

Apuntes de biología pesquera para capitanes de pesca

Pilar Aguirre Enríquez

XUNTA DE GALICIA

1



**Población de peces
sin explotar**

1. POBLACIÓN DE PECES SIN EXPLOTAR

1.1. CONCEPTO DE POBLACIÓN

1.2. ESTRUCTURA DE UNA POBLACIÓN Y PARÁMETROS QUE LA DEFINEN

1.2.1. Composición de la población

Seguimiento de una cohorte a su paso por la población

Ejercicio práctico: Cálculo del número de peces de una cohorte que sobrevive a través del tiempo.

Composición de la población en un momento dado

1.2.2. Tamaño de la población

Concepto de Biomasa Máxima

Ejercicio práctico: Cálculo del tamaño de una población.

1.3. DINÁMICA DE LA POBLACIÓN

1.3.1. Variaciones naturales y mecanismos de compensación

POBLACIÓN DE PECES SIN EXPLOTAR

INTRODUCCIÓN

La utilización responsable de los “recursos pesqueros”¹ requiere conocer bien la *biología* de las **especies** y el *comportamiento* de las **agrupaciones** que forman dentro de su área de distribución; estos “conjuntos o agrupaciones de individuos” que pueden ser identificados como tales frente a otros de su misma especie, se acercan al concepto de “población”, y de esta posibilidad de ser identificadas con cierta independencia se deriva la de su posterior gestión.

Resulta relativamente fácil llegar a la noción de “especie” como unidad taxonómica de la clasificación biológica; se identifican sin dificultad especies como la sardina (*Sardina pilchardus*), la merluza (*Merluccius merluccius*), o el bacalao (*Gadus morhua*), sin embargo, no resulta tan sencillo llegar al concepto de “población” que es el que interesa conocer para su aplicación en la pesca.

Curiosamente, en el ambiente pesquero es usual hacer referencia a una pesquería concreta nombrando la **especie** que se explota y el **lugar** en que se encuentra; así se habla, por ejemplo, de la “merluza de Gran Sol”, del bacalao de los Grandes Bancos de Terranova o del bacalao de las Svalvard. Esta manera de nombrar un recurso pesquero resulta, de forma intuitiva, una aproximación al concepto de lo que en Ecología se denomina “población”, pues indica un cierto grado de independencia de la población nombrada frente a otras de la misma especie.

1 Aunque son varios los grupos de organismos marinos que constituyen recursos pesqueros, como peces, moluscos, crustáceos, etc. en este texto, y mientras no se exprese lo contrario, nos estaremos refiriendo a los recursos o poblaciones formados por peces.

El **bacalao** de Terranova, de Islandia o de las Svalvard pertenecen a la misma especie (*Gadus morhua*), pero viven en áreas geográficas diferentes, y son las condiciones de las aguas de una y otra área las que determinan ciertas diferencias entre ellos. Son diferencias relacionadas con sus propiedades biológicas, de comportamiento, o con sus reacciones frente a las variaciones del entorno; en todo caso parece evidente que existe una cierta independencia entre ellos. Estas diferencias permiten afirmar, de forma muy general, que constituyen poblaciones diferenciadas.

Desde el punto de vista ecológico y pesquero, las poblaciones constituyen unidades fundamentales para su explotación.

1.1. CONCEPTO DE POBLACIÓN

Los peces, lo mismo que otros organismos marinos, presentan áreas de distribución relativamente amplias en las que los individuos no aparecen repartidos de manera homogénea, sino que se concentran en determinadas zonas, resultando su presencia escasa o incluso nula en los espacios intermedios. Estas agrupaciones de individuos de la misma especie que ocupan un mismo espacio constituyen las llamadas **poblaciones**.

Desde la Ecología, y en este contexto, se puede definir la **"población" como el conjunto de individuos de una misma especie que ocupa una extensión espacial bien definida**. Los componentes de una población se reproducen entre sí y presentan propiedades, como tasas de crecimiento y mortalidad, diferentes a las de los componentes de otras poblaciones de la misma especie.

En el medio marino, el poder diferenciar dos **unidades poblacionales** contiguas en el espacio presenta una cierta dificultad porque los límites geográficos no son tan precisos como en tierra, y los peces realizan desplazamientos de mayor o menor amplitud entre ellos. El grado de dificultad, sin embargo, no es el mismo para las poblaciones de especies demersales que para las que presentan costumbres pelágicas; resulta menos dificultoso en el caso de las demersales porque presentan un escaso comportamiento migratorio y ocupan un ambiente más estable y de más fácil definición, mientras que las pelágicas realizan desplazamientos de mayor amplitud y ocupan un ambiente mucho más extenso.

No obstante, para identificar una población como diferente de otra próxima se admiten ciertas condiciones que son utilizadas como criterios de independencia. Uno de esos criterios es la ocupación de sus componentes de diferentes áreas de puesta, lo que se interpreta como exigencias diferenciadas para la reproducción. De forma análoga se consideran poblaciones independientes aquellas que, aunque sus componentes realicen la puesta en la misma área, su ocupación no coincide en el tiempo. Al no coincidir los componentes de una y otra población en el área de puesta se hace imposible la reproducción entre unos y otros, y al no existir intercambio de material genético se refuerza la independencia de los dos grupos poblacionales.

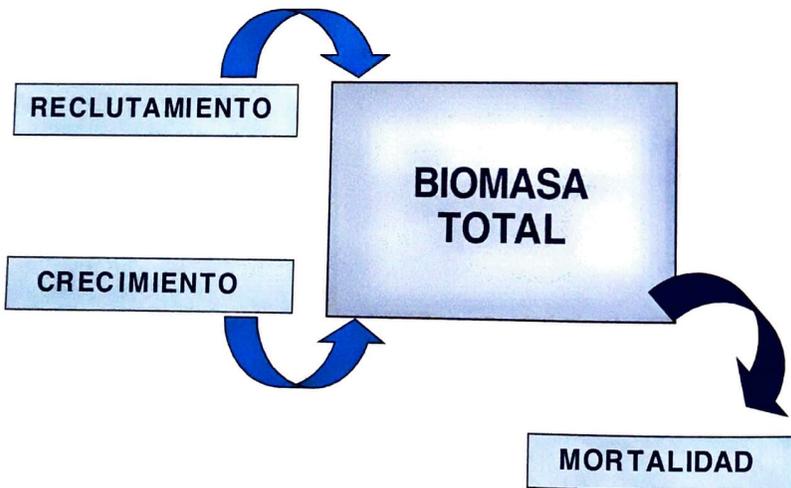
También se toma como criterio de independencia de dos poblaciones el que se diferencien, además de sus **migraciones genéticas**, las tróficas por no coincidir las **áreas de alimentación**.



Las condiciones del espacio ocupado por una población intervienen en el mantenimiento de las propiedades específicas de sus componentes, como las tasas de natalidad, mortalidad y de crecimiento etc., que son las que determinan el nivel de biomasa para esas condiciones concretas. El comportamiento biológico y las reacciones ante las condiciones ambientales del territorio ocupado, son las que permiten considerar a las poblaciones como unidades independientes que exigen estrategias de explotación diferentes. De aquí la importancia de su estudio.

1.2. ESTRUCTURA DE UNA POBLACIÓN Y PARÁMETROS QUE LA DEFINEN

Conviene empezar a familiarizarse con el concepto de población, tanto en lo referente a su estructura como a su comportamiento funcional. Los individuos de cualquier población cambian en la medida en que nuevos componentes se incorporan cada año y sustituyen a los que desaparecen por muerte, pero la población *se mantiene en el tiempo y espacio como una unidad con una estructura propia*. La estructura de una población la define el **número total de sus componentes y la proporción en que se distribuyen por edades**, y es el resultado del continuo balance entre los procesos que aportan biomasa y los que se la restan.



1.1. Parámetros de los que depende la biomasa de una población



Conocer la estructura de una población pesquera significa disponer de la información precisa de su "tamaño" y "composición" para determinar cuáles serán las condiciones de explotación más adecuadas. Como se ha dicho, la estructura es el resultado del balance entre los procesos que aportan biomasa a la población y los que se la restan, es decir que, mientras una parte de sus componentes va desapareciendo por muerte (**M**), los que sobreviven siguen creciendo (**C**) hasta alcanzar la edad de madurez sexual y reproducirse, permitiendo la incorporación de nuevos individuos o "reclutas" (**R**). En términos conceptuales puede expresarse como:

$$B_t = (R+C) - M$$

En condiciones normales la biomasa total de una población se mantiene en equilibrio cuando los nuevos individuos incorporados y el crecimiento de los existentes compensan las pérdidas por muerte ($R+C=M$); este equilibrio lo alcanzan a un nivel de biomasa que se considera el máximo posible en las condiciones ambientales en que se encuentra. Se trata, no obstante, de un equilibrio de naturaleza dinámica que presenta variaciones ante los continuos cambios de las condiciones de su entorno. La población experimentará un incremento si, ante condiciones favorables, el valor de la biomasa aportada por el reclutamiento (**R**) y crecimiento (**C**) es superior al de la desaparecida por muerte (**M**); y por el contrario el tamaño de la población se reducirá si debido a condiciones adversas, el reclutamiento y el crecimiento no consiguen compensar la biomasa desaparecida por muerte.

Los parámetros biológicos de los que depende, en todo momento, la biomasa de la población (tamaño) y la distribución de sus componentes por edades (composición) son: **reclutamiento, crecimiento y mortalidad**.

RECLUTAMIENTO (R), es el total de individuos que cada año se incorpora a la población como resultado de la reproducción de los adultos.

La mayoría de los peces óseos de interés comercial presentan, como adaptación a la fecundación externa y estrategia reproductiva, una alta fecundidad de las hembras; los numerosos huevos son de pequeño tamaño y completan su desarrollo, al igual que las fases larvares, en las capas superficiales de las aguas. Transcurrido un período de tiempo, los juveniles abandonan el ambiente pelágico y comienzan a incorporarse a la población como nuevos "reclutas"; por esta razón en la vida de los peces se diferencian dos fases: una comprendida desde la puesta hasta su reclutamiento al área ocupada por los adultos (población), y la otra entre el reclutamiento y el final de su permanencia en la población.

Las larvas durante su vida planctónica presentan grandes mortalidades de forma que del total de los huevos puestos sólo una pequeñísima proporción se incorpora a la población adulta; en realidad, se trata de que sea la proporción adecuada para que, compensando a los desaparecidos por muerte, la población se mantenga en su nivel de equilibrio.

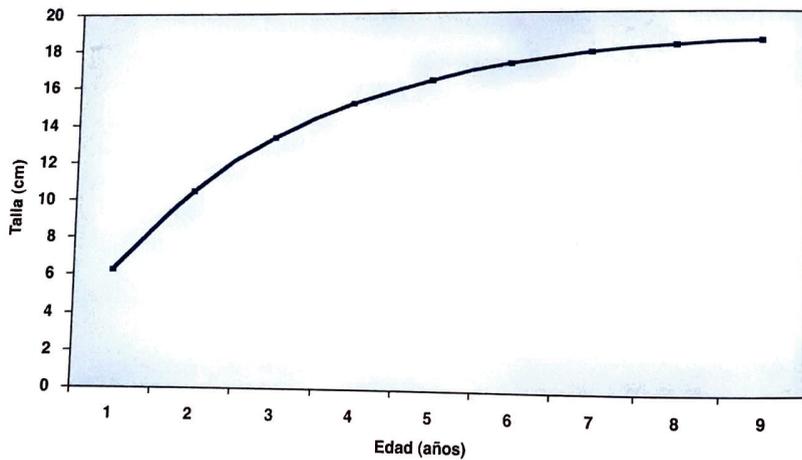


La supervivencia en esta fase planctónica depende, en gran medida, de las condiciones oceanográficas y de la cantidad de alimento. La intensidad y cambio de dirección del viento o de las corrientes de deriva, la abundancia y concentración del alimento, y otros procesos de más difícil estimación hacen que, aunque se pueda evaluar el número de huevos puestos por la población adulta, resulte imposible predecir en qué proporción van a llegar a la población. Una vez que el proceso de reclutamiento haya finalizado, la mortalidad se va haciendo estable y su supervivencia se hace predecible.

CRECIMIENTO (C), es el incremento en talla y peso de los integrantes de la población en una unidad de tiempo (año).

El crecimiento de los peces se puede expresar como la *fracción de talla o peso ganada en un año* (tasa de crecimiento), o como las *tallas o pesos medios que el pez adquiere a cada edad*. Estos últimos son los que se utilizan para hacer la valoración de la biomasa que aporta cada grupo de edad, y la total de la población.

La tasa anual de crecimiento de los peces varía con la edad, es máxima a una edad temprana y va disminuyendo a medida que cumplen años y se acercan a la edad máxima de la especie.



1.2. Crecimiento diferencial en relación con la edad

La expresión más universalmente utilizada para determinar el crecimiento de los peces es la ecuación de von Bertalanffy, que permite calcular la talla media correspondiente a cada edad:

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

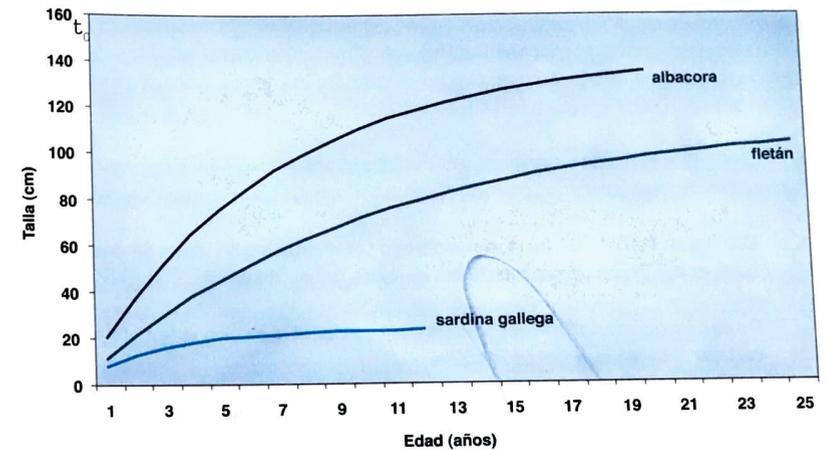


Donde:

l_t = talla a la edad t

L_{∞} = talla máxima de los individuos de esa especie

k = constante de crecimiento



1.3. Curvas de crecimiento de tres especies diferentes

El peso de los peces se relaciona con la talla a cada edad según la expresión:

$$W = a \cdot L^b$$

Donde:

W = peso de los ejemplares de la talla L

L = talla individual

a, b = parámetros que deben ser estimados para cada especie.

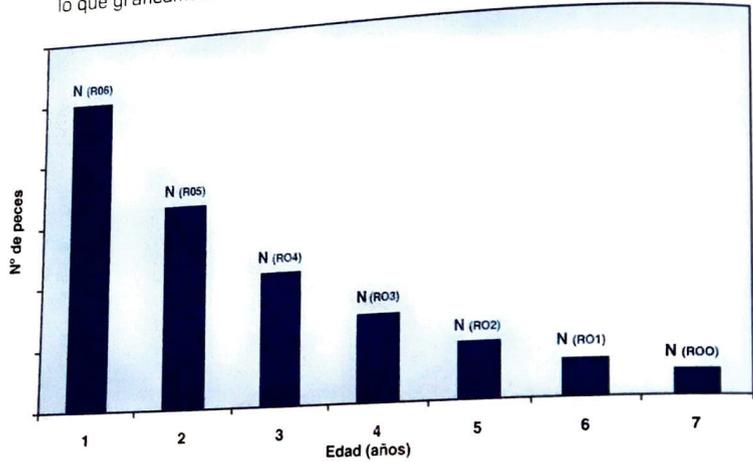
La constante b presenta un valor aproximado a 3, por lo que cuando no se dispone de los valores de las constantes a y b , el crecimiento en peso se puede expresar a partir de la ecuación von Bertalanffy según la siguiente ecuación:

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

MORTALIDAD (M), es la fracción de individuos que desaparece de la población debido a la muerte por causas naturales (se denomina mortalidad natural para diferenciarla de la producida por la pesca, y que se verá en el tema siguiente).



Donde:
 $N_{(ROt)}$ = Número de individuos incorporados (reclutados) en 2006
 $N_{(ROs)}$ = Número de individuos reclutados 2005...
 s = sobrevivencia, o proporción de individuos que sobreviven a lo largo de un año
 t_m = edad máxima de los individuos de esa población
 lo que gráficamente se expresaría de la forma siguiente:



15. Estructura de la población en el año 2006

Interesa conocer el número de peces que existe a cada edad como paso previo para estimar el tamaño de la población o biomasa total, y poder deducir los posibles rendimientos que se podrán obtener cuando se someta a explotación.

Con el fin de facilitar la comprensión del método que se utiliza para calcular el número de peces existente en cada grupo de edad (composición de la población), se hará el seguimiento de una cohorte o clase anual desde su incorporación a la población hasta su total extinción, calculando el número de peces que sobrevive cada año.

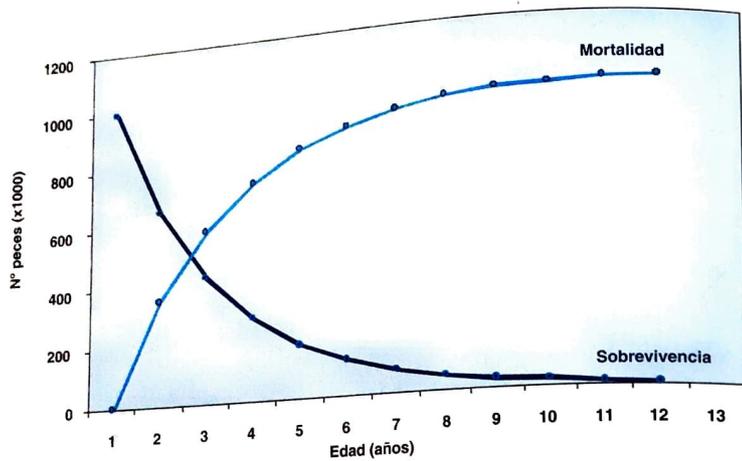
SEGUIMIENTO DE UNA COHORTE A SU PASO POR LA POBLACIÓN

Hay que distinguir la "historia" de una clase anual o cohorte desde su incorporación a la población hasta su total extinción, de la *composición de la población* en un momento dado. Cuando se hace el seguimiento de una clase anual se va obteniendo información de los individuos que sobreviven cada año, de forma que en un año concreto sólo existirá un número determinado de peces de la clase o cohorte en cuestión; pero en ese mismo año la población estará formada por peces de diferentes edades que son los integrantes de las diferentes clases anuales.

La cohorte o clase anual que cada año se incorpora a la población se va reduciendo a través del tiempo en una proporción acorde con su tasa de mortalidad. La tasa de mortalidad hace que *anualmente* una *fracción de los individuos que existen al inicio del año* desaparezca por **muerte (mortalidad natural)**, mientras que otra sobreviva (**sobrevivencia**) y pase a pertenecer al grupo de edad siguiente. Este concepto de sobrevivencia es el que se aplica para determinar la estructura de la población, y que se define como **la proporción de individuos que, en un intervalo de tiempo, consigue sobrevivir a las diversas causas de mortalidad.**

La suma de los individuos que al final del año han desaparecido por muerte y los que permanecen en la población, tiene que ser igual al total de los peces que existían al inicio de ese mismo año. Las expresiones de la **mortalidad** y la **sobrevivencia** en términos de porcentaje son **complementarias**. Conocida la mortalidad anual, el valor de la sobrevivencia será su complemento: $s = 1 - m$, y aunque puede expresarse en tanto por ciento, es habitual, por mayor facilidad en el cálculo, hacerlo en tanto por uno.

2 El reclutamiento es un proceso de duración variable según las especies, pero para la evaluación de recursos se simplifica suponiendo que se realiza en un instante t , admitido como la edad de reclutamiento a la población. En la evaluación de poblaciones pesqueras, se considera que tiene lugar al inicio del año, lo que no altera significativamente los resultados de los cálculos de estimación de la estructura de la población



1.6. Curvas de sobrevivencia y mortalidad de los componentes de una población

El valor de la sobrevivencia permite calcular el número de individuos que sobrevive en un año mediante la expresión:

$$N_t = N_{t-1} * s$$

Y la que permite calcular el número de individuos que sobrevive en un tiempo transcurrido:

$$N_t = N_0 * s^t \tag{1.1}$$

En consecuencia, los individuos que desaparecen en el tiempo t se calculan mediante la fórmula:

$$D_t = N_0 (1-s^t) \tag{1.2}$$

donde:

N_t = número de individuos que sobrevive en un período de tiempo (años).

D_t = número de individuos muertos durante en un período de tiempo (años).

N_0 = número de individuos que había al inicio de ese período de tiempo.

s = porcentaje de sobrevivencia anual.

t = tiempo transcurrido (años transcurridos $(t-t_0)$).

EJEMPLO: Se supone que es el año 2006; se han reclutado un millón de peces de un año de edad a una población cuyos componentes presentan una tasa de mortalidad anual (m) de 0,35. Se quiere estimar cuántos peces de los reclutados llegarán a cumplir los 5 años.

RESOLUCIÓN: Si la tasa de mortalidad y sobrevivencia son complementarias: $m + s = 1$ la sobrevivencia (s) será: $s = 1 - 0,35$

$$s = 0,65$$

Los peces de 1 año de edad que en 2006 se incorporaron a la población y que sobrevivan durante ese año, al inicio de 2007 pasarán a formar parte del grupo de edad 2, y se encontrarán en un número igual a:

$$N_2 = N_1 * s$$

$$N_2 = 1 * 10^6 * 0,65$$

$$\text{Nº de peces de 2 años (en 2007)} = 650\ 000 \text{ peces}$$

De la misma manera se calcularán los peces que sobreviven hasta cumplir los 3 años de edad, los 4, y 5. Para calcular cuántos peces de los reclutados en 2006 tienen la probabilidad de llegar a cumplir los cinco años de edad, se utilizaría la expresión (1.1):

$$N_5 = N_1 * s^{(5-1)}$$

$$N_5 = 1 * 10^6 * 0,65^4$$

Siendo:

N_5 = Número de peces de 5 años

N_1 = Peces reclutados con 1 año de edad

t = tiempo transcurrido desde el reclutamiento hasta que cumplen los 5 años.

$$N_5 = 178\ 506 \text{ peces}$$



TASA INSTANTÁNEA DE MORTALIDAD

Quizás la forma más simple y realista de expresar la mortalidad de los componentes de una población sea la de hacerlo en términos de probabilidad o porcentaje, pero en la práctica, y a efectos de cálculo, resulta más conveniente hacerlo bajo la forma de coeficiente como **tasa instantánea del cambio que se produce en la población por muerte (M)**.

