

SECRETARIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

DIRECCION GENERAL DE PESCA

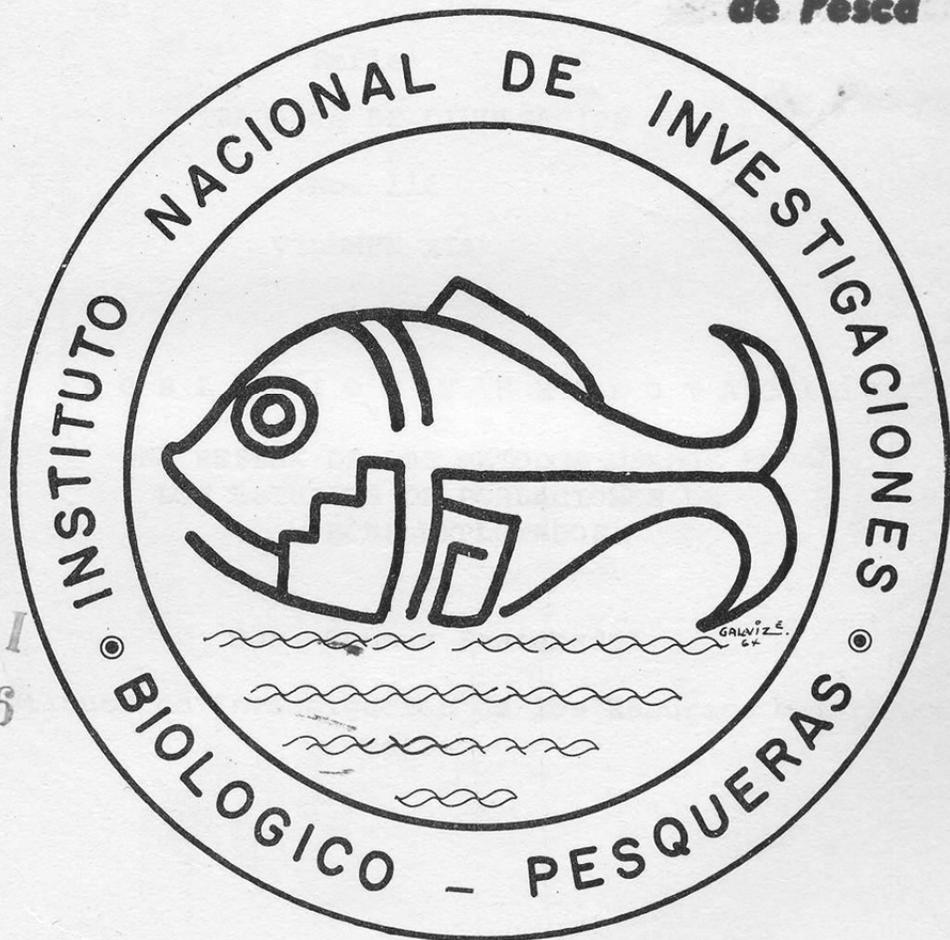
**DESDE 1970**

**Instituto Nacional**

**de Pesca**

TRABAJOS  
DE  
DIVULGACION

VOLUMEN **XII**  
NUMERO: **116**



MEXICO D. F. 1967

SECRETARIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO  
DIRECCION GENERAL DE PESCA E INDUSTRIAS CONEXAS  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES BIOLOGICO-PESQUERAS

**DESDE 1970**

**Instituto Nacional  
de Pesca**

Serie: I

TRABAJOS DE DIVULGACION

No. 116

VOLUMEN XII

P O B L A C I O N Y E X P L O T A C I O N .

UNA RESEÑA DE LOS METODOS USADOS EN  
LOS ESTUDIOS DE POBLACIONES DE  
PECES EXPLOTADOS

Por: Gunnar Saetersdal

Instituto de Investigación de los Recursos Marinos,  
Callao.

1966

j-chapa-s

Tomado de: REVISTA DE CIENCIAS

AÑO LXIV

Número 521-522

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

3o. - 4o. Trimestre

1962

Lima-Perú

## I N T R O D U C C I O N .

Entre las diferentes formas de los recursos naturales, los recursos vivos del mar ocupan una posición única por que el acceso a los estudios científicos es relativamente dificultoso. El mar oculta bien sus secretos. La utilización - racional de las poblaciones de peces, por lo tanto, origina problemas especiales que no se encuentran por ejemplo en la explotación de los recursos forestales. Pero tal vez esas - dificultades han sido un desafío a los científicos pesqueros los estudios de poblaciones de peces y su reacción a la explotación están en un estado avanzado comparados con otros - campos de biología aplicada.

El desarrollo de este campo de Investigación puede ser considerado como consecuencia del gran incremento e industrialización de las pesquerías que han ocurrido en muchas áreas en este siglo. En muchos ejemplares, tales investigaciones han revelado que la riqueza del mar no es inagotable. Cuando la pesquería fue incrementándose con el objeto de aumentar el rendimiento total, frecuentemente se encontró que la captura por embarcación o por otra unidad de pesca decreció. Algunas veces el resultado final fué la declinación de la captura total. Esta experiencia está relacionada, aún, - con la explotación de las poblaciones más grandes de peces.

Muy al comienzo de la ciencia pesquera también se - mostró que la explotación puede afectar el tamaño y edad de los peces en el mar. Tal vez la primera convincente demostración de los efectos de la explotación fué ofrecido por un experimento gigantesco que tuvo lugar en el Mar del Norte hace cerca de 50 años. Este mar entonces fué y continúa siendo en el globo, uno cuyas aguas soportan una pesquería muy intensa. Sin embargo, durante la primera guerra mundial cesó toda actividad pesquera, y los peces estuvieron completamente protegidos de la explotación humana. Cuando en 1919 los pescadores volvieron a sus zonas, las capturas fueron 3 a 4 veces - más altas que antes de la guerra, como también el número de peces grandes se incrementó considerablemente (ver figura 1).

El ejemplo citado demuestra claramente la necesidad de regular la pesquería de tal manera que las poblaciones de peces sean utilizadas en la forma más racional, esto es, que la utilidad neta sea aumentada al máximo. Los posibles beneficios económicos de tales regulaciones parecieron ser considerables, pero la tarea de evaluar la cantidad y tipo de explotación que conduciría a tan óptimo rendimiento pareció ser

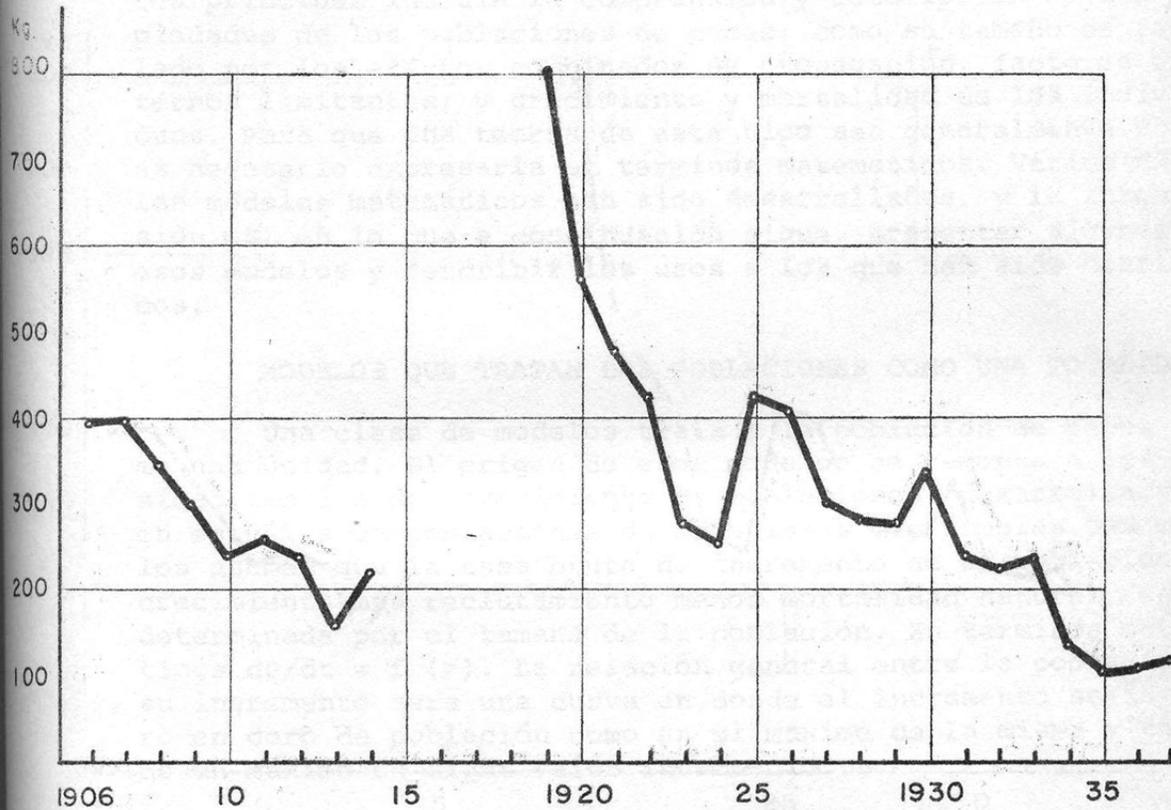


FIGURA 1.- Captura diaria de haddock (*Gadus aeglefinus*) en el Mar de Norte.  
(Según RUSSEL, 1942).

difícil. Esto no pudo ser hecho experimentalmente, evidentemente sólo como resultado de las guerras mundiales ha sido posible estudiar los efectos en las grandes pesquerías marinas. Hubo entonces necesidad de una "teoría pesquera", estructurada a través del conocimiento de los stocks de peces y su reacción a la explotación, la cual luego podría ser usada para predecir los efectos de cambios en la pesquería. Aquí la tarea principal incluía la comprensión y descripción de las propiedades de las poblaciones de peces; como su tamaño es regulado por los efectos combinados de propagación, factores externos limitantes, y crecimiento y mortalidad de los individuos. Para que una teoría de este tipo sea generalmente útil, es necesario expresarla en términos matemáticos. Varios de tales modelos matemáticos han sido desarrollados, y la intención es, en lo que a continuación sigue, presentar algunos de esos modelos y describir los usos a los que han sido destinados.

#### MODELOS QUE TRATAN LAS POBLACIONES COMO UNA TOTALIDAD.

Una clase de modelos trata a la población de peces como una unidad. El origen de esos modelos se remonta a las clásicas teorías del crecimiento de poblaciones, desarrolladas en estudios de poblaciones de organismos muy simples. Los modelos asumen que la tasa bruta de incremento de la población, - crecimiento más reclutamiento menos mortalidad natural, está determinada por el tamaño de la población. En términos matemáticos  $dP/dt = f(P)$ . La relación general entre la población y su incremento será una curva en donde el incremento sería cero en cero de población como en el máximo de la misma y teniendo un máximo en algún valor intermedio.

