

1 INTRODUCCION

Existen diversos y excelentes manuales y textos sobre la evaluación de stocks de peces en los que se explica muy bien la teoría que sustenta los diversos modelos y métodos, incluida la derivación matemática de fórmulas (véanse, por ejemplo, Gulland, 1969 y 1983; y Csirke, 1980a). El problema es que quienes se inician en la ciencia pesquera, generalmente no encuentran en esos manuales las instrucciones precisas que necesitan para realizar tales análisis. Cuando se está cerca de científicos con experiencia, es fácil obtener esas instrucciones durante el trabajo, como así también, a través de la participación en reuniones de grupos de trabajo. Sin embargo, en muchos países esa transferencia aún no es posible. Dado el problema anteriormente mencionado, este manual está encaminado, en particular, a ayudar a los científicos que se inician en la ciencia pesquera; por ello, es un intento de poner por escrito la parte de las instrucciones que, generalmente, se transfiere a través de la capacitación en el empleo de estos. Por esta razón, el manual se centra en la aplicación de los métodos, prestando una menor atención a la explicación detallada de las teorías que los sustentan.

Con ayuda de este manual, el científico pesquero en formación debería poder comenzar el análisis de datos y adquirir la capacidad técnica e intuición necesarias para resolver los problemas de la evaluación de recursos pesqueros. Después de este paso inicial le debería ser más fácil comprender otros manuales más complejos.

En el último decenio, la evaluación de los recursos pesqueros tropicales ha evolucionado rápidamente, gracias sobre todo a los trabajos de Pauly (1979, 1980, 1984), Saila y Roedel (1980), Pauly y David (1981), García y Le Reste (1981) y Munro (1983), pero también en atención al rápido desarrollo del "hardware" y "software" para el uso de microcomputadores. Este manual se propone contribuir a esa evolución; por este motivo, se hace hincapié en los métodos que son particularmente útiles en las zonas tropicales, y la mayoría de los ejemplos que se citan están basados en stocks tropicales.

La rápida introducción de programas de computación especiales para la evaluación de recursos ícticos, en particular los que se basan en los datos de frecuencias de tallas - como los paquetes FiSAT, COMPLETE ELEFAN (Gayanilo *et al.*, 1988) y LFSA (Sparre, 1987) - puede conducir también a que los científicos pesqueros sin experiencia se encuentren utilizando modelos y métodos cuyas limitaciones no comprenden del todo. El presente manual debería proporcionar a los usuarios de los programas antes mencionados, los conocimientos básicos necesarios para utilizar esos métodos. Esto no significa que este manual se refiera directamente a los computadores. Por el contrario, todos los métodos y ejercicios se pueden aplicar con ayuda de una buena calculadora científica programable de bolsillo. Para mayores detalles sobre el uso de este manual en cursos de capacitación, véase Venema *et al.* (1988a).

1.1 EL OBJETIVO PRIMARIO DE LA EVALUACION DE STOCKS DE PECES

La finalidad básica de la evaluación de stocks es asesorar sobre la explotación óptima de recursos acuáticos vivos tales como: los peces y camarones. Los recursos vivos son limitados pero renovables; y, la evaluación de los stocks de peces se puede definir como la búsqueda del nivel de explotación que permita obtener, a largo plazo, el rendimiento máximo en peso de una pesquería.

La Fig. 1.1.1 ilustra el objetivo básico de la evaluación de stocks de peces. El eje horizontal es el esfuerzo de pesca, medido, por ejemplo, por el número de días de operación de la embarcación. En el otro eje está el rendimiento, es decir, los desembarques en peso. Si los desembarques contienen diferentes grupos de animales - por ejemplo, camarones, peces y calamares - puede ser más adecuado

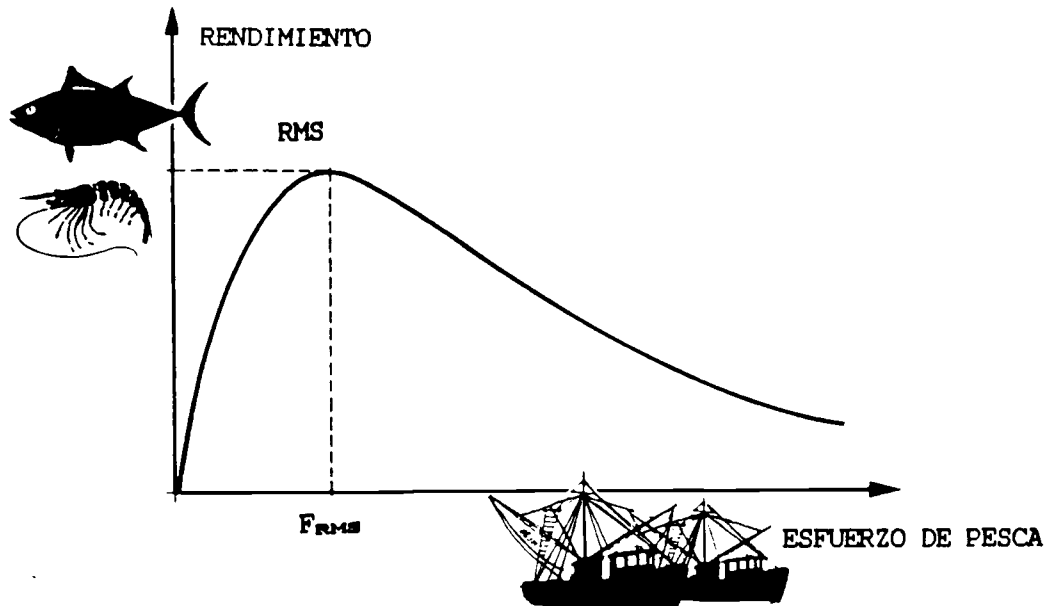


Fig. 1.1.1 El objetivo básico de la evaluación de stocks de peces.

expresar el rendimiento en términos de su valor comercial. Esto demuestra que hasta un determinado nivel se pueden obtener mayores ganancias aumentando el esfuerzo de pesca, pero cuando se supera ese nivel, la renovación del recurso (reproducción y crecimiento corporal) no logra mantener el mismo ritmo que la eliminación causada por la pesca, y el incremento de la explotación provoca una merma del rendimiento.

El nivel del esfuerzo de pesca, que a largo plazo proporciona el mayor rendimiento, se expresa por F_{RMS} y el rendimiento correspondiente es el "RMS" o "rendimiento máximo sostenible". Dicho nivel, se especifica "a largo plazo" porque también es posible alcanzar un alto rendimiento durante un año, incrementando súbitamente el esfuerzo, pero luego seguirán años de escasez debido a que el recurso ha sido sobreexplotado. Normalmente, el objetivo no está representado por los años aislados en que se ha obtenido un rendimiento máximo, sino por una estrategia de pesca que produzca el máximo rendimiento constante año tras año.

1.2 EL CONCEPTO DE STOCK

Al describir la dinámica de un recurso acuático explotado, un concepto fundamental es el de "stock".

Un stock es un subconjunto de una "especie", considerada generalmente como la unidad taxonómica básica. Un requisito previo para identificar los stocks es saber distinguir las diferentes especies. La identificación puede ser problemática, debido al gran número de especies diferentes, pero a menudo parecidas, que se observan en las pesquerías tropicales. Sin embargo, los biólogos pesqueros han de dominar la técnica de identificación de especies para poder hacer una evaluación válida con los datos recolectados. Para resolver los problemas de la identificación de especies son muy útiles las llamadas "Fichas FAO de identificación de especies para los fines de la pesca" (Fischer, 1978; Fischer y Bianchi, 1984; Fischer *et al.*, 1981; Fischer y Hureau, 1985; Fischer *et al.*, 1987; Fischer y Whitehead, 1974) y los "Catálogos FAO de especies" (Allen, 1985; Carpenter, 1988; Carpenter y Allen, 1989; Cohen *et al.*, 1990; Colette y Nauen, 1983; Compagno, 1984 y 1984a; Holthuis, 1980 y 1990; Márquez, 1990; Nakamura, 1985; Roper *et al.*, 1984; Russell, 1990; Whitehead, 1985 y, Whitehead *et al.*, 1988).

Por “stock” se entenderá a un subconjunto de una determinada especie que posee los mismos parámetros de crecimiento y mortalidad, que habita en un área geográfica particular.

A la definición dada anteriormente, se puede añadir que los “stocks” son grupos de animales bien delimitados, que se mezclan poco con los grupos adyacentes. Un rasgo esencial es que los parámetros poblacionales permanecen constantes en la zona de distribución del stock, lo que permite trabajar con ellos. Como esta definición puede ser demasiado superficial para el gusto de muchos biólogos, se mencionan a continuación algunos otros aspectos del concepto de stock.

Para efectos de la evaluación, se puede considerar por “stock” un grupo de animales a los cuales se les puede establecer los límites geográficos y, por lo tanto, también la pesquería (las flotas de pesca) que conforman. Tal grupo de animales debe pertenecer a una misma clase dentro de la especie, es decir, tener un acervo común de genes. Es más fácil identificar un stock en aquellas especies con escaso comportamiento migratorio (principalmente las demersales), que en las especies altamente migratorias, como el atún.

Tal vez no exista una definición del término “stock” que sea aceptable para todos los que se interesan por las agrupaciones intraespecíficas. Para un análisis más a fondo del concepto de stock pueden consultarse también Boone (1981), Ihssen *et al.* (1981), y MacLean y Evans (1981).