Por esta razón, para calcular el número de peces que sobreviven en un periodo de tiempo en lugar de utilizar el **porcentaje** que expresa los desaparecidos por muerte (m) en el periodo de un año, se utiliza el **coeficiente o tasa instantánea de mortalidad natural (M)**, que expresa los peces desaparecidos en un instante, considerado éste como el periodo mínimo de tiempo.

Esta tasa instantánea de mortalidad natural (M) se define como el logaritmo neperiano o natural (ln) de la sobrevivencia (s)

$$M = \ln s$$

por tanto, la sobrevivencia anual se determina por:

$$s = e^{-M}$$

Nota: El signo negativo del coeficiente instantáneo de mortalidad (M) indica que el número de individuos que sobreviven a lo largo del tiempo es una función exponencial negativa.

Al utilizar el coeficiente instantáneo de mortalidad natural (M), las ecuaciones (1.1) y (1.2) de la pág. 20 que relacionan el número de individuos que sobreviven en un periodo de tiempo, y el número de individuos que mueren respecto al mismo tiempo transcurrido, se expresan de la siguiente manera:

Número de individuos que sobreviven durante un periodo de tiempo:

$$N_t = N_0 \cdot e^{-M \cdot t} \quad (1.3)$$

Número de individuos que mueren durante un periodo de tiempo:

$$D_t = N_0 (1 - e^{-M \cdot t}) \quad (1.4)$$



EJERCICIO PRÁCTICO: Cálculo del número de peces de una cohorte que sobrevive a través del tiempo.

En el año 2006³ se incorpora a la población de una determinada especie, un millón de peces con un año de edad⁴ y que son los integrantes de la clase anual de 2005. La tasa de mortalidad anual (m) de los individuos de esta población es 0,35.

CÁLCULO:

El número de peces que sobrevive a lo largo de un año, y comienza el siguiente, se calcula aplicando la tasa de sobrevivencia sobre los que había al inicio del año; los resultados se expondrán en forma de tabla para facilitar el manejo de los datos cuando interese utilizarlos.

En este ejemplo:

$$\text{Si: } m = 0,35$$

$$s = 0,65$$

A partir de la sobrevivencia se calcula la tasa instantánea de mortalidad (M), que es la que debe utilizarse en el cálculo:

$$(-) M = \ln s$$

$$(-) M = \ln 0,65$$

$$(-) M = 0,43$$

De los peces de 1 año de edad reclutados en 2006, sólo una fracción sobrevivirá para cumplir los dos años en 2007. El cálculo se realiza a partir de los que existían al inicio del año anterior y su sobrevivencia:

$$N_2 = N_1 \cdot e^{-M \cdot t}$$

el intervalo de tiempo considerado es de 1 año por lo que $t = 1$:

En el año 2007:

$$N_2 = N_1 \cdot e^{-0,43}$$

$$N_2 = 1000\,000 \cdot 0,65$$

$$N_2 = 650\,000 \text{ peces vivos al inicio del año 2007}$$

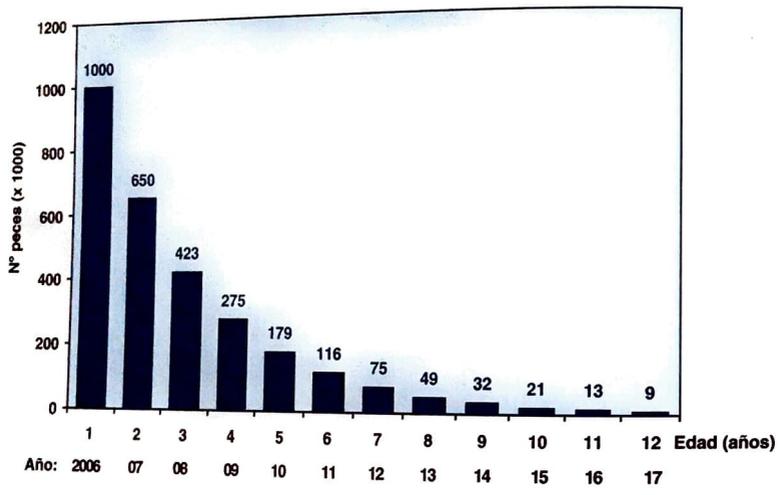
Y así se calcula el número de peces que, teóricamente y de acuerdo con el modelo de sobrevivencia para esta población supuesta, sobrevivirán en los años sucesivos.

3 Para facilitar el cálculo y a partir de ahora, cuando se haga este supuesto la incorporación se referirá al 1 de enero del año en cuestión.
4 Hasta esa edad han vivido en el ambiente pelágico. Se ha escogido 1 año por resultar más fácil para el cálculo.



AÑO	Edad (años)	- M	Nº de peces al inicio del año
			1000 000
2006	1	0,43	650 000
2007	2	0,43	422 500
2008	3	0,43	274 625
2009	4	0,43	178 506
2010	5	0,43	116 029
2011	6	0,43	75 419
2012	7	0,43	49 022
2013	8	0,43	31 864
2014	9	0,43	20 712
2015	10	0,43	13 463
2016	11	0,43	8 751
2017	12	0,43	
...	...		

Tabla 1.1 - Número de individuos de una clase anual o cohorte que sobreviven a través del tiempo



1.7. Individuos de una clase anual y su supervivencia a través del tiempo

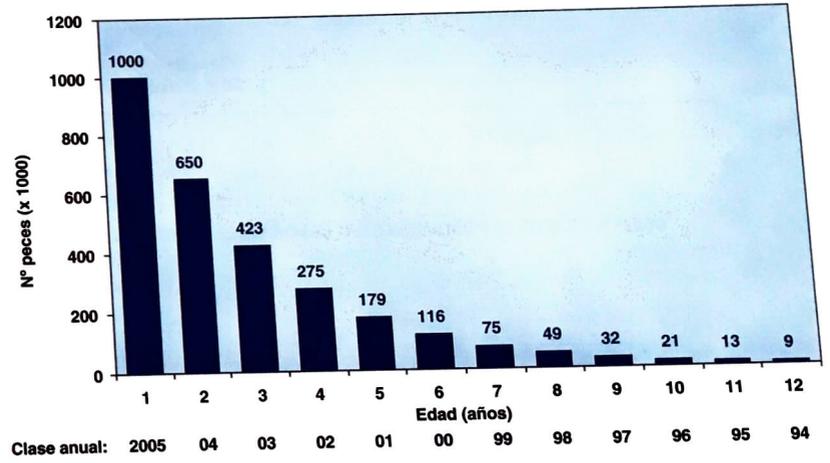
Esta clase anual o cohorte desaparecería de la población el año en que ya no hubiera sobrevivientes, lo que ocurriría cuando alcanzasen la edad considerada máxima para los individuos de la población. Para evitar un cálculo excesivamente largo, se supone que los 12 años es el límite de su permanencia en la población; en el año 2018 ya no habría supervivientes de los peces nacidos en 2005 (clase anual 2005) e incorporados a la población en 2006.

COMPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN EN UN MOMENTO DADO

Una vez que se dispone del modelo que expresa la supervivencia de una cohorte desde su incorporación a la población hasta su total desaparición, resulta más fácil la interpretación de la composición de la población.

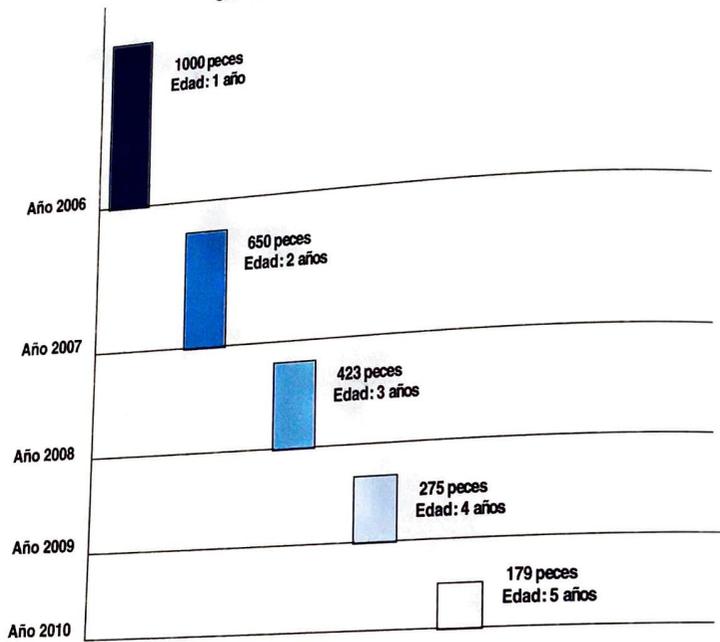
Si el reclutamiento de todas las clases anuales presentes en la población hubiese sido el mismo, es decir, $N_{(R06)} = N_{(R05)} = N_{(R04)} = \dots$, y siendo la mortalidad (M) propia de la población y común a los componentes de todas ellas, el número de peces existente en cada grupo de edad sería igual al esperado para los de cualquiera de las cohortes o clases anuales a esa edad, y bastaría saber cuál ha sido la estructura de una de esas cohortes, a su paso por la población, para conocer la de las demás.

En las condiciones de reclutamiento constante, la población estará formada por un número de grupos de edad coincidente con la edad máxima de la especie o de la población, y su composición será semejante a la que cada clase o cohorte ha presentado a lo largo de su vida.

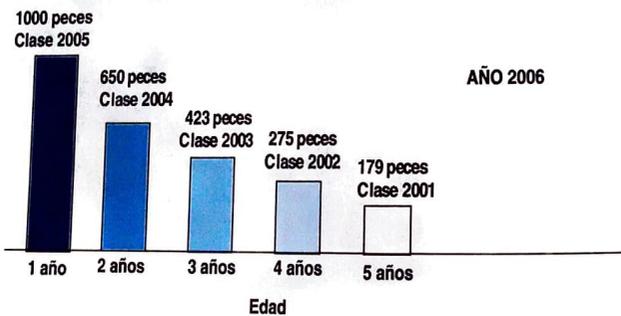


1.8. Componentes de las diferentes clases anuales presentes en la población

UNA CLASE ANUAL A TRAVÉS DEL TIEMPO



COMPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN BAJO CONDICIONES CONSTANTES



1.9. Componentes de una clase anual a través del tiempo y la composición de una población en un momento dado

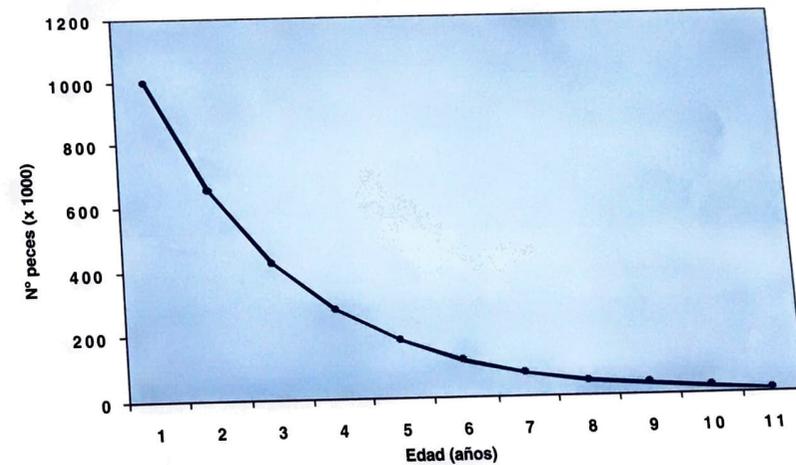
Cada uno de los grupos de edad presentes en la población pertenece a una clase anual diferente (la del año de su nacimiento), y el número de sus componentes es el esperado para los individuos de cada clase o cohorte a esa edad. La población, en el año 2006 y según este ejemplo, estará formada por los componentes de cada uno de los grupos de edad que pertenecen a la clase anual de su nacimiento:

$$N_{1(R06)} + N_{2(R05)} \cdot e^{-M} + N_{3(R04)} \cdot e^{-2M} + \dots + N_{t_{\text{max}}(R06-t_{\text{max}}-1)} \cdot e^{-(M \cdot t_{\text{max}}-1)}$$

Edad	Nº de peces al inicio del año
1	1000 000
2	650 000
3	422 500
4	274 625
5	178 506
6	116 029
7	75 419
8	49 022
9	31 864
10	20 712
11	13 463
12	8 751
...	...

Tabla 1.2. Número de individuos de los grupos de edad presentes en la población

La representación gráfica de la función que expresa el número de individuos que sobrevive respecto al tiempo transcurrido, es una curva que manifiesta que la *sobrevivencia disminuye de forma inversamente exponencial al tiempo*.



1.10. Curva de sobrevivencia y composición por edades de los componentes de la población



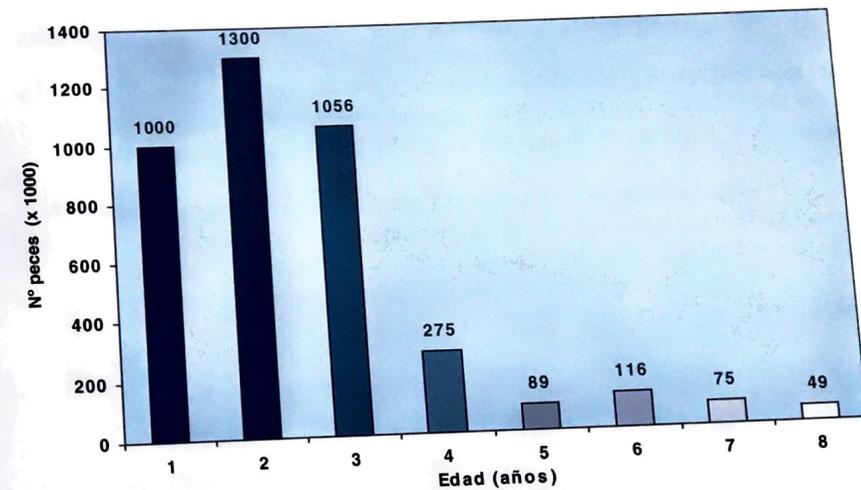
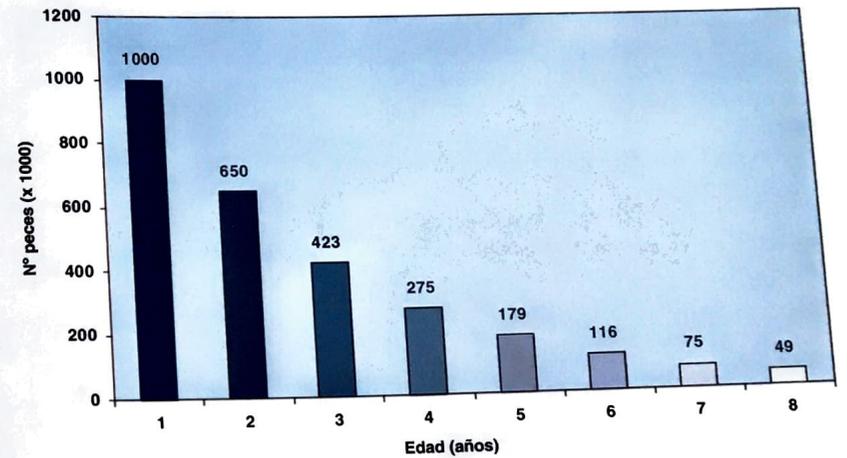
Se ha estimado el número de peces que constituye cada uno de los grupos de edad presentes en la población (nº de peces a cada edad) bajo el supuesto de que el reclutamiento ha sido el mismo cada año; en la realidad los reclutamientos difieren considerablemente de un año a otro, y producen variaciones significativas en la estructura de la población. Un grupo de edad puede tener un número mayor de componentes que el correspondiente al grupo de edad anterior si el reclutamiento de esa clase anual fue mayor; o por el contrario, cuando el reclutamiento de una clase anual ha sido bajo, sus grupos de edad presentarán un número de individuos menor al esperado.

Aunque resulte imposible, a corto o medio plazo, predecir las condiciones que determinarán el valor del reclutamiento, una vez concluido el proceso de incorporación y estimado el número de reclutas, sí es posible predecir el número de peces que se espera sobreviva a cada edad. En estas circunstancias se puede llegar a una aproximación de la estructura de la población en condiciones variables.

Ejemplo: La composición de la población expuesta en la tabla 1.2 corresponde a condiciones en las que el reclutamiento ha sido constante, pero se vería modificada si, tras la estimación correspondiente, se sabe que los reclutamientos de los años 2005, 2004, y 2002 fueron respectivamente de 2 millones, 2,5 millones y 500 000 peces, en lugar del millón supuesto en el ejemplo anterior para todas las clases anuales.

Edad	Nº de peces al inicio del año (x 1000)
1	1 000
2	1 300
3	1 056
4	275
5	89
6	116
7	75
8	49
9	32
10	21
11	13
...	...

Tabla 1.3. Componentes de la población en el año 2006 cuando los reclutamientos de los años 2002, 2004 y 2005 fueron los expuestos en el enunciado del ejemplo



1.11. Composición de una población bajo condiciones constantes y variables

1.2.2. Tamaño de la población

El tamaño de la población se puede expresar mediante el número total de sus componentes o mediante el peso de su biomasa total (B_t). A efectos de su aplicación en la evaluación de los recursos pesqueros, el tamaño de una población se expresa habitualmente por su biomasa total.

La biomasa total de la población es la suma de las biomásas aportadas por cada grupo de edad, y ésta viene determinada por el número de peces de esa edad y su peso medio. Así la biomasa de los peces de un año será:

$$B_1 = N_1 \cdot w_1$$

La de dos años:

$$B_2 = N_2 \cdot w_2 \dots$$

Y la total de la población, se expresaría:

$$B_t = N_t \cdot w_t$$

La manera más realista de conocer el tamaño de una población de peces sería pesar todos sus componentes, lo que sin duda resulta imposible, pero sí se puede hacer una estimación a partir de los parámetros poblacionales (R, M, C).

Una vez conocido el número de integrantes de cada grupo de edad, es necesario disponer de los datos de **crecimiento**⁵ para estimar el valor de la biomasa total de la población. Mediante la utilización de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy se calcula la talla y peso medio de los peces a cada edad, y así evaluar la biomasa de cada grupo de peces y la total de la población (B_t).

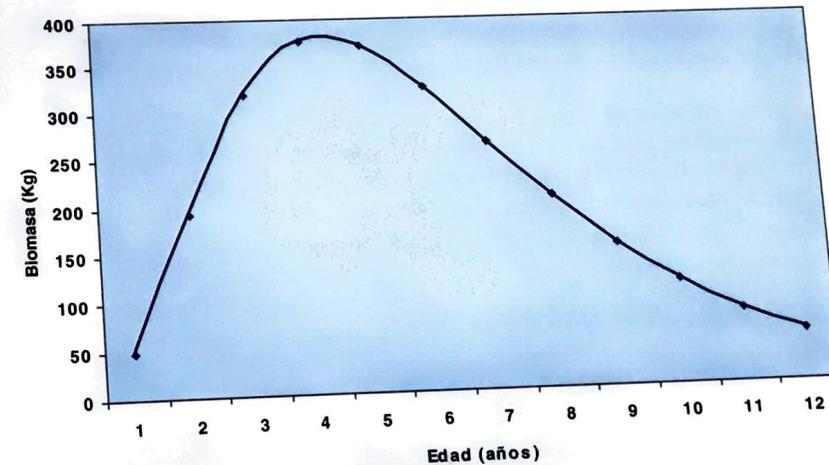
Ejercicio práctico: Cálculo del tamaño de una población.

El cálculo se realiza partiendo de la composición de la población y los pesos medios calculados para cada edad según la ecuación de von Bertalanffy. En este caso, y para abreviar el cálculo, se facilitan dichos pesos medios.

Edad	Nº de peces al inicio del año	Talla media (cm)	Peso medio (Kg)	Biomasa (Kg)
1	1000	18,13	0,049	49,0
2	650	32,96	0,293	191,0
3	423	45,12	0,753	318,2
4	275	55,07	1,369	376,0
5	179	63,21	2,071	369,7
6	116	69,88	2,798	324,7
7	75	75,34	3,507	264,5
8	49	79,81	4,168	204,4
9	32	83,47	4,769	152,0
10	21	86,47	5,302	109,8
11	13	88,92	5,765	77,6
12	9	90,93	6,165	53,9

Tabla 1.4. Biomasa aportada por cada grupo de edad a la población

Las tallas y pesos de los individuos de una cohorte van aumentando a medida que cumplen años pero disminuye su número por efecto de la mortalidad; como consecuencia, la biomasa de cada grupo de edad aumenta hasta alcanzar un valor máximo a partir del cual comienza a disminuir. La **edad a la que los componentes de un grupo de edad adquieren el valor máximo de biomasa** se conoce como **edad crítica de Ricker**, y el punto correspondiente de la curva de biomasa, punto crítico de Ricker.



1.12. Biomasa total de la población

⁵ Las constantes de crecimiento de la ecuación de Von Bertalanffy permite conocer las tallas y pesos medios de los peces de cada edad. Ver Anexo pág 178.

Si la población se encuentra en condiciones de equilibrio, al estar compuesta por un número de grupos de edad igual a la edad máxima de cada clase anual, **el área encerrada por esta curva representa la biomasa total presente en un momento dado.**

CONCEPTO DE BIOMASA MÁXIMA

El tamaño de una población viene determinado por los valores de reclutamiento, crecimiento y mortalidad, y son las condiciones ecológicas las que impiden su crecimiento por encima de un determinado nivel, considerado como el máximo que le "permite" el medio.