Los efectos de la pesquería pueden ser fácilmente incluidos en el análisis. En efecto, si  $f(P)$  es el incremento bruto, el incremento neto será  $f(P) - C$ , donde  $C$  es la captura. Si  $f(P) = C$  es decir las capturas iguales al incremento bruto, el tamaño de la población permanecerá incambiable, la pesquería está en un estado estable. El mayor rendimiento ocurrirá si la población se mantiene en el tamaño dado por la tasa máxima de incremento.

Como un ejemplo de aplicación de este tipo de modelo podemos observar la pesquería del atún de aleta amarilla del Pacífico Oriental estudiada por SCHAEFER y colaboradores. Para relacionar la intensidad de pesca con el tamaño de la población, medida como captura por días de pesca, se deriva una curva la cual es una estimación de los efectos de la pesquería

sobre la población bajo condiciones de estado estable (ver figura 2). Entonces una simple multiplicación dará la relación entre la captura y el esfuerzo (ver figura 3) la cual parece ser una curva con un máximo en un valor intermedio del esfuerzo.

Este tipo de modelo también ha sido usado en otras pesquerías y en estudios de poblaciones de ballenas, pero su aplicación ha sido criticada por varias razones. Una, señala que este modelo no es analítico, en el sentido de no permitir el análisis separado de los varios factores que están incluidos en la determinación, mantenimiento y crecimiento de una población, tales como tasa de crecimiento del pez, mortalidad y reclutamiento. Probablemente esto no habría sido una gran desventaja si la relación entre el tamaño de la población y su tasa bruta de incremento se determinara con facilidad, pero este no parece ser el caso. Como la relación causal entre las dos es obscura, la interpretación del dato empírico acerca del tamaño de la población y la intensidad de pesca puede presentar dificultades. De este modo, si el reclutamiento es un factor importante en la relación entre el tamaño de la población y la tasa de incremento de la misma, es razonable que un tiempo de retraso opere en esta relación. Los reclutas generalmente, han nacido varios años antes que entren a la pesquería y su magnitud, entonces, está determinada por el tamaño del stock en este año anterior. El incremento bruto observado en un stock en cualquier año está por lo tanto determinado, parcialmente, por el stock en ese año y, en parte, por el stock en algún año anterior. A menos que el stock sea del mismo tamaño en estos dos años, la relación buscada no puede ser determinada tan simplemente.

Donde la relación causal se ha establecido es posible por supuesto tomar en consideración el tiempo de retraso. Esto ha sido hecho en un modelo descrito por GULLAND de Lowestoft, Inglaterra, y el cual ha sido aplicado a las pesquerías demersales del Atlántico Norte. El modelo postula que el crecimiento del pez, su mortalidad natural y su reclutamiento son incambiables, en efecto, el factor que determina el tamaño del stock pescable es la intensidad de pesca a la cual -- los peces ya reclutados son expuestos. En dicha área los peces de estas especies son de relativamente larga vida, frecuentemente de 8 a 10 años y son expuestos a la pesquería durante una gran parte de este tiempo. La abundancia de un gru

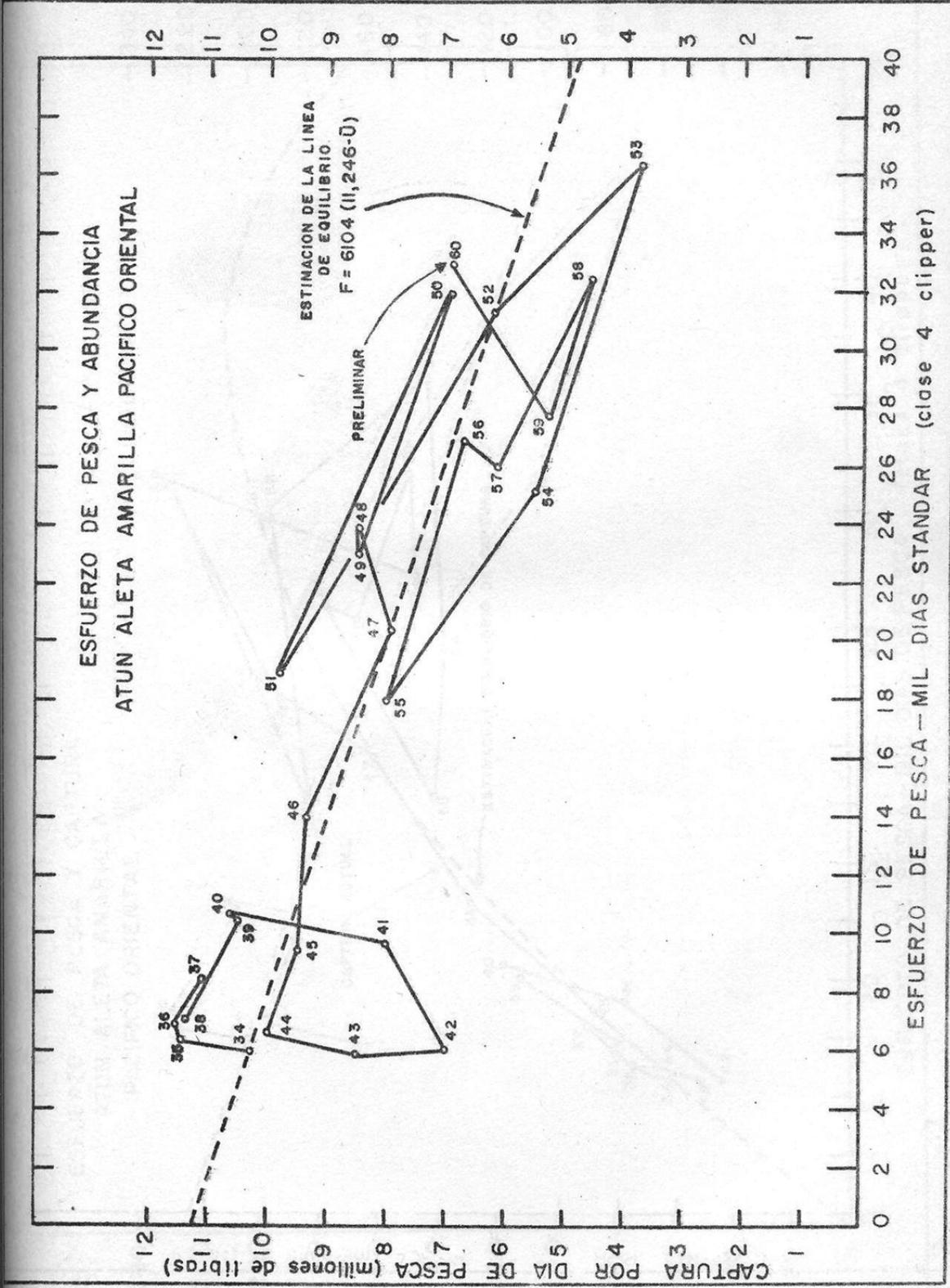


FIGURA 2.- Relación entre esfuerzo de pesca y abundancia en la población de atún, aleta amarilla en el Pacífico Oriental. (Segun SCHAEFER, 1961).

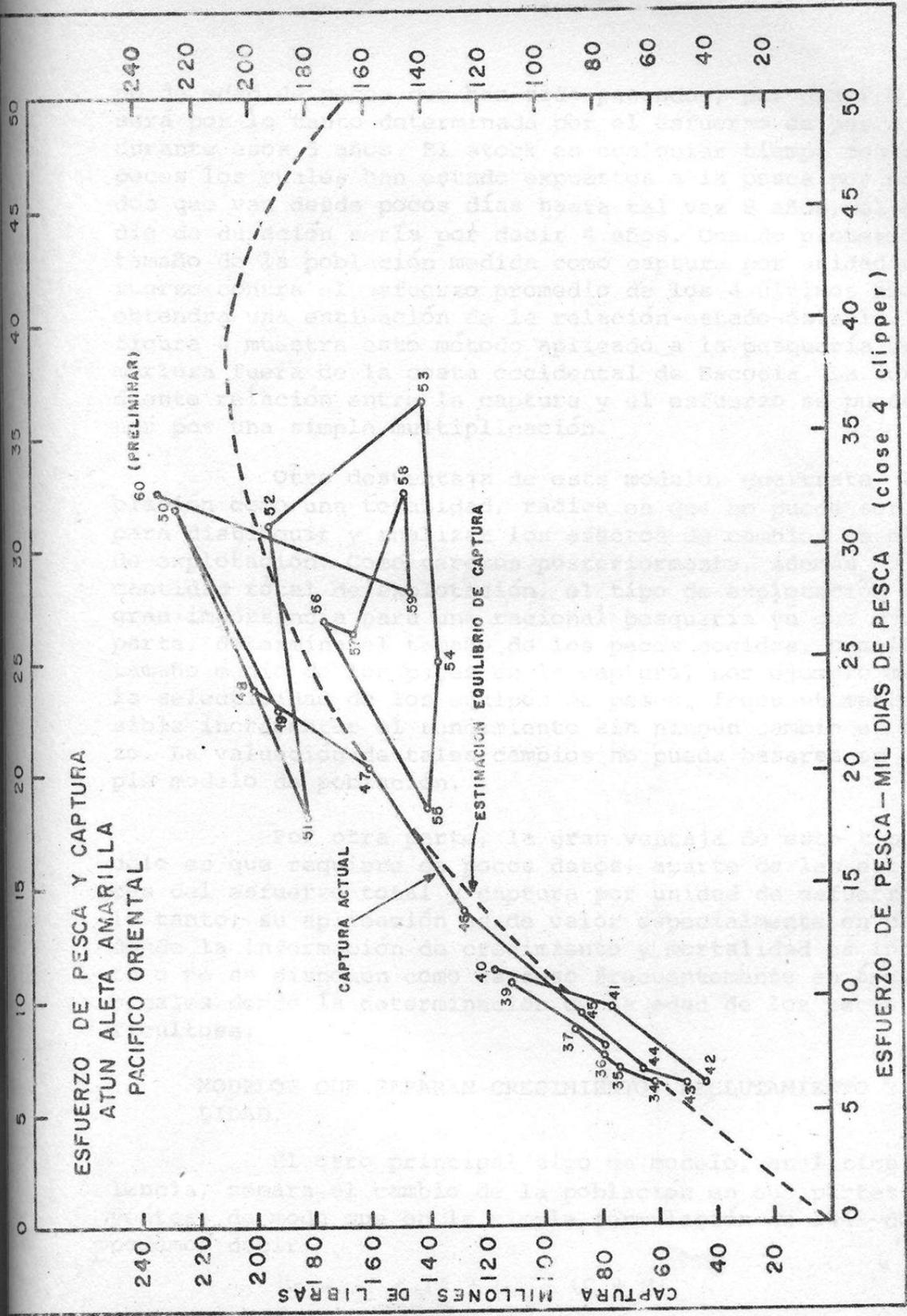


FIGURA 3.- Relación entre esfuerzo de pesca y captura, en la pesquería de atún aleta amarilla en el Pacífico Oriental (Según SCHAEFER, 1961).

po de edad de peces que han sido pescados, por decir 5 años, será por lo tanto determinada por el esfuerzo de pesca total durante esos 5 años. El stock en cualquier tiempo contendrá peces los cuales han estado expuestos a la pesca por períodos que van desde pocos días hasta tal vez 8 años, el promedio de duración sería por decir 4 años. Cuando ploteamos el tamaño de la población medida como captura por unidad de es fuerzo contra el esfuerzo promedio de los 4 últimos años, se obtendrá una estimación de la relación-estado-estable. La figura 4 muestra este método aplicado a la pesquería de la merluza fuera de la costa occidental de Escocia. La correspon diente relación entre la captura y el esfuerzo se puede obtener por una simple multiplicación.