Para Cushing (1968), un stock de peces es aquél que tiene una única área de desove, a la cual los adultos regresan año tras año. Larkin (1972) habla de “un stock de organismos con un acervo común de genes y que es suficientemente específica como para que pueda considerarse un sistema que se autopropaga y que puede ser manejado”, mientras que Ihssen *et al.* (1981) definen un stock como “un grupo intraespecífico de individuos que se aparean al azar con integridad temporal o espacial”.

Por otra parte, Ricker (1975) define un stock íctico como “la parte de una población de peces que se considera desde el punto de vista de su utilización ya sea actual o potencial”. Esta definición refleja una aproximación completamente diferente al concepto de stock. En este manual no se seguirá dicha definición, sino que se aplicará el acercamiento biológico mencionado en forma previa.

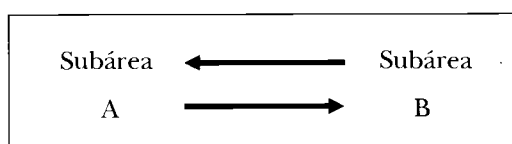
Tal vez, la definición más adecuada en el contexto de la evaluación de poblaciones de peces fue la que propuso Gulland (1983), quien estableció que, para efectos de la ordenación pesquera, la definición de una “*unidad de stock*” es una cuestión operativa, es decir, que un grupo de organismos puede ser considerado como stock si se puede prescindir de las posibles diferencias dentro del grupo así como los intercambios con otros grupos pueden ser ignorados, sin que con ello resulten inválidas las conclusiones a que se llegue.

Esto significa que es preferible comenzar haciendo la evaluación de un stock en el área global de distribución de la especie, hasta que se establezcan indicios sobre la existencia de más de una unidad de stock. Si resulta evidente que los parámetros de crecimiento y de mortalidad difieren significativamente de una parte a otra del área de distribución de la especie, entonces será necesario evaluar esta especie en forma separada, stock por stock. La identificación de diferentes stocks es una materia compleja que requiere usualmente de varios años de recolección de información y análisis.

Como ya se indicó, los distintos stocks deben evaluarse por separado. Los resultados pueden combinarse después en la evaluación de una pesquería de especies múltiples. Por lo tanto, es necesario disponer de datos para cada una de las especies en estudio. El concepto de stock está estrechamente relacionado con el concepto de “parámetros de la población”, un ejemplo de los cuales son los llamados “parámetros de crecimiento”. Estos últimos son valores numéricos de una ecuación por la cual se puede predecir el tamaño corporal de un pez cuando alcanza cierta edad. Otros parámetros poblacionales son los “coeficientes de mortalidad”, que reflejan el ritmo al que mueren los animales, es decir, el número de muertes por unidad de tiempo. Las tasas de mortalidad que se consideran en este manual son la “mortalidad por pesca”, o sea, las muertes ocasionadas por la captura, y la “mortalidad natural”, que comprende todas las otras causas de muerte (depredación, enfermedad, etc.).

Una característica esencial de un stock es que sus parámetros poblacionales permanecen constantes en toda su zona de distribución. Esto significa, por ejemplo, que si una determinada zona se divide en dos partes, vale decir en las subáreas A y B. Los parámetros de crecimiento y mortalidad deben ser los mismos en las subáreas A y B, o dicho en otras palabras:

- 1) los animales de la subárea A deben tener la misma tasa de crecimiento corporal que los animales de la subárea B;
- 2) los animales de la subárea A deben tener la misma probabilidad de muerte que los de la subárea B.



Así, si sólo se pesca en la subárea A, se supone que cada ejemplar del stock tiene la misma probabilidad de encontrarse en esa subárea y, por lo tanto, de ser capturado. Se supone que los individuos se desplazan libremente entre las dos subáreas.

Para determinar si una especie conforma uno o más stocks diferentes, habría que examinar sus áreas de desove, sus parámetros poblacionales y sus características genéticas y morfológicas. Además, habría que comparar los patrones de captura de diversas áreas y efectuar estudios de marcaje. El proceso es complicado, y a menudo no es posible determinar, con los datos de que se dispone, si hay más de un stock de la especie en estudio. Hay dos razones principales que pueden impedir la definición correcta de un stock, a saber:

- 1) que no se abarque toda la zona de distribución del stock y, por lo tanto, se considere sólo una parte de ésta; o, por el contrario,
- 2) que varios stocks independientes aparezcan agrupados, debido, por ejemplo, a una superposición de sus áreas de distribución.

Varios países pueden explotar un mismo stock: es el caso de muchas especies migratorias, como los atunes. A veces ocurre que un país hace una evaluación de uno de esos "stocks compartidos" como si se tratara de un recurso nacional explotado únicamente por él. Por otro lado, la pesquería de un país puede explotar diversos stocks independientes. A esta categoría pertenecen los recursos ícticos de los arrecifes de coral.

La Fig. 1.2.1 ilustra ambos casos. En la parte I se considera un stock de peces cuya zona de distribución está señalada con una línea continua. Este stock es explotado por tres países, A, B y C, y la definición de la población se hace desde el punto de vista del país insular C. Las líneas discontinuas muestran las ZEE (Zonas Económicas Exclusivas) de los tres países, es decir, sus respectivas jurisdicciones nacionales sobre las pesquerías. El área punteada indica la zona de pesca del país C, y las partes rayadas, las de los países A y B. Ahora bien, si el país C basara su evaluación en el supuesto de que la unidad de stock se limita a su propia área de pesca, ignorando las pesquerías de los países A y B, podría llegar a conclusiones erradas. Si, por ejemplo, los países A y B explotaran intensamente el stock en cuestión, de modo que ésta llegara al nivel de sobreexplotación (es decir, que reduciendo la intensidad de pesca aumentaría el rendimiento), es muy poco lo que el país C podría hacer por su cuenta para mejorar la situación. Si la evaluación se basara en el supuesto de que el stock se limita a las aguas del país C, éste país podría concluir que el recurso está sobreexplotado e introducir medidas de manejo para reducir la captura. Sin embargo, tales medidas no surtirían los efectos deseados si los países A y B no hicieran lo mismo.

La parte II de la Fig. 1.2.1 ilustra el caso de una pesquería que explota varios stocks. En esta situación, la evaluación corresponde a la de un valor medio para ese stock, ya que sería imposible

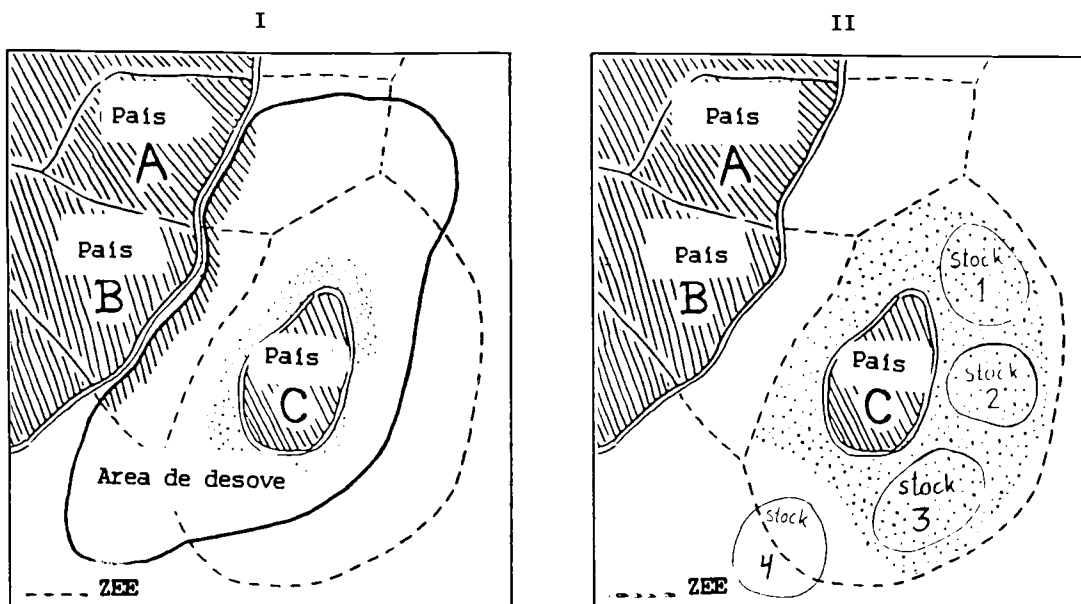


Fig. 1.2.1 Distribución de los stocks en relación a los problemas de manejo pesquero.
ZEE = Zona Económica Exclusiva

separar las capturas de cada stock. Si sobre cada stock se ejerce un esfuerzo de pesca parecido, el resultado de la evaluación debería ser correcto. No obstante, también en este caso puede haber dificultades. Si los tres stocks explotados (1, 2 y 3) acaban sometidos a una intensa sobrepesca y la pesquería se amplía para incluir el stock 4, inexplorado, la tasa media de captura aumentará, lo que podría conducir a conclusiones equivocadas en lo que respecta al estado de los stocks 1, 2 y 3.

Casi todos los organismos marinos explotados realizan migraciones hacia sus áreas de desove. Una clave básica para comprender la estructura del stock es conocer sus rutas de migración, lo que se puede conseguir a través de experimentos de marcado, pero también con datos e información proporcionados por las pesquerías comerciales. A menudo, los pescadores saben cuáles son las áreas de desove y dónde se encuentran altas concentraciones de peces en las diferentes épocas del año.

