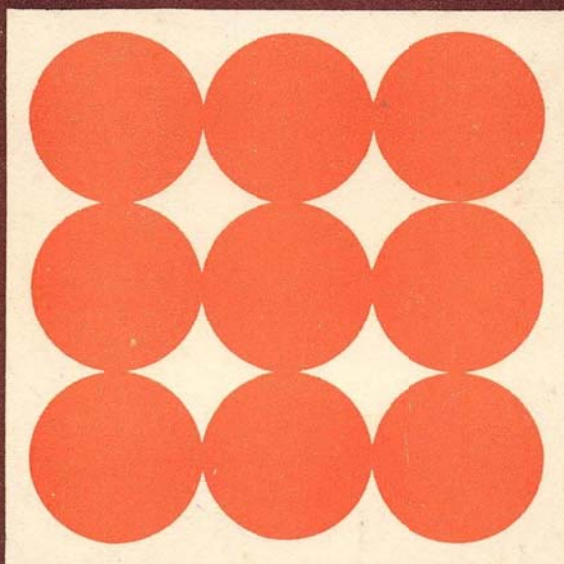




INSTITUTO NACIONAL DE PESCA
INFORMACION

**ANALISIS MATEMATICO DE POBLACIONES
PESQUERAS / compendio para uso práctico**

México, 1975



TAKEYUKI DOI:

ANALISIS MATEMATICO DE POBLACIONES
PESQUERAS. COMPENDIO PARA USO PRACTICO

Cita bibliográfica del original en inglés: Doi, Takeyuki. Outline of mathematical analysis on fish populations for practical use in front. Tokyo, Japan, 1972

Traducción, revisión y adaptación de ilustraciones:

René Márquez Millán y
Dilio Fuentes Castellanos

Colaboraron en la traducción:

Esperanza Kasuga Osaka
Oscar Pedrín Osuna
Sara de la Campa Jerez
Alejandro Villamar Calderón
F. A. Villanueva Osuna
Susana Sánchez González

Distribución

Exclusiva para el personal técnico del Instituto Nacional de Pesca e instituciones similares del país y Escuelas Superiores de Educación Pesquera.

Cita bibliográfica

Doi, Takeyuki. Análisis matemático de poblaciones pesqueras. 1975. Compendio para uso práctico. Inst. Nal. de Pesca. INP/SI:ml2

CONTENIDO

	Página
Presentación	1
Prólogo	2
1. Cómo avanzar en el análisis matemático del estudio de poblaciones	3
2. Desarrollo de la planificación	3
2.1 Diagrama de barras	3
2.2 Diagrama de flujo	4
2.3 PERT y diagrama de flechas	4
2.4 Relación general de estudios de población, ejemplificados con un diagrama de flechas	8
2.5 Investigación interdisciplinaria	8
3. Temas que requieren aclaración anticipada	10
3.1 Identificación de la unidad de stock	10
3.2 Determinación de edad	10
3.2.1 Caracteres para determinar la edad	10
3.2.2 Claves de edad-longitud/peso	11
4. Datos y estadísticas para el análisis de población	12
4.1 Estadísticas pesqueras	12
4.1.1 Captura	12
4.1.2 Esfuerzo pesquero	13
4.2 Estadísticas biológicas	13
4.2.1 Distribución de peso/longitud	14
4.2.2 Composición por edades	14
4.3 Datos de experimentos de marcado	14
4.4 Datos obtenidos por observación directa o rápida	15
4.5 Otros	15
4.5.1 Investigación de huevos desovados	15
4.5.2 Investigación de juveniles de peces	15
4.5.3 Madurez y fecundidad	15
4.6 Estudio basado en los métodos de muestreo	16
5. Fórmula fundamental en la dinámica de poblaciones de peces	16
5.1 Representación de las condiciones de la población	16
5.1.1 Identidad de la población (qué)	16
5.1.2 Área de distribución (dónde)	16
5.1.3 Épocas de migración (cuándo)	16
5.1.4 Abundancia (cuánto)	16