Otra desventaja de este modelo, que trata a la po blación como una totalidad, radica en que no puede ser usado para distinguir y analizar los efectos de cambios en el tipo de explotación. Como veremos posteriormente, además de la -- cantidad total de explotación, el tipo de explotación es de gran importancia para una racional pesquería ya que esto, en parte, determina el tamaño de los peces cogidos. Cambiando el tamaño medio de los peces en la captura, por ejemplo mediante la selectividad de los equipos de pesca, frecuentemente es po sible incrementar el rendimiento sin ningún cambio en el esfuer zo. La valuación de tales cambios no puede basarse en este sim ple modelo de población.

Por otra parte, la gran ventaja de este tipo de mo delo es que requiere de pocos datos, aparte de las estadísticas del esfuerzo total y captura por unidad de esfuerzo. Por lo tanto, su aplicación es de valor especialmente en casos -- donde la información de crecimiento y mortalidad es incompleta o no se disponen como es caso frecuentemente en áreas tropicales donde la determinación de la edad de los peces es difícil.

#### MODELOS QUE SEPARAN CRECIMIENTO, RECLUTAMIENTO Y MORTALIDAD.

El otro principal tipo de modelo, analítico por exce lencia, separa el cambio de la población en sus partes constitu yentes, de modo que en la simple formulación de 1942 de RUSSEL, podemos decir:

$$S_2 = S_1 + (A + G) - (C + M)$$

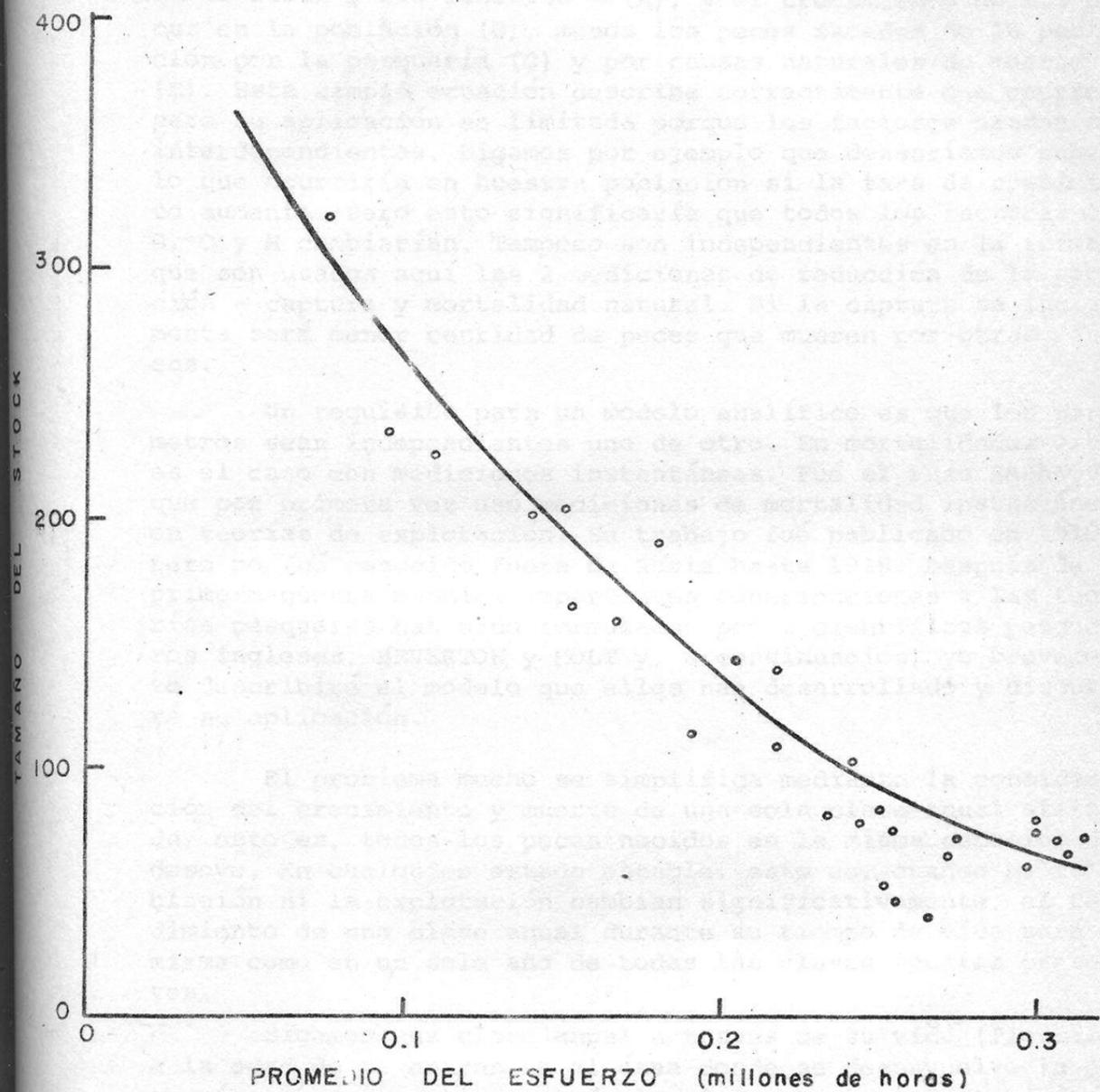


Fig. 4.- Relación entre abundancia del stock de la merluza del Oeste de Escocia y esfuerzo de pesca. (Según GULLAND, 1960).

Esto es, el stock al fin del año ( $S_2$ ) es igual al stock del comienzo del año ( $S_1$ ) más el peso de los peces que entran en el stock — los reclutas — ( $A$ ), y el crecimiento de los peces en la población ( $G$ ), menos los peces sacados de la población por la pesquería ( $C$ ) y por causas naturales de muerte -- ( $M$ ). Esta simple ecuación describe correctamente que ocurre, pero su aplicación es limitada porque los factores usados son interdependientes. Digamos por ejemplo que desearíamos saber lo que ocurriría en nuestra población si la tasa de crecimiento aumenta. Pero esto significaría que todos los factores  $A$ ,  $G$ ,  $C$  y  $M$  cambiarían. Tampoco son independientes en la forma — que son usados aquí las 2 mediciones de reducción de la población — captura y mortalidad natural. Si la captura se incrementa será menor cantidad de peces que mueren por otras causas.

Un requisito para un modelo analítico es que los parámetros sean independientes uno de otro. En mortalidades este es el caso con mediciones instantáneas. Fué el ruso BARANOV — que por primera vez usó mediciones de mortalidad instantánea en teorías de explotación. Su trabajo fué publicado en 1918 pero no fué conocido fuera de Rusia hasta 1938. Después de la primera guerra mundial importantes contribuciones a las teorías pesqueras han sido formuladas por 2 científicos pesqueros ingleses, BEVERTON y HOLT y, a continuación, yo brevemente describiré el modelo que ellos han desarrollado y discutiré su aplicación.

El problema mucho se simplifica mediante la consideración del crecimiento y muerte de una sola clase anual aislada, esto es, todos los peces nacidos en la misma estación de desove. En cualquier estado estable, esto es, cuando ni la población ni la explotación cambian significativamente, el rendimiento de una clase anual durante su tiempo de vida será la misma como en un solo año de todas las clases anuales presentes.

Sigamos una clase anual a través de su vida (figura 5). A la edad de  $t_r$  entran en el área donde se desenvuelve la pesquería, y en este tiempo toda la clase anual consiste de un número de reclutas  $R$ . Digamos que al principio esos peces son demasiado pequeños para ser cogidos y sólo entonces la mortalidad natural reduce su número. Suponemos que esta mortalidad ocurre con cierta probabilidad. El número total de peces que en un corto intervalo de tiempo desaparece por muerte natural

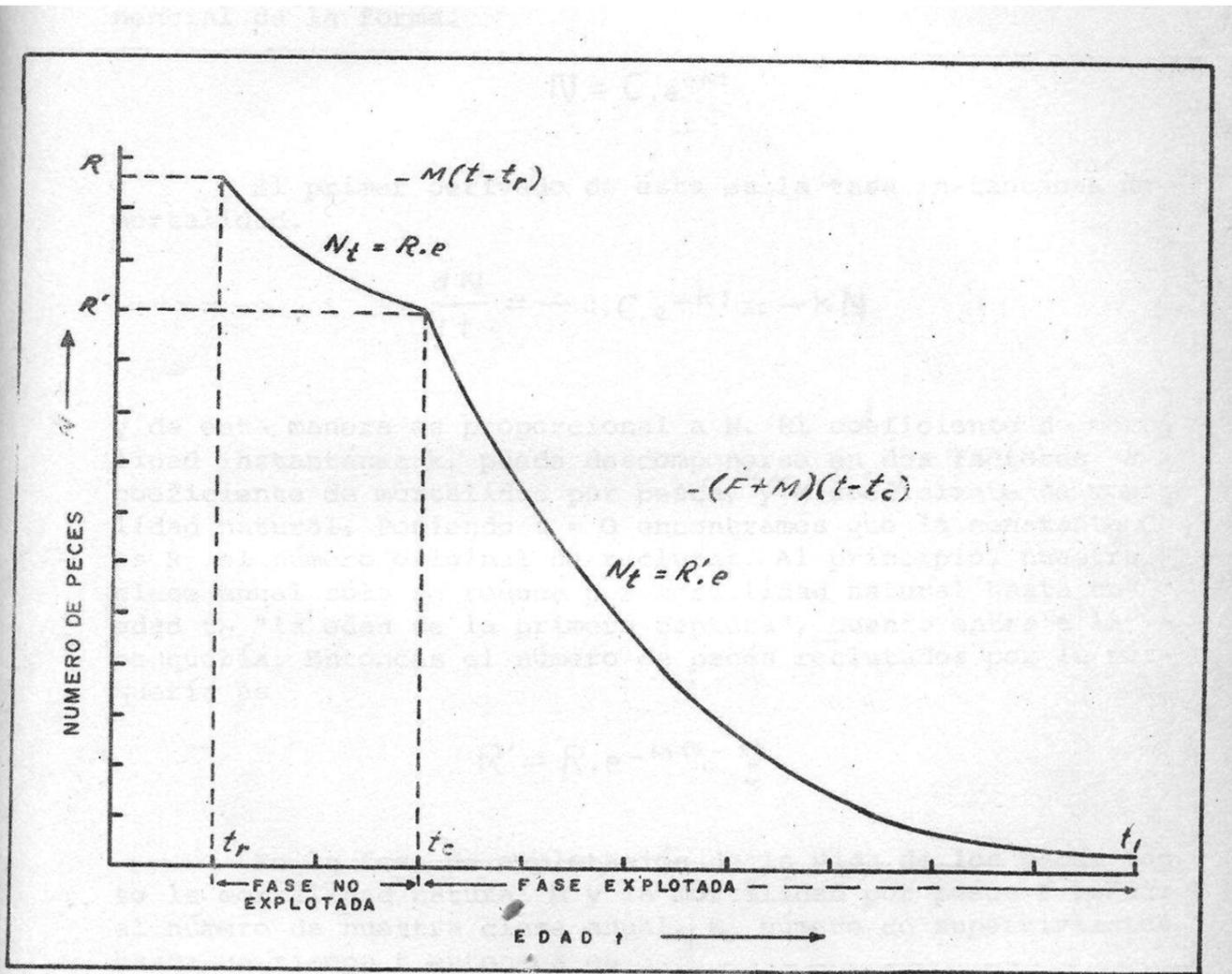


FIGURA 5.- El número de peces de una clase anual se reduce exponencialmente con la edad, debido a la mortalidad natural (M) y la mortalidad por pesca (F).