De lo anterior se pueden sacar algunas conclusiones generales. En primer lugar, suele ser más seguro suponer que las especies de zonas de pesca vecinas forman una unidad de stock, en lugar de considerar cada pesquería por separado y explotar su unidad de stock. Además, es evidente que para llevar a cabo evaluaciones adecuadas se necesita conocer perfectamente la biología de las especies, incluidas sus migraciones, hábitos de desove, etc. Las poblaciones de peces no respetan los límites geográficos humanos, lo que significa que sólo se pueden hacer evaluaciones adecuadas si se prescinde de tales límites mediante la cooperación interestatal o internacional.

1.3 MODELOS

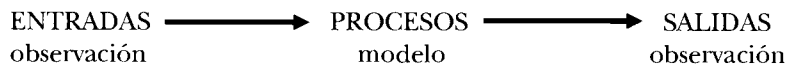
Una pesquería tipo consta de tres elementos básicos:

- 1) las *entradas* (el esfuerzo de pesca, por ejemplo el número de días de pesca)
- 2) las *salidas* (los desembarques), y
- 3) los *procesos* que relacionan las entradas con las salidas (los procesos biológicos y las operaciones de pesca).

La evaluación de los stocks de peces tiene como objetivo describir esos procesos, denominando "modelos" las relaciones entre las entradas y las salidas y los medios utilizados para ello. Un modelo es

una descripción simplificada de las relaciones entre los datos de entrada y de salida. Consiste en una serie de instrucciones sobre cómo realizar los cálculos y se elabora sobre la base de lo que se puede observar o medir, por ejemplo el esfuerzo de pesca y los desembarques.

Los procesos reales por los que un cierto número de días de pesca con un número determinado de embarcaciones da lugar a un cierto número de ejemplares desembarcados son extremadamente complicados. Sin embargo, los principios básicos suelen conocerse bien, y procesando los datos de entrada con ayuda de los modelos es posible predecir las salidas.



Un modelo es bueno si permite predecir la salida con una precisión razonable. Sin embargo, como es una simplificación de la realidad, rara vez, y sólo por casualidad, será exacto.

Las instrucciones para los cálculos que conforman el modelo se presentan en forma de ecuaciones matemáticas. Estas se componen de tres elementos: “variables”, “parámetros” y “operadores”. Por ejemplo, la ecuación matemática:

$$Y = 2.5 + 3 * X$$

tiene las variables Y y X, los parámetros 2.5 y 3, y los operadores “+” y “*”. La ecuación se utiliza para predecir el valor de Y para cierto valor de X.

Como se muestra en la Fig. 1.3.0.1, la evaluación de stocks de peces abarca cinco pasos básicos. El primero es recolectar los datos de la pesquería —la ENTRADA de la evaluación—, que a menudo

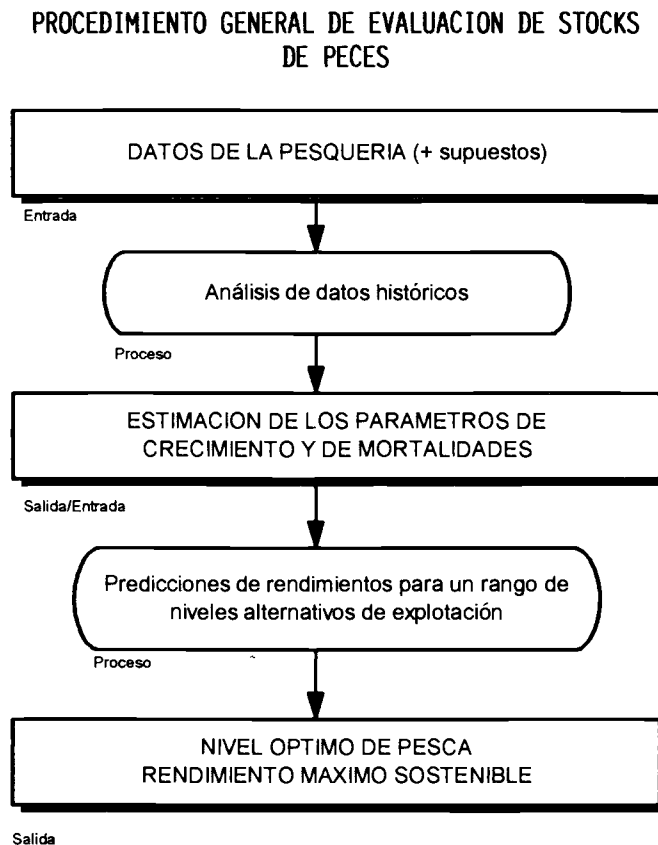


Fig. 1.3.0.1 Diagrama general para la evaluación de stocks de peces.

tienen que complementarse con supuestos o hipótesis calificadas. Luego se procesan los datos aplicando un modelo para estimar los parámetros poblacionales - que constituyen la SALIDA del procesamiento de los “datos históricos”. El término “histórico” se utiliza para diferenciar este proceso de los subsiguientes: la predicción del rendimiento a futuro. Esta predicción se basa en la SALIDA anterior (como ENTRADA) y en un modelo, y se repite para una serie de opciones alternativas, que podrían ser, por ejemplo, una reducción del esfuerzo de pesca del 10%, 20% y 30%, ningún cambio en el mismo o un incremento del 10%, 20% y 30%. Entre las distintas opciones se selecciona finalmente la mejor como SALIDA definitiva. Los datos de ENTRADA originales pueden ser datos de reconocimientos exploratorios o de muestras de pescas comerciales, o una combinación de ambos.

En este manual se analizan dos grupos principales de modelos de evaluación: los “*modelos holísticos*” y los “*modelos analíticos*”. Los modelos holísticos simples utilizan menos parámetros poblacionales que los analíticos, pues consideran un stock de peces como una biomasa homogénea y no tienen en cuenta, por ejemplo, la estructura de tallas o de edades de la población. Los modelos analíticos se basan en una descripción más detallada del stock y tienen exigencias mayores, en términos de calidad y cantidad de los datos de entrada. En compensación, se considera que sus predicciones son más seguras.

El tipo de modelo que se vaya a emplear depende de la calidad y cantidad de los datos de entrada. Si se dispone de datos para un modelo analítico avanzado, conviene aplicar este modelo y reservar los modelos simples para cuando los datos sean limitados. A menudo sucede que no se cuenta con un conjunto de datos tan completo como para aplicar un enfoque analítico, pero sí con más datos de los que exigen los modelos simples, como alternativa al uso de este tipo de modelos simples, es que los datos que faltan se pueden sustituir por supuestos o hipótesis calificadas. Con frecuencia el parámetro que falta para un stock en particular puede ser reemplazado por parámetros conocidos de otro stock semejante.

1.3.1 Modelos analíticos

Una característica básica de los modelos analíticos elaborados, por Baranov (1914), Thompson y Bell (1934) y Beverton y Holt (1956), entre otros, es que hay que conocer la composición por edades de las capturas. Por ejemplo, las cifras de los peces capturados de un año de edad, de dos años de edad, etc., pueden constituir los datos de entrada.

Las ideas básicas en que se fundamentan los modelos analíticos se pueden expresar de la siguiente forma:

- 1) Si hay “muy pocos peces viejos”, el stock está *sobreexplotado* y se debería reducir la presión de pesca.
- 2) Si hay “demasiados peces viejos”, el stock está *subexplotado* y se debería capturar una mayor cantidad de peces para obtener el rendimiento máximo.

(En el Capítulo 8 se proponen algunas definiciones más exactas del término “*sobreexplotación*”).

Los modelos analíticos son “*modelos estructurados por edades*” que utilizan conceptos tales como: las tasas de mortalidad y de crecimiento corporal del individuo.

El concepto básico de los modelos estructurados por edades es el de “*cohorte*”. Dicho de forma simple, una “cohorte” es un grupo de peces *de la misma edad que pertenecen a un mismo stock*. (En el Capítulo 4 se elaborará más esta definición). Por ejemplo una cohorte de baga (*Nemipterus marginatus*) serían todos los peces de esta especie nacidos entre junio y agosto de 1976 cerca de Tanjung Pinang en el Mar de China Meridional. Suponga que esa cohorte tenga un millón de ejemplares. A partir de agosto de 1976, esa cantidad irá disminuyendo gradualmente, debido a las muertes provocadas por causas naturales (depredación, enfermedades, etc.) o por la pesca. Sin embargo, mientras el número