Las diferentes áreas de los mares, de acuerdo con sus condiciones topográficas y oceanográficas, se caracterizan por un cierto valor de la producción primaria y consiguiente riqueza biológica; esta producción es la que regula la capacidad del área de mantener un determinado número de poblaciones de diferentes especies dependientes entre sí mediante relaciones tróficas; es la llamada "capacidad de carga". Una población de peces ve limitado su tamaño por la capacidad que tiene el medio de proporcionarle alimento, principal factor regulador de su biomasa aunque no el único; existen otros como el espacio, la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, la cantidad de predadores, etc. que influyen también en la determinación de dicho nivel.

El concepto de *biomasa máxima*, desde este punto de vista ecológico, se interpreta como *el tamaño máximo de la población capaz de vivir en equilibrio con el entorno, o lo que es lo mismo, la biomasa máxima que el sistema es capaz de sostener*. En este contexto, el tamaño máximo de la población se explica como el resultado de un "ajuste" entre los **parámetros de los que depende la biomasa de la población (R, C, M)** y las **condiciones ecológicas**.

Las poblaciones vírgenes, que no están sometidas a explotación, tienden a ocupar plenamente el espacio disponible, y fluctúan alrededor de los niveles máximos soportables por el ambiente; cualquier cambio en alguno de los factores que afecte a uno de los parámetros poblacionales, modificará su tamaño.

1.3. DINÁMICA DE UNA POBLACIÓN

La Dinámica de Poblaciones, como parte de la Ecología, trata de describir y cuantificar los cambios que acontecen de forma natural en una población, incluso en las que se encuentran en equilibrio. Conocer la dinámica de una población implica conocer, además de la cantidad de su biomasa, la forma e intensidad con que cambia y se renueva.

En condiciones normales la población tiende a mantenerse estable y en equilibrio a un nivel definido como el de biomasa máxima, sin embargo ésta presenta variaciones significativas ante la influencia de los cambios que ocurren en su entorno. La población ante los cambios experimentados tenderá de nuevo al equilibrio y estabilidad iniciales, compensando el aumento o disminución de su biomasa mediante modificaciones de sus parámetros. Son estos cambios y las respuestas de la población para mantenerse en los niveles de equilibrio, los que permiten hablar de la **dinámica de una población**.

1.3.1. Variaciones naturales y mecanismos de compensación

Las poblaciones de peces presentan fluctuaciones naturales, de mayor o menor amplitud según las especies; se deben básicamente a las variaciones de las condiciones ambientales, y se manifiestan en las poblaciones a través de los cambios que producen en sus parámetros (mortalidad, crecimiento y reclutamiento). El **reclutamiento**, el más afectado por los factores ambientales, es el parámetro que presenta una mayor variabilidad y por tanto el que incide de manera más especial en la dinámica de la población. Pequeñas modificaciones en las tasas de mortalidad de las larvas y alevines pueden producir alteraciones considerables en el valor del reclutamiento.

Si las condiciones de las capas superficiales de las aguas son favorables a la sobrevivencia de las larvas y alevines, el reclutamiento a la población será exitoso y, por el contrario, serán pobres si las condiciones desfavorables hacen que aumente la mortalidad de larvas y juveniles. El número de individuos de una clase anual o cohorte, dependiendo del valor del reclutamiento, se alejará en mayor o menor grado del teórico esperado, y modificará la estructura general de la población. Se puede afirmar que la riqueza o pobreza de una clase anual es el resultado de lo que pasa entre *el momento de la puesta y el de su integración al habitat definitivo*; y cuando los peces de esa clase anual o cohorte alcanzan la fase explotable, las capturas que se obtengan se alejarán significativamente de las teóricas esperadas.

MECANISMOS O FENÓMENOS DE COMPENSACIÓN

Las variaciones naturales de la biomasa de una población suponen una mayor abundancia de peces los años en que se mantienen las condiciones que favorecen buenos reclutamientos, y por el contrario un déficit de los mismos cuando las condiciones desfavorables lo reducen. La población no puede crecer indefinidamente sin que la vida resulte imposible para sus componentes al faltar alguno de los factores imprescindibles para su vida, ni puede disminuir de forma continua sin riesgo de desaparecer. Ante variaciones de este tipo actúan ciertos mecanismos reguladores que frenan o favorecen el reclutamiento y crecimiento, o aumentan o disminuyen la mortalidad. Son los factores conocidos como **fenómenos de compensación**.



Cuando una población se sitúa por debajo del nivel considerado como máximo, sea cual sea la causa de la reducción de su biomasa, se desencadenan reacciones mediante modificaciones en sus parámetros, dirigidas a alcanzar el nivel de equilibrio inicial. Si se reduce el número de componentes de la población la disponibilidad de alimento por unidad de biomasa es mayor, se favorece el crecimiento y se consigue una recuperación de la biomasa. Cuando, por el contrario, la biomasa de la población crece hasta unos niveles muy superiores al considerado como máximo, las condiciones se hacen insostenibles para los componentes de la población; en este caso aumenta la mortalidad, y la población tiende de nuevo a mantenerse en su nivel de sostenibilidad.

Estas reacciones se entienden desde el aspecto ecológico por la capacidad del medio de influir en la vida de los componentes de la población, y también por los factores endógenos de la población que dependen de su densidad.

Si durante periodos de tiempo más o menos largos, buenos reclutamientos hacen aumentar considerablemente la biomasa de la población, los mecanismos de compensación comienzan a actuar debido a las altas densidades alcanzadas. Éstas llegan a hacer difícil la vida de los componentes de la población pues favorecen los fenómenos de parasitismo, el desarrollo de organismos patógenos responsables de enfermedades, y atraen a los predadores; la falta de alimento y espacio son otras causas de muerte relacionadas con las altas densidades de población, así como los fenómenos de canibalismo que pueden aparecer, e incluso la pérdida de individuos al emigrar buscando espacios con mejores condiciones. Cuando se llega a niveles poblacionales altos, la mortalidad compensatoria aumenta y hace disminuir la magnitud del reclutamiento o lo estabiliza alrededor de valores que permiten a la población mantenerse dentro de un tamaño acorde con lo que el medio ambiente puede soportar.

Si, por el contrario, condiciones adversas reducen la biomasa por ser bajo el reclutamiento y alta la mortalidad que depende de factores externos, las bajas densidades ayudan a que la población recupere los niveles iniciales; existe menos competencia por el alimento y espacio, lo que favorece el crecimiento y hace disminuir la mortalidad.

La tasa de renovación de la biomasa hasta recuperar la que le falta para alcanzar su nivel máximo no es constante, sino que va disminuyendo a medida que se va aproximando al nivel de biomasa máxima sostenible.

La tasa de crecimiento o tasa de renovación de la biomasa depende de la biomasa existente, y se va haciendo menor a medida que se acerca al nivel de biomasa máxima.



2



Población de peces sometida a explotación

2. POBLACIÓN DE PECES SOMETIDA A EXPLOTACIÓN

2.1. PARÁMETROS DE LA POBLACIÓN EXPLOTADA

2.1.1. Mortalidad por pesca

2.1.2. Reclutamiento al arte

2.2. ESTRUCTURA DE UNA POBLACIÓN SOMETIDA A EXPLOTACIÓN

2.2.1. Composición de la población explotada

2.2.2. Tamaño de la población explotada

2.3. EFECTOS DE LA EXPLOTACIÓN EN EL RECLUTAMIENTO

2.3.1. Modelos stock reproductor- reclutamiento

“Modelo de Ricker”

“Modelo de Beverton y Holt”

2.4. PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN UNA POBLACIÓN EXPLOTADA

2.5. ESTRATEGIA DE EXPLOTACIÓN

Anexo: Selectividad de artes, factor de selección y esfuerzo pesquero

POBLACIÓN DE PECES SOMETIDA A EXPLOTACIÓN

INTRODUCCIÓN

La pesca actúa sobre una población como una causa más de mortalidad. Con ella, el tamaño de la población disminuye y la composición de sus componentes se ve modificada. Los cambios que se producen y la reducción del tamaño de la población explotada dependen de la intensidad de pesca.

Si las condiciones de explotación se mantienen constantes, la mortalidad por pesca se convierte en un nuevo parámetro poblacional, y mediante un nuevo ajuste entre los otros parámetros (reclutamiento, crecimiento, mortalidad natural) alcanzará el equilibrio a un nivel que dependerá de la intensidad de pesca, y que será inferior al que presentaba antes de ser explotada.

Para realizar una buena gestión de los recursos pesqueros resulta imprescindible analizar y estimar las modificaciones que introduce la pesca, y determinar el valor más conveniente para que la población se mantenga en niveles de abundancia aceptables. Interesa predecir el nivel de captura que se espera obtener a corto y medio plazo cuando se cambian las condiciones de explotación.

Todo ello exige estimar previamente la tasa de mortalidad que causan las distintas condiciones de explotación, y estimar los cambios que producen en la estructura y dinámica de la población. Los valores de la mortalidad que produce la pesca dependen, como es lógico, de la intensidad de explotación medida a través del esfuerzo pesquero, y el tipo de modalidad utilizada; además hay que considerar que esta mortalidad no actúa por igual sobre cada uno de los grupos de edad presentes en la población, sino que modificará su estructura dependiendo del tamaño de las mallas o anzuelos de los artes y aparejos empleados.

Es necesario estudiar junto a la **mortalidad por pesca**, los factores de los que dependen sus diferentes valores, como son el **reclutamiento al arte**, la **selectividad de artes** y el **esfuerzo pesquero**.



2.1. PARÁMETROS DE LA POBLACIÓN EXPLOTADA

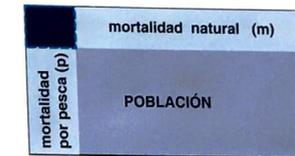
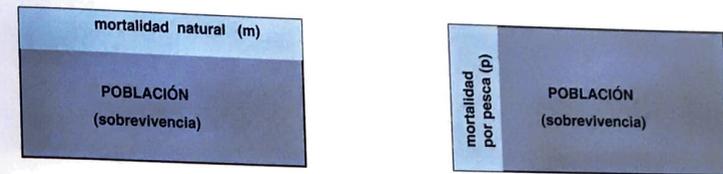
La "mortalidad por pesca" y el "reclutamiento al arte" son los parámetros que introduce la pesca en una población alterando su estructura y dinámica; reducen la biomasa total, modifican la composición de los grupos de edad cuyos componentes hayan alcanzado la talla-edad con probabilidad de ser capturados, e inducen a que los fenómenos de compensación actúen para mantener la población en una nueva situación de equilibrio.

2.1.1. Mortalidad por pesca

La mortalidad por pesca es la causada directamente en la población por los artes de pesca. En el mismo sentido que se definió la mortalidad natural como la fracción de la población que desaparece por causas naturales, la mortalidad por pesca se define como la fracción de la población que muere al ser capturada por los artes de pesca.

Aunque las dos mortalidades (natural y por pesca) actúan simultáneamente sobre los componentes de la población a lo largo del año, es evidente que lo hacen de forma independiente, pues mientras unos se mueren por causas naturales otros lo hacen al ser capturados. Los valores de las dos mortalidades en términos de probabilidades, y estimados como porcentajes en un amplio período de tiempo, como un año por ejemplo, no pueden sumarse; los peces que mueren por efecto de la pesca ya no pueden morir por causas naturales, y lo mismo sucede con los peces que al desaparecer por otras causas no tienen la posibilidad de ser capturados por los artes comerciales.

La fracción de peces que desaparece por muerte natural (m), y la desaparecida por pesca (p) a lo largo de un año, se interceptan en mayor o menor grado según sean sus valores; por esta razón, el número total de peces muertos en una población explotada no es igual a la suma de los estimados a partir de las tasas de mortalidad natural (m) y de mortalidad por pesca (p) consideradas independientemente.



2.1. Las dos mortalidades se interceptan entre sí

La imposibilidad de sumar las tasas de mortalidad anuales se resuelve cuando se consideran periodos de tiempo *infinitamente pequeños*; en este caso sí pueden considerarse por separado los cambios que ocurren en un instante en el número de peces por cada una de estas causas de mortalidad. Cuando estos cambios se expresan como **coeficientes o tasas instantáneas de mortalidad natural (M) y por pesca (F)**, sí pueden sumarse, y la tasa de mortalidad resultante (**Z**) es la total que actúa sobre los componentes de la población explotada.

El coeficiente o tasa instantánea de mortalidad total (**Z**) se define como la fracción de la población explotada que desaparece debido a las dos causas de mortalidad, la natural y la causada por la pesca ($Z = M + F$). Consecuentemente, la **sobrevivencia** de los peces de una población sometida a explotación depende del valor de la mortalidad total (**Z**) y se expresa como: $s = e^{-Z}$.

La mortalidad natural (**M**) se considera un factor constante que afecta por igual y de forma permanente a todos los peces una vez que se han reclutado a la población, pero no ocurre lo mismo con la mortalidad por pesca (**F**). La mortalidad por pesca (**F**) sólo actúa sobre los grupos de edad que han alcanzado la talla-edad de captura (los reclutados al arte), y lo hace con una intensidad que es **directamente proporcional al esfuerzo pesquero (f)** utilizado en la pesquería.

La actuación de la mortalidad producida por la pesca a partir de unas tallas-edades según el tamaño de las mallas y anzuelos empleados, y su valor directamente proporcional al esfuerzo pesquero, hace aconsejable repasar los conceptos de "selectividad de artes" y "esfuerzo pesquero" (ver anexo de este tema pág 65), y definir previamente el concepto de "reclutamiento al arte".

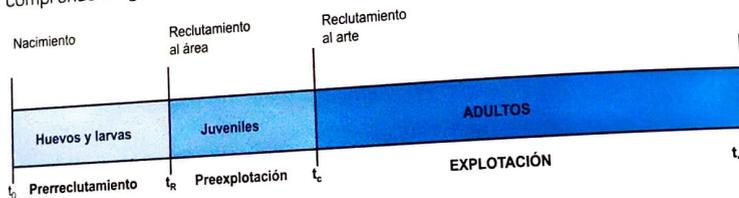


2.1.2. Reclutamiento al arte

A la hora de determinar la composición y tamaño de la población explotada resulta imprescindible considerar el **reclutamiento al arte** como un nuevo parámetro, diferenciado del **reclutamiento al área** que supone la incorporación de los peces jóvenes al área en que vive la población de adultos.

El **reclutamiento al arte** indica la llegada de los peces más jóvenes a la edad a la que pueden ser capturados; se considera, por tanto, como el grupo de peces que cada año alcanza la edad-talla en que tienen la probabilidad de quedar retenidos por los artes de pesca. Existen especies en las que la llegada de los reclutas a la población coincide con esta probabilidad, y existen otras en las que, al realizarse el reclutamiento al área a una edad muy temprana, su reducido tamaño impide la posibilidad de quedar retenidos por los artes de pesca comerciales; la edad-talla a la que comienzan a ser capturados juega un papel decisivo en los posibles rendimientos del stock.

En el caso de que el reclutamiento al arte ocurra a una edad diferente a la del reclutamiento al área se diferencia tres fases en los peces de una cohorte o clase anual: la de **prerreclutamiento**, que es la anterior a su incorporación a la población y que ocurre en un ambiente diferente, la de **preexplotación**, que comprende las edades a las que los peces ya se han reclutado a la población pero que no son capturados porque todavía no han alcanzado la edad-talla de reclutamiento al arte, y la de **explotación** que comprende los grupos de edad que tienen la posibilidad de ser capturados.



- t_0 = nacimiento de los peces.
- t_R = edad de reclutamiento al área de la pesquería.
- t_c = edad de reclutamiento al arte (edad de primera captura o talla de primera captura).
- t = edad máxima de los peces.

Fig. 2.2. Fases de la vida de los peces de una población explotada

La **mortalidad por pesca** actúa solamente sobre los peces de determinadas edades según sea el tamaño de las mallas y anzuelos empleados, y su valor depende del esfuerzo pesquero; esta relación y dependencia hacen aconsejable el repaso de los conceptos de "**selectividad de artes**" y "**esfuerzo pesquero**" que se exponen en el Anexo de este capítulo.

2.2. ESTRUCTURA DE UNA POBLACIÓN SOMETIDA A EXPLOTACIÓN

La pesca, como ya se ha comentado, hace disminuir el número de los componentes de la población a partir de la edad a la que empiezan a ser capturados (reclutamiento al arte), y reduce la biomasa total. Los cambios que experimentará su estructura dependerán de la nueva tasa de mortalidad total ($Z = F + M$).

2.2.1. Composición de una población explotada

Para determinar la composición de la población en condiciones de explotación, se sigue el mismo procedimiento que se ha utilizado para su determinación cuando solamente actúa la mortalidad natural; se ha de tener en cuenta que la sobrevivencia no será la misma para los grupos de edad no reclutados todavía al arte que para aquellos que ya han alcanzado la edad-talla de captura. Para el cálculo de la sobrevivencia de estos últimos hay que considerar la mortalidad total ($Z = M + F$), y para los primeros solamente la mortalidad natural (M).

La ecuación que permite calcular el número de peces que sobrevive durante un período de tiempo cuando actúan las dos mortalidades es:

$$N_t = N_0 * e^{-Z(t-t_0)} \quad (2.1)$$

Siendo: N_t = número de peces a la edad t
 N_0 = número de peces al inicio del período de tiempo considerado ($t - t_0$)

En el caso de que el período de tiempo considerado para el cálculo sea de un año a otro, la ecuación será

$$N_t = N_{t-1} * e^{-Z}$$

La composición y el tamaño de una población explotada dependerán de los valores de la mortalidad por pesca (F) que se aplique, y de la talla de primera captura (t_c) que se haya escogido. Interesa conocer la estructura de la población para las diferentes condiciones de explotación, y así poder estimar el valor de la captura que se espera obtener.



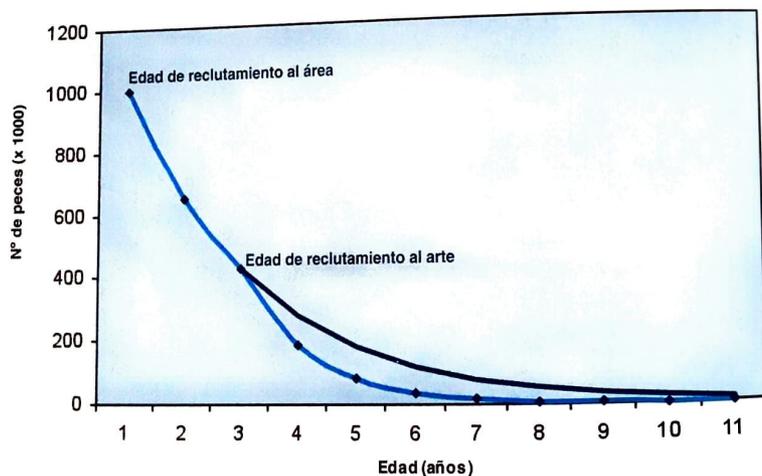
CÁLCULO DE LA COMPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN EXPLOTADA

Datos: Se utilizan los mismos parámetros de la población trabajada en el tema anterior (tabla 1.2), y se añaden los correspondientes a las condiciones de explotación.

Mortalidad por pesca $F = 0,4$
 Edad a la que se empiezan a pescar: 3 años

Edad	M	F	Z	Nº de peces al inicio del año (x1000)
1	0,43		0,43	1000
2	0,43		0,43	650
3	0,43	0,4	0,83	423
4	0,43	0,4	0,83	184
5	0,43	0,4	0,83	80
6	0,43	0,4	0,83	35
7	0,43	0,4	0,83	15
8	0,43	0,4	0,83	7
9	0,43	0,4	0,83	3
10	0,43	0,4	0,83	1
11	0,43	0,4	0,83	1
12	0,43	0,4	0,83	0

Tabla 2.1. Composición de la población explotada.



2.3. Cambio en la supervivencia de una población al someterla a explotación



La mortalidad por pesca actúa sobre los peces que han alcanzado la edad de captura, pero el número que se puede capturar por cada grupo de edad **supone solamente una fracción del total de los desaparecidos a causa de la mortalidad total.**

La ecuación que expresa el total de peces muertos en un año ($t = 1$) es:

$$D_t = N_t (1 - e^{-Z}) \quad (2.2)$$

Donde:

D_t = total de muertos durante el año

N_t = Número de peces existentes al inicio del año (t)

De este total de muertos sólo una fracción corresponde a los peces capturados, y otra a los desaparecidos de la población por causas naturales.

Para predecir el valor de la captura que se podrá obtener bajo unas determinadas condiciones de pesca, se aplica la ecuación de captura que permite estimar los peces capturados a cada edad:

$$C_t = F / Z [N_t (1 - e^{-Z})] \quad (2.3)$$

en la que:

F / Z es la **fracción de explotación (E)**, correspondiente a los peces capturados.