es igual a la probabilidad por muerte natural multiplicada por el número de peces presentes en la población. En consecuencia la tasa de muerte es proporcional en cualquier tiempo al tamaño de la población. La función que satisface esta condición es la función exponencial. El número de peces en nuestra clase anual reducido por esta causa seguirá una curva exponencial de la forma.

$$N = C \cdot e^{-kt}$$

El primer derivado de ésta es la tasa instantánea de mortalidad.

$$\frac{dN}{dt} = -k \cdot C \cdot e^{-kt} = -kN$$

y de esta manera es proporcional a  $N$ . El coeficiente de mortalidad instantánea  $k$ , puede descomponerse en dos factores:  $F$  - coeficiente de mortalidad por pesca, y  $M$  coeficiente de mortalidad natural. Poniendo  $t = 0$  encontramos que la constante  $C$  es  $R$ , el número original de reclutas. Al principio, nuestra clase anual sólo se reduce por mortalidad natural hasta una edad  $t_c$  "la edad de la primera captura", cuando entra a la pesquería. Entonces el número de peces reclutados por la pesquería es

$$R' = R \cdot e^{-M(t_c - t)}$$

En la fase de explotación de la vida de los peces tanto la mortalidad natural  $M$  y la mortalidad por pesca  $F$  reduce el número de nuestra clase anual. El número de supervivientes hasta un tiempo  $t$  entonces es

$$N_t = R' \cdot e^{-(F+M)(t-t_c)}$$

$F$  es el coeficiente de mortalidad por pesca. La tasa o intensidad de mortalidad por pesca es una variable que en cualquier tiempo es proporcional al número total de peces presentes o  $F \cdot N$ . Esto es lo mismo que la intensidad de rendimiento

to (en número). Si llamamos el rendimiento en número  $Y_N$  entonces,

$$\frac{dY_N}{dt} = F \cdot N.$$

La figura 6 muestra un ejemplo de su aplicación. Veremos después varios de estos ejemplos, pero ahora sólo veremos El rendimiento total de una clase anual, luego, conseguiremos por integración de esta función sobre la parte explotada de la vida de la clase anual, de  $t_c$  a  $t_1$  - edad a la primera captura a la mayor edad:

$$Y_N = \int_{t_c}^{t_1} F \cdot R' \cdot e^{-(F+M)(t-t_c)} \cdot dt.$$
$$= R' \cdot \frac{F}{F+M} \cdot (1 - e^{-(F+M)(t_1-t_c)})$$

Esta simple ecuación da el rendimiento en números de una clase anual como una función de los parámetros de la población: mortalidad, reclutamiento y edad a la primera captura. Si el reclutamiento es independiente del tamaño de la población, y entre ciertos límites éste parece ser el caso de muchas especies pues la relación entre el rendimiento y los parámetros  $F$ ,  $M$  y  $t_c$  se pueden estudiar sin tener conocimiento del reclutamiento, por medio de

De estos parámetros, primeramente varían la mortalidad  $M$  y el reclutamiento  $R'$ . La mortalidad  $M$  puede ser definida las mediciones instantáneas de mortalidad. Otro concepto útil es la tasa de mortalidad  $F$ . La siguiente relación a los coeficientes instantáneos:

Hasta ahora hemos considerado el rendimiento en números. Con el objeto de transponer éste en rendimiento en peso, lo cual generalmente es de mayor interés, es necesario describir el crecimiento en peso de los peces individuales en una forma que matemáticamente pueda combinarse con la ecuación de rendimiento en número. Se han usado varios tipos de expresiones matemáticas para describir el tamaño de los peces como una función de su edad. BERTON Y HOLT utilizaron una desarrollada por VON BERTALANFFY, la cual combinada con su expre--

sión de rendimiento-en-número, resulta su ecuación analítica de rendimiento. Con la ayuda de esta ecuación es posible estudiar como el rendimiento de una población de peces cambia con la intensidad de pesca (F), mortalidad natural (M), edad a la primera captura ( $t_c$ ) y crecimiento del pez.

La figura 6 muestra un ejemplo de su aplicación. Veremos después varios de estos ejemplos, pero ahora solo mostraremos éste para considerar nuestros problemas un poco más concretamente. Las curvas muestran el rendimiento por recluta para la población de "Platija" en el Mar del Norte como una función de la intensidad de pesca para valores diferentes de M, mortalidad natural. Se ve que para las mortalidades naturales entre 0.05 y 0.15, los cuales son valores probables en esta población, la producción total por recluta se sitúa más abajo que  $F = 0.5$ . En los años entre 1930 y 39 la actual intensidad de pesca correspondió a un F alrededor de 0.7. Así el rendimiento se incrementaría notablemente por la reducción de la intensidad de pesca, por ejemplo reduciendo el número de embarcaciones que participan en la pesquería. Por supuesto la explicación radica en que con la alta intensidad pesquera, los peces son cogidos cuando tienen un promedio demasiado bajo de edad y tamaño, de manera que no se hace buen uso de su potencial de crecimiento. Después discutiremos con más detalle la significación y aplicación de la ecuación de rendimiento, pero antes de esto, es de utilidad considerar brevemente los diferentes parámetros de la población y sus estimaciones.

#### LOS PARAMETROS DE POBLACION.

De estos parámetros, primeramente veremos la mortalidad. Ya hemos definido las mediciones instantáneas de mortalidad. Otro concepto útil es la tasa de mortalidad anual  $a$ , la relación: número de peces muertos al número inicial, la que lleva la siguiente relación a los coeficientes instantáneos:

$$a = 1 - e^{-(F+M)}$$

La correspondiente tasa anual de mortalidad por pesca E usualmente se llama explotación o tasa de explotación.

$$E = \frac{F}{F+M} (1 - e^{-(F+M)})$$

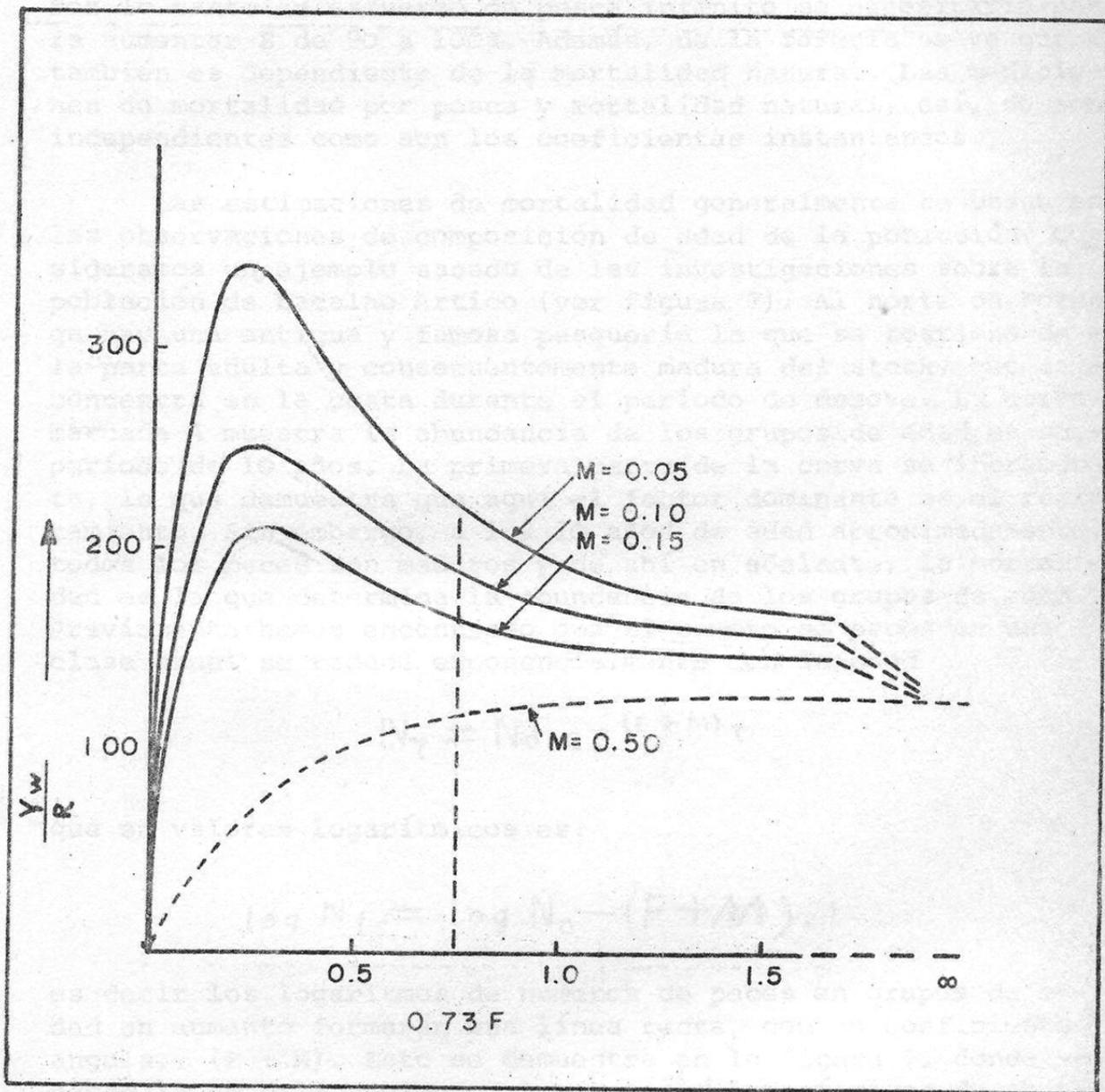


FIGURA 6.- Relación entre intensidad de pesca y rendimiento para diferentes valores de mortalidad natural ( $M$ ) en la población de platija (*Pleuronectes platessa*) en el Mar de Norte. (Según LEVERTON y HOLT, 1957).