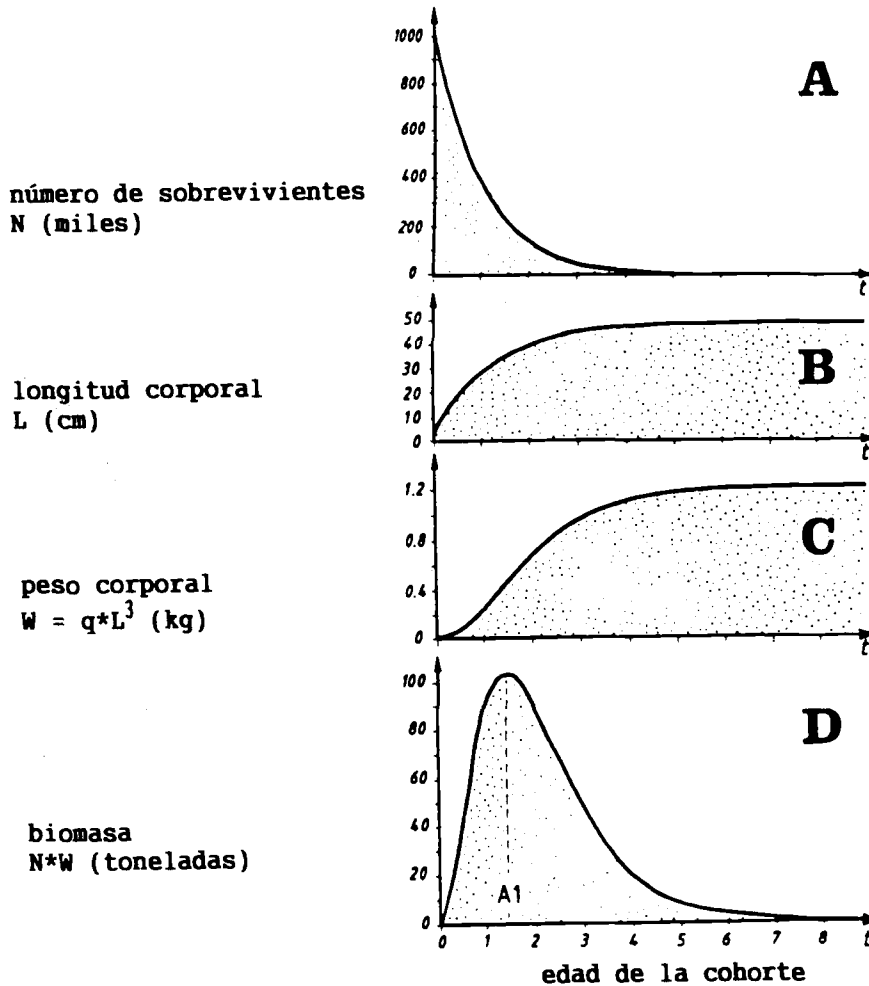


Fig. 1.3.1.1 Dinámica de una cohorte.

de sobrevivientes de la cohorte va disminuyendo con el tiempo, la talla y el peso corporal medios de los ejemplares van aumentando.

La Fig. 1.3.1.1 muestra un ejemplo (hipotético) de la dinámica de una cohorte en forma de gráficos de la edad respecto: del número de sobrevivientes (A), la talla (B), el peso corporal (C) y la biomasa total (D). La curva A indica la disminución del número de sobrevivientes en función de la edad de una cohorte. La curva B muestra el aumento de la talla media a medida que la cohorte envejece. La curva C indica el correspondiente peso corporal, mientras que la curva D es un gráfico de la biomasa total de la cohorte - es decir, el número de sobrevivientes por el peso medio corporal - en relación con la edad de la cohorte.

Obsérvese que la curva D tiene un punto máximo (en la edad A_1), por lo tanto, para conseguir el rendimiento máximo (hipotético) en peso de esa cohorte, todos los peces deberían ser capturados exactamente cuando la cohorte haya alcanzado la edad A_1 . Naturalmente, esto no es posible en la práctica. Sin embargo, se puede decir que el objetivo de la evaluación de los stocks de peces es manejar las pesquerías de tal modo que las capturas se acerquen lo más posible a ese máximo teórico.

La conclusión es que los peces no se deberían capturar ni demasiado jóvenes ni demasiado viejos. Si se capturan demasiado jóvenes, el stock se encuentra sometido a una "sobrepesca respecto al crecimiento".

Así pues, la descripción de la dinámica de una cohorte comprende dos elementos principales:

- 1) el crecimiento corporal medio en longitud y peso, y
- 2) el proceso de muerte.

Ambos elementos se tratarán con más detalle en los Capítulos 3 y 4 respectivamente.

1.3.2 Modelos holísticos

Cuando los datos son limitados, por ejemplo, al comenzar la explotación de un recurso hasta entonces no aprovechado, o cuando la capacidad de muestreo es limitada, es posible que no se disponga de datos de entrada de la calidad y cantidad necesarias para un modelo analítico. Una solución sería comenzar a reunir el tipo de datos que se requieren para el método analítico y esperar hasta disponer de la cantidad suficiente. Este procedimiento es, por supuesto, recomendable, ya que resuelve el problema a largo plazo, pero puede llevar años y en muchos casos existe la necesidad inmediata de asesoramiento sobre una estrategia de desarrollo o de explotación. El enfoque que se adopta en este manual es que, independientemente del tipo de datos que se tenga, siempre se puede recabar de ellos alguna información, y el asesoramiento, basado en un conjunto limitado de datos, es generalmente mejor que las simples conjeturas.

Para los casos en que los datos son limitados, se han incluido algunos métodos holísticos simples, que requieren menos información. Estos modelos prescinden de muchos de los detalles de los modelos analíticos. No utilizan las estructuras por edades o tallas en la descripción de los stocks, sino que consideran al stock como una biomasa homogénea.

Más adelante se exponen dos tipos de métodos simples, el “método del área barrida” (en el Capítulo 13) y el “modelo de producción excedentaria” (en el Capítulo 9).

El método del área barrida se basa en las capturas obtenidas en prospecciones realizadas con redes de arrastre de fondo, donde es posible determinar el área “barrida” en el lance de pesca. A partir de las densidades observadas, con el peso de todos los ejemplares capturados en el área barrida por la red, se obtiene una estimación de la biomasa en el mar, mediante la cual se puede calcular el RMS (rendimiento máximo sostenible). Este método es más bien inexacto y sólo predice el orden de magnitud del RMS.

Los métodos de producción excedentaria utilizan como dato de entrada la captura por unidad de esfuerzo (por ejemplo, los kg de peces capturados por hora de arrastre). Normalmente los datos representan una serie cronológica anual y proceden del muestreo de la pesca comercial. Los modelos se basan en el supuesto de que la biomasa de peces en el mar es proporcional a la captura por unidad de esfuerzo, como se muestra en la Fig. 1.3.2.1. La estimación del rendimiento se obtiene multiplicando el esfuerzo por la captura por unidad de esfuerzo.

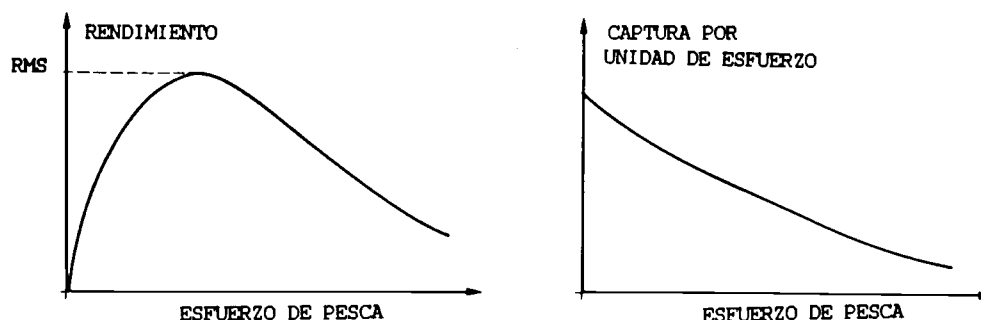


Fig. 1.3.2.1 Modelo de producción excedentaria.

1.4 EVALUACION DE LOS STOCKS DE AGUAS TROPICALES

En biología pesquera hay bastante más documentación sobre las especies de zonas templadas que sobre las pesquerías tropicales. La mayor parte de la literatura sobre evaluación de stocks de peces tropicales se ha publicado recientemente. Como se observará en los capítulos siguientes del manual, ello se debe en parte a que los recursos tropicales son algo más complejos que los de aguas templadas.

El presente manual lleva la palabra "tropical" en su título. Aun cuando los métodos descritos en él se asemejan a los utilizados en aguas templadas, hay características especiales que justifican el empleo de la palabra "tropical". Tal vez la diferencia más notable entre la evaluación de stocks de aguas tropicales y de aguas templadas resida en la naturaleza de los datos básicos de entrada y no en los modelos.

En los modelos analíticos es preciso ingresar el número de peces capturados por cada grupo de edad. Los métodos de evaluación de stocks que se utilizan en aguas templadas se basan mucho en la *edad de los peces*, pues afortunadamente ésta es fácil de determinar. La edad se suele calcular contando los anillos de las partes duras del cuerpo del pez, como los huesos del oído (otolitos) o las escamas. Los llamados anillos anuales se forman mediante un incremento diario (anillos diarios) de la escama o del otolito. La composición química, y por ende la transparencia del incremento, dependen, entre otras cosas, de la cantidad de alimento disponible y son, por lo tanto, estacionales. Puede ser detectada la diferencia entre los depósitos de invierno y de verano; así pues, un anillo anual, formado en parte en verano y otra en invierno, se distingue del siguiente. Además, las especies de aguas templadas suelen desovar una vez al año en un período de tiempo relativamente corto, lo que facilita la distinción de las clases anuales o cohortes.

