esto es cierto, desde luego, si el esfuerzo se define como proporcional a la mortalidad por pesca, pero esta definición no tiene aplicación práctica. En consecuencia, se tendrá que elegir una medida del esfuerzo que se considere esté realmente relacionada con la mortalidad por pesca o, mejor dicho, con la potencia de pesca. Para ello hay muchas opciones posibles. Así, por ejemplo, para una pesquería de arrastre se puede pensar en:

- el número de buques en operación
- el número de días que efectúan arrastres
- el número de buques arrastreros estándar (teniendo en cuenta las características de las embarcaciones)
- el número de días arrastrero-estándar
- ... etc.

En una pesquería en que se utilizan líneas de mano, puede ser más apropiado considerar el número de días pescador, o el número de anzuelos usados por día. En este caso, puede ser necesario tener en cuenta que los pescadores de una misma embarcación compiten entre sí, de manera que el esfuerzo no es una función lineal respecto al número de pescadores.

En general, una medida que tenga una relación lineal demostrable con la tasa de captura es una medida adecuada. Es decir, si se puede demostrar que dos unidades de esfuerzo capturan el doble que una unidad de esfuerzo, cuando operan en iguales condiciones, la medida de esfuerzo es aceptable. Por ejemplo, el número de horas de pesca multiplicado por la potencia del motor puede ser una medida adecuada para el dimensionamiento del esfuerzo en algunas pesquerías de arrastre, mientras que en una pesquería con redes de enmalle, la clase de embarcación y el número de horas son probablemente menos importantes que el número de caladas efectuadas por día de pesca. En ambos casos, el número de pescadores puede no estar linealmente relacionado con el poder de pesca.

La definición de medidas adecuadas para dimensionar el esfuerzo para un arte de pesca determinado entraña considerables dificultades. Cuando se intenta definir el esfuerzo de pesca combinado, cuando los mismos recursos son explotados con artes de pesca diferentes se tropieza con problemas de muy difícil solución. En las pesquerías tropicales se utilizan distintos artes de pesca para capturar los mismos recursos, debido a esto, aquí se discutirán varios métodos para la normalización de las unidades de esfuerzo.

Esfuerzo relativo

Antes de comenzar a analizar la normalización de las unidades de esfuerzo, se debe notar que:

$$\frac{\text{Rendimiento}}{\text{CPUE}} = \text{esfuerzo, ya que CPUE} = \text{rendimiento/esfuerzo}$$

A continuación, se utilizará esta relación, no para el rendimiento y el esfuerzo, sino para cantidades proporcionales al rendimiento, el esfuerzo y la CPUE, de modo que el resultado final será una medida proporcional al esfuerzo. En consecuencia, lo llamaremos “*esfuerzo relativo*”. También se supondrá que todas las unidades de esfuerzo definidas son las adecuadas.

Ejemplo 32: Suma del esfuerzo cuando se utilizan diferentes unidades

En el ejemplo, aportado en la Tabla 9.6.1, se considera el esfuerzo de cuatro artes de pesca medido en número de unidades por año. Como se puede ver, las unidades de esfuerzo originales no son

TABLA 9.6.1
Ejemplo (hipotético) para ilustrar la suma de esfuerzos de diferentes unidades

año y	CERCO DE JARETA			R1(y)= rel. Y/f	CERCO DE PLAYA			R2(y)= rel. Y/f
	Y1(y)	f1(y)	Y1/f1		Y2(y)	f2(y)	Y2/f2	
1971	100	10	10.00	1.089	300	800	0.375	1.047
1972	200	21	9.52	1.037	250	669	0.374	1.043
1973	400	43	9.30	1.013	200	543	0.368	1.028
1974	700	81	8.64	0.941	150	430	0.349	0.974
1975	1200	142	8.45	0.920	100	307	0.326	0.909

$$\overline{CPUE1}(y1,y2) = 9.18$$

$$\overline{CPUE2}(y1,y2) = 0.358$$

año y	PESCA CON CAÑA			R3(y)= rel. Y/f	PESCA CON CURRICAN			R4(y)= rel. Y/f
	Y3(y)	f3(y)	Y3/f3		Y4(y)	f4(y)	Y4/f4	
1971	40	10000	0.00400	1.11	350	200000	0.00175	1.04
1972	80	20900	0.00383	1.06	344	200000	0.00172	1.02
1973	120	31100	0.00386	1.07	339	200000	0.00170	1.01
1974	80	23200	0.00345	0.96	333	200000	0.00167	0.99
1975	40	13700	0.00292	0.81	320	200000	0.00160	0.95

$$\overline{CPUE3}(y1,y2) = 0.00361$$

$$\overline{CPUE4}(y1,y2) = 0.00169$$

Yi(y) = rendimiento del arte i en el año y. i = 1, ..., 4. y = 1971, ..., 1975.

fi(y) = esfuerzo del arte i en el año y.