Esas mediciones de mortalidad son fácilmente comprensibles: un 50% en la tasa de mortalidad anual significa que una clase anual se reduce a la mitad todos los años. Pero su utilidad en el análisis se reduce considerablemente por 2 razones. Una, es que E no es proporcional al esfuerzo de pesca. Por lo tanto un esfuerzo de pesca infinito se necesitaría para aumentar E de 90 a 100%. Además, de la fórmula se ve que E también es dependiente de la mortalidad natural. Las mediciones de mortalidad por pesca y mortalidad natural, así, no son independientes como son los coeficientes instantáneos.

Las estimaciones de mortalidad generalmente se basan en las observaciones de composición de edad de la población. Consideramos un ejemplo sacado de las investigaciones sobre la población de bacalao Artico (ver figura 7). Al norte de Noruega hay una antigua y famosa pesquería la que se sostiene de la parte adulta y consecuentemente madura del stock, que se concentra en la costa durante el período de desove. La curva marcada A muestra la abundancia de los grupos de edad en un período de 10 años. La primera parte de la curva se incrementa, lo que demuestra que aquí el factor dominante es el reclutamiento. Sin embargo, a los 10 años de edad aproximadamente, todos los peces son maduros y de ahí en adelante, la mortalidad es la que determina la abundancia de los grupos de edad. Previamente hemos encontrado que el número de peces en una clase anual se reduce exponencialmente con la edad

$$N_t = N_0 \cdot e^{-(F+M)t}$$

que en valores logarítmicos es:

$$\log N_t = \log N_0 - (F+M)t$$

es decir los logaritmos de números de peces en grupos de edad en aumento formarán una línea recta, con un coeficiente angular  $(F+M)$ . Esto se demuestra en la figura 7, donde -- desde la edad 11 adelante, los valores logarítmicos de abundancia se sitúan muy cerca de una línea recta. El coeficiente angular de esta línea es 0.57, el cual entonces es el coeficiente instantáneo de mortalidad.

Además de observar la mortalidad total es necesario separar los 2 diferentes factores de mortalidad, mortalidad por

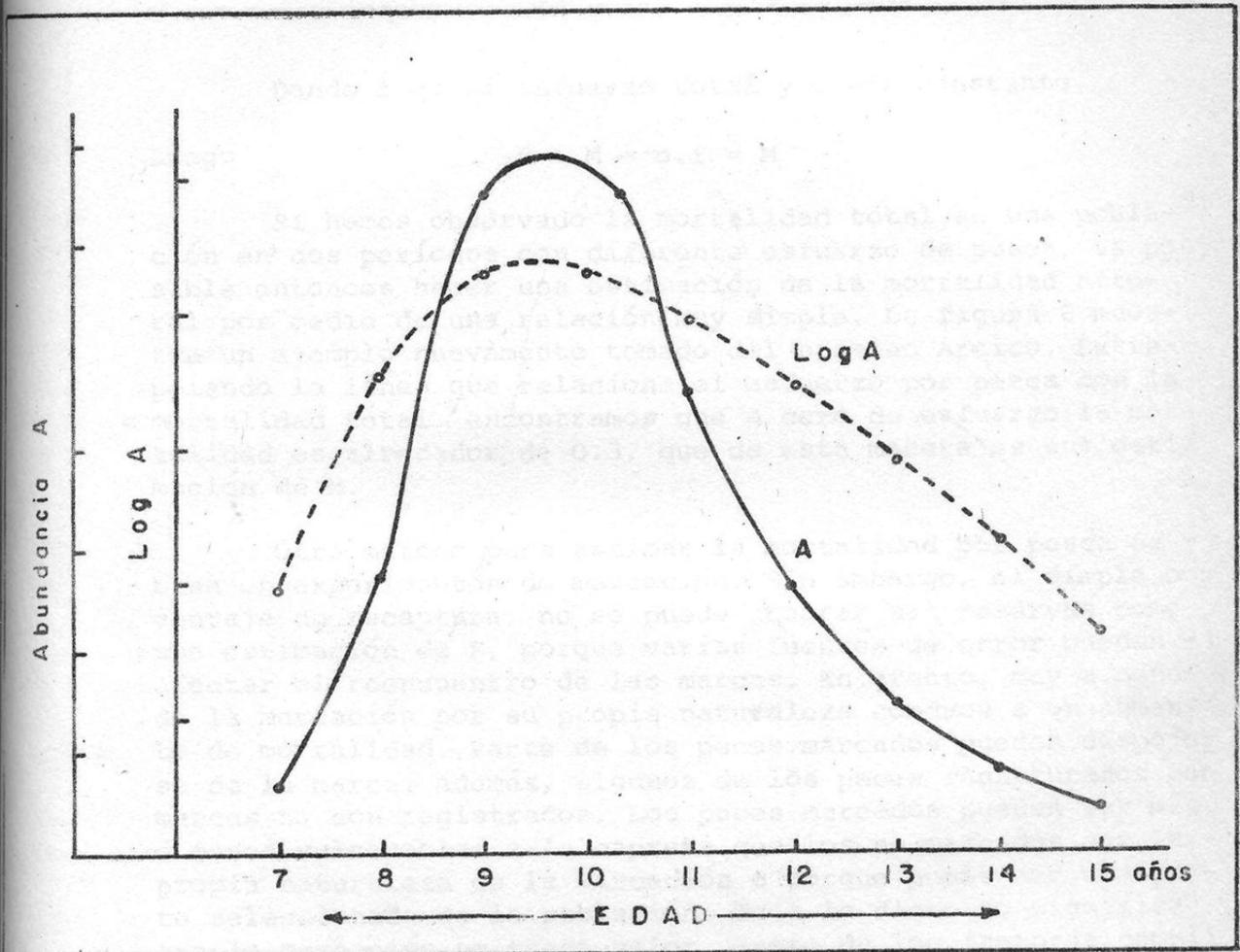


FIGURA 7.- Bacalao de Lofoten, Noruega. Promedio de abundancia de los diferentes grupos de edad en los años 1945 - 1954 y los valores logarítmicos

pesca y mortalidad natural, tarea que frecuentemente es difícil. Un método se basa en la relación proporcional que existe entre la mortalidad por pesca y el esfuerzo de pesca total.

$$F = c.f$$

Donde  $f$  es el esfuerzo total y  $c$  una constante.

Luego

$$F + M = c.f = M$$

Si hemos observado la mortalidad total en una población en dos períodos con diferente esfuerzo de pesca, es posible entonces hacer una estimación de la mortalidad natural por medio de una relación muy simple. La figura 8 muestra un ejemplo nuevamente tomado del bacalao Artico. Extrapolando la línea que relaciona el esfuerzo por pesca con la mortalidad total, encontramos que a cero de esfuerzo la mortalidad es alrededor de 0.3, que de esta manera es una estimación de  $M$ .

Otro método para estimar la mortalidad por pesca se basa en experimentos de marcación. Sin embargo, el simple porcentaje de recaptura, no se puede aceptar sin reservas como una estimación de  $F$ , porque varias fuentes de error pueden afectar el reencuentro de las marcas. En efecto, muy a menudo la marcación por su propia naturaleza conduce a un aumento de mortalidad. Parte de los peces marcados pueden despojarse de la marca. Además, algunos de los peces recapturados con marcas no son registrados. Los peces marcados pueden ser más o menos vulnerables a la captura que los no marcados por la propia naturaleza de la marcación o porque puede ser una parte seleccionada de la población. Todo lo dicho no significa que la marcación no tenga valor. Parte de los factores complicados pueden tomarse en consideración cuando se analizan los datos, y frecuentemente la mortalidad estimada de la marcación pueda proporcionar una estimación mínima de  $F$  que tiene valor cuando se compara con otras observaciones.

El parámetro crecimiento de los peces generalmente es el más fácil de determinar. Ya hemos mencionado que para la ecuación de rendimiento necesitamos una descripción matemática del crecimiento que se ajuste bien a la curva promedio de crecimiento de los peces en la población, y que matemática-

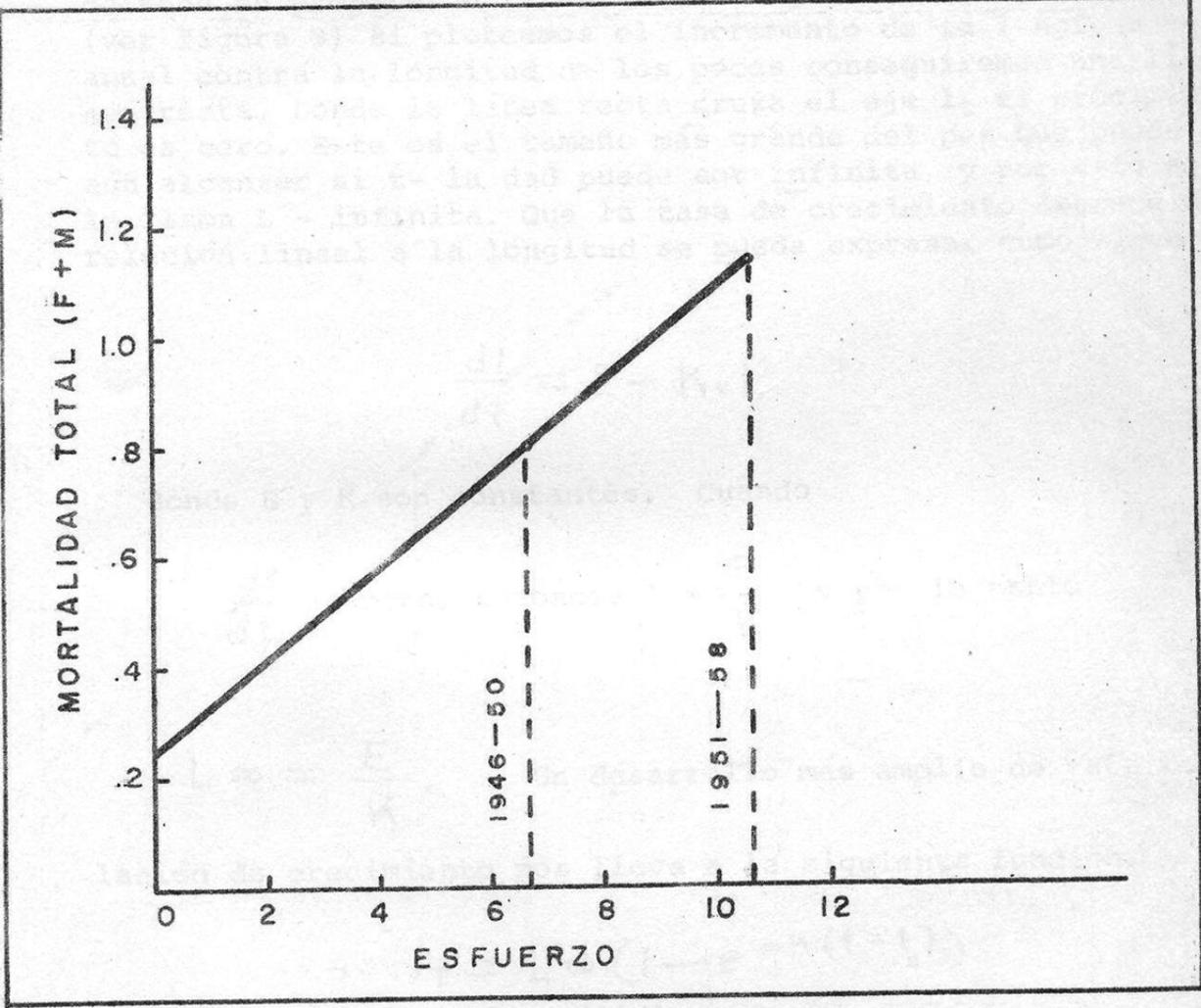


FIGURA 8.- Relación entre mortalidad total y esfuerzo de pesca en la población del bacalao ártico.