En los peces tropicales también diariamente se añade a las partes duras una cantidad de material que permite distinguir los anillos de crecimiento diario. Sin embargo, como la estacionalidad no es marcada, en muchas especies tropicales resulta difícil distinguir los anillos estacionales y, por lo tanto, también los anuales. Además, la misma ausencia de estaciones bien definidas hace que los períodos de desove de la mayoría de las especies sean menos claros. Muchas especies tropicales desovan por lo menos dos veces al año y a menudo durante períodos largos. Afortunadamente, gracias a los cambios periódicos de los vientos (monzones) y a modificaciones de las condiciones oceanográficas (surgencias), en muchas zonas tropicales aún se observa cierto grado de estacionalidad. Esta se puede reflejar en los patrones de desove y en el crecimiento de las especies tropicales, aunque en forma menos pronunciada y mucho más difícil de observar que en las aguas templadas. Estas diferencias estacionales permiten detectar también en las especies tropicales la existencia de diferentes cohortes (a menudo dos por año), mediante los análisis de muestras de frecuencias de tallas.

En los últimos años se han desarrollado técnicas para leer los anillos diarios en los otolitos de muchas especies ícticas. Esto ha significado un adelanto en la determinación de la edad de las especies tropicales, en particular, de los peces de vida corta o jóvenes. Estas técnicas todavía requieren demasiado tiempo y será difícil aplicarlas como procedimiento normal. Sin embargo, pueden servir para validar los resultados obtenidos con los análisis de frecuencias de tallas.

Otro factor que complica aún más la evaluación de stocks de peces tropicales, en comparación con los de aguas templadas, es que hay un alto número de especies capturadas con algunos artes de pesca importantes, sobre todo con la red de arrastre de fondo. Esto no sólo repercute en los procedimientos de muestreo y acopio de datos, sino que dificulta también la aplicación de los modelos. Para mayor información sobre las diferencias y analogías entre las poblaciones explotadas en aguas tropicales, templadas y árticas (véase el trabajo de Ursin, 1984).

Estas diferencias explican por qué la evaluación de los stocks de peces de los trópicos ha evolucionado tan poco en comparación con la de zonas templadas. El presente manual emplea métodos basados en las tallas, paralelos a los métodos tradicionales para aguas templadas basados en la edad. Evidentemente, existe una relación entre la edad y la talla: si se conoce esta relación, las

frecuencias de tallas se pueden convertir en frecuencias de edades. En la Fig. 1.4.1 aparece la descomposición de una muestra de frecuencias de tallas en grupos de edad (cohortes). Hay varias técnicas para separar los grupos de tallas y convertirlos en grupos de edad, y la mayoría está computarizada. En este manual se exponen varias de esas técnicas, y una de ellas, el método de Bhattacharya, se ilustra por medio de ejemplos y ejercicios. Este método, aunque existe en varias versiones computarizadas, se puede aplicar también utilizando simplemente papel, lápiz y una calculadora (científica) de bolsillo.

En este manual, al exponer la teoría que da origen a los diversos métodos se comienza en general con la versión basada en la edad, ya que es más fácil de explicar y, por lo tanto, de entender. El siguiente paso consiste en transformar el método sustentado en la edad en el otro basado en las tallas, utilizando la relación entre ambos parámetros.

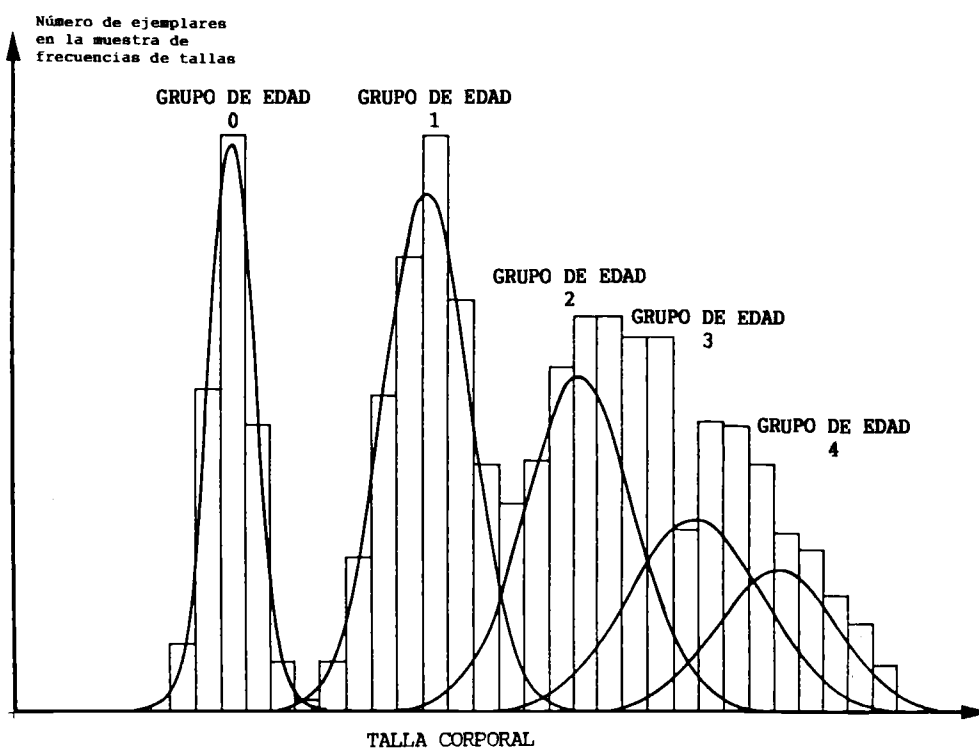


Fig. 1.4.1 Muestra de frecuencias de tallas, descompuesta en los grupos de edad que la componen.

1.5 DEFINICIONES DE LA TALLA O LONGITUD CORPORAL

La *talla* o la longitud del cuerpo de los peces es medida de varias maneras. La forma de hacerlo depende de como se han efectuado tradicionalmente las mediciones. Por lo general, se utiliza la "*longitud total*" (véase la Fig. 1.5.1), medida sobre el lado izquierdo del animal. La "*longitud a la horquilla*" es utilizada comúnmente en peces que poseen aletas caudales rígidas, como los atunes. La "*longitud estándar*" es menos precisa que las otras medidas y se debería utilizar únicamente en especies con aletas muy frágiles que, por lo general, se encuentran rotas o dañadas al momento de realizar las mediciones. Al graficar una de estas medidas en relación a otra de ellas, usualmente se obtiene una línea recta, debido a que los registros corresponden a la medición del mismo material, aunque efectuado en forma diferente.

La longitud de los peces se mide, generalmente, a la "*unidad inferior*", lo que significa que la cantidad indicada corresponde al límite inferior de la clase de medición. Al efectuar la determinación de la talla de los peces se agrega a la lectura una cantidad equivalente a la mitad de la unidad de

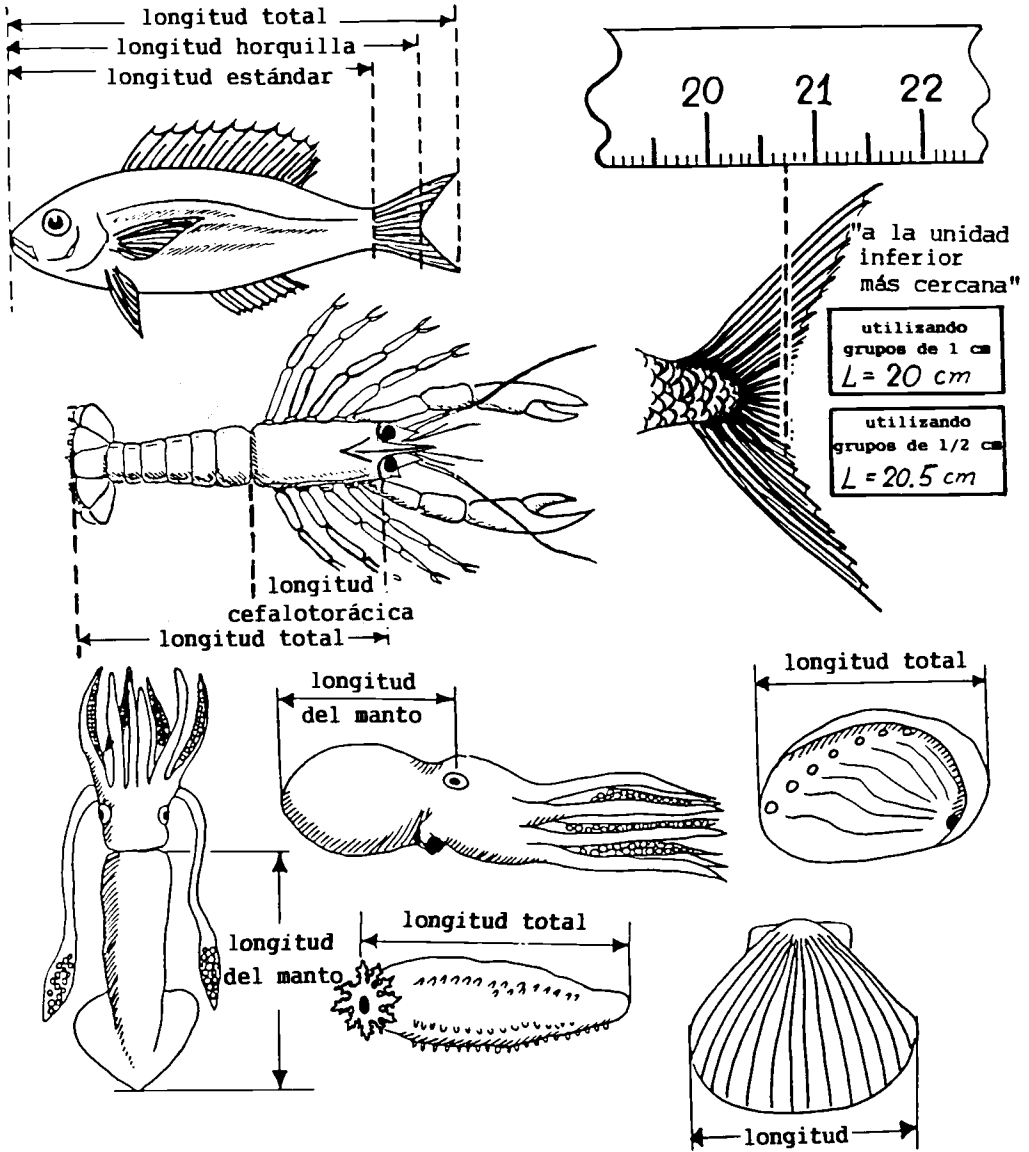


Fig. 1.5.1 Definiciones de longitud corporal.