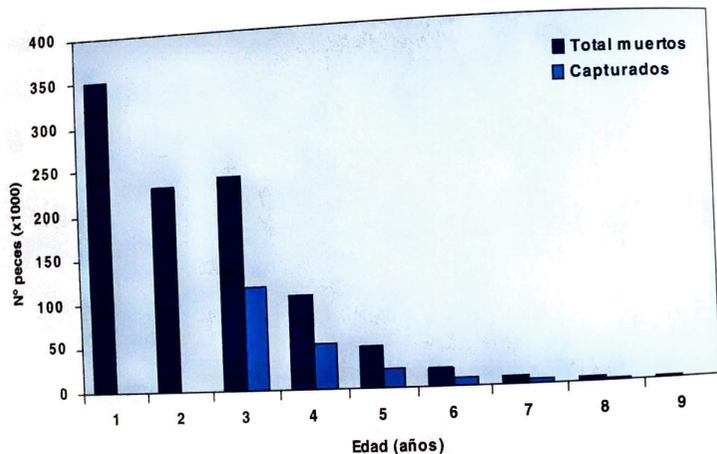


CÁLCULO DE LOS PECES CAPTURADOS A CADA EDAD:

En este caso el valor de la fracción de explotación es: $F/Z = 0,48$

Edad	Nº de peces (x1000)	Total de peces muertos (x1000)	F/Z	Nº peces capturados (x1000)
1	1000	350	--	--
2	650	227	--	--
3	423	239	0,48	115
4	184	106	0,48	51
5	80	45	0,48	22
6	35	20	0,48	10
7	15	8	0,48	4
8	7	4	0,48	2
9	3	2	0,48	1
10	1	1	0,48	--
11	1	-	0,48	--
12	0			

Tabla 2.2. Número de peces capturados (F: 0,4 y T1: 3 años)



2.4. Número de peces muertos cuando actúan las dos mortalidades y fracción de los peces capturados



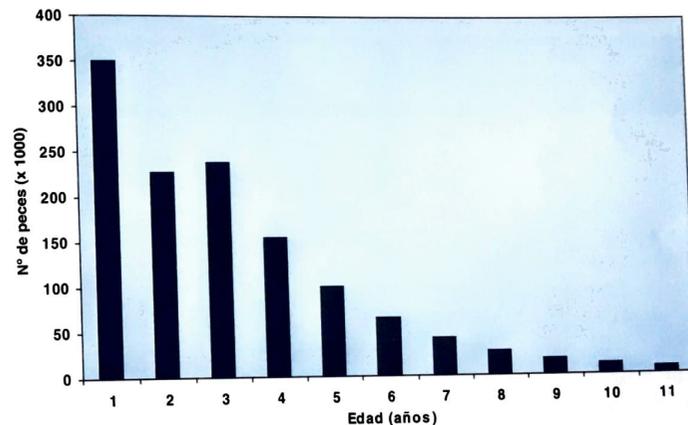
Siguiendo el mismo criterio, la fracción de muertos por causas naturales se averigua directamente mediante la ecuación:

$$D_t = M/Z [N_t (1 - e^{-Z})] \quad (2.4)$$

en la que: M/Z es la fracción de muertos desaparecidos por muerte natural, y que ya no tienen la probabilidad de ser capturados. En este caso $M/Z = 0,52$

La ecuación siguiente expresa el número total de desaparecidos de la población a la edad (t) a causa de las dos mortalidades:

$$D_t = N_t (1 - e^{-Z}) \quad (2.5)$$



2.5. Total de peces muertos a cada edad en la población explotada

En una población explotada el número de peces que sobrevive a cada edad dependerá de que sólo actúe la mortalidad natural (M) porque a esa edad no han alcanzado la de captura, o que actúe la total ($Z = F+M$) porque a esa edad los peces ya tienen la probabilidad de ser capturados.



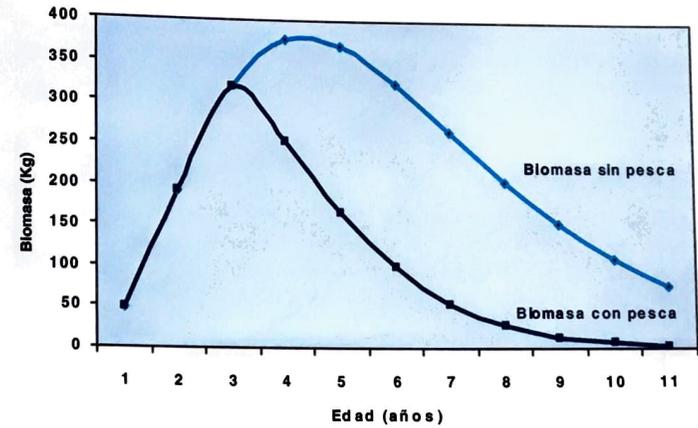
2.2.2. Tamaño de la población explotada

La biomasa total de una población en equilibrio es el resultado de un ajuste de sus parámetros ($B_t = R + C - M$) en relación con las condiciones del medio (espacio, alimento, etc.). Cuando se inicia su explotación, la pesca introduce una nueva causa de mortalidad y la pérdida de biomasa se compensa con un nuevo ajuste de dichos parámetros. Si las condiciones de explotación se mantienen durante largos periodos de tiempo, la población se estabiliza de nuevo, aunque lo hace a un nivel de abundancia inferior al que tenía cuando no actuaba la pesca; su tamaño disminuye en proporción a la intensidad de pesca ejercida ($B_t = (R + C) - (M + P)$)

CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA POBLACIÓN EXPLOTADA

Edad	Nº de peces sin pesca (x1000)	Nº de peces con pesca (x1000)	Peso medio (Kg)	Biomasa sin pesca (t)	Biomasa con pesca (t)
1	1000	1000	0,049	49	49
2	650	650	0,293	191	191
3	423	423	0,753	318	318
4	275	184	1,369	376	252
5	179	80	2,071	370	167
6	116	35	2,798	325	98
7	75	15	3,507	264	53
8	49	7	4,168	204	29
9	32	3	4,769	152	14
10	21	1	5,302	110	7
11	13	1	5,765	78	3
12	9	0	6,165	54	
TOTAL:				2 491 t	1 181 t

Tabla 2.3. Tamaño de la población explotada.



2.6. Cambio en el tamaño de la población explotada

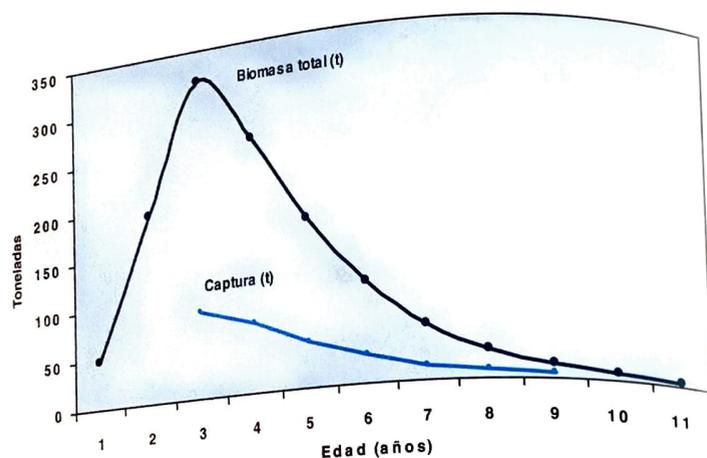
CÁLCULO DE LA CAPTURA EN PESO

Desde el punto de vista pesquero, interesa más estimar el valor de la captura en peso que el número de peces con probabilidad de ser capturados. Al disponer de la composición de la población explotada, y del peso medio de los peces a cada edad, se estima tanto el valor de la captura a cada edad como la total en las condiciones de explotación descritas.

Edad	Biomasa con pesca (t)	Nº peces capturados (x1000)	Peso medio (Kg)	Peso de la captura (t)
1	49	--	0,049	--
2	191	--	0,293	--
3	318	115	0,753	86,6
4	252	51	1,369	69,8
5	167	22	2,071	45,6
6	98	10	2,798	28,0
7	53	4	3,507	14,0
8	29	2	4,168	8,3
9	14	1	4,769	4,8
10	7	--	5,302	
	3	--	5,765	

Tabla 2.4. Peso de la captura.





2.7 Biomasa de la población explotada y captura con las condiciones de explotación formuladas

2.3. EFECTOS DE LA EXPLOTACIÓN EN EL RECLUTAMIENTO

Una consecuencia lógica de la explotación pesquera es la desaparición de la población de los grupos de más edad y la consiguiente disminución de la edad media de sus componentes. La mayor o menor reducción de individuos adultos dependerá de la intensidad de pesca y de la talla a la que empiezan a ser capturados; aunque la mayor proporción de peces jóvenes en la población es el resultado de la ausencia de los de más edad, hay que tener la precaución de que en la población quede un número suficiente de adultos que garanticen la incorporación anual de nuevos peces. En todo caso, es preciso saber en qué medida influye en el reclutamiento la cantidad de reproductores que permanece en la población.

No existe una relación directa entre el número de huevos puestos y el de juveniles reclutados a la población porque la sobrevivencia de huevos y larvas, desarrollados en las capas superficiales de las aguas, depende de forma muy directa de las condiciones oceanográficas; éstas son las que en gran medida modifican la sobrevivencia de las primeras fases de desarrollo de los peces, y determinan valores altos o bajos de reclutamiento. Esta circunstancia, y el alto grado de fecundidad de las hembras de la mayoría de las especies de peces óseos, hizo suponer que la biomasa del stock desovante (biomasa de los peces maduros) apenas influía en los valores del reclutamiento. Sin embargo, aunque el número de huevos puestos no determina el número de reclutas, sí existe una relación entre el número de individuos que cada año se agrega a la pesquería y el número de individuos que componen el stock reproductor.



Diversos trabajos han demostrado la existencia de una dependencia entre el stock reproductor y el reclutamiento, y se han desarrollado modelos que la estiman y valoran; por otro lado, estos modelos han permitido sugerir que una sobrepesca de reclutamiento, debida a elevadas intensidades de pesca que redujeron excesivamente la población de adultos, es la causa del colapso de ciertos stocks pesqueros ocurrido en los últimos decenios.

Resulta imprescindible, por tanto, conocer en qué medida influye el tamaño del stock reproductor en el valor del reclutamiento, y comprobar como actúan las diferentes intensidades de pesca.

2.3.1. Modelos stock reproductor- reclutamiento

Los modelos que expresan el tipo de relación entre el reclutamiento de un año con el stock de adultos presente en la población en el año anterior, se conocen como "modelos stock reproductor-reclutamiento" o "**modelos S-R**". Los dos modelos de este tipo considerados como clásicos, y por otro lado básicos, son los que casi de manera simultánea desarrollaron Ricker (1954, 1958), y Beverton y Holt (1957). Ambos intentan predecir el efecto que produce la pesca en el tamaño de la población, y determinar las posibles consecuencias que ejerce sobre los valores de los reclutamientos. La explicación o base biológica de estos modelos debe buscarse en la acción de la **mortalidad densodependiente** o **compensatoria** que actúa sobre la población para mantenerla, bajo las condiciones existentes, en el nivel máximo de su biomasa.

El origen de estos modelos, que exigen series cronológicas relativamente largas con un rango amplio de tamaños de población, puede situarse en la necesidad de dar respuesta a la sobreexplotación detectada en las pesquerías más tradicionales del Atlántico Norte, de las que se disponía de series históricas de datos suficientes. En la actualidad su utilización se ha intensificado a la hora de gestionar y ordenar dichas pesquerías.

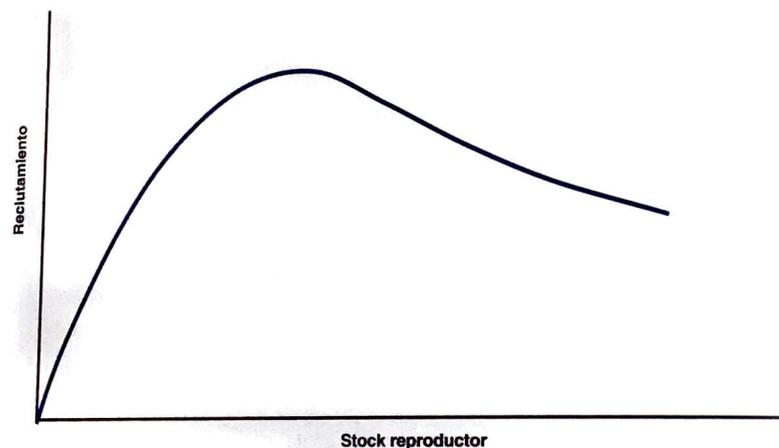
"MODELO DE RICKER"

La relación que existe entre el reclutamiento y la población desovante del modelo desarrollado por Ricker (prescindiendo de su expresión matemática), describe una curva en la que se aprecian dos tendencias diferentes con un punto de inflexión que coincide con el reclutamiento máximo. La pendiente positiva coincide con un aumento del reclutamiento a medida que crece la población adulta desde su valor mínimo hasta un tamaño medio al que le corresponde el máximo reclutamiento; a partir de este punto la pendiente negativa indica que el reclutamiento experimenta una reducción a medida que la población parental es mayor.



Analizado este modelo desde el punto de vista de la explotación se observa que ante la reducción por pesca de la población adulta, los reclutamientos experimentan un incremento hasta un cierto valor máximo a partir del cual, reducciones de la población adulta o stock reproductor suponen descensos en los reclutamientos. Para valores altos de la población desovante, la mortalidad compensatoria aumenta y ejerce su función reguladora evitando la sobresaturación del área de ocupación con altos reclutamientos que, por otra parte, tendrían una reducida posibilidad de sobrevivir en una población de muy alta densidad.

Las poblaciones de peces de ciclo largo como las de Gadiformes (merluza, bacalao, eglefino, etc.), en las que se suele manifestar antes la sobrepesca de crecimiento que la de reclutamiento, responden a este tipo de modelo. Se observa el amplio intervalo de los valores de la población de adultos entre los que el reclutamiento no se ve afectado; es el tramo correspondiente a la pendiente negativa en la que al descender el tamaño del stock reproductor aumenta el valor del reclutamiento. Una alta mortalidad por pesca reduce el número de adultos y las tallas medias de los componentes de la población manifestándose la sobrepesca de crecimiento.

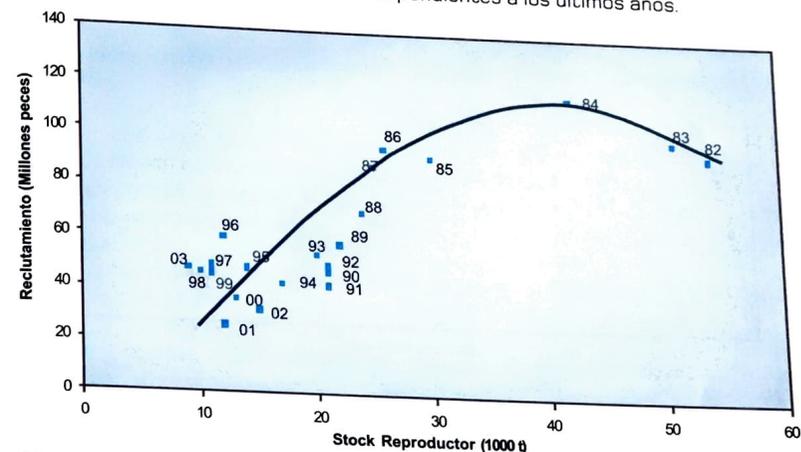


2.8. Modelos S-R de Ricker

Cuando la pesca reduce los grupos de edad de forma significativa y la renovación de la población depende en gran medida del grupo que se incorpora anualmente, se corre el riesgo de situar a la población adulta dentro del rango en que peligra el reclutamiento; si la tasa de captura hace disminuir el nivel de reproductores sobrepasando el umbral al que el reclutamiento se ve afectado, aparece el serio problema para estas poblaciones de la sobrepesca de reclutamiento. En la gráfica que se expone a continuación y que muestra la relación



entre los reproductores de un stock de la merluza europea y el reclutamiento resultante, se observa los bajos reclutamientos correspondientes a los bajos niveles de biomasa reproductora correspondientes a los últimos años.



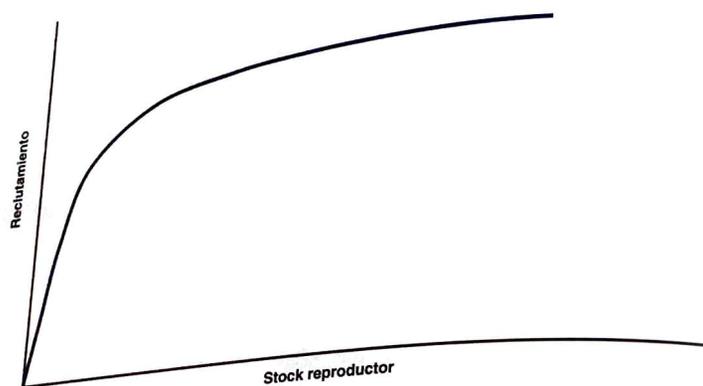
2.9. Relación entre el reclutamiento y la biomasa desovante estimada para el stock sur de la merluza del Atlántico Nordeste (Merluccius merluccius) entre los años 1982 y 2003 (Datos tomados de "ICES WGHMM).

"MODELO DE BEVERTON Y HOLT"

El modelo de Beverton y Holt describe una relación entre reclutamiento y stock desovante diferente a la expresada en el modelo de Ricker, aunque ambos son coincidentes en el primer tramo de la curva que se corresponde con los valores bajos de la población adulta. El modelo de Ricker, desarrollado a partir de la relación observada en la platija, expresa que el reclutamiento va aumentando al hacerle el stock reproductor, pero sus incrementos se van reduciendo y presentan una clara tendencia a estabilizarse a medida que se acerca asintóticamente al valor máximo del reclutamiento.

En este modelo se aprecia la existencia de un gran rango de valores de la población de adultos dentro del cual los reclutamientos se mantienen independientes del stock reproductor y alrededor del valor máximo; en el caso de que existieran variaciones de los reclutamientos deben explicarse por causas ajenas a la población misma. A este modelo responden las poblaciones de especies del grupo Pleuronectiformes (platija, rodaballo, etc.) cuyas fases anteriores al reclutamiento se desarrollan en un ambiente diferente al de la población adulta con alto riesgo de saturación.





2.10. Modelo S-R de Beverton y Holt

Ambos modelos han sido desarrollados en el análisis de pesquerías bento demersales en las que la saturación del espacio disponible y un ambiente estable hacen que, entre otros factores, intervenga la mortalidad densodependiente para que se mantengan las poblaciones en los niveles máximos de equilibrio.

Las poblaciones de especies pelágicas de pequeño tamaño, como los Clupeiformes (sardina, anchoa, arenque, etc.) presentan una relación entre el reclutamiento y el stock reproductor diferente a los modelos descritos; actúa en ellas la mortalidad compensatoria, y no se manifiesta la densodependiente. Estas pesquerías corren el riesgo de presentar sobrepesca de reclutamiento ante intensidades de pesca significativas, y siempre antes de que aparezca la de crecimiento.

La disminución del stock de adultos de una población, por efecto de la pesca, u otro motivo, produce respuestas diferentes según la especie que constituya la pesquería, pero para todas ellas existen valores reducidos del stock reproductor que siempre conllevan reducciones en el reclutamiento.

Los diferentes comportamientos observados entre las poblaciones de las especies de Gadiformes, Pleuronectiformes y Clupeiformes son el resultado de las adaptaciones de unas y otras a los diferentes ambientes en que viven. Las especies que pertenecen a un mismo ecosistema tienen que competir entre sí por el alimento y/o espacio disponibles, y a lo largo de su evolución han ido



adquiriendo las características que tanto a unas como a otras les resultan exitosas en dicha competencia; el ambiente en que viven es el que marca las diferencias señaladas. El ambiente bento-demersal de los Pleuronectiformes y Gadiformes es más estable que el pelágico de los Clupeiformes; el carácter de relativa estabilidad o ampliamente cambiante en que viven unos y otros es el que determina, en cierta medida, los distintos comportamientos de las poblaciones.

No obstante, todas tienen en común que cuando la población adulta llega a presentar niveles muy reducidos debido a una pesca excesiva, el reclutamiento se ve altamente afectado, y llega a niveles tan bajos que reduce significativamente la capacidad de la población para producir un rendimiento sostenido; cualquier acontecimiento que reduzca aún más la población parental hace disminuir el reclutamiento a niveles que pueden llevar al stock a situaciones de difícil recuperación.

En Ecología, y según el tipo de ambiente en que viven las especies, se distinguen dos grandes tipos de estrategias de supervivencia, conocidas como "**estrategia de la r**" y "**estrategia de la K**", según la importancia relativa que tengan los parámetros de densidad de saturación del espacio (**K**) y la tasa de incremento (**r**) en sus ciclos de vida.

Las especies de peces seguidoras de la **estrategia de la r** pueden ser identificadas como especies de pequeño tamaño, y propias de ambientes cambiantes; se consideran especies oportunistas o pioneras capaces de ocupar con facilidad nuevas áreas en la que se extienden con rapidez. Colonizan los ecosistemas en las primeras etapas de su desarrollo pero no pueden tener éxito, si la competencia es fuerte, frente a organismos con estrategia de la **K**.

En este grupo pueden incluirse las especies de Clupeiformes, peces pelágicos de pequeño tamaño, de crecimiento rápido que alcanzan la madurez sexual a edades tempranas, y el ciclo de vida es corto; colonizan las zonas de afloramiento ricas en producción primaria, y ocupan niveles tróficos bajos, ... Sus poblaciones están formadas por pocos grupos de edad y presentan una alta tasa de mortalidad que es independiente de la densidad de población; se caracterizan también por las grandes fluctuaciones a que se ven sometidas por vivir en las capas superficiales de los mares donde las condiciones ambientales presentan fuertes variaciones y a las que, hasta cierto punto, responden con más o menos rapidez. No presentan un nivel de equilibrio con el ambiente ya que el tamaño de las poblaciones no llega al nivel de saturación.



Las especies con **estrategia de la K** suelen ser peces grandes y longevos. Sus poblaciones se mantienen, aunque con variaciones más o menos amplias, cerca del nivel de la densidad máxima que presentan en condiciones normales; su ambiente, el bento-demersal, presenta una cierta estabilidad, el espacio ocupado tiene unas dimensiones más o menos limitadas, y llegan al nivel de equilibrio según las condiciones de espacio, alimento, etc. Esta limitación hace que la densidad de sus poblaciones sea regulada por la mortalidad compensatoria.

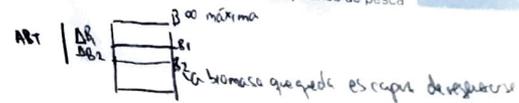
En este grupo encuentran su encaje las especies de los Pleuronectiformes y Gadiformes; son especies de tamaño grande, crecimiento lento, alcanzan la madurez sexual a edades tardías, y sus ciclos de vida son largos; ocupan niveles altos en las cadenas tróficas; Sus poblaciones están formadas por numerosos grupos de edad, presentan tasas de mortalidad bajas y son dependientes de la densidad, y fluctúan debilmente alrededor del nivel máximo de abundancia. Tienen fuertes "habilidades" de competencia, ante la cual pueden sucumbir las especies de la estrategia de la r.