mente pueda combinarse con la ecuación. Una de las descripciones que ha probado ser muy útil es la curva de Bertalanffy. En estudios de crecimiento en un número de especies se ha encontrado que la tasa de crecimiento en longitud de los peces decrece en proporción lineal a su longitud. Por lo tanto, -- (ver figura 9) si ploteamos el incremento de la longitud -- anual contra la longitud de los peces conseguiremos una línea recta. Donde la línea recta cruza el eje  $l_t$  el crecimiento es cero. Este es el tamaño más grande del pez que puede -- aún alcanzar si  $t$  -- la edad puede ser infinita, y por esto se le llama  $L_{\infty}$ . Que la tasa de crecimiento decrece en relación lineal a la longitud se puede expresar como sigue:

$$\frac{dl}{dt} = E - K.l$$

donde E y K son constantes. Cuando

$$\frac{dl}{dt} \text{ es cero, entonces } l = \frac{E}{K} \text{ y por lo tanto}$$

$$L_{\infty} = \frac{E}{K}. \quad \text{Un desarrollo más amplio de esta re-}$$

lación de crecimiento nos lleva a la siguiente función.

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

Expresión que se denomina ecuación de crecimiento de Bertalanffy y muestra la longitud del pez como una función de la edad con las dos constantes de crecimiento  $L_{\infty}$  y K. Una simple expresión puede usarse para describir la relación entre la longitud y el peso del pez.

$$W = q.l^3$$

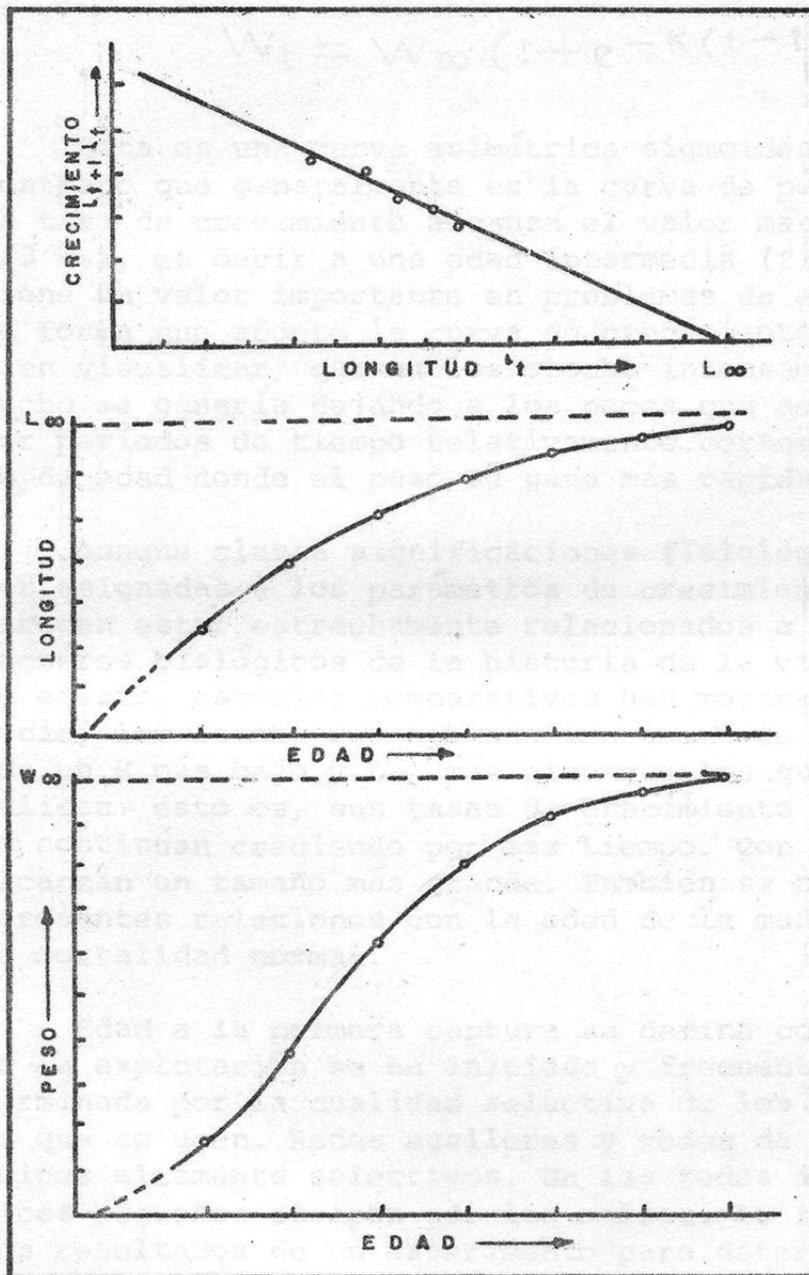


FIGURA 9.- Tipo de crecimiento encontrado en varias clases de peces.

que aplicándola a la ecuación anterior conseguiremos la curva de peso-crecimiento.

$$W_t = W_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})^3$$

Esta es una curva asimétrica sigmoidea como se ha encontrado que generalmente es la curva de peso-crecimiento. La tasa de crecimiento alcanza el valor más alto alrededor  $1/3 W_{\infty}$ , es decir a una edad intermedia (figura 9). Esto tiene un valor importante en problemas de explotación. De la forma que adopte la curva de crecimiento se puede muy bien visualizar, que en los stocks intensamente pescados, mucho se ganaría dejando a los peces que se desarrollen aún por períodos de tiempo relativamente cortos en este intervalo de edad donde el peso se gana más rápidamente.

Aunque claras significaciones fisiológicas no pueden ser asignadas a los parámetros de crecimiento, sin embargo, parecen estar estrechamente relacionados a importantes caracteres biológicos de la historia de la vida de los peces. En efecto, estudios comparativos han mostrado que en una especie, los stocks que habitan las áreas de aguas frías tienen un  $K$  más bajo y  $L_{\infty}$  más alto que los que viven en aguas cálidas; esto es, sus tasas de crecimiento es más lenta, pero continúan creciendo por más tiempo. Con frecuencia ellos alcanzan un tamaño más grande. También se han encontrado interesantes relaciones con la edad de la madurez sexual y con la mortalidad normal.

Edad a la primera captura se define como la edad cuando la explotación se ha iniciado y frecuentemente está determinada por la cualidad selectiva de los aparejos de pesca que se usen. Redes agalleras y redes de arrastre son equipos altamente selectivos. En las redes de arrastre los peces pequeños escapan por las mallas. La figura 10 muestra los resultados de un experimento para determinar la selectividad de las mallas en redes de arrastre. Dos embarcaciones arrastraron juntas, pero con diferente tamaño de malla de las redes. Se ve que con el aumento de tamaño de la malla los peces chicos se liberan. En consecuencia, en las pesquerías de arrastre es posible controlar la edad a la primera captura, y este tipo de regulación es ampliamente practicado. Posteriormente nosotros veremos ejemplos de esto.

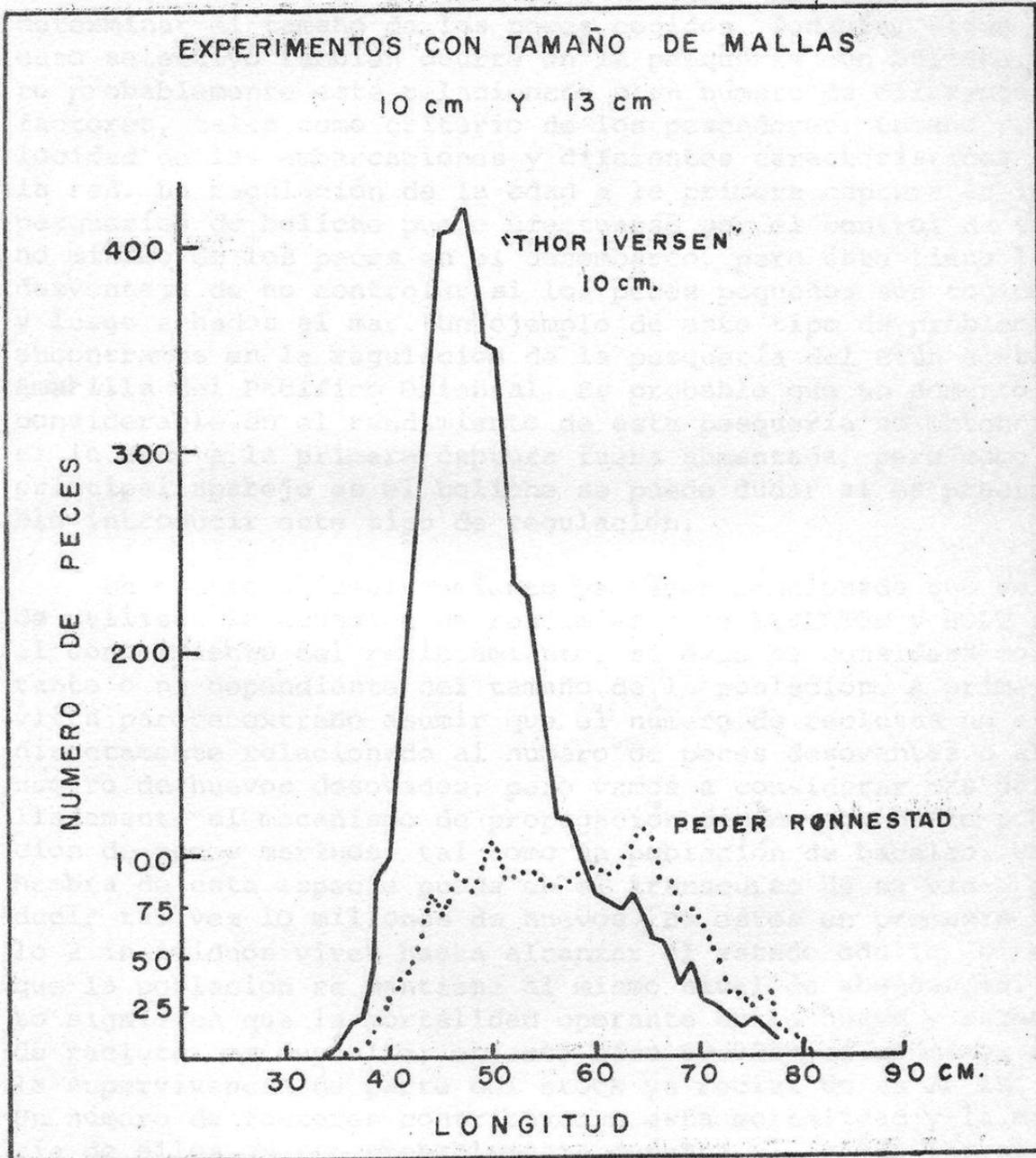


FIGURA 10.- Selectividad en red de arrastre.