medida empleada en las mediciones. Este procedimiento permite medir los ejemplares a la "unidad entera más cercana", la cual constituirá igualmente el punto medio de la clase. De esta forma, al efectuar la medición de una muestra de peces numerosa, al emplear la longitud total y medir a la unidad inferior, como se describió anteriormente, se logra una gran rapidez en el trabajo y la obtención de registros adecuados para el análisis de los stocks de peces.

Por otra parte, la forma de medir con más exactitud los camarones y las langostas es utilizando la "longitud del caparazón" (véase la Fig. 1.5.1). Sin embargo, en muchos casos se ha tenido que utilizar la longitud total o la longitud de la cola. En tales casos hay que establecer la relación entre las diversas medidas a fin de poder convertirlas. Es muy importante especificar exactamente el tipo de medida de longitud que se ha utilizado, ya que de lo contrario pueden surgir dificultades al comparar los resultados con los obtenidos en otras investigaciones.

Los otros ejemplos que aparecen en la Fig. 1.5.1 son el calamar, el pulpo, la oreja de mar, el cohombro de mar y la concha abanico. Con los animales que tienen esqueleto o concha dura no hay

problemas para definir una medida de longitud idónea (peces, crustáceos y moluscos con concha). Los moluscos con una forma corporal relativamente constante (por ejemplo, el calamar) tampoco crean mayores problemas, pero sí resultan problemáticos los que tienen cuerpo plástico (como el pulpo, el cohombro de mar o la medusa). En ciertos casos puede ser preferible trabajar con el peso en vez de la longitud corporal, ya que obviamente el peso se puede medir con mayor exactitud.

Para un único individuo es fácil transformar un tipo de medida de longitud en otro. Pero en el caso de las muestras agrupadas en clases de tallas es más complicado pasar de una medida a otra, en lo que a los aspectos computacionales se refiere. Sin embargo, Sparre (1987) propone una forma sencilla de hacerlo con un microcomputador.

1.6 EDAD Y RECLUTAMIENTO

Cuando se trabaja con modelos analíticos es necesario definir el concepto de “edad”. Como se dijo anteriormente en relación con la longitud, no se trabaja a nivel de ejemplares individuales, por lo que la “edad” representa la edad media de una cohorte. Para establecer la edad hay que comenzar definiendo la “*fecha de nacimiento*”. La definición biológica obvia es el día en que la larva sale del huevo. Se considera que un pez que recién ha eclosionado tiene edad cero.

En la primera parte de su vida, como larvas o juveniles, los peces suelen ser poco afectados por la pesquería: se dice que esa es la fase no explotada de la vida del pez. Como lo que nos interesa aquí es la fase explotada, esa primera etapa no es importante en este contexto.

Si definimos como T_r la edad más temprana a la que un pez puede ser vulnerable a los artes de pesca, el pez de edad T_r se denomina “*recluta*”. Se entiende por “*reclutamiento*” el número de reclutas, o sea el número de peces que ha llegado a la edad T_r durante una “*estación de reclutamiento*”. La “*intensidad de reclutamiento*” es el número de reclutas por unidad de tiempo. El *patrón de reclutamiento* de una especie de aguas templadas podría ser como el que aparece en la Fig. 1.6.1A, donde cada línea representa la intensidad de reclutamiento en una semana. En la mayoría de las poblaciones de peces tropicales el reclutamiento se prolonga (más o menos) durante todo el año, pero con oscilaciones estacionales, por ejemplo en las zonas de monzones (Pauly y Navaluna, 1983) (véase la Fig. 1.6.1B).

Si se define, provisionalmente, el período de reclutamiento de un stock tropical por las fechas (partes del año) tr_1 y tr_2 , que corresponden a las fechas de reclutamiento mínimo (véase la Fig. 1.6.1B). Con $0 \leq tr_1 < tr_2 \leq 1.0$ se define la “*cohorte de primavera*”, es decir los peces reclutados desde la fecha tr_1 hasta tr_2 , y la “*cohorte de otoño*”, que son los peces reclutados desde tr_2 hasta tr_1 . En éste texto, las expresiones “*primavera*” y “*otoño*” están referidas al hemisferio norte.

En general, todavía no se conocen muy bien los patrones de reclutamiento de las poblaciones de peces tropicales. Sin embargo, como se verá en los próximos capítulos, la estacionalidad del reclutamiento es un requisito previo muy importante para los métodos que se proponen.

1.7 EL SUPUESTO EN QUE SE BASAN LAS MUESTRAS ALEATORIAS

Todas las versiones básicas de los métodos que se tratan en este manual presuponen que los datos de entrada deriven de “*muestras aleatorias*”. Una muestra de peces, por ejemplo una muestra de frecuencias de tallas que represente al stock, es aleatoria si todos los peces tienen la misma probabilidad de ser extraídos.

Generalmente es difícil, o incluso imposible, obtener muestras realmente aleatorias. Si, por ejemplo, los peces juveniles se hallan en ciertas zonas de cría que no coinciden con los caladeros en los que se toman las muestras, quedarán poco representados en éstas. La selectividad de los artes de pesca crea un problema análogo. A menudo los peces pequeños están poco representados, porque

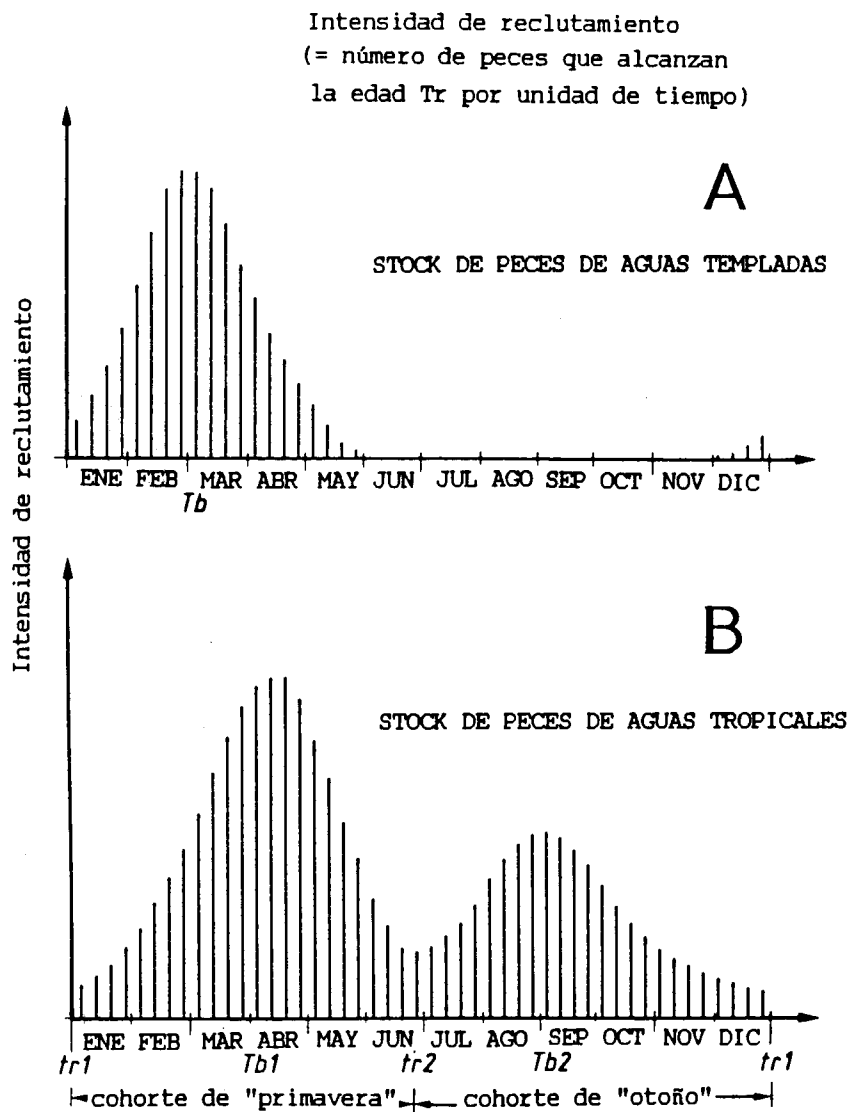


Fig. 1.6.1 Intensidad de reclutamiento durante el año, en stocks típicos de aguas templadas y tropicales.

escapan a través de las mallas, mientras que los más grandes quedan retenidos. Las muestras que no son aleatorias se denominan "muestras sesgadas".