Las características de los dos tipos de estrategias reflejan, en cierta manera y de forma muy simplificada, los comportamientos expresados por Ricker, y Beverton y Holt en sus modelos Stock reproductor-Reclutamiento (J.F. Caddy y G.D. Sharp, 1994). Las diferencias que existen entre las poblaciones de unas especies y otras deben tenerse muy en cuenta a la hora de gestionar sus stocks.

2.4. PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN UNA POBLACIÓN EXPLOTADA

De la misma manera que la población compensa la biomasa que pierde por causas naturales, lo hará cuando la causa sea la mortalidad producida por la pesca. Si la población antes de ser sometida a explotación se encuentra en el nivel considerado como máximo ($B_{\infty} = R + C - M$), la cantidad de biomasa que produce anualmente depende de los valores de los parámetros de crecimiento y reclutamiento ($C + R$) que se igualan a la cantidad perdida por muerte (M). La pesca hace que esa biomasa máxima (B_{∞}) se reduzca hasta un nivel menor, como resultado de la biomasa extraída por pesca. En este caso, la población irá recuperando la biomasa perdida hasta el máximo permitido por el medio; la biomasa que produce la población anualmente es mayor pues tiende a recuperar la perdida por las dos causas de mortalidad ($M + F$).

✧ La cantidad de biomasa que la población produce en un año para recuperar de nuevo su nivel máximo depende de la que existe en la población; es decir, **la tasa de**

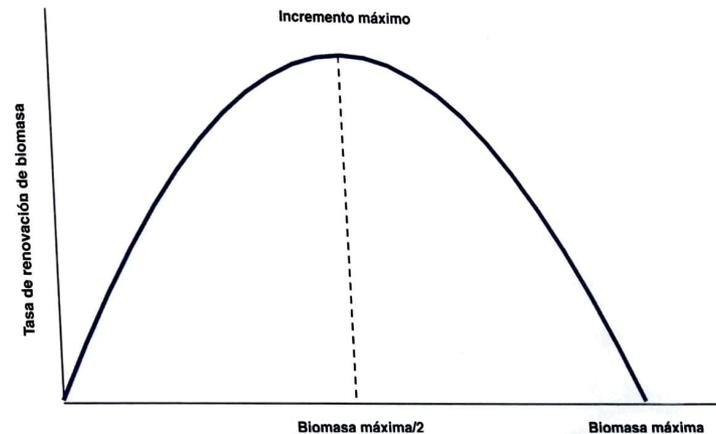


renovación de la población es función de la biomasa existente, función que puede expresarse de la siguiente forma:

$$dB/dt = \phi(B)$$

✧ Esta función varía entre los valores de $B=0$ y de la biomasa máxima ($B = B_{\infty}$). Tanto cuando no existe población ($B=0$) como cuando se encuentra en su nivel máximo ($B=B_{\infty}$), la tasa de crecimiento es cero; para valores de biomasa superiores a cero, la tasa de renovación irá aumentando hasta llegar a un máximo, a partir del cual, dB/dt irá disminuyendo hasta que el tamaño de la población alcance el nivel máximo de abundancia (B_{∞}), momento en que nuevamente se hace cero.

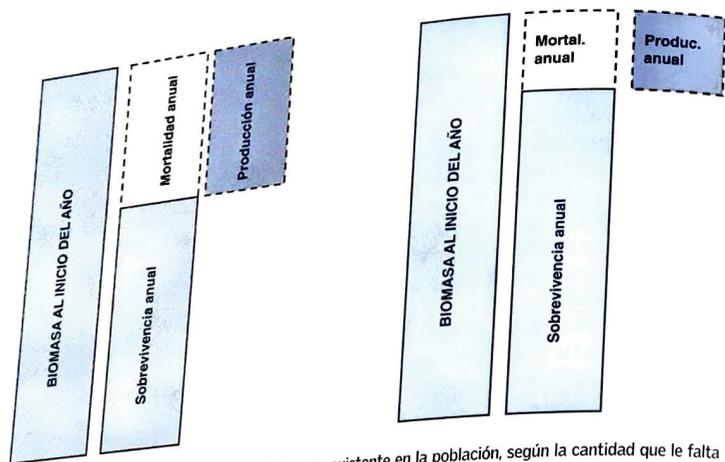
La función (ϕB), que representa la variación de la tasa de incremento dB/dt de la población con respecto al tamaño de la misma, es una parábola que tiene su eje en a un valor de biomasa $= B_{\infty}/2$.



2.11. Relación entre la tasa de renovación de la biomasa y la existente en la población

La cantidad de biomasa que anualmente produce una población por ser función de la biomasa existente, será diferente para cada valor de la extraída por pesca; la población se estabilizará a cualquier nivel siempre que las condiciones de explotación se mantengan constantes en largos períodos de tiempo. Resulta comprensible, por tanto, que interese conocer cuál debe ser el "el capital de biomasa" que debe permanecer en la población para que, siendo máxima la producción de biomasa, lo sea también el rendimiento conseguido con la pesca.





2.12. Producción de biomasa anual según la biomasa existente en la población, según la cantidad que le falta para alcanzar el nivel máximo

Es importante determinar el valor de la mortalidad por pesca que interesa aplicar a una población para estabilizarla en los niveles de biomasa que permiten obtener los mejores rendimientos pesqueros.

2.5. ESTRATEGIA DE EXPLOTACIÓN

Las especies que constituyen las poblaciones pesqueras "han encontrado" en su evolución las vías de éxito para su existencia, y desarrollado estrategias adecuadas para conseguir el equilibrio en el ecosistema; el hombre en el ejercicio de su actividad pesquera debe marcarse como objetivo la elección de la mejor estrategia de explotación para mantener el nivel de abundancia que permita las mejores capturas posibles.

Si en una pesquería se ejerce el mismo esfuerzo de pesca durante un período de tiempo largo, es decir, se produce una tasa de mortalidad por pesca constante, la población consigue el **estado de equilibrio**, aunque a un nivel menor que el de su biomasa máxima, y los niveles de captura serán similares año tras año. Una estrategia de pesca razonable es conseguir las condiciones de explotación que permitan el valor máximo de las capturas manteniendo los rendimientos de forma sostenible.



Conviene recordar:

- La disminución de biomasa producida por la pesca en una población no debe ser interpretada como un hecho negativo, sino como consecuencia inevitable y lógica de la explotación. La pesca introduce una nueva causa de mortalidad que se añade a la producida por causas naturales.
- La biomasa de la población y su correspondiente captura de equilibrio se pueden mantener constantes mediante el control y regulación de la pesca, aunque siempre será a un valor menor que el de su biomasa máxima.
- Para mantener la población en estado de equilibrio al nivel capaz de proporcionar las capturas máximas, se deberá aplicar la tasa de explotación que permita el nivel máximo de recuperación; esto ocurre cuando la cantidad de biomasa que permanece en la población se corresponde con un valor igual a la mitad de su biomasa máxima.
- En el caso de que la pesca sea demasiado intensa y haga disminuir el stock de reproductores de la población hasta niveles que afectan al reclutamiento, el nivel de capturas futuras se verá igualmente afectado hasta el punto de que su explotación deje de ser rentable o, en el peor de los casos, su recuperación imposible.

Proteger el "potencial de reproducción" se convierte así en la referencia biológica más importante a la hora de decidir la estrategia de explotación.



SELECTIVIDAD DE ARTES Y FACTOR DE SELECCIÓN

Los artes de pesca por su propia estructura y manera de actuar, seleccionan los peces de ciertas tallas mientras permiten que escape una parte de ellos. De esta "capacidad de seleccionar" las tallas de los peces surge el concepto de "selectividad de los artes de pesca", pudiendo definirse como la "capacidad de retención" que tienen los distintos artes de pesca con relación a las tallas de los peces. La **selectividad** es indicadora de esa característica y el valor de la "selección" es el correspondiente al del porcentaje que queda retenido de cada intervalo de tallas frente al total de existente y que ha pasado bajo la influencia del arte.

No todos los artes presentan el mismo tipo de selectividad pues su capacidad de retención está relacionada con el modo en que los propios artes actúan sobre la población. Los artes de cerco y arrastre son artes *activos*, que actúan masivamente en una población densa, dejando escapar a través de sus mallas a los peces pequeños, y reteniendo el resto en porcentajes según las tallas. Los artes de enmalle y anzuelo son, por el contrario, artes *pasivos* cuya actuación se basa en la *reacción* del pez, y tienen preferencia por retener los peces de determinada talla mediana, frente a los muy grandes y los muy pequeños.

Para un arte de arrastre y según el tamaño de sus mallas, existen peces que tienen la posibilidad de escapar siendo, por tanto, nula su retención; a tallas mayores el porcentaje de los que quedan retenidos va aumentando hasta los que presentan una talla a la cual todos los peces que pasan bajo su influencia quedan retenidos en el arte. Es decir, entre los peces que escapan por su pequeño tamaño (0% de retención) y los que no tienen ninguna probabilidad de escapar (retenidos en un 100%), los peces tienen más probabilidad de quedar retenidos cuanto mayor sea su talla. La talla intermedia, a la cual el pez tiene la misma probabilidad teórica de escapar que de quedar retenido, es la denominada **talla de selección**, a la cual teóricamente el 50% de los peces de esa talla quedan retenidos y el otro 50% escapan.

FACTOR DE SELECCIÓN.

Existe una relación entre la talla del pez que queda retenido y la abertura o tamaño de la malla del arte utilizada en su captura; esta relación se conoce como **factor de selección**, y se define para un tipo de arte determinada y una especie concreta.

Factor de selección es la relación que existe entre la talla del pez a la que le corresponde la misma probabilidad de escapar que de quedar retenido (el 50% de retención), y la longitud de la malla del arte utilizada.

Factor de selección = Talla del pez (50% de retención) / Longitud de la malla

En cierta manera, el factor de selección viene a significar la relación que existe entre dos propiedades de la especie a que pertenece el pez: la longitud y el diámetro de su cuerpo. Puede existir alguna variación en dicho factor según la "condición" del pez, y según el material y tipo de construcción de la red.

La estimación del factor de selección de un tipo de arte determinada tiene su aplicación práctica para determinar el tamaño de malla que debe utilizarse cuando se quiere imponer una talla mínima de captura en una determinada pesquería, y así proteger el stock reproductor. Cuando se escoge como talla mínima de captura la correspondiente a la talla de selección del 50%, y se conoce el factor de selección del arte para esa especie, se puede determinar la longitud de la malla que debe ser empleada. La implantación de esa malla garantiza la **no retención** de un número suficiente de peces, de talla menor a la escogida como mínima de captura, y así adquieran tallas y pesos que, además de alcanzar la madurez sexual, permitan la obtención de mejores rendimientos.

La **edad-talla de primera captura** constituye una variable de gran interés, tanto porque de ella dependen los rendimientos que se pueden obtener como por la importancia de que *permanezca en la pesquería un stock suficiente de reproductores* que garantice la recuperación de la biomasa extraída por la pesca.

ESFUERZO PESQUERO

El esfuerzo pesquero mide la intensidad de pesca que se ejerce sobre un área o pesquería determinada. Es evidente que cuanto mayor es el número de barcos que faenan en una pesquería mayor es el esfuerzo pesquero ejercido sobre la misma; aunque parece lógico tomar el barco como unidad de medida para estimar el esfuerzo total, debido a las grandes diferencias que existen entre ellos (dimensión, potencia, artes empleados, etc.) es aconsejable utilizar una unidad más adecuada a la realidad que se quiere estimar, pero su determinación no resulta una tarea sencilla. Igualmente lógica puede parecer la utilización de una unidad temporal como, por ejemplo, la hora o día de pesca, pero tampoco resulta aconsejable porque, debido a las diferencias de los buques, las capturas obtenidas por cada uno de ellos en una hora de trabajo resultan bien diferentes

La elección de la unidad de medida del esfuerzo recae, por tanto, en el poder de pesca de la embarcación, entendido éste como la característica del sistema que guarda una más estrecha relación con la capacidad de captura; para determinar el poder de pesca de los barcos que actúan en la pesquería se estandarizan previamente sus horas de pesca, lo que se consigue comparándolas con el barco escogido como barco estándar. El poder de pesca de cada una de las embarcaciones se obtiene estimando la relación que existe entre la captura obtenida por el barco en una hora de pesca, y la obtenida por el barco estándar en la misma unidad de tiempo.

3



Evaluación de recursos pesqueros

...

Modelos de explotación pesquera



3. EVALUACIÓN DE RECURSOS PESQUEROS - MODELOS DE EXPLOTACIÓN PESQUERA.

3.1. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS PESQUEROS

3.2. MÉTODOS INDIRECTOS DE EVALUACIÓN: MODELOS DE EXPLOTACIÓN PESQUERA

3.2.1. Modelos de producción generalizada

3.2.1.1. Modelo de producción de Schaefer

Ejercicio práctico: realización de un "modelo de producción de Schaefer"

3.2.1.2. Modelo de producción de Fox

3.2.2. Modelos analíticos o estructurales

3.2.2.1. Modelos de biomasa

Ejercicio práctico: aplicación de un "modelo de biomasa" a una especie de ciclo largo

3.2.2.2. Modelo analítico de Beverton y Holt

3.3. MÉTODOS DIRECTOS DE EVALUACIÓN DE RECURSOS

3.3.1. Método de "área barrida"

3.3.2. Método de "captura por unidad de esfuerzo (Y/f)"

3.3.3. Método "reconocimiento de huevos y larvas"

EVALUACIÓN DE RECURSOS PESQUEROS MODELOS DE EXPLOTACIÓN PESQUERA

INTRODUCCIÓN

La ordenación y gestión de los recursos pesqueros exige disponer de la información más completa posible de sus poblaciones. Desde este punto de vista, interesa determinar la cantidad de biomasa que debe extraerse para mantener la población en los niveles óptimos de producción, y predecir el **rendimiento** potencial que se puede obtener cuando se les aplica distintas estrategias de pesca.

Los diferentes rendimientos que se pueden obtener de una pesquería, como parece lógico, dependen de su tamaño (cantidad de biomasa), de su capacidad productiva y de las condiciones de explotación; se hace necesario, por tanto, realizar la evaluación de los recursos y obtener los datos que permitan determinar la mejor estrategia de pesca. Hay que determinar también la relación, o dependencia, que existe entre las variables controladas por el hombre como el esfuerzo pesquero y la dimensión de la malla de los artes, y las capturas previsibles.

3.1. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS PESQUEROS

La evaluación de los recursos pesqueros abarca algo más que la simple estimación de su tamaño ya que, además, investiga sobre *"el nivel de explotación que permita obtener a largo plazo los mejores rendimientos"*; por esta razón se convierte en objetivo prioritario a la hora de llevar a cabo una buena gestión pesquera. Los métodos utilizados en la evaluación de recursos son bien diversos, y van desde los más **generales y sencillos** que permiten obtener una primera aproximación de la cantidad de biomasa de la población, hasta los más **precisos y complejos**; en todo caso se trata de métodos basados en las propiedades de las poblaciones y los cambios que factores externos como la pesca producen en su estructura y dinámica. Son las diferentes situaciones en que se encuentran las pesquerías y la disponibilidad de información sobre ellas las que condicionan la elección del método más adecuado.



Entre los métodos más generales y sencillos se encuentran los utilizados para obtener una estimación global de la biomasa de un stock, y con ella deducir el nivel de capturas más próximo al rendimiento máximo posible. Los segundos exigen teorías con planteamientos y ejecuciones más complejas y exigentes para ajustarse de forma más precisa a la realidad; se basan en la estructura de la población y en los cambios que producen las distintas condiciones de explotación, intentando averiguar la intensidad de pesca y la edad a la que hay que comenzar a pescar, para conseguir los mejores rendimientos.

Los métodos de evaluación que se realizan mediante pescas experimentales o prospecciones, utilizando programas diseñados específicamente para ello, se conocen como **métodos directos**; las pescas se realizan sobre toda la población incluyendo los grupos no reclutados al arte, y en toda el área de distribución sin las restricciones propias de las pescas comerciales. Los más utilizados, sin embargo, son los considerados como **métodos indirectos**, desarrollados a partir de datos obtenidos de las pescas comerciales; sin lugar a dudas, la pesca constituye la mayor muestra posible que se puede obtener de un recurso pesquero, y facilita gran información de la fase explotada de una pesquería. A estos métodos indirectos pertenecen los llamados "**modelos de explotación pesquera**".

Los métodos de evaluación basados en pescas experimentales, indispensables para obtener la información que requiere la cada vez más exigente gestión de los recursos pesqueros, se realizan bajo la responsabilidad de los investigadores pesqueros. Los "modelos de explotación" son los que tienen una relación más directa con los responsables de la actividad pesquera; se inicia el tema con una breve descripción de los más usuales y sencillos.



3.2. MÉTODOS INDIRECTOS: MODELOS DE EXPLOTACIÓN PESQUERA

Además de resultar necesaria la estimación de la biomasa de una pesquería, interesa poder cuantificar los cambios que la pesca produce en su estructura y dinámica. Los trabajos dirigidos a identificar los procesos que intervienen en estos cambios y valorar **cuantitativamente** las tasas de producción del stock en relación a las diferentes intensidades de pesca, han desembocado en el desarrollo de una serie de teorías cuyas expresiones matemáticas constituyen los "modelos de explotación pesquera".

El origen de estas teorías hay que buscarlo en el análisis de las pesquerías demersales más tradicionales del Atlántico Norte, cuando comienzan a dar señales evidentes de no poder responder, de forma indefinida, con capturas mayores ante el continuo crecimiento del esfuerzo pesquero. Buscar la explicación a las nuevas situaciones de sobreexplotación de algunas poblaciones de peces, y el deseo de predecir los rendimientos frente a diferentes condiciones de pesca, significaron el origen de los modelos de explotación.

Las etapas de su evolución se pueden identificar con las de las necesidades de conservación y recuperación de las pesquerías, desde los más sencillos que relacionan de forma global las capturas que se obtienen con determinados valores de esfuerzo pesquero, hasta los más complejos y precisos que predicen los posibles rendimientos a partir de los parámetros poblacionales. El convencimiento de que la capacidad productiva de los recursos tiene límites es incuestionable.

Los modelos de explotación pesquera son simulaciones de los procesos que afectan a los recursos explotados, y que en la realidad resultan difíciles de abarcar en su totalidad. Pretenden encontrar, aunque lo hagan por "camino" diferentes, los niveles a los que las poblaciones pesqueras se pueden estabilizar produciendo los más altos rendimientos.



Un "modelo" es la "simulación" de un proceso complejo; al aplicarlo a una pesquería, y de acuerdo con su objetivo, se podría decir que es una descripción simplificada de los cambios que se producen en la biomasa de la población cuando se somete a explotación, y de los que se producen cuando se modifican las condiciones de pesca. Dentro del rango de cambios a los que hace referencia esta "descripción" se encuentran las **condiciones con las que se consiguen los mejores rendimientos de forma continuada**. En el estudio de pesquerías, un modelo, al ser una simplificación de la realidad, rara vez será exacto, pero si resulta orientativo de los diferentes "niveles" de producción, y se considera bueno si permite predecir las capturas con una precisión razonable.

La comprensión de estos modelos puede que no resulte fácil porque exige un nivel de cálculo matemático que excede al de este manual; más sencillo resulta, sin embargo, seguir el razonamiento en que se fundamenta su elaboración y, que de forma resumida, se expone a continuación:

1. Los rendimientos o capturas que se pueden obtener de un recurso pesquero son función de la cantidad de biomasa existente en el stock, y de su capacidad de producción o recuperación de la biomasa perdida.
 - Hay que evaluar, por tanto, la biomasa total de la población y los cambios que produce la pesca, y para ello se requiere disponer de las estimaciones de los parámetros poblacionales: Reclutamiento, Crecimiento, y Mortalidad. (Anexo pág 197)
2. Los rendimientos o capturas que se obtienen de un recurso dependen también de la intensidad de pesca, medida mediante el esfuerzo pesquero, y de la talla-edad a partir de la cual se empieza a pescar, que depende de la longitud de la malla empleada.
 - Además de las tasa instantánea de mortalidad natural (**M**) y las constantes de crecimiento, hay que determinar la tasa de mortalidad que produce la pesca (**F**) que es proporcional al esfuerzo pesquero (**F = q.f**). Debe conocerse también la relación que existe entre la talla del pez que comienza a ser capturado y la dimensión de la malla del arte utilizada, para escoger la adecuada (factor de selección del arte).
3. La población explotada se estabilizará a cualquier nivel de biomasa siempre que las condiciones de pesca (esfuerzo pesquero, tasa de mortalidad **F** y talla de primera captura) se **mantengan constantes**. Los modelos de explotación reflejan siempre situaciones de equilibrio, en el sentido de que muestran la respuesta de la pesquería a largo plazo cuando el régimen e intensidad de pesca se mantiene constante a un cierto nivel. Las curvas que expresan las condiciones de equilibrio constituyen el objetivo final de los "modelos de explotación pesquera".



Se puede afirmar que los modelos de explotación tienen su justificación en la posibilidad de ser utilizados para predecir los rendimientos teóricos esperados cuando se modifican las condiciones de explotación, lo que, en definitiva, se convierte en su objetivo; esta es la razón por la que se les denomina modelos **predictivos**, y constituyen el enlace directo entre la evaluación de los stocks pesqueros y su gestión.

Los modelos más utilizados se pueden agrupar esencialmente en dos tipos diferenciados básicamente en las premisas de partida, los datos que utilizan y la información que facilitan; como se basan en propiedades reales de las poblaciones, o de sus componentes, los resultados van provistos de una carga de coherencia que hace que su aplicación resulte exitosa.