5.1.5 Ocasión (cómo)	16
5.2 Factores de variación (porqué)	17
5.3 Modelo	18
5.3.1 Importancia del modelo	18
5.3.2 Clasificación de los modelos	18
5.3.3 Acción cruzada en la discusión del modelo	19
5.3.4 Retroalimentación	19
5.4 Fórmula fundamental	19
5.4.1 Conceptos básicos	19
5.4.2 Cuantificación	21
5.4.3 Fórmula fundamental .- I Sobrevivencia y reproducción	21
5.4.4 Fórmula fundamental .- II Propagación General	21
5.4.5 Estados transitorio y estacionario	22
5.4.6 Captura	22
5.5 Solución de un modelo simple	23
5.5.1 Cuando los parámetros son constantes	23
5.5.2 Cuando los parámetros son variables	26
5.6 Intensidad total efectiva de pesca e índice relativo de abundancia	26
5.6.1 Estandarización del esfuerzo pesquero-por eficiencia del arte de pesca	26
5.6.2 Estandarización del esfuerzo pesquero-por condiciones ambientales	27
5.6.3 Intensidad total efectiva de pesca e índice relativo del tamaño de la población	27
5.7 Ley para el crecimiento del cuerpo de un pez	29
5.7.1 Principio del crecimiento (metabolismo)	30
5.7.2 Ajuste de la curva de la ley del crecimiento	31
5.7.3 Práctica y sencilla curva de crecimiento	31
5.7.3.1 Lineal	31
5.7.3.2 Exponencial	32
5.7.3.3 Saturada	32
5.7.3.4 Sigmoidal	32
5.7.4 Ley del crecimiento de la longitud del cuerpo	33
5.7.5 Relación peso-longitud	33
6. Análisis primario	33
6.1 Notaciones de los parámetros poblacionales usados en la dinámica de las pesquerías	34
6.2 Principios para obtener los parámetros de la población	34
6.3 Cómo estimar la composición por edades	35

6.3.1	Determinación de la edad de todos los individuos de la captura	35
6.3.2	Determinación de la edad de los peces de una muestra de la captura	35
6.3.3	A partir de la clave de edad-longitud/peso.	35
6.4	Tasa de sobrevivencia S y coeficiente de mortalidad total Z	36
6.4.1	Método de la edad promedio	36
6.4.2	Regresión logarítmica	39
6.4.3	Estimación a partir de la distribución exponencial	40
6.4.4	Búsqueda de las clases anuales en el stock	41
6.5	Coeficiente de mortalidad natural M	41
6.5.1	Composición por edades de un stock virgen	41
6.5.2	Separación a partir de la mortalidad total	41
6.6	Coeficiente de mortalidad por pesca F y tasa de explotación E	42
6.6.1	Separación a partir de la mortalidad total	42
6.6.2	Recuperación de datos con los experimentos de marcado	42
6.6.3	Cuando el tamaño de la población se estima por otros métodos específicos	42
6.7	Mecanismos de reproducción	42
6.7.1	Peces maduros y reclutamiento	43
6.7.2	Proceso de sobrevivencia en peces juveniles	43
6.7.3	Fecundidad y reproducción	45
6.8	Disponibilidad por edades en los campos de pesca (se omite)	46
7.	Estimación del tamaño de la población	46
7.1	Abundancia en números absolutos	46
7.2	A partir de la intensidad de pesca	46
7.3	A partir de experimentos de marcado	47
7.4	A partir del mecanismo de reproducción	47
7.5	Por estimación directa	47
7.6	Por transformación del índice relativo de abundancia	48
7.7	Análisis por medio del índice de densidad de poblaciones	48
7.8	Fenómenos transitorios de la abundancia	50
7.9	Variación de la abundancia durante la temporada de pesca	51
7.10	Sumarización de las estimaciones a través de diversos métodos	52
8.	Manera de pensar sobre el análisis secundario	52
8.1	Propósitos del estudio de poblaciones	52
8.2	¿Cómo debe considerarse la dinámica de poblaciones?	54
8.3	Ciclo de vida	54