Una característica del comportamiento de los peces, que se considera la mayor causa de sesgo es la "migración". Casi todos los animales marinos realizan desplazamientos sistemáticos. Los peces pelágicos como las caballas, las macarelas y los atunes emprenden largas migraciones entre las zonas de alimentación y las áreas de desove. La mayoría de los camarones peneidos inician su ciclo de vida en mar abierto, luego emigran hacia aguas someras (lagunas y manglares), y cuando maduran sexualmente vuelven a emigrar hacia el mar abierto para la reproducción.

La consecuencia de este comportamiento migratorio es que para obtener muestras aleatorias de todo el stock, hay que abarcar una gran extensión de mar. Con frecuencia las muestras sólo se pueden obtener de la pesquería comercial, que se concentra en los caladeros en que es más fácil capturar grandes cantidades. De ahí que a menudo no se disponga de muestras aleatorias del stock. Este sesgo ha de tenerse en cuenta en los análisis, y en función de él deben modificarse los métodos

básicos. Algunos tipos de sesgo son más fáciles de tratar que otros. El sesgo creado por la migración sólo se puede tratar adecuadamente si se conocen las rutas de migración. Cuando no es así, hay que sentar hipótesis sobre ellas para poder continuar con los análisis. Hay muchos problemas serios en relación con el sesgo. Este manual ofrece algunas sugerencias para enfrentarlos, pero también deja sin respuesta algunas preguntas pertinentes, ya sea porque no se conoce la solución o porque el método para resolverlo es tan complicado que cae fuera del ámbito del manual. Desgraciadamente, en la práctica a menudo aparecen casos tan fuertemente afectados por sesgos que no es posible tratarlos con los métodos que aquí se describen (véase el Capítulo 11).

1.8 ORGANIZACION DEL MANUAL

La complejidad de la evaluación de poblaciones de peces se refleja en el listado del contenido de este manual. Los diversos elementos que se relacionan con esta temática impide que estos sean tratados en forma simultánea, motivo por el cual a menudo es necesario remitir al lector a secciones y capítulos anteriores o posteriores. Como ayuda para el lector, en la Fig. 1.8.1 se ofrece un diagrama de flujo de la evaluación de stock presentada en este manual. El diagrama de flujo no muestra los métodos en el mismo orden en que aparecen en el manual, sino en un forma secuencial de acuerdo a como se efectúan en una evaluación. Los números de los capítulos pertinentes aparecen entre paréntesis.

Antes de comenzar el trabajo de evaluación, hay que dominar algunas técnicas estadísticas básicas, por ejemplo el análisis de regresión lineal. Estas se tratan en el Capítulo 2. Aunque se han excluido del diagrama de flujo, porque son métodos generales que se aplican a muchos otros campos científicos. El Capítulo 2 contiene sólo una pequeña selección de métodos estadísticos, que son los que se necesitan para seguir el texto de los capítulos siguientes.

El diagrama de flujo está dividido en dos partes. La Parte A se refiere a los métodos analíticos y la Parte B, a los métodos holísticos. De la extensión de las dos partes se desprende que se ha otorgado mayor importancia a los métodos analíticos. Ambos procedimientos siguen las mismas pautas fundamentales, o sea, el esquema de la Fig. 1.3.0.1.

Parte A: métodos analíticos

La primera fila muestra los datos de entrada para la estimación de los parámetros de crecimiento (los parámetros con los que se predice la talla de un animal a una edad dada). Aunque cronológicamente el primer paso es la recolección de datos, esta tarea no se ha tratado al principio del manual, porque no es posible abordarla de manera válida sin haber definido antes los objetivos del plan de muestreo. Para ello se necesitan los modelos utilizados en el análisis de los datos históricos, por lo que la explicación sobre la recolección de datos se ha remitido al Capítulo 7. Las hipótesis indicadas como entradas no se tratan en ningún capítulo en particular.

La teoría que sustenta el modelo para el crecimiento corporal y la estimación de los parámetros de crecimiento se trata en el Capítulo 3. Los problemas de sesgo son, como se indicó antes, extremadamente complicados y se abordan sólo parcialmente en este manual. Por esta razón se han puesto en el Capítulo 11, después de los capítulos sobre las versiones básicas de los métodos analíticos. Si bien el análisis debería comenzar con una evaluación del sesgo, no se consideró apropiado iniciar este manual con uno de los temas más difíciles. También la estimación o, más bien, la formulación de hipótesis calificadas sobre la mortalidad natural es un tema complejo y se ha colocado en la Sección 4.7.

Los capítulos siguientes, sobre los métodos analíticos, contienen la teoría de los métodos que se basan en la edad y en la talla. Las estimaciones de los parámetros de crecimiento sólo se usan, de hecho, para las versiones de los modelos que se basan en la talla, pero para reducir la complejidad del diagrama no se ha hecho una distinción entre ambos tipos de modelos.

Después de la parte relativa al crecimiento, el diagrama de flujo se ramifica (véase el Capítulo 3). Las dos ramas representan agrupaciones de los métodos según sus exigencias de datos. Algunos

Parte A

METODOS ANALITICOS *)

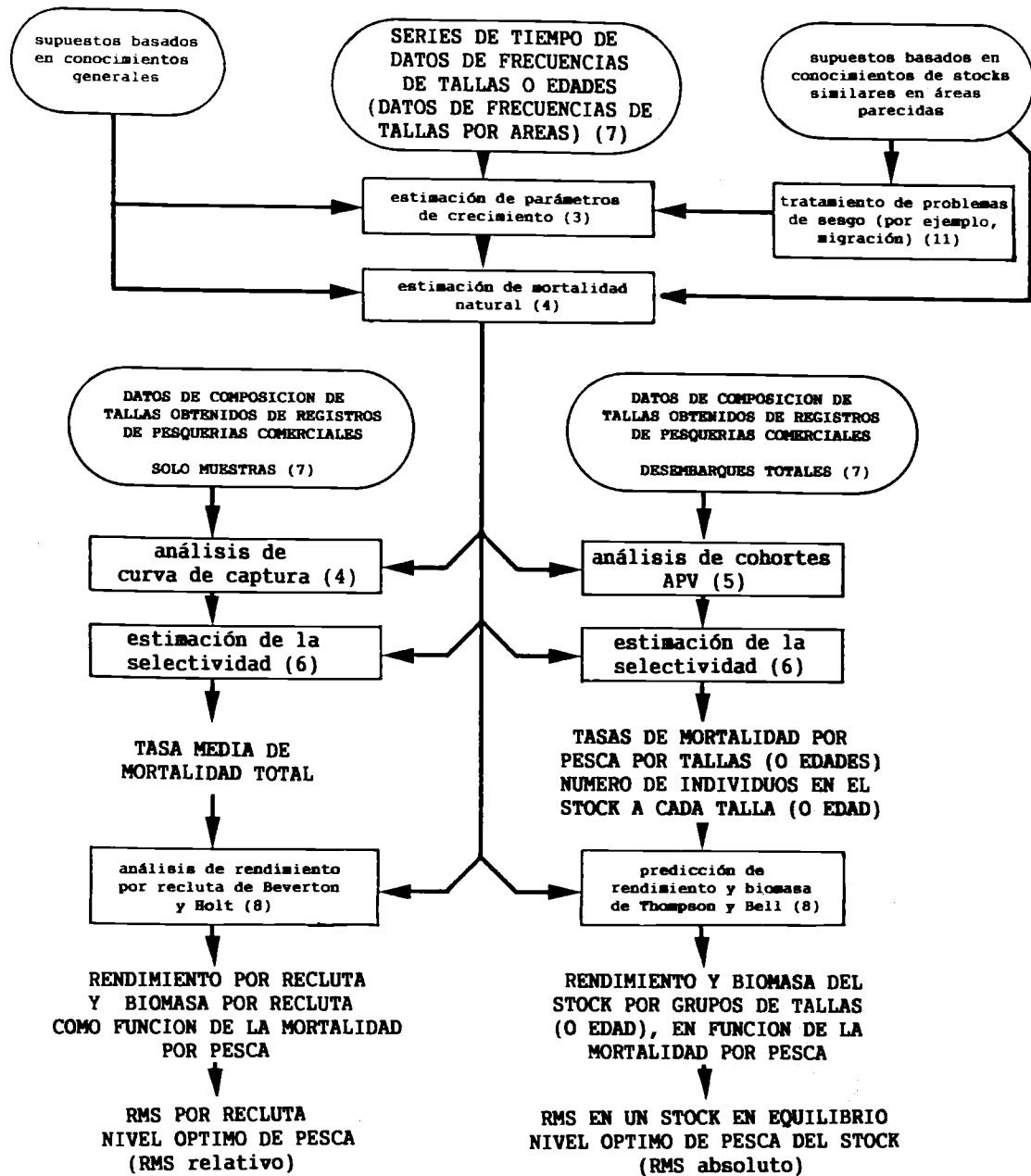


Fig. 1.8.1A Organización de este manual (Métodos analíticos).

métodos analíticos se basan exclusivamente en *muestras* de la pesquería comercial, y la captura total se desconoce. En teoría, esos métodos también se podrían aplicar a una muestra única, consistente en un balde de pescados muestreados en el mercado local (aunque lo recomendable sean, naturalmente, los planes de muestreo extensivos); tales métodos se llaman “*métodos de la curva de captura*”.