- Modelos de producción generalizada
- Modelos analíticos o estructurales

Los **modelos de producción** tratan de deducir los rendimientos que se obtendrán al aplicar a la pesquería diferentes valores de esfuerzo pesquero; contemplan la evolución de las capturas totales (**Y**) o las unitarias (**Y/f** o **cpue**) en relación con las diferentes intensidades de pesca que se aplican para su obtención, sin analizar otros factores; se explican desde la capacidad de producción de una población en función de su biomasa. Los modelos de producción o globales se desarrollan a partir de la serie histórica de capturas y esfuerzos de una pesquería.

Los **modelos analíticos**, sin embargo, analizan los posibles rendimientos en función de los diferentes valores de la tasa de mortalidad por pesca (**F**) y la edad a partir de la cual se empieza a pescar (**t_c**); se explican desde el diferente aporte de biomasa que realiza cada grupo de edad, según las condiciones a que se somete la explotación. No contemplan la evolución histórica del recurso sino que deducen la curva de producción para diferentes valores de los parámetros poblacionales (**F** y **t_c**), e incluso permiten deducir cuál va a ser el rendimiento bajo determinadas condiciones sin que todavía se haya iniciado su explotación.

La utilización de unos u otros depende por un lado de la situación en que se encuentre la pesquería, y por otro de los datos de que se dispone. Los modelos más sencillos se reservan para las pesquerías que se encuentran en una fase inicial de su desarrollo, y los datos de que se dispone son limitados; con datos muy generales se consigue una información poco precisa, aunque suficiente para conocer el nivel de abundancia de su biomasa y obtener una aproximación del valor del Rendimiento Máximo Sostenible (**RMS**). Los modelos más complejos se utilizan en el caso en que la información requerida sobre el stock tenga que ser más exacta y detallada, se disponga de los datos correspondientes a los parámetros poblacionales, y sea aconsejable hacer una predicción de sus rendimientos a largo plazo y definir la estrategia de pesca adecuada. Conviene aplicar un modelo analítico.



tico avanzado siempre que se disponga de datos suficientes para su realización, y reservar los modelos simples o generales para cuando los datos disponibles sean las series históricas de esfuerzos y capturas. Muchos recursos han dado señales de los límites de su capacidad productiva a medida que la actividad pesquera se ha ido haciendo más intensa; desde situaciones cada vez más críticas de las pesquerías, el desarrollo de los modelos exige respuestas más exactas, análisis más precisos, y datos de partida más fiables.

Antes de hacer una descripción de los modelos más utilizados o significativos, conviene tener en cuenta:

- La pesca es considerada como un factor más de mortalidad que modifica el nivel natural de equilibrio de la población; ésta al ser explotada compensa los cambios que produce la pesca en su estructura y dinámica mediante un nuevo ajuste de sus parámetros poblacionales.
- Todas las teorías de explotación se apoyan en el principio de crecimiento diferencial de una cohorte que presenta una edad a la que el conjunto de sus componentes alcanza un peso máximo (edad crítica de Ricker). Esta sería la edad adecuada de explotación porque se conseguiría así el mejor rendimiento, pero en el mar resulta imposible capturar todos los peces de una única edad; por esta razón se necesita conocer cómo se modifica la estructura de la población según las diferentes condiciones de pesca y cuáles son las más aconsejables.

El desarrollo de estos modelos y su aplicación fue cambiando a medida que lo hacía el concepto de explotación óptima de una pesquería. Si bien, en los comienzos de la gestión de los recursos pesqueros, el criterio de "protección" dirigía las actuaciones a evitar la "sobrepesca", se pasó a considerar la explotación pesquera desde un criterio de "rentabilidad" a medida que la evaluación y predicción de los rendimientos fue siendo posible. Desde el criterio de "protección", se consideran las medidas que aseguran la permanencia de la población a un cierto valor de su biomasa, y desde el de "rentabilidad" se busca, a través de una gestión racional, la estrategia de pesca que permita obtener el más alto rendimiento posible. En la actualidad se ha dado paso a un criterio más amplio y exigente como es la consideración de todo el ecosistema bajo el criterio de pesca responsable y principio de precaución.



CONCEPTOS BÁSICOS

Antes de iniciar la explicación de las teorías o modelos de explotación pesquera más comúnmente utilizadas conviene aclarar conceptos tan básicos como los de "rendimiento y esfuerzo pesqueros", el de "captura por unidad de esfuerzo o captura unitaria", y describir brevemente la relación que existe entre ellos.

RENDIMIENTO PESQUERO (Y). Se denomina rendimiento pesquero⁶ a la *captura total que se obtiene anualmente de una pesquería bajo determinadas condiciones de explotación*, que son las condiciones bajo las cuales se está explotando y se ha obtenido esa cantidad. Se dice que bajo las condiciones existentes porque las pesquerías se estabilizan en torno a una valor de rendimiento anual cuando el número y tipo de buques que operan en ella se mantienen en unos determinados valores (esfuerzo pesquero constante). Si las condiciones de explotación varían porque cambia la flota, los artes, o se incorporan nuevas tecnologías a los buques, la pesquería termina por estabilizarse a otros niveles de rendimiento mientras se mantengan esas nuevas condiciones. Sin embargo, existen unas determinadas condiciones con las que, si se mantienen constantes, se obtiene un nivel máximo de rendimiento; es el llamado Rendimiento Máximo Sostenible (**RMS o MSY**), que en términos biológicos se considera un nivel interesante para estabilizar la pesquería.

ESFUERZO PESQUERO (f). El esfuerzo pesquero mide la intensidad de pesca que se ejerce en una pesquería o en un área determinada. La unidad de medida del esfuerzo recae en el poder de pesca de la embarcación, y para su determinación se estandarizan previamente sus horas de pesca, lo que se consigue comparándolas con el barco escogido como barco-estándar. No obstante, a partir de aquí y para una mayor simplificación, se utilizará el barco pesquero como unidad de esfuerzo, recordando que al hablar de barco o buque pesquero se estará refiriendo al barco-estándar.

CAPTURA POR UNIDAD DE ESFUERZO (Y/f o cpue). La "captura por unidad de esfuerzo" es la captura obtenida anualmente por la unidad que se ha escogido para medir el esfuerzo. Siguiendo el criterio de utilizar el buque como unidad de esfuerzo, la captura por unidad de esfuerzo se referirá a la captura obtenida por cada barco.

⁶ Se expresa por la letra **Y**, inicial de **Yield**, vocablo inglés que significa Rendimiento

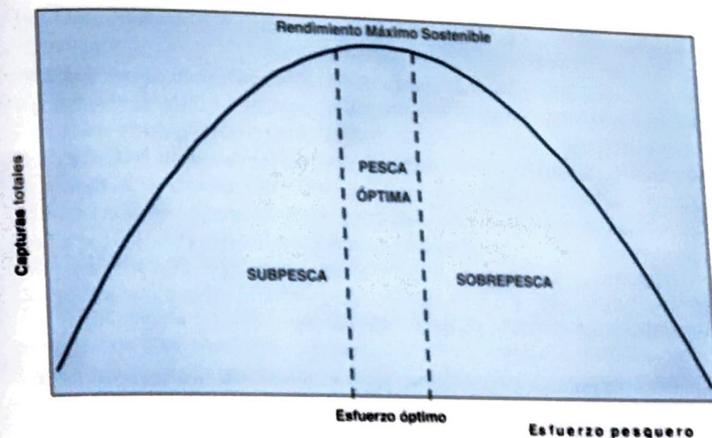
⁷ **Maximun Soudenible Yield**. Estas son las siglas utilizadas para designar el Rendimiento Máximo Sostenible



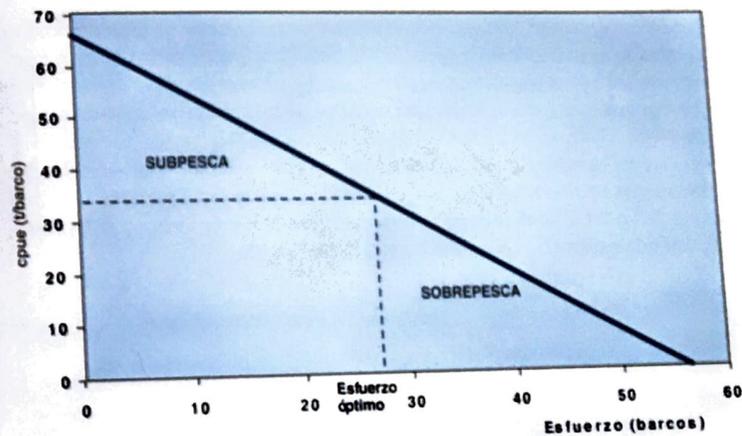
En el inicio de la explotación de un recurso pesquero lo normal es que las capturas que obtiene cada barco sean elevadas, lo que sin duda resulta atractivo para otros barcos que comienzan a incorporarse a la pesquería. Al acudir un mayor número de barcos la captura que consigue cada uno de ellos es menor respecto a la conseguida por las primeras unidades que iniciaron la explotación.

Conviene tener claro que el esfuerzo pesquero con el que se consigue el rendimiento máximo sostenible de una pesquería no es el que proporciona la captura por unidad de esfuerzo más elevada, ésta se obtiene cuando en la pesquería faena un sólo barco. El descenso que experimenta el rendimiento por barco ante el aumento de su número en la pesquería no puede interpretarse como situación de sobreexplotación o "sobrepesca", sino que es la consecuencia lógica del descenso que se produce en su biomasa y en la densidad de población. Interesa, sin embargo, conocer el nivel al que se debe mantener la captura por unidad de esfuerzo (captura por barco) para estabilizar la pesquería en el nivel del rendimiento total que interesa; éste es el más próximo posible al máximo sostenible, que coincide aproximadamente, con el valor al que la tasa de producción de la población es máxima ($B_{ms}/2$). Esta información se obtiene de la curva considerada como clásica y que relaciona las capturas totales frente al esfuerzo empleado en su obtención.

Esta curva, en forma de parábola, expresa la relación que existe, en una pesquería, entre los rendimientos pesqueros y los esfuerzos que han intervenido en su obtención, y teóricamente resume la evolución que ha experimentado cuando han cambiado las condiciones de explotación. En las primeras etapas de la historia de un población explotada, las capturas aumentan al hacerlo el esfuerzo pesquero, es la situación conocida como "fase de subpesca", en la que la capacidad productiva de la población supera a la extractiva de los buques de pesca. Si el esfuerzo pesquero sobrepasa unos ciertos niveles, se observa un descenso en el valor de las capturas que se acrecienta a medida que la intensidad de pesca es mayor, en este caso la capacidad extractiva de las unidades de pesca supera la productiva del recurso, es la "fase de sobrepesca". Entre una situación y otra existe un valor de esfuerzo pesquero, el llamado **esfuerzo óptimo**, con el que si se mantuviese constante se obtendría de forma continuada el máximo rendimiento posible, el **Rendimiento Máximo Sostenible**.



3.1. Evolución de la captura total (Y) respecto al esfuerzo (f)



3.2. Evolución de la captura por unidad de esfuerzo (Y/f) respecto al esfuerzo (f)



3.2.1. Modelos de producción generalizada

Los **modelos de producción generalizada** consideran la biomasa del stock como un todo homogéneo, sin tener en cuenta los parámetros de crecimiento y mortalidad de sus componentes, por lo que también reciben la denominación de sintéticos o globales. Suponen un primer acercamiento a la evaluación de los recursos pesqueros globales. Suponen un primer acercamiento a la evaluación de los recursos pesqueros globales. Suponen un primer acercamiento a la evaluación de los recursos pesqueros globales. Se basan en el y su capacidad de producción ante diferentes niveles de explotación. Se basan en el concepto de que, bajo condiciones de equilibrio, la tasa de producción de la población, en un momento dado, es función del valor absoluto de la biomasa y del nivel que le falta para ocupar plenamente el espacio disponible. Tienen como objetivo determinar el nivel óptimo de esfuerzo con el que se obtendrá el Rendimiento máximo a largo plazo sin afectar la productividad de la población (**MSY** o **RMS**).

Estos modelos tienen su origen en la interpretación del descenso que experimentan los rendimientos pesqueros ante aumentos significativos de los esfuerzos empleados. En su elaboración se utilizan las series históricas de los registros anuales de las capturas que se han obtenido en una pesquería y de los esfuerzos pesqueros empleados durante un periodo de tiempo suficientemente largo y durante el cual se hayan producido cambios considerables, o al menos apreciables de dichos esfuerzos.

La evolución que experimentan los rendimientos de un stock, cuando se producen modificaciones significativas en la intensidad de pesca, tiene su explicación en la propiedad de las poblaciones de peces de recuperar la biomasa perdida, en este caso la extraída por pesca, según una tasa de renovación que depende de la biomasa existente. Una población cuando no está sometida a explotación alcanza un nivel máximo de abundancia (biomasa máxima = B_{∞}) de acuerdo con las condiciones del medio ambiente; la pesca retira una cantidad de biomasa que depende del valor del esfuerzo pesquero, y en consecuencia el tamaño de la población se va reduciendo. La velocidad con que recupera la biomasa perdida viene determinada por la cantidad de biomasa que queda en la población y que constituye su nuevo tamaño.

De la forma más sencilla posible, se puede decir que los modelos globales de producción:

Estudian la evolución de una pesquería y sus capturas ante diferentes valores del esfuerzo de pesca.

Se basan en el concepto de que, bajo condiciones de equilibrio, las tasas de crecimiento natural de la población son función del valor absoluto de su biomasa y del nivel que le falta para ocupar plenamente el espacio disponible.

Consideran la tasa de cambio de la población en función de su tamaño.

Determinan los niveles de captura en que se puede mantener la pesquería para un valor de esfuerzo determinado.

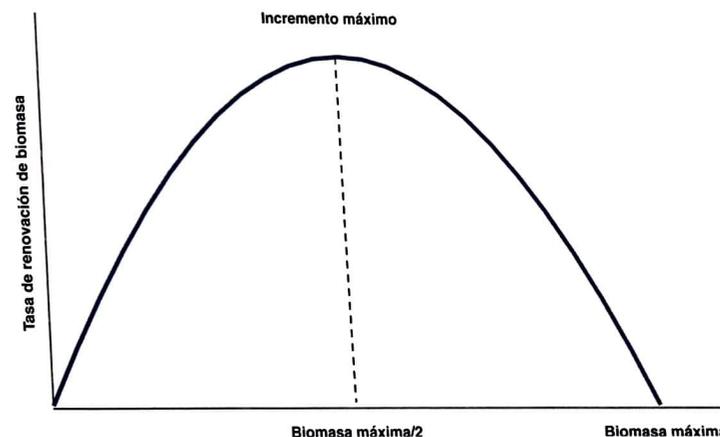
Investigan en qué punto la tasa de renovación se hace máxima para mantener la población a ese nivel.



Los principales modelos de producción (excedentaria) son los desarrollados por Schaefer (1954) y Fox (1970). Ambos utilizan como punto de partida para su realización el descenso que experimenta la captura por unidad de esfuerzo (**cpue** o **Y/f**) al aumentar el esfuerzo, e identifican el valor de esa captura como valor relativo de la abundancia de biomasa de la población⁸. Para su desarrollo se necesitan registros anuales de las capturas y los esfuerzos pesqueros procedentes de las pescas comerciales de un amplio periodo de tiempo.

3.2.1.1. Modelo de producción de Schaefer

El modelo de Schaefer es el modelo clásico de los llamados de **producción generalizada o excedentaria**, y se basa en el principio de que, bajo condiciones de equilibrio, las tasas de renovación de biomasa de una población vienen determinadas por su propio tamaño. El tamaño máximo de la población, designado como biomasa máxima (B_{∞}), es el determinado por la capacidad del medio en que se encuentra. La relación entre la tasa anual de renovación del stock y su tamaño es asumida por Schaefer como una función cuya representación gráfica tiene forma de parábola, y que se basa en el crecimiento diferencial de la población.



3.3. Tasa de incremento de la población en función de la biomasa existente

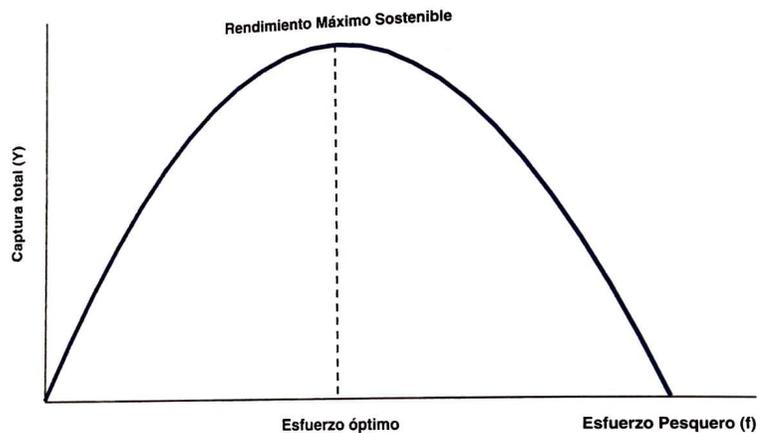
8 De manera especial si se trata de poblaciones demersales



Este modelo establece que la relación entre captura total (Y) y el esfuerzo pesquero (f) también tiene forma de parábola, pues los rendimientos que se obtienen de una población explotada están estrechamente ligados a su capacidad de recuperar la biomasa extraída que, a su vez, depende de la cantidad de biomasa que queda en la población o stock. La parábola que relaciona las capturas totales y esfuerzos a partir de los datos empíricos procedentes de las pescas comerciales responde a la ecuación:

$$Y = a.f + b.f^2 \quad (3.1)$$

en la que:
 Y , es el rendimiento pesquero (captura total anual)
 f , es el esfuerzo pesquero con que se obtuvo ese rendimiento, y
 a y b son constantes propias del stock.



3.4 Relación entre la captura total y el esfuerzo pesquero

El modelo de Schaefer se desarrolla a partir de la siguiente premisa: si la captura unitaria ($cpue$ o Y/f) se puede considerar como una expresión del tamaño de la población en términos relativos, al ser proporcional a la densidad de población e indicativa de su abundancia, su valor irá descendiendo al aumentar los esfuerzos pesqueros.



La relación que existe entre la captura por unidad de esfuerzo ($cpue$ o Y/f) y el esfuerzo (f), es asumido por Schaefer como un modelo lineal cuya ecuación es:

$$Y/f = a + b \cdot f \quad (3.2)$$

y que se obtiene mediante la relación directa entre las **capturas por unidad de esfuerzo medias** que se obtienen anualmente en la pesquería y los esfuerzos empleados; es además el resultado de dividir por el esfuerzo (f) los dos términos de la ecuación (3.1).

Aunque el modelo de Schaefer se define mediante la relación que existe entre las capturas totales anuales y el esfuerzo pesquero empleado en su obtención, en la práctica su elaboración se inicia a partir de la recta que expresa la **relación entre la captura por unidad de esfuerzo (captura/barco) y el esfuerzo (barcos)**. Se desarrolla a partir de la serie histórica de datos sobre las capturas unitarias medias anuales obtenidas por una flota bien conocida y los esfuerzos pesqueros.

A continuación se realizará un sencillo modelo de producción que ayudará a interpretar el proceso de elaboración y sus aplicaciones en la gestión de pesquerías. Se utilizará el método gráfico para prescindir de los cálculos matemáticos.

EJERCICIO PRÁCTICO: Realización de un "modelo de producción de Schaefer"

Los datos de partida para la elaboración del modelo de Schaefer son los valores del **esfuerzo pesquero anual** empleado en una pesquería y las **capturas por unidad de esfuerzo** medias que se han obtenido en el mismo periodo de tiempo.

Se supone que una flota de características bien conocidas faena en una determinada pesquería, y se dispone de los datos de las capturas anuales medias obtenidas por cada barco durante un largo periodo de tiempo.

Los datos correspondientes a la pesquería supuesta se exponen a continuación en forma de tabla, y serán los que se utilizarán para iniciar la elaboración del modelo de Schaefer; la unidad de esfuerzo escogida es el barco, y la captura por unidad de esfuerzo se expresará en toneladas/barco. Se trata de datos muy simplificados para facilitar el desarrollo del modelo

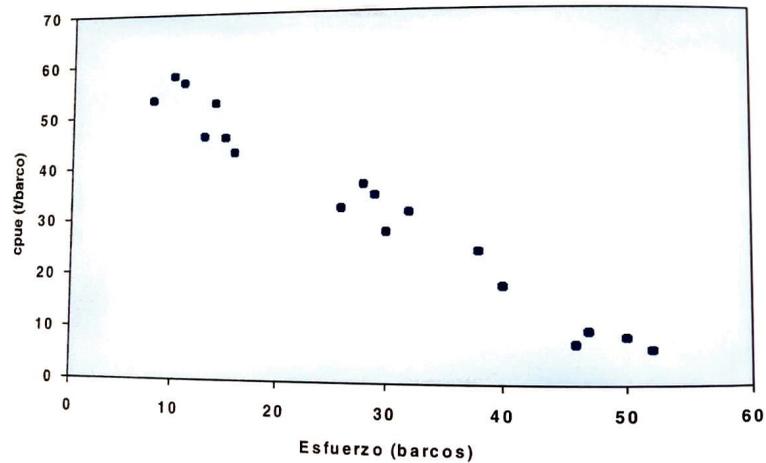


ESFUERZO PESQUERO (barcos)	CPUE (toneladas/barco)
8	53,2
10	58,0
11	56,6
13	46,1
14	52,7
15	45,9
16	43,1
26	32,5
28	37,0
29	35,0
30	28,2
32	31,9
38	24,6
40	18,1
46	7,4
47	9,8
50	8,8
52	6,4

Tabla 3.1. Datos de Esfuerzo Pesquero y cpue media obtenidas

1.-Determinar el tipo de relación que existe entre las cpue (Y/f) y el esfuerzo pesquero

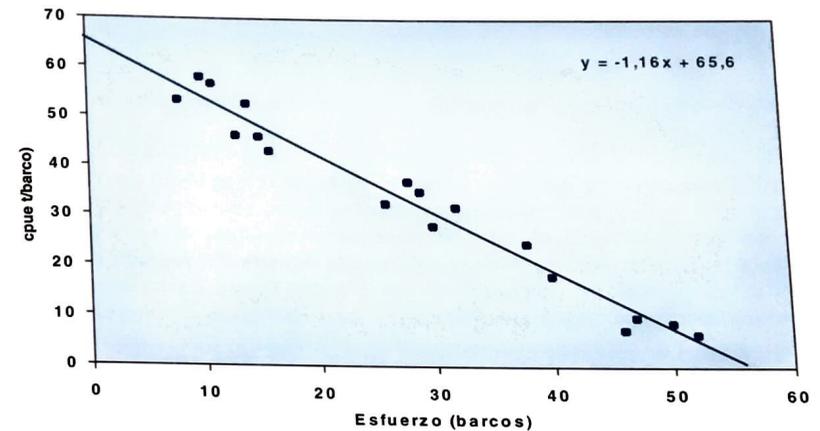
Para determinar el tipo de relación que existe entre las capturas por unidad de esfuerzo (Y/f) y el esfuerzo de pesca (f) empleado, se llevan los datos a un eje de coordenadas; la disposición de los puntos facilita una aproximación al tipo de relación que existe entre estas dos magnitudes.