CPUEi(y) = Yi(y)/fi(y) = captura por unidad de arte i esfuerzo en el año y.

Ri(y) = CPUEi(y)/ $\overline{CPUEi}(y1,y2)$ = CPUE relativo

año	total y muestreado YS(y)	CPUE relativo R(y)	rendimiento total YT(y)	esfuerzo relativo YT(y)/R(y)	esfuerzo relativo normalizado E(y)
1971	790	1.0524	7900	7507	0.653
1972	874	1.0341	8740	8452	0.735
1973	1059	1.0213	10590	10369	0.902
1974	1263	0.9590	12630	13170	1.145
1975	1660	0.9224	16600	17995	1.565

$$\text{Promedio } YT/R = 11499$$

$$YS(y) = \sum_{i=1}^4 Y_i(y) = \text{suma de rendimientos de artes para los cuales el esfuerzo es conocido (rendimiento de los artes muestreados)}$$

$$R(y) = \sum_{i=1}^4 [Y_i(y) * R_i(y) / YS(y)] = \text{suma de la CPUE relativa ponderada por los rendimientos en el año y}$$

YT(y) = rendimiento total de todos los artes (incluyendo los artes para los cuales no se conoce el esfuerzo)

YT(y)/R(y) = esfuerzo relativo del año y

$$E(y) = \frac{YT(y)/R(y)}{\text{promedio } YT/R} = \text{esfuerzo relativo normalizado del año y}$$

compatibles. El rendimiento correspondiente al esfuerzo también se puede obtener de un esquema de muestreo. Se supone que los cuatro artes muestreados que aparecen en la Tabla constituyen sólo una parte de la captura total del stock en cuestión. Para que los diferentes tipos de arte de pesca empleados (unidades de esfuerzo) sean compatibles entre sí, cada unidad se debe transformar en CPUE, la cual, a su vez, se convierte en la “CPUE relativa”, como se presenta en la misma Tabla. La captura relativa por unidad de esfuerzo del año y , se define como:

$$R_i(y) = \frac{CPUE_i(y)}{CPUE_i(y_1, y_2)} \quad (9.6.1)$$

$$\text{donde } \overline{CPUE}_i(y_1, y_2) = \frac{1}{y_2 - y_1} * \sum_{j=y_1}^{y_2} CPUE_i(j)$$

cuando se considera un período de tiempo que abarca los años y_1, y_1+1, \dots, y_2 . (En la Tabla 9.6.1, $y_1 = 1970$ e $y_2 = 1975$).

Puesto que la CPUE relativa de un arte de pesca no tiene dimensión, se puede decir que se han obtenido unidades compatibles de CPUE mediante la CPUE relativa. Las CPUE relativas ahora se pueden sumar.

En el caso hipotético que todas las observaciones de CPUE sean proporcionales al tamaño del stock (véase la Sección 4.3), las CPUE relativas serían idénticas entre los artes de pesca.

Sin embargo, algunos artes de pesca son menos importantes que otros. En la Tabla 9.6.1, la red de cerco de jareta es la principal en lo que respecta a su aporte al rendimiento, mientras que la pesquería con caña es más bien insignificante en términos de rendimiento. Esto se demuestra calculando la suma de las CPUE relativas *ponderadas* por los rendimientos correspondientes. Por ejemplo, para el año 1971 (véase la Tabla 9.6.1):

$$R(1971) = \frac{100 * 1.089 + 300 * 1.047 + 40 * 1.11 + 350 * 1.04}{100 + 300 + 40 + 350} = 1.052$$

Dividiendo el rendimiento total (incluidos los artes de pesca no abarcados en el esquema de muestreo de captura/esfuerzo) por la suma ponderada de las CPUE relativas, se obtiene una cifra proporcional al esfuerzo total. Estas cantidades aparecen en la columna “YT(y)/R(y)” de la Tabla 9.6.1, en tanto que la última columna contiene el esfuerzo relativo normalizado, E(y). (Este concepto se introduce con el fin de que no se confunda el esfuerzo relativo con el esfuerzo absoluto).

El primer arte de pesca de la Tabla, la red de cerco de jareta, es el importante, en el sentido de que la tendencia en este arte es la misma que la del esfuerzo relativo combinado. El cerco de playa muestra la tendencia opuesta, pero como es un arte relativamente poco importante, influye menos en el esfuerzo combinado. Si las capturas de la red de cerco de jareta hubieran sido sólo el 10% de lo que fueron, la tendencia habría cambiado, ya que entonces el cerco de playa habría pasado a ser un arte relativamente más importante. Los valores de E(y) tendrían entonces la misma tendencia que los rendimientos de las redes de cerco de playa (véase la Tabla 9.6.2).