Por desgracia un similar y conveniente control de la edad de los peces cuando comienza la explotación no proporcionan todos los tipos de aparejos. Por ejemplo el tamaño de la malla del boliche no es un factor de mucha importancia para determinar el tamaño de los peces cogidos. Todavía, algún proceso selectivo también ocurre en la pesquería con boliche, pero probablemente está relacionado a un número de diferentes factores, tales como criterio de los pescadores, tamaño y velocidad de las embarcaciones y diferentes características de la red. La regulación de la edad a la primera captura en las pesquerías de boliche puede efectuarse por el control de tamaño mínimo de los peces en el desembarco, pero éste tiene la desventaja de no controlar si los peces pequeños son cogidos y luego echados al mar. Un ejemplo de este tipo de problemas encontramos en la regulación de la pesquería del atún aleta amarilla del Pacífico Oriental. Es probable que un aumento considerable en el rendimiento de esta pesquería se obtendría si la edad a la primera captura fuera aumentada, pero como el principal aparejo es el boliche se puede dudar si es practicable introducir este tipo de regulación.

En cuanto al reclutamiento ya hemos mencionado que se puede utilizar la ecuación de rendimiento de BEVERTON y HOLT sin el conocimiento del reclutamiento, si éste se considera constante o no dependiente del tamaño de la población. A primera vista parece extraño asumir que el número de reclutas no está directamente relacionado al número de peces desovantes o al número de huevos desovados; pero vamos a considerar más detalladamente el mecanismo de propagación de una abundante población de peces marinos, tal como la población de bacalao. Una hembra de esta especie puede en el transcurso de su vida, producir tal vez 10 millones de huevos. De estos en promedio sólo 2 individuos viven hasta alcanzar el estado adulto, si es que la población se mantiene al mismo nivel de abundancia. Esto significa que la mortalidad operante entre huevo y estado de recluta, es muy alta, en este caso 99.998% si asumimos que la supervivencia de parte del stock ya reclutado es de 1%. Un número de factores contribuyen a esta mortalidad y la mayoría de ellos operan probablemente durante el estado larval -- cuando los individuos son vulnerables a los cambios físicos y químicos del medio ambiente y a la deficiencia de alimento adecuado. De estación a estación estos factores de mortalidad variarían algo en sus efectos sobre el stock, y de aquí resultan las grandes fluctuaciones en la abundancia de las diferentes

clases anuales que es fenómeno usual en tales poblaciones.

En todas las poblaciones animales existen mecanismos que controlan el tamaño de la población y que a la larga las mantienen en balance. Se piensa que en las grandes poblaciones de peces marinos este mecanismo está principalmente incorporado en la relación huevo-reclutamiento. Si esta relación fuera proporcional, a nuestras poblaciones de peces las haría extremadamente inestables, porque de esta manera, serían vulnerables a los efectos producidos por variaciones casuales en el medio ambiente, lo que según hemos visto influencia grandemente la relación huevo-reclutamiento. Una relación más -- probable se muestra en la figura 11. Aquí se ve que dentro de amplias variaciones en el número de huevos, el reclutamiento casi no es influenciado salvo en lo más bajo del lado izquierdo de la curva donde el número de huevos es decisivo. Datos empíricos de un número de poblaciones de peces -- comprueban que sobre un alto rango del tamaño de una población en desove, el reclutamiento es independiente del número de los huevos. En varios stocks donde se sabe que una explotación intensiva ha mantenido el número de peces adultos maduros en un nivel relativamente bajo durante muchas generaciones, se ve que la reproducción no ha sido influenciada.

De otro lado, se debe admitir que nuestro conocimiento y entendimiento de este importante tema es ciertamente incompleto, y es muy probable que las condiciones sean diferentes para especies diferentes. Y, por supuesto, en las especies -- marinas con una fecundidad baja, como son ballenas y tiburones la relación entre el stock y el reclutamiento es completamente diferente de las poblaciones de peces que hasta aquí hemos considerado. En estos animales el mecanismo que controla el tamaño de la población opera principalmente en la fase adulta y la relación stock-reclutamiento es probablemente proporcional.

En el primer modelo simple que hemos considerado, los efectos de una eventual relación densidad-reclutamiento queda incorporada en el método, y no hay necesidad de conocer -- tal relación. En el modelo analítico la relación, si hubiera alguna, debe ser establecida a fin de tomar debida nota de ella.

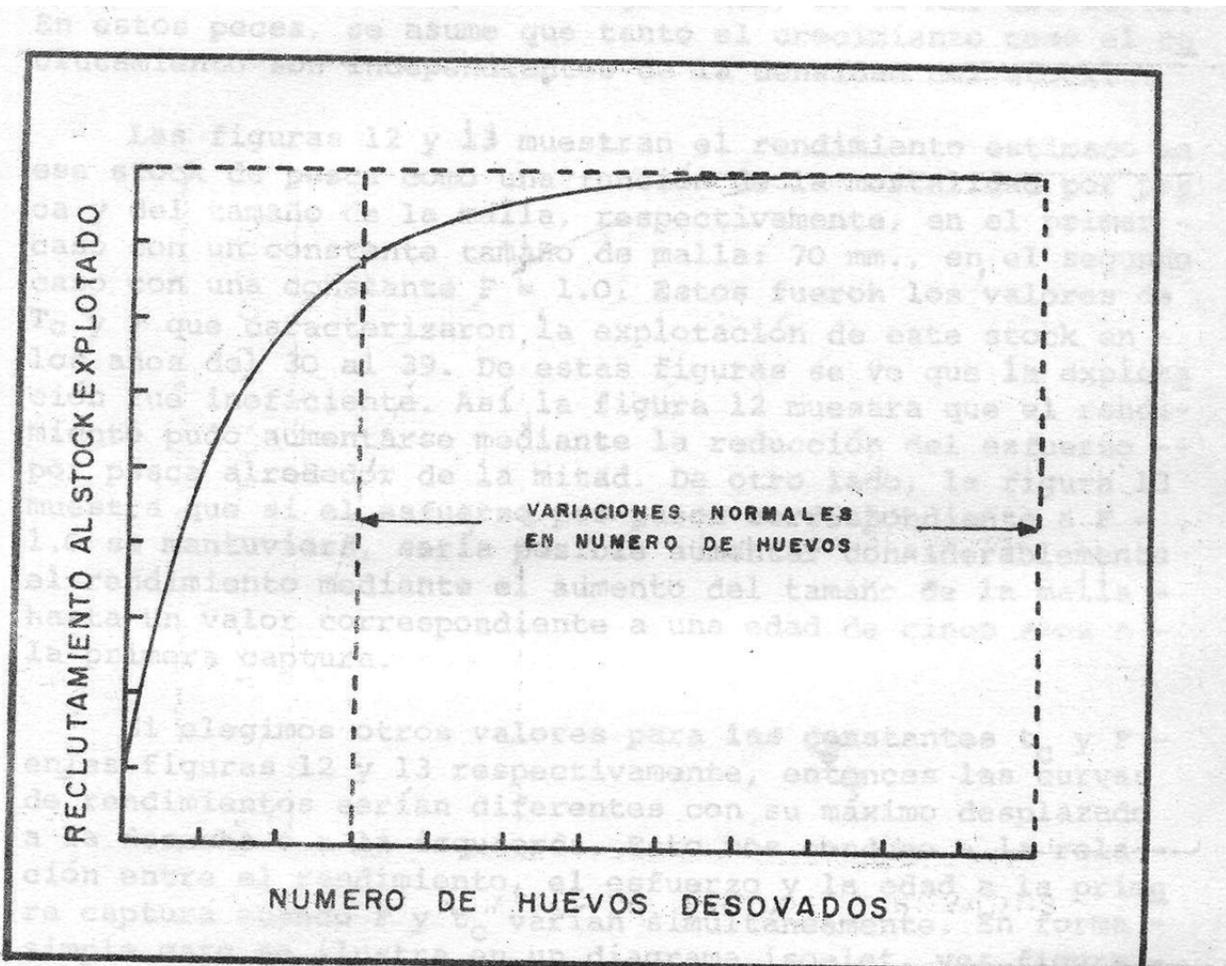


FIGURA 11.- Una probable relación entre stock y reclutamiento.

### APLICACIONES DEL MODELO ANALITICO.

Para demostrar y explicar su modelo, a continuación se guiremos a los autores BEVERTON y HOLT con un ejemplo de la población de haddock (*Gadus aeglefinus*) en el Mar del Norte. En estos peces, se asume que tanto el crecimiento como el reclutamiento son independientes de la densidad del stock.

Las figuras 12 y 13 muestran el rendimiento estimado en ese stock de pesca como una función de la mortalidad por pesca y del tamaño de la malla, respectivamente, en el primer caso con un constante tamaño de malla: 70 mm., en el segundo caso con una constante  $F = 1.0$ . Estos fueron los valores de  $t_c$  y  $F$  que caracterizaron la explotación de este stock en los años del 30 al 39. De estas figuras se ve que la explotación fué ineficiente. Así la figura 12 muestra que el rendimiento pudo aumentarse mediante la reducción del esfuerzo -- por pesca alrededor de la mitad. De otro lado, la figura 13 muestra que si el esfuerzo por pesca correspondiente a  $F = 1.0$  se mantuviera, sería posible aumentar considerablemente el rendimiento mediante el aumento del tamaño de la malla -- hasta un valor correspondiente a una edad de cinco años a -- la primera captura.

Si elegimos otros valores para las constantes  $t_c$  y  $F$  -- en las figuras 12 y 13 respectivamente, entonces las curvas de rendimientos serían diferentes con su máximo desplazado a la derecha o a la izquierda. Esto nos conduce a la relación entre el rendimiento, el esfuerzo y la edad a la primera captura cuando  $F$  y  $t_c$  varían simultáneamente. En forma -- simple esto se ilustra en un diagrama isopleth, ver figura -- 14. En esta figura las curvas describen valores iguales de rendimiento por recluta. La línea B - B' indica el valor de  $t_c$  que resultará de un máximo rendimiento para cualquier va -- lor dado de  $F$ . A esta curva BEVERTON y HOLT la llamaron -- curva de captura eumétrica. Eumétrico significa bien-balan -- ceado, se eligió esta expresión porque desde un punto de -- vista económico sería ventajoso hacer uso de la forma de ex -- plotación, esto es, el tamaño de la malla que da el más al -- to rendimiento con el esfuerzo de pesca usado. En otras pa -- labras como los gastos de una pesquería presumiblemente son independientes de la forma de explotación, (esto es el tama -- ño de la malla) la más alta utilidad económica se obtendría con la malla que dé el más alto rendimiento.