3.5 Relación entre la CPUE y los esfuerzos pesqueros.



A simple vista se observa que entre las capturas medias obtenidas por cada unidad de pesca (barco) y el número de barcos empleados (esfuerzo pesquero) existe una **relación de tipo lineal descendente**. Se puede trazar "a ojo" la recta que más se "ajusta" a la disposición de los puntos, y que es la que más se aproxima a la relación obtenida. Esta recta expresa la relación teórica que existe entre la captura por barco (Y/f) y el valor de esfuerzo pesquero (f).



3.6. Recta que expresa la relación entre cpue (Y/f) y esfuerzos (f)

La recta ajustada equivale a la recta que más se aproxima a los datos obtenidos.

(Ajustar es un término estadístico que se utiliza porque los datos experimentales nunca se disponen según una recta teórica).

La relación encontrada, al ser de tipo lineal, se expresa según la ecuación general de una recta, que es:

$$y = a + b \cdot x$$

pero en este caso, al ser de tipo descendente su pendiente **b** es negativa, por lo que la ecuación de esta recta será:

$$Y/f = a - b \cdot f \tag{3.3}$$



en la que:
 Y/f , es la cpue (captura por barco),
 f , es el esfuerzo pesquero (barcos),
 a y b , son las constantes que definen esta recta, y que permiten expresar y aplicar el modelo; su cálculo es imprescindible.

(El verdadero ajuste de los puntos a la recta teórica se realiza calculando las constantes a y b mediante el método estadístico de mínimos cuadrados.)

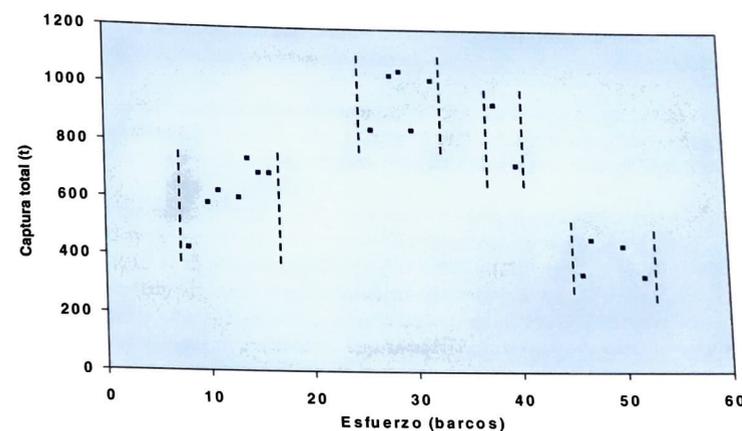
2.-Determinar el tipo de relación que existe entre las capturas totales y el esfuerzo pesquero

La expresión del modelo de Schaefer es la que relaciona las capturas totales (rendimientos pesqueros) con los valores de los esfuerzos empleados. Al disponer de los datos de las capturas anuales medias obtenidas por cada barco y saber los barcos que faenaron ese año, resulta fácil calcular el valor de la captura total o rendimiento pesquero para esa condición de pesca, pues se trata del producto de las dos magnitudes iniciales.

Se amplía la tabla con una nueva columna que refleje los valores de la captura total (expresada en toneladas) correspondientes a cada valor de esfuerzo pesquero.

ESFUERZO PESQUERO (barcos)	CPUE (toneladas/barco)	CAPTURA TOTAL (toneladas)
8	53,2	425,6
10	58,0	580,0
11	56,6	622,6
13	46,1	599,3
14	52,7	737,8
15	45,9	688,5
16	43,1	689,6
26	32,5	845,0
28	37,0	1036,0
29	35,0	1015,0
30	28,2	846,0
32	31,9	1020,8
38	24,6	934,8
40	18,1	724,0
46	7,4	340,4
47	9,8	460,6
50	8,8	440,0
52	6,4	332,8

Al llevar los valores de las capturas totales y los esfuerzos de pesca correspondientes al mismo período de tiempo a un eje de coordenadas, se observa que la disposición de los puntos no responde a una relación lineal como en el caso de las **cpue**, sino que describe una curva en forma de parábola.



3.7. Evolución de las capturas ante cambios significativos del esfuerzo pesquero

Esta gráfica proporciona una imagen de los niveles de captura que se han obtenido ante cambios significativos de los esfuerzos pesqueros; al aumentar el número de barcos los rendimientos aumentaron igualmente, pero sus valores disminuyeron considerablemente ante un excesivo aumento del esfuerzo. Sin duda se trata de una información valiosa, pero el objetivo que se pretende es llegar a la expresión matemática que constituya el "modelo" del proceso observado; será la ecuación que responda a la curva más ajustada a la realidad. Dicha ecuación permitirá calcular los rendimientos que se espera obtener de la pesquería para cada valor del esfuerzo pesquero, y predecir la captura ante cualquier modificación del valor del esfuerzo de pesca.

3.-Obtener la ecuación de la recta que expresa la relación existente entre las capturas unitarias (cpue o Y/f) y los esfuerzos empleados (f) mediante el cálculo previo de los valores de las constantes a y b que la definen.

Para obtener la ecuación de la recta que relaciona la captura por unidad de esfuerzo esperada para cada valor del esfuerzo que se emplee en la pesquería, hay que determinar los valores de las constantes a y b que la definen.

El valor de la constante a coincide con el punto en que la recta corta al eje de las ordenadas; en este caso expresa el valor teórico de la captura por unidad de esfuerzo (Y/f) cuando el esfuerzo pesquero es igual a cero ($f = 0$). Este valor no tiene sentido desde el punto de vista pesquero, pues no se puede obtener una captura por barco si no existe pesca, pero biológicamente se interpreta como el índice de abundancia de la población antes de ser explotada, el correspondiente a



nivel de biomasa máxima. Por esa razón, al aumentar la intensidad de explotación (esfuerzo pesquero), las capturas unitarias van disminuyendo.

La recta trazada "a ojo" de la fig.3.6 **corta** al eje de las ordenadas (cpue o Y/f) en un valor aproximado entre 65 y 70 t/barco, y para este caso se escogerá el de $a = 67$ (**a**, es el valor de la ordenada en el origen)

La constante **b** es la pendiente de la recta, es decir la tangente del ángulo que forma la recta con la horizontal. Su valor puede obtenerse calculando directamente el de la tangente de dicho ángulo, o despejándola de la ecuación de la misma recta (3.3), para ello se escogen los valores de dos puntos concretos de la misma que, por comodidad pueden ser los puntos en que la recta corta a los dos ejes; uno sería el valor de **a** y el otro el valor en que la recta corta al eje de las abscisas. De la misma gráfica se puede escoger el valor de 57 barcos, que será el esfuerzo que teóricamente no se obtendrían capturas. El valor de la pendiente **b**, se con el que interpreta como la velocidad con que disminuye la biomasa de la población al aumentar la intensidad de pesca.

$$\begin{aligned} \text{cpue} &= a - b \cdot f \\ 0 &= 67 - b \cdot 57 \\ b &= 67 / 57 \\ \mathbf{b} &= \mathbf{1.2} \end{aligned}$$

La recta referida a esta pesquería y que expresa la relación existente entre la captura por unidad de esfuerzo (Y/f) y los esfuerzos (f) que se emplearon, queda definida por los valores de **a** y **b** encontrados mediante el ajuste "a ojo" de la recta.

$$Y/f = 67 - 1.2 f \quad (3.4)$$

Pero el verdadero ajuste de la recta se realiza calculando **a** y **b** mediante el método de mínimos cuadrados. Con este método los valores obtenidos para estas dos constantes son:

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \mathbf{65,6} \\ \mathbf{(-)b} &= \mathbf{1.16} \end{aligned}$$

A partir de ahora estos serán los valores que se utilizarán en el desarrollo del modelo; al utilizar los valores de **a** y **b** calculados estadísticamente, la ecuación de la recta que expresa la relación existente entre la cpue y los esfuerzos empleados referida a la pesquería que se está analizando será:

$$Y/f = 65.6 - 1.16 \cdot f \quad (3.5)$$



4.- Obtener la ecuación que exprese la relación entre los Rendimientos (capturas totales) y los esfuerzos pesqueros empleados.

Al disponer de la ecuación de la recta (3.3) que relaciona las capturas obtenidas por cada barco y el esfuerzo pesquero total, multiplicando los dos términos de dicha ecuación se obtiene la ecuación de la parábola que relaciona las capturas totales con el esfuerzo pesquero:

$$Y = a \cdot f - b \cdot f^2 \quad (3.6)$$

que es la expresión que define el modelo de Schaefer.

4. Definir el "modelo de producción de Schaefer" para esta pesquería, mediante las ecuaciones y correspondientes expresiones gráficas:

Ya se dispone de todos los elementos que permiten la expresión matemática del modelo de Schaefer y su representación gráfica. La ecuación se obtiene, tal como se ha razonado en el punto anterior, a partir de la ecuación (3.6). A la misma ecuación se llega sustituyendo los valores de **a** y **b** calculados para esta pesquería en la ecuación general de la parábola.

La ecuación que expresa el "modelo de producción" desarrollado en esta actividad, que permite obtener las estimaciones del rendimiento pesquero para cualquier valor del esfuerzo empleado, y que sería de aplicación exclusivamente en **esta pesquería**, es la siguiente.

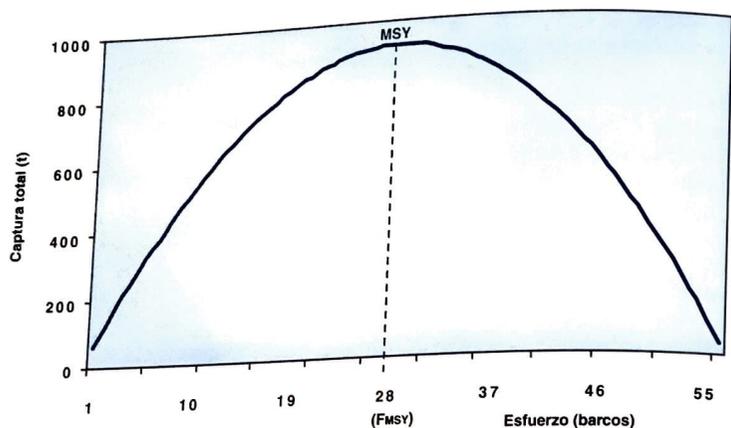
$$Y = 65.6 f - 1.16 f^2 \quad (3.7)$$

Si la ecuación (3.7) se resuelve para valores sucesivos del esfuerzo (**f**) se obtienen los valores teóricos de los Rendimientos (capturas totales) esperados para esos esfuerzos; con ellos se realizará la parábola teórica como expresión gráfica de dicho "modelo".

Esfuerzo (f) (barcos)	Rendimiento (Y) (t)	CPUE (Y/f) (t/barco)
1	65,6	65,6
5	299,0	59,8
10	540,0	54,0
15	723,0	48,2
20	848,0	42,4
25	915,0	36,6
30	924,0	30,8
35	875,0	25,0
40	768,0	19,2
45	603,0	13,4
50	380,0	7,6
55	99,0	1,8

Tabla 3.2. Relaciones teóricas entre las Capturas y los Esfuerzos Pesqueros correspondientes al modelo desarrollado.





3.8. Parábola teórica del modelo de Schaefer aplicable a esta pesquería

La parábola expresa los puntos de equilibrio de la pesquería, y por tanto permite escoger el nivel de rendimiento al que se quiere estabilizar el stock determinando el esfuerzo que ha de emplearse. Sin embargo, aunque la pesquería se puede estabilizar a cualquier valor de su capacidad de producción (por tanto a cualquier valor de esfuerzo), desde el punto de vista biológico (aunque no siempre económico) lo que interesa es que se establezca al nivel máximo de producción; éste es el correspondiente al Rendimiento Máximo Sostenible (MSY), y esa condición solamente se cumple si se emplea un valor de esfuerzo, el esfuerzo óptimo (f_{MSY}), y de estos dos valores se deduce la captura que le corresponderá a cada barco ($(Y/f)_{MSY}$).

Una vez obtenidas las constantes **a** y **b** que definen a este stock se puede calcular el valor del Rendimiento Máximo Sostenible (MSY), el del esfuerzo óptimo (fMSY) y la captura que le corresponderá a cada barco en estas condiciones óptimas ($(Y/f)_{MSY}$), de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} MSY &= -a^2 / 4b \\ f_{MSY} &= -a / 2b \\ (Y/f)_{MSY} &= a / 2 \end{aligned}$$

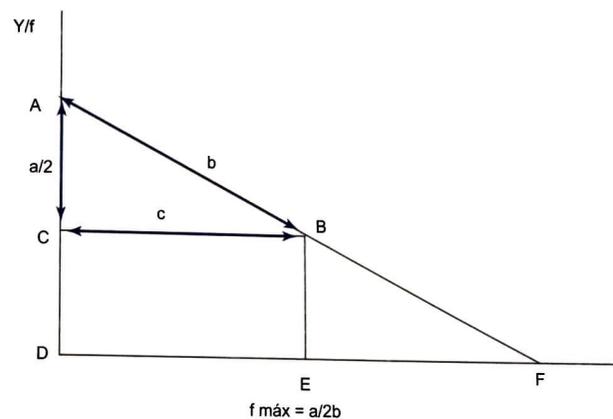
La demostración de cómo se llega a estas igualdades se hará siguiendo el método gráfico para evitar el matemático tal como se viene haciendo en este texto.



Conviene recordar que el Rendimiento Máximo Sostenible (MSY) de una pesquería coincide con la abundancia de biomasa a la que la tasa de renovación es máxima, que coincide con un tamaño de la población igual a la mitad de la máxima ($B/\infty/2$). Si la captura por unidad de esfuerzo (Y/f) puede tomarse como indicativa de la cantidad de biomasa en términos relativos, su valor cuando no existe pesca (valor de **a**) se corresponde con el tamaño máximo de la población virgen (B_∞). Siguiendo con el mismo razonamiento, al aplicar en una pesquería el esfuerzo óptimo, el valor de la captura que le corresponde a cada barco (Y/f) será $a/2$.

$$(Y/f)_{MSY} = a/2$$

En el triángulo siguiente:



El valor del esfuerzo óptimo (f_{MSY}), se corresponde con el lado del triángulo determinado por **c**, y si:

$$\begin{aligned} c &= a/2b \\ f_{MSY} &= a/2b \end{aligned}$$

Al tener los valores de la captura unitaria correspondiente al esfuerzo óptimo, y el de éste, la captura total o Rendimiento Máximo Sostenible (MSY), será:

$$MSY = (Y/f)_{MS} * f_{MSY}$$

$$MSY = (a/2) * (a/2b)$$

$$MSY = a^2 / 4b$$



El modelo de producción realizado facilita la siguiente información:

El valor del Rendimiento Máximo Sostenible:
(MSY) = 927,45 t

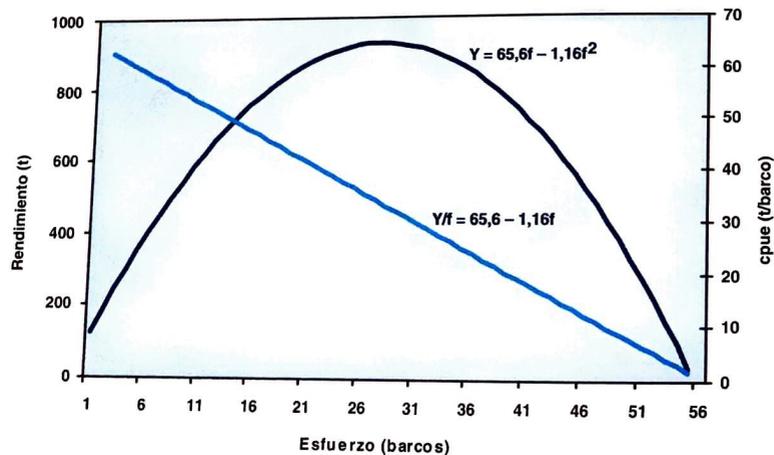
Se obtendrá con el esfuerzo óptimo:
(f_{MSY}) = 28 barcos

La captura que le corresponde a cada barco en estas condiciones:
(Y/f_{MSY}) = 33,12 t

También permite determinar el valor de esfuerzo que hay que emplear, así como la captura que le correspondería a cada barco, cuando se quiere estabilizar la pesquería a **cualquier otro nivel diferente** al Rendimiento Máximo Sostenible; tiene su aplicación práctica en la posibilidad que ofrece de poder escoger el nivel al que se quiere estabilizar la pesquería. En términos de optimizar la explotación, el nivel escogido debería ser el correspondiente al MSY.

MODELO DE PRODUCCIÓN

Relación entre Capturas totales (Y) y Esfuerzos pesqueros (f), y entre cpue (Y/f) y los mismos Esfuerzos pesqueros



3.9. Modelo de producción: relación entre capturas totales y unitarias y el esfuerzo pesquero.



El interés del modelo de Schaefer radica, por una parte en la sencillez de su elaboración, y por otra en el éxito de su aplicación. Como se parte de hechos indicativos de su capacidad de producción; cuando la mortalidad que produce la pesca es baja al serlo el esfuerzo de pesca, las capturas por unidad de esfuerzo que se obtienen son altas, lo que indica que también lo es la abundancia en el stock, y por el contrario las bajas capturas por unidad de esfuerzo revelan el descenso de su biomasa producido por las altas mortalidades de pesca cuando los niveles de esfuerzo son altos.

Al aplicar este modelo a determinadas pesquerías se ha observado que al introducir modificaciones en la intensidad del esfuerzo pesquero, los rendimientos van respondiendo según los niveles deducidos del propio modelo. Estos resultados le confieren un grado de aceptabilidad que hace aconsejable su utilización en pesquerías de las que no se dispone de más elementos de análisis. Presenta el inconveniente de que al elaborarse a partir de los registros históricos de capturas y esfuerzos no es posible predecir, a partir de ellos, los niveles de rendimiento que se van a obtener cuando se introduzcan cambios en variables que no son contempladas en el mismo modelo, como un cambio de mallas, por ejemplo.

3.2.1.2. Modelo de producción de Fox

El modelo de Schaefer permite estimar de un modo sencillo la relación entre las capturas que se espera obtener en una pesquería y los esfuerzos empleados, y tiene su principal aplicación en la posibilidad de escoger el nivel de esfuerzo pesquero para conseguir una producción máxima de forma continuada. Sin embargo, admite la crítica de que contempla un determinado valor de esfuerzo con el que la abundancia del stock se hace cero; este hecho no llega a cumplirse porque, entre otras razones, la pesquería se abandona cuando deja de ser rentable. El modelo desarrollado por Fox presenta un mayor ajuste a la realidad en lo referente a este extremo.

El modelo de Fox se basa en las mismas propiedades poblacionales que el de Schaefer, utiliza también como datos de partida los registros de cpue y esfuerzos, y permite realizar las mismas aplicaciones. La diferencia se encuentra en que Fox supone que la relación entre las cpue y esfuerzo pesquero no es lineal sino que responde a una curva que se aproxima más a la realidad. Dicha relación es de tipo exponencial y responde a la ecuación:

$$Y = a * e^{-bx}$$

que al referirla al comportamiento de una población explotada se convierte en:

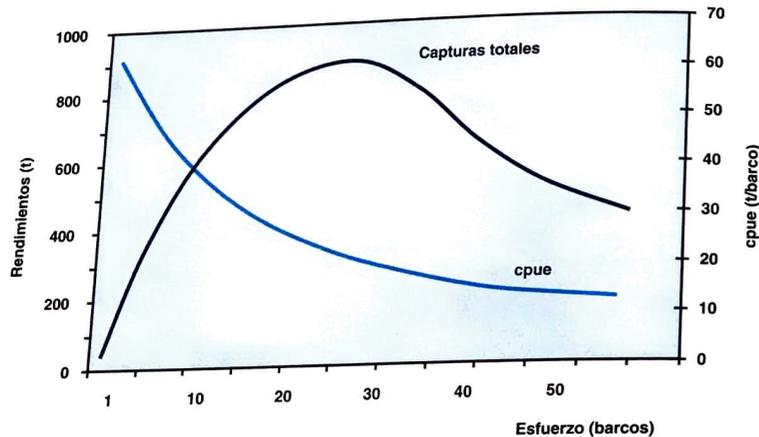
$$(Y/f) = a * e^{-bf}$$



A partir de ella, y de forma análoga a lo que se ha hecho en el modelo de Schaefer, al multiplicar por el esfuerzo (f) los dos términos de la ecuación, se obtiene la que relaciona las capturas totales y los esfuerzos pesqueros empleados:

$$\text{Captura total (Y)} = a * f * e^{-bf}$$

La expresión gráfica de esta ecuación es una curva asimétrica que se identifica como la "curva de producción exponencial" del modelo de Fox.