El método descrito más arriba ha sido usado por el North Sea Round Fish Working Group del ICES (ICES, 1980). Este método no exige una comparación directa de los diferentes tipos de embarcación. Sólo se requiere contar con datos que a menudo están disponibles. El método puede ser discutible y, de hecho, los resultados alcanzados por el grupo de trabajo del ICES no fueron “abrumadoramente convincentes”, cuando este grupo de trabajo correlacionó las cifras del esfuerzo relativo con las mortalidades por pesca obtenidas mediante el APV.

Poder de pesca relativo

Un método más directo (y probablemente más seguro) para normalizar el esfuerzo es el que propuso Robson (1966), discutido en Gulland (1983). Sin embargo, este método requiere de datos adiciona-

TABLA 9.6.2
Exploración del concepto de esfuerzo relativo para
varios artes de pesca combinados (véase la Tabla 9.6.1)

año	de la Tabla 9.6.1 E(y)	Si las capturas con red de cerco fueran sólo el 10% de aquellas dadas en la Tabla 9.6.1
1971	0.653	1.014
1972	0.734	1.018
1973	0.903	1.035
1974	1.146	0.984
1975	1.564	0.949

les. Trabaja con el concepto de "potencia de pesca relativa". Por potencia de pesca de la embarcación B en relación con la embarcación A se entiende:

$$PA(B) = \frac{\text{CPUE de la embarcación B}}{\text{CPUE de la embarcación A}} \quad (9.6.2)$$

requiriéndose que las dos embarcaciones pesquen en las mismas condiciones (al mismo tiempo y en la misma zona). A menudo, la embarcación A se denomina "embarcación estándar".

Considere, que las embarcaciones que participan en una pesquería se pueden dividir en varios grupos homogéneos, de modo que cada grupo conste de embarcaciones con la misma potencia de pesca. Suponga que la CPUE está en unidades de captura por unidad de tiempo (por ejemplo, captura por hora de arrastre), que hay 5 grupos de embarcaciones en la pesquería y que se han recolectado los siguientes datos:

Clase de embarcación	A	B	C	D	E
	(estándar)				
Potencia de pesca	1.0	PA(B)	PA(C)	PA(D)	PA(E)
Número de embarcaciones	NA	NB	NC	ND	NE
Promedio de días de pesca por embarcación	dA	dB	dC	dD	dE

El esfuerzo total se estimaría entonces mediante la fórmula:

$$\text{esfuerzo total} = 1.0 \cdot NA \cdot dA + PA(B) \cdot NB \cdot dB + PA(C) \cdot NC \cdot dC + PA(D) \cdot ND \cdot dD + PA(E) \cdot NE \cdot dE \quad (9.6.3)$$

En ciertos casos se puede suponer que la potencia de pesca es proporcional a algunas características de las embarcaciones o los artes de pesca, los cuales son relativamente fáciles de obtener, como el TRB (tonelaje) o los HP (caballos de fuerza) o su producto en el caso de los buques arrastreros y, por ejemplo, el número o la longitud de las redes, en las embarcaciones que utilizan redes de enmalle. Como generalmente sólo interesa el esfuerzo relativo, los PA de la Ec. 9.6.3 pueden simplemente reemplazarse por las características de la embarcación o el arte.

9.7 EL MODELO DE DIFERENCIA DE RETRASO DE DERISO Y SCHNUTE

Diversos autores, entre los cuales se puede mencionar a Deriso (1980), Ludwig y Walters (1985), Ludwig (1987) y Schnute (1985, 1987), han presentado una familia de modelos que pretende ser una solución intermedia entre los modelos de producción excedentaria y los modelos basados en la estructura de edad. Sin embargo, estos modelos tienen una aplicación limitada en áreas tropicales, ya que fueron desarrollados para especies de vida larga (de crecimiento lento), que no son explotadas en la primera parte de su vida. Se basan en una serie de supuestos más bien rigurosos, que los hacen inaplicables para ciertas especies. En este sentido, Schnute (1985) afirma acerca de estos modelos: "Entre otras cosas, reflejan la realidad innegable de que la población consiste en cohortes que cada año son un año más viejas". Esto demuestra claramente que los modelos no están destinados a stocks para los que esta "realidad" se puede refutar, como es el caso de algunos camarones. De hecho, dan resultados sin sentido para tales especies (por ejemplo, una biomasa negativa).

La base biológica teórica de estos modelos, no va más allá de los modelos que hemos presentado (el razonamiento básico es similar al del análisis de cohorte de Pope), pero la teoría matemática, aplicada en el procedimiento de estimación, es algo más compleja que la de la mayoría de los modelos explicados en este manual. La principal diferencia respecto a los modelos basados en la estructura de edad que hemos presentado aquí es que la ecuación de Ford-Walford reemplaza al modelo de von Bertalanffy para el crecimiento en peso (Ec. 3.1.2.1).

Los modelos son altamente complejos y más bien difíciles de usar. Para describirlos en el lenguaje de este manual se necesitaría un extenso capítulo adicional. Por lo tanto, se remite a los lectores interesados en esta temática a los trabajos mencionados anteriormente de Deriso, Schnute y otros.