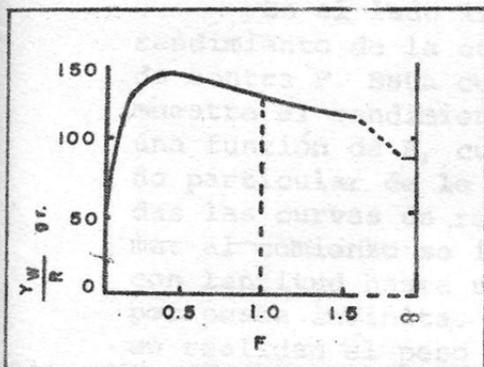


FIGURA 12.- Rendimiento por recluta como función de mortalidad de pesca con tamaño de malla 70 mm. Haddock (*Gadus aeglefinus*) - del Mar del Norte. (Según BEVERTON y HOLT, 1957).

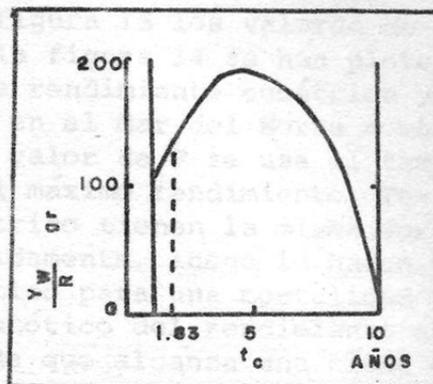


FIGURA 13.- Rendimiento por recluta como función del tamaño de malla (o edad a la primera captura). Mortalidad por pesca  $F=1.0$  Haddock (*Gadus aeglefinus*) del Mar del Norte. (Según BEVERTON y HOLT, 1957).

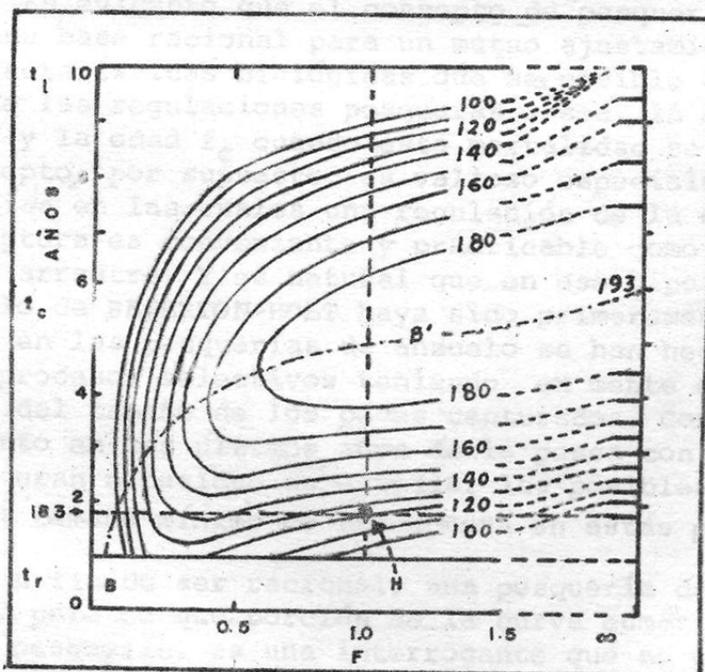


FIGURA 14.- Diagrama isoplet de rendimiento. Rendimiento por recluta para diferentes valores de edad a la primera captura y mortalidad por pesca. HADDOCK (*Gadus aeglefinus*) del Mar de Norte. (Según BEVERTON y HOLT, 1957).

En el lado izquierdo de la figura 15 los valores de rendimiento de la curva B - B' de la figura 14 se han ploteado contra F. Esta curva se llama de rendimiento eumétrico y muestra el rendimiento del haddock en el Mar del Norte como una función de F, cuando para cada valor de F se usa el tamaño particular de la malla que dé el máximo rendimiento. Todas las curvas de rendimiento eumétrico tienen la misma forma: al comienzo se incrementan rápidamente, luego lo hacen con lentitud hasta un valor asintótico para una mortalidad por pesca infinita. Este valor asintótico del rendimiento es en realidad el peso total más grande que alcanza una clase anual durante su vida y teóricamente este rendimiento podría obtenerse permitiendo que la clase anual alcance este máximo y luego capturarla toda al mismo tiempo.

La correspondiente curva de captura eumétrica es la que define la relación entre la intensidad de pesca y la edad a la primera captura en una pesquería eumétrica y se muestra a la derecha de la figura 15.

Es evidente que el concepto de pesquería eumétrica forma una base racional para un mutuo ajustamiento de las dos características biológicas que sea posible cambiar a lo largo de las regulaciones pesqueras o sea, la mortalidad por pesca F y la edad  $f_c$  cuando esta mortalidad se hace efectiva. El concepto, por supuesto, es valioso especialmente para las pesquerías en las cuales una regulación de la edad a la primera captura es conveniente y practicable como en las pesquerías de arrastre. Y es natural que en ese tipo de pesquería el modelo de BEVERTON-HOLT haya sido primeramente aplicado. También en las pesquerías de anzuelo se han hecho estudios de los procesos selectivos teniendo en mente que permitan el control del tamaño de los peces capturados. Con el importante incremento en los últimos años de la pesca con boliche, hay también gran necesidad de estudiar las posibles formas de regular el tamaño mínimo de la captura en estas pesquerías.

A fin de ser racional, una pesquería debería ser eumétrica, pero en que porción de la curva eumétrica se mantendría la pesquería, es una interrogante que no puede ser contestada con ayuda de criterios biológicos. Esto por ejemplo, se muestra por el hecho que las curvas de rendimiento eumétricas no tienen una máxima para algún valor finito de F. El máximo ocurrirá en un esfuerzo de pesca infinito y con costos correspondientes. Por esto, el rendimiento máximo es un criterio absolutamente irreal para una regulación. Entonces son -

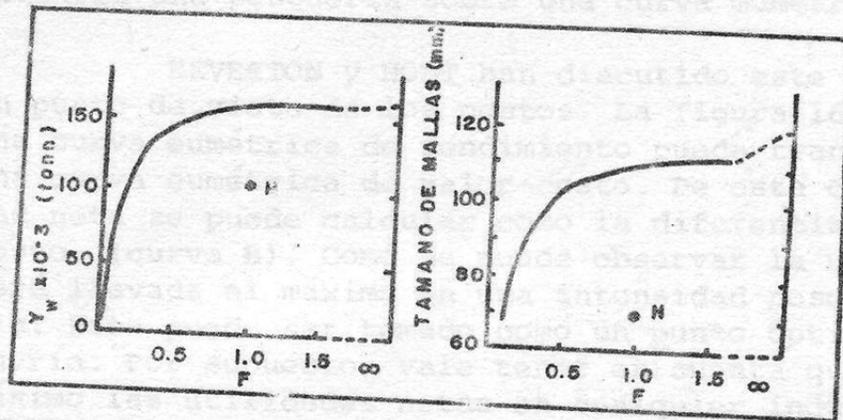


FIGURA 15.- Curvas eumétricas de rendimiento y de captura. HADDOCK (*Gadus aeglefinus*) del Mar de Norte. (Según BEVERTON y HOLT, 1957).

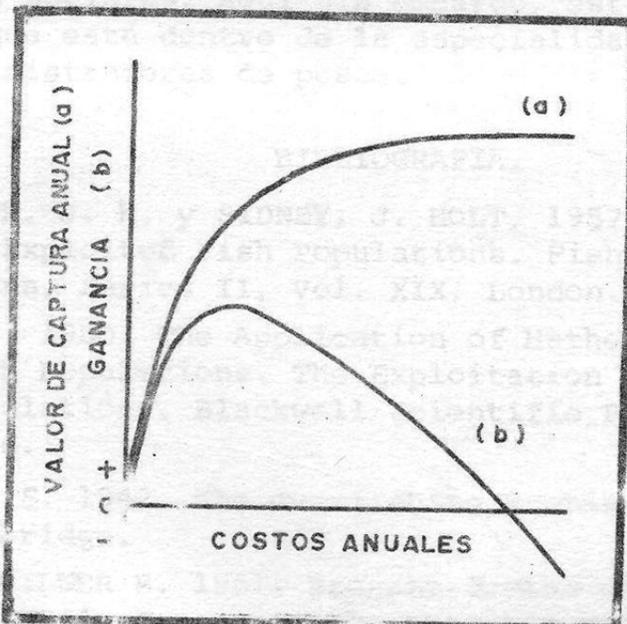


FIGURA 16.- Una curva de valor-costo y derivada de esta una curva de utilidad neta. (Según BEVERTON y HOLT, 1957).

factores económicos y sociales los que determinan donde se situaría una pesquería sobre una curva eumétrica.

BEVERTON y HOLT han discutido este problema desde un punto de vista de los costos. La figura 16 muestra como una curva eumétrica de rendimiento puede transformarse en una curva eumétrica de valor-costo. De esta curva la utilidad neta se puede calcular como la diferencia entre valor y costo. (curva B). Como se puede observar la utilidad neta será llevada al máximo en una intensidad pesquera intermedia. Este puede ser tomado como un punto óptimo para la pesquería. Por supuesto, vale tener en cuenta que llevar al máximo las utilidades netas en cualquier industria necesariamente no está de acuerdo con los objetivos básicos sociales. El grado con que se puede aumentar el desarrollo no se puede determinar sin referirse a las utilidades netas del empleo alternativo del capital invertido en la industria. Finalmente, para el establecimiento de normas, a menudo hay que tener en cuenta otras consideraciones que las de tipo puramente económicas, lo cual explica porque las utilidades económicas, netas no son siempre equivalentes a los máximos beneficios sociales. Aquí sin embargo, estamos aentrando en un campo que está dentro de la especialidad de los economistas y administradores de pesca.

#### BIBLIOGRAFIA.

- BEVERTON, R. J. H. y SIDNEY, J. HOLT, 1957. On the Dynamics of Exploited Fish Populations. Fisheries Investigations, Series II, Vol. XIX, London.
- GULLAND, J. 1960. The Application of Mathematical Models to Fish Populations. The Exploitation of Natural Animal Populations. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- RUSSEL, E. S. 1942. The overfishing Problem. University Press, Cambridge.
- SCHAEFER, MILNER B. 1961. Present Status of the Fishery for Yellowfin Tuna, and the Possible Coming Need for Management Regulation. Background Paper, Inter-American Tropical Tuna Commission, Annual Meeting 23 - 24 February 1961.