3.10. Modelo global de producción de Fox

3.2.2. Modelos analíticos o estructurales

Los modelos analíticos o estructurales ofrecen, al igual que los modelos de producción generalizada, la posibilidad de cuantificar la producción de la población a las diferentes intensidades de pesca; se diferencian en el método de análisis y las variables que manejan. Se utilizan en el estudio de los stocks pesqueros que necesitan una mayor exactitud y precisión en las predicciones estimadas y, por tanto, son más exigentes en términos de cantidad y calidad de los datos de partida. No contemplan la evolución histórica de la pesquería, sino que estiman las posibles capturas (rendimientos) a partir de diferentes valores de los parámetros poblacionales y condiciones de pesca.

Los modelos analíticos parten de la premisa de que el peso total de la captura obtenida en una pesquería es el resultado del número total de peces capturados y su peso medio; sus diferentes valores dependen de las distintas combina-



ciones de la tasa de mortalidad por pesca (F) y de la talla de primera captura (t_c) que pueden aplicarse. Este planteamiento se expresa mediante la relación:

$$Y_t = C_t * w_t$$

en la que Y_t es el Rendimiento obtenido en una pesquería (Y) en un momento dado (t),

C_t el número de peces capturados y w_t su peso medio.

Esta expresión del rendimiento es el enunciado conceptual que se toma como punto de partida en la elaboración de los modelos analíticos, pero cada uno de los parámetros que considera (captura y peso medio de los peces) comprende, a su vez, todo un sistema funcional que es preciso desarrollar previamente. Conviene recordar que los parámetros que introduce la pesca en una población actúan sobre su estructura modificando la distribución por edades de sus componentes y reduciendo su biomasa de acuerdo con las variables manejadas. El modelo se centra en averiguar las capturas para los distintos valores de estas dos variables, la tasa de mortalidad por pesca (F) y la talla de primera captura (t_c).

El número de peces que se puede capturar de una población en un momento dado es función de los existentes y de la tasa de sobrevivencia ($N_t = N_0 * e^{-Zt}$), de la fracción de explotación (F/Z), y de la edad a partir de la cual se empieza a pescar (t_c). En la medida en que varíe el reclutamiento, la tasa de mortalidad por pesca, y el tamaño de las mallas empleadas, variará el número de peces en la captura.

El peso medio de los peces capturados depende de los grupos de edad que entren en la captura y guarda una estrecha relación con la talla-edad a la que se comienzan a capturar; serán especialmente bajos si la pesca actúa sobre edades muy tempranas. La talla de primera captura (t_c) es una variable importante a tener en cuenta en este tipo de modelos.

Entre los modelos analíticos más utilizados se encuentra el de Beverton y Holt, que expresa las condiciones con las que se obtendrán los mejores rendimientos al hacerlo el rendimiento por recluta, y los llamados "modelos de biomasa" que se basan en las condiciones que determinan la talla-edad a la que el aporte de biomasa es máximo. Ambos apoyan sus hipótesis en la estructura de la población por lo que necesitan como datos de entrada para su ejecución:

- el valor del **reclutamiento** que es el parámetro más difícil de estimar e imposible de predecir; en la realización de estos modelos, esta dificultad se resuelve bien definiendo el rendimiento por recluta como en el modelo de Beverton y Holt, o bien refiriéndolo a un número fijo de reclutas (1000 reclutas, por ejemplo) como en los modelos de biomasa; las **condiciones que optimizan el rendimiento para ese número de reclutas serán las que optimizarán los rendimientos para cualquier otro valor de reclutamiento.**



- los valores de las **mortalidades natural y por pesca (M y F)**, y por tanto la total ($Z = M + F$); con ellos se determina el número de peces que sobrevive a cada edad y la cantidad que se puede capturar de acuerdo con la fracción de explotación (F/Z).

- las **constantes de crecimiento** de la ecuación de von Bertalanffy (k y L_{∞}) para conocer la talla, y las que expresan la relación talla-peso para determinar el peso medio de los peces de cada edad, así como la biomasa que cada grupo aporta a la población.

Para su aplicación se necesita conocer:

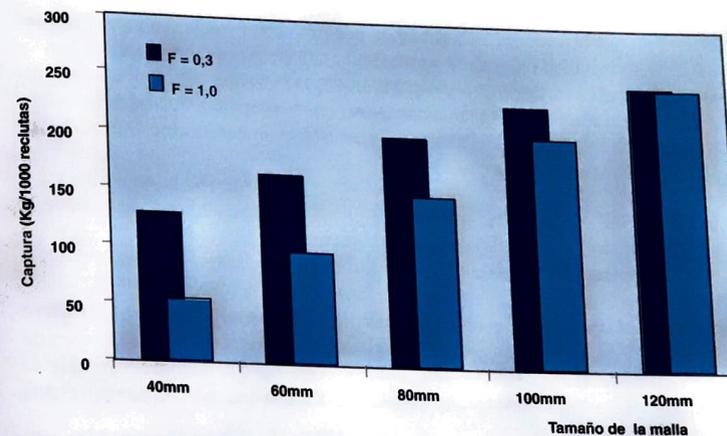
- el **factor de selección** de los artes empleados en la pesquería y poder adaptar el tamaño de la malla a la talla de primera captura que se determine como la más aconsejable.

Las ecuaciones utilizadas en los modelos analíticos o estructurales contemplan dos tipos de parámetros:

a) los que, por referirse a características propias de la especie y estar controlados por factores genéticos o ambientales el hombre no puede modificar, como son la mortalidad natural (M), las constantes de crecimiento, y la edad a la cual se produce el reclutamiento (t_r).

b) los que sí son modificables, como la mortalidad por pesca (F) y la edad de primera captura (t_c).

Po tanto, son dos las variables que se contemplan en estos modelos, la tasa de mortalidad por pesca (F) y la talla a la cual se empiezan a capturar los peces (t_c); los distintos valores de los rendimientos (Y) estimados dependen de las combinaciones que se ensayen. Los rendimientos máximos, calculados en función de la tasa de mortalidad por pesca (F), se consiguen a tallas de primera captura mayores a medida que el valor de la mortalidad por pesca aumenta.



3.11. Rendimientos esperados para distintas combinaciones de la tasa de mortalidad por pesca (F) y talla de 1ª captura (t_c) al utilizar distintos tamaños de mallas en un determinado tock de merluza europea.

A cada valor del coeficiente instantáneo de mortalidad por pesca (F), refleja del esfuerzo total desarrollado, le corresponde una talla de primera captura con la que se obtiene el rendimiento máximo.

De la forma más sencilla posible, se puede decir que los modelos analíticos o estructurales:

Estudian la estructura de la población y los cambios que se producen cuando se modifica alguno de los parámetros que dependen de la actividad pesquera.

Se basan en que el peso total de la captura es el resultado del número de peces capturados y su peso medio.

Consideran los valores de los parámetros poblacionales y la edad a la que el aporte de biomasa es máximo (Edad crítica de Ricker).

Deducen las curvas de producción para diferentes combinaciones de los valores de la mortalidad por pesca (F) y la talla-edad de primera captura (t_c).

Investigan las condiciones de explotación con las que se consiguen los mejores rendimientos.

Los modelos analíticos frente a los de producción presentan la ventaja de que muestran las diferentes tendencias de la pesquería ante las diferentes con-



diciones de explotación incluso antes de ser explotada. Permiten establecer los niveles de mortalidad por pesca asociados a la talla de primera captura con los que se obtienen, o se obtendrán, los rendimientos máximos; resultan de gran utilidad tanto en la regulación de una pesquería como en las predicciones de capturas, pero presentan el inconveniente de que requieren estimaciones precisas de los parámetros que manejan.

3.2.2.1. Modelos de biomasa

Los "modelos de biomasa" quizás sean los más fáciles de comprender entre los llamados "analíticos"; son modelos que analizan el aporte total de biomasa de cada grupo de edad a la población, y estiman la edad a la que es máximo (edad crítica de Ricker). Permiten, por tanto, sugerir la edad a la que debería ser explotada la población para que la extracción resulte la mayor posible.

Si los métodos de pesca tuvieran una eficacia capaz de capturar la totalidad de los individuos de una edad, el momento idóneo para hacerlo sería la correspondiente a esa edad crítica, pero esto no es posible porque los artes de pesca capturan de manera selectiva los peces de distintas tallas; sin embargo estos modelos permiten sugerir la talla-edad hacia la que se debe dirigir la pesca, escogiéndola como la talla de primera captura. De esta manera los rendimientos se acercarán al máximo teórico esperado.

Los "modelos de biomasa" tienen su aplicación más directa en acuicultura y en las modalidades de pesca más próximas a ella, es decir cuando se puede extraer toda la producción de una cohorte a una edad determinada. Por esta razón, se aplican más frecuentemente en los stocks de especies de ciclo de vida corto, como los peces del grupo de los Clupeiformes (sardina, anchoa, etc.), o crustáceos del tipo langostino, cuyas pesquerías están basadas en una única clase anual o cohorte. No obstante también pueden aplicarse a especies de ciclo largo e incluso a las ya explotadas.

EJERCICIO PRÁCTICO: Elaboración y aplicación de un modelo de biomasa a un stock explotado de una especie de ciclo largo.

Se conocen los parámetros que definen una determinada población de bacalao (*Gadus morhua*) del Atlántico Nordeste por lo que se puede determinar su estructura (composición y tamaño), y aplicar un "modelo de biomasa".



Datos:

- El reclutamiento al área y al arte tiene lugar a la edad de 2 años.
- Se desconoce el número de reclutas que se incorpora cada año, por lo que los resultados han de referirse a valores relativos (por ejemplo por 1000 reclutas)
- La tasa de mortalidad natural es $M = 0,44$
- Los peces abandonan la pesquería al cumplir los 12 años.
- Se sabe que la malla de los artes que se están utilizando es la de 80 mm
- Se conocen las constantes de crecimiento de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy ($k = 0,2$; $L_{\infty} = 100$ cm).
- Se conoce la relación peso (g) – talla (cm), que es: $W = 0,0082 L^3$

A partir de los datos expuestos en los apartados f) y g), se han calculado las tallas y pesos medios de cada edad, y se exponen a continuación:

Edad (años)	Talla (cm)	Peso (Kg)
2	32,97	0,294
3	45,12	0,753
4	55,07	1,369
5	63,21	2,071
6	69,88	2,798
7	75,34	3,507
8	79,81	4,169
9	84,47	4,769
10	86,47	5,302
11	88,92	5,765

ELABORACIÓN DEL MODELO

Con los datos de que se dispone se elaborará un "modelo de biomasa"; mediante la determinación de la estructura de la población, y a la vista del aporte de biomasa correspondiente a cada edad, se escogerá la talla de primera captura. Se estimará la dimensión de malla que se debería utilizar en esta pesquería y elegirá la estrategia de pesca más adecuada para obtener los mejores rendimientos.

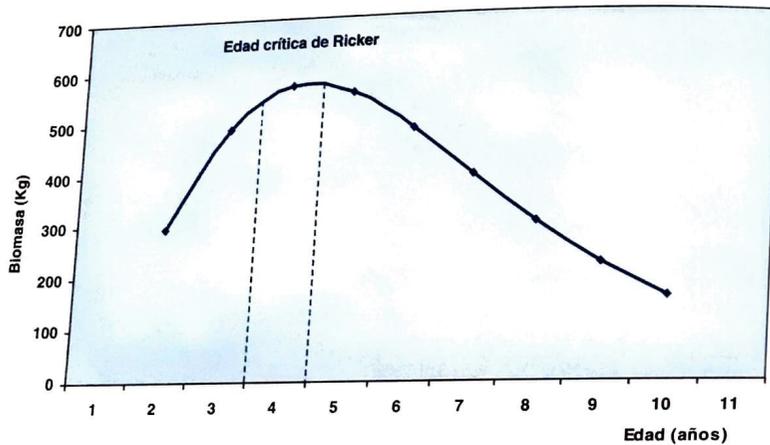


1. Determinar la estructura de la población y averiguar la edad crítica de Ricker

La estructura de la población se determina siguiendo el mismo método seguido en el tema 1, y el resultado se expone a continuación:

EDAD (año)	M	INDIVIDUOS (N ^o) ¹	TALLA (cm)	PESO (Kg)	BIOMASA (Kg)
2	0,44	1 000	32,97	0,294	294
3	0,44	644	45,12	0,753	485
4	0,44	415	55,07	1,369	568
5	0,44	267	63,21	2,071	553
6	0,44	172	69,88	2,798	481
7	0,44	111	75,34	3,507	389
8	0,44	71	79,81	4,169	296
9	0,44	46	83,47	4,769	219
10	0,44	30	86,47	5,302	159
11	0,44	19	88,92	5,765	110

Tabla 10.- Biomasa correspondiente a cada grupo de edad.



3.12 Biomasa de cada grupo de edad, y "edad crítica de Ricker"

En la tabla, igual que en la gráfica, se observa que el aporte mayor de biomasa corresponde a los peces del grupo de edad 4, que es la que se puede identificar con la edad crítica de Ricker; por ser los 55 cm. la talla media de los peces de esa edad, resulta aconsejable escogerla como la talla de primera captura (t_c) más adecuada.

Como se expone en el enunciado, se trata de una pesquería en explotación y en la que los peces empiezan a ser capturados a los dos años de edad, cuando su talla media es de 33cm., lo que resulta alejada de la de 55 cm. identificada como la más adecuada para iniciar su captura.

2. Escoger la dimensión de malla adecuada

Al escoger como la talla de 55 cm como la más conveniente para iniciar la captura en esta pesquería, se necesita determinar la dimensión de la malla que deberá utilizarse. El primer paso en este cálculo es conocer el factor de Selección de los artes utilizados, y para ello se utilizan los datos ya conocidos.

Si se empieza a pescar a los 33 cm (32,98 cm. es la talla media de los peces de dos años), y el tamaño de la malla de los artes que se utilizan es de 80 mm, el Factor de Selección de los artes se calcula mediante la fórmula:

$$F.S. = \text{Talla}_{50\%ret.} / \text{longitud malla}$$

En las condiciones actuales:

$$F.S. = 330\text{mm} / 80\text{mm}$$

$$F.S. = 4,1$$

La talla que debe hacerse coincidir con la que los peces tienen el 50% de probabilidad de quedar retenidos en el arte, es la escogida como talla de primera captura que, en este caso, es la de 55 cm; se conoce el valor del F.S. = 4,1 de los artes, así que sólo queda calcular la longitud de malla que debe utilizarse.

$$F.S. = \text{Talla}_{50\%ret.} / \text{longitud malla}$$

$$\text{Longitud malla} = \text{Talla}_{50\%ret.} / F.S.$$

Aplicándolo a este caso:

$$\text{Longitud malla (mm)} = 550 \text{ mm} / 4,1$$

$$\text{Longitud de la malla} = 134,1 \text{ mm}$$

La dimensión de la malla de los artes que se utilizan en esta pesquería deberá ser la de = 134 mm

Comentario: La longitud de malla actual de 80 mm utilizada selecciona la talla de 33 cm (talla del 50% de retención), que es la talla media de los bacalao de dos años, y en estas condiciones de explotación las producciones de biomasa son mucho menores que las que se obtienen si se empiezan a pescar a los cuatro años.

La estrategia de pesca recomendada para esta pesquería sería la de ir aumentando paulatinamente la dimensión de la malla, desde los 80 mm actuales, hasta la de 134 mm por ser la que situaría a la población en niveles de producción más rentables y seguros.

El interés de los modelos de biomasa radica en que constituyen uno de los caminos más sencillos para determinar la talla-edad de primera captura que debe escogerse en una pesquería según el valor de la mortalidad por pesca (F) que se esté cogiendo; para ello se analiza la evolución de la cantidad de biomasa que una clase empleando; para ello se analiza la evolución de la cantidad de biomasa que una clase anual o cohorte aporta a la población a través del tiempo. Presentan, sin embargo, el inconveniente de que se fundamentan en los cálculos realizados sobre una sola clase anual, y expresa la producción en valores relativos, al hacerse la estimación a partir de un número de reclutas escogido. Sólo en el caso de que el reclutamiento real pueda ser estimado por otros métodos, y se incluya en el modelo, los valores relativos de los rendimientos estimados se convierten en valores absolutos.

En las especies de ciclo de vida largo, con varios grupos de edad formando parte de la fase explotada, el modelo de biomasa puede ser adaptado para predecir el rendimiento del conjunto de esos grupos de edad, de la misma manera que se puede estimar el de una cohorte a lo largo de los años. Esta es la base del llamado "modelo de Thompson and Bell", que lo hace extensivo a las pesquerías explotadas incorporando en el análisis de la biomasa "aportada" por cada edad, la tasa de mortalidad por pesca (F) y la talla de primera captura (t_c).

3.2.2.2. Modelo analítico de Beverton y Holt

Uno de los modelos analíticos más utilizado en la predicción de los rendimientos pesqueros de una determinada pesquería es el desarrollado por R.J.H. Beverton y S. J. Holt y que estima la producción de una población en función de distintas combinaciones de la tasa de mortalidad por pesca (F) y la tasa de primera captura (t_c). Se basa en la ecuación que expresa que el rendimiento obtenido en una pesquería (Y) en un momento dado (t) depende de los peces capturados (C_t) y el peso medio de los mismos ($Y_t = C_t \cdot w_t$). En la secuencia de premisas que considera para su desarrollo llega a la ecuación que expresa la producción de una cohorte durante toda su vida, y como el reclutamiento es



variable de un año a otro y no es predecible refiere los resultados al rendimiento por recluta (Y/R).



3.3. MÉTODOS DIRECTOS DE EVALUACIÓN DE RECURSOS

Los métodos de evaluación de recursos pesqueros que se realizan mediante prospecciones pesqueras, siguiendo programas especiales, se conocen como métodos directos. Se realizan mediante pescas experimentales sobre una población determinada y en toda su área de distribución, sin las restricciones de tallas y zonas que presentan las pescas comerciales. Son métodos de escasa precisión, pero que resultan útiles para detectar la presencia de recursos potencialmente explotables en zonas poco conocidas.

Los métodos que estiman la abundancia de biomasa de una población con pescas experimentales son los que se realizan mediante una serie de lances sucesivos durante un tiempo determinado y en una zona bien definida. Los principales son los conocidos como "método de área barrida", "captura por unidad de esfuerzo" y "reconocimiento de huevos y larvas". El primero, el método de área barrida, se basa en la relación que existe entre la abundancia de peces en el área

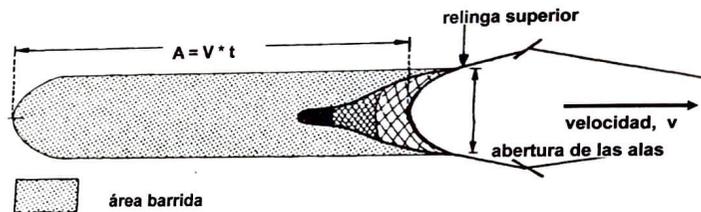


recorrida por el arte de pesca y la del área total ocupada por la población. El de la captura por unidad de esfuerzo, consiste en estimar la *densidad de población* por unidad de superficie a partir del descenso de rendimiento del arte que actúa en una zona bien delimitada. La prospección de huevos y larvas se utiliza para determinar el stock reproductor de la población cuando se conocen determinadas propiedades de la población.

3.3.1. Método de "área barrida"

El método de área barrida es un método sencillo utilizado para estimar el número de peces o la biomasa total de una población a partir de la captura que se obtiene en un área conocida, tomando por unidad el "área barrida por lance de un arte de arrastre", y relacionarla con la existente en el área total ocupada por la población. Parte del supuesto de que **la biomasa capturada en el área barrida por el arte es proporcional a la biomasa total que existe en el área ocupada por la población**. Aunque sea una estimación poco exacta, resulta válida como primera aproximación a la magnitud del recurso.

La realización se lleva a cabo mediante pescas experimentales con artes de arrastre que *barren una superficie bien definida y cuya área se puede calcular*. En cada lance el arte recorre una superficie o área de barrido efectiva que, sin entrar en las fórmulas que permiten su estimación con mayor exactitud, se calcula multiplicando la abertura máxima de la red por la longitud recorrida que, a su vez, depende de la velocidad y tiempo de arrastre.



3.13. Área barrida por un arte de arrastre

Designando:

- c_i al peso o biomasa de los peces obtenidos en un lance,
- a_i al área barrida por lance del arte,
- A_t al área total ocupada por la población (mn^2)
- B_t a la biomasa total de la población.



c_i/a_i será la biomasa de la captura obtenida por unidad de área (kg/mn^2), y B_t/A_t será la biomasa total de la población.

$$c_i/a_i = B_t/A_t$$

Por lo que la biomasa total de la población será:

$$B_t = (c_i * A_t) / a_i$$

Para que los valores estimados de la biomasa total de la población sean aceptables, es necesario hacer una buena elección del método de trabajo y muestreo, y disponer de una serie de valoraciones que reduzcan al mínimo las desviaciones de los resultados. Debe conocerse bien el área que ocupa la población, la diferente distribución de los peces entre las áreas donde es posible el arrastre y las restantes, el porcentaje de peces que pueden situarse por debajo de la relinga de plomos o por encima de la de corchos de la red de arrastre, etc. Todo esto, además del elevado número de lances que son necesarios para aumentar la precisión de los resultados, hace que se trate de un método de altos costos.

Este método resulta de gran utilidad para obtener información de los grupos de edad que no son objeto de explotación; con él se evalúa también el reclutamiento al área que, aunque es difícil de predecir, es necesario conocer para hacer las predicciones de años sucesivos.

Ejemplo: Se desea estimar el número de reclutas (grupo de edad 0) que se incorporan a una determinada pesquería; para ello se realizan numerosos lances en el área ocupada por ellos.

Datos:

- el área barrida en cada lance por el arte fue de 0,021 millas cuadradas,
- la captura media por lance fue de 492 peces,
- el porcentaje de retenidos por el arte se estimó en un 35% del total de peces presentes en el área,
- el área total de la zona ocupada por el grupo 0 se estimó en 4.831 millas cuadradas.

Resolución:

El arte retiene 35 peces ----- de cada 100

Si ha retenido 492 peces -----habrá X

Habrá 1.406 peces

En 0,021 millas²----- hay 1.406 peces

En 4.831 millas² -----habrá X

Hay 323.446.952 peces del grupo de edad 0