Otros métodos se basan en estimaciones de la *captura total*, es decir, estimaciones de los totales desembarcados por cada grupo de talla de todo el stock. Estas cifras se obtienen de las muestras de

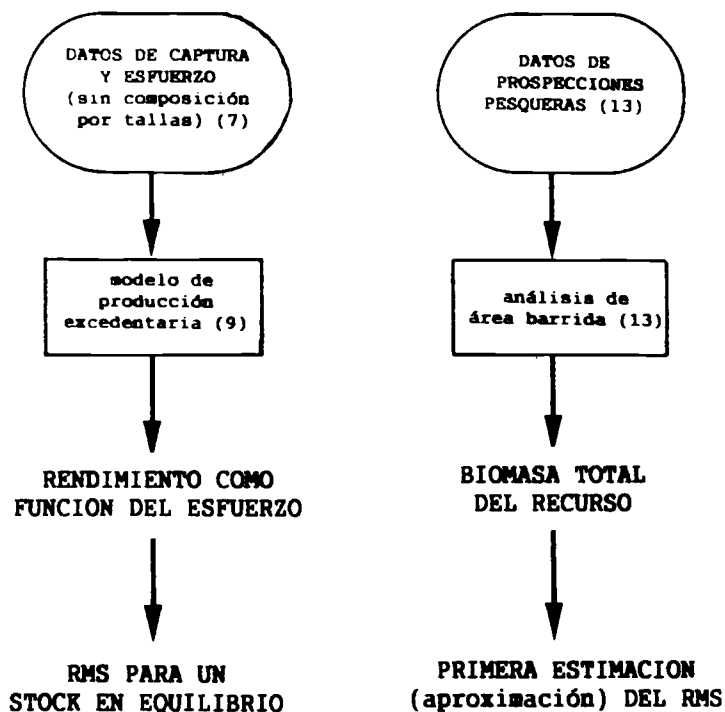


Fig. 1.8.1B Organización de este manual (Métodos holísticos).

*) Se han utilizado los siguientes símbolos en las figuras 1.8.1A y 1.8.1B:



: Datos de entrada o hipótesis



: Procesamiento de datos con un determinado modelo

texto no enmarcado : Salida de una fase de procesamiento de datos; los datos de salida de una fase sirven de datos de entrada para la fase de procesamiento siguiente
LETRAS MAYUSCULAS

(n) : Las cifras entre paréntesis remiten al capítulo en que se trata la teoría pertinente



: Flujo de datos

frecuencias de tallas, ponderándolas para tener en cuenta la captura total, utilizando los datos de los desembarques totales. Estos métodos se llaman “*análisis de cohortes*” o “*análisis de población virtual*” (APV). Comparados con los métodos de curvas de captura, proporcionan unas estimaciones más seguras de los parámetros y unas predicciones más confiables de la futura pesquería. Los procedimientos de muestreo para obtener los datos de entrada se examinarán en el Capítulo 7, como se indicó antes en relación con el crecimiento.

La teoría general de los procesos de muerte, el “*modelo de extinción exponencial*”, los “*métodos de curvas de captura*” y algunos otros métodos con exigencias de datos similares o con datos limitados se tratarán en el Capítulo 4. A partir del análisis de las curvas de captura se obtiene una estimación de la mortalidad total que, combinada con los parámetros de crecimiento y mortalidad natural, permite llegar a algunas conclusiones sobre el estado actual del stock y su potencial. Este análisis se efectúa con “*el modelo de rendimiento por recluta de Beverton y Holt*”, que se expone en el Capítulo 8. El resultado final es el “*rendimiento máximo sostenible por recluta*” (RMS/R).

Los métodos que se basan en la composición por tallas de la captura total, el análisis de cohorte y el APV se examinan en el Capítulo 5. Los resultados obtenidos del análisis de cohorte (o APV) son estimaciones del tamaño absoluto del stock y de la mortalidad por pesca para cada grupo de tallas. Estos resultados se utilizan para predecir la biomasa del stock y los niveles de rendimiento, utilizando los “*métodos de Thompson y Bell*”, que también se describen en el Capítulo 8. El resultado final es una estimación del RMS (absoluto).

En esta presentación se ha considerado sólo la regulación del esfuerzo de pesca como instrumento para el manejo de las pesquerías. Sin embargo, hay otros instrumentos, uno de los cuales es la selectividad del arte de pesca. Por ejemplo, utilizando una abertura o luz de malla más grande en el copo de la red de arrastre se reduce la mortalidad de los peces jóvenes, lo que aumenta la captura de ejemplares más viejos, más grandes y de mayor valor. En el Capítulo 6 se examinan los efectos de la “*selectividad del arte*”.

En todos los capítulos mencionados hasta ahora se presenta la teoría en su forma más simple, es decir, se consideran sólo un stock de peces y un tipo de embarcación pesquera. En realidad, difícilmente existen pesquerías en que se capture una única especie con un solo tipo de embarcación. En la mayoría de los casos se trata de capturas de especies múltiples realizadas por una variedad de embarcaciones diferentes. En teoría, no se crea ningún problema importante si los modelos analíticos se amplían para que abarquen los casos de multiespecies/multiflotas, como se demuestra para el modelo de Thompson y Bell en el Capítulo 10. En este capítulo se estudian también brevemente otros aspectos de la evaluación de especies múltiples. De esta forma hemos llegado al final de la Parte A del diagrama de flujo.

Parte B: métodos holísticos

Esta parte del diagrama de flujo es menos complicada, ya que describe métodos más simples. En el Capítulo 9 se presentan los “*modelos de producción excedentaria*” y en el Capítulo 13, el “*método del área barrida*”.

Los Capítulos 12, 14 y 15 no se han incluido en este diagrama. El Capítulo 12 trata sobre la relación entre el stock y el reclutamiento - el problema entre una posible relación entre el reclutamiento y el tamaño de la población progenitora, se examina en forma de ensayo y no sugiere en forma particular ningún modelo para su aplicación práctica. El Capítulo 14 entrega un recuento de los modelos utilizados para la evaluación de los stocks de peces, basados, entre otros aspectos, en este mismo diagrama (Fig. 1.8.1). El Capítulo 15 describe brevemente algunos paquetes de programas para microcomputadores: el llamado paquete LFSA (Length-based Fish Stock Assessment) (Sparre, 1987), el paquete COMPLEAT ELEFAN (Compleat ELEctronic LEngth Frecuency ANalysis) (Gaynilo *et al.*, 1988) y el paquete FISAT (FAO/ICLARM Stock Assessment Tools) que cubre todos los modelos. Otros programas desarrollados por la FAO o en estrecha cooperación con este organismo, son también descritos brevemente en este capítulo.

1.9 OTRAS LECTURAS

Como el alcance de este manual se limita principalmente a los métodos y a sus aplicaciones, es aconsejable complementar los conocimientos que se adquieran con la lectura de otros textos y manuales sobre la evaluación de poblaciones y la biología de los recursos más importantes. El Capítulo 16 contiene una bibliografía de varias publicaciones recientes, que serán de gran utilidad para conocer mejor los problemas relativos a la evaluación de stocks. Así, por ejemplo:

- 1) La relación entre el manejo y la evaluación de los stocks (Pauly, 1979 y Gulland, 1988).
- 2) La biología y la evaluación de los camarones (García y Le Reste, 1981; Gulland y Rothschild, 1984; Penn, 1984; García, 1985; Rothlisberg *et al.*, 1985; Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 1987, y Dall *et al.*, 1990).
- 3) La biología y la evaluación de los cefalópodos y otros invertebrados (Caddy, 1983, 1983a y 1989).
- 4) Cartografía de recursos (Caddy y García, 1986 y Butler *et al.*, 1986).
- 5) Los atunes (Sharp y Dizon, 1978; Kleiber *et al.*, 1983; I-ATTC, 1984 y Hunter *et al.*, 1986).
- 6) La migración (Harden Jones, 1968, 1984 y Oxenford y Hunte, 1986).
- 7) Regulación y especialización de las poblaciones marinas (Sinclair, 1988).

Los diversos métodos presentados en este manual se utilizaron directa o indirectamente con los paquetes computacionales LFSA y COMPLEAT ELEFAN en los cursos de capacitación FAO/DANIDA, donde los participantes procesaron su propia información. Los resultados de los análisis y los datos de entrada fueron publicados (Venema *et al.*, 1988) con el fin de proporcionar más ejemplos de la aplicación de los métodos de evaluación de poblaciones a los recursos tropicales. En algunos casos las publicaciones demuestran claramente las limitaciones de los conjuntos de datos y de los métodos utilizados, pero también hay varios ejemplos de aplicaciones logradas de métodos que hasta ahora rara vez se han utilizado en zonas tropicales.

Nuevos libros de texto sobre la evaluación de stocks de peces son escasos, por lo que llamamos su atención para que consulte los libros de Hilborn y Walters (1992) y Brêthes y O'Boyle (eds.) (1990). Este último está parcialmente basado en una versión anterior de este mismo manual.

Un resumen de fácil comprensión de las variadas aproximaciones disponibles para la utilización de las frecuencias de tallas en la evaluación de stock fue preparado por J.A. Gulland y A.A. Rosenberg (1992). Este documento constituye la última contribución de John Gulland a la Ciencia Pesquera, el cual debería emplearse en conjunto con este manual o como un complemento del mismo.