8.4 Variación de la abundancia	54
8.4.1 Reproducción	54
8.4.2 Mortalidad natural	54
8.4.3 Pesquería	54
8.5 Nivel óptimo de la población	54
9. Diagnósis	54
9.1 Rendimiento sostenible	56
9.1.1 Solución en una curva sigmoideal	56
9.1.2 Solución que considera la composición por edades	57
9.1.3 Captura actual sostenible	59
9.2 Rendimiento máximo sostenible	62
9.3 Evaluación del estado actual de una población	62
9.4 Utilización razonable de reclutas	63
9.5 Método rápido de diagnóstico	65
10. Administración de la pesquería	67
11. Predicción de capturas	68
11.1 Elementos de la captura y clasificación de los métodos de predicción	68
11.2 Método de correlación	69
11.3 Método de series de tiempo	71
11.4 Método lógico (método dinámico)	71
11.5 Método analógico	73
11.6 Diagrama de flechas para la predicción	74

APENDICE I. GUIA BASICA PARA LA ESTADISTICA TEORICA.

	Página
1. Campos de la Estadística Teórica	76
2. Distribución del muestreo	76
2.1 Distribución normal.	76
2.2 Arreglo del muestreo usando la distribución normal	77
2.3 Distribución de F	78
2.4 Distribución exponencial	78
3. Teoría del muestreo	79
3.1 Muestreo al azar	79
3.2 Muestreo simple al azar	80
3.2.1 Estimación de la suma total X	80
3.2.2 Estimación de la media $\bar{x}$	80
3.2.3 Estimación de la proporción p	80
3.2.4 Decisión del tamaño de la muestra n	80
3.2.5 Precisión deseada y precisión lograda	81
3.3 Aplicación a experimentos de marcado	82
APENDICE II. BIBLIOGRAFIA	85
APENDICE III. EJERCICIOS Y EJEMPLOS	87

El número del ejercicio corresponde con el símbolo (#) en el texto

PRESENTACION

El Dr. Takeyuki Doi es Jefe de Planeación de Investigación y de la División de Coordinación del Laboratorio Regional de Investigación Pesquera de Tokai, prestigiosa institución del Japón. Como tal, es responsable del asesoramiento y conducción de importantes proyectos de investigación pesquera. Con su amplia preparación Físico-matemática, después de la Segunda Guerra Mundial ha trabajado cada vez más en el campo de la Dinámica de Poblaciones Pesqueras, habiendo hecho importantes aportaciones, reconocidas internacionalmente, en el campo de la metodología matemática aplicada a esta disciplina científica.

También es miembro de la Comisión Internacional Ballenera y entre sus investigaciones predominan las referidas a estos cetáceos.

A principios de 1974, el Dr. Takeyuki Doi estuvo en nuestro país, invitado por el Gobierno de México dentro del marco de la política de colaboración científica y tecnológica entre México y Japón. En esa ocasión su viaje estuvo auspiciado por la agencia japonesa denominada Overseas Technical Cooperation Agency (O.T.C.A.), ahora Japan International Cooperative Agency (J.I.C.A.) y dedicó todo su tiempo (90 días) al Instituto Nacional de Pesca, impartiendo un curso intensivo de 100 horas y asesorando a varios programas de investigación del mismo.

La presente edición reúne el material empleado en el curso, bajo el título de "ANALISIS MATEMATICO DE POBLACIONES PESQUERAS. COMPENDIO PARA USO PRACTICO" y obedece al interés de poner al alcance del mayor número de elementos del Instituto, en especial de personal técnico de provincia, una serie de métodos y recomendaciones prácticas que, sin pretender ser un tratado de Dinámica de Poblaciones y mucho menos de Biología Pesquera, facilite la atención de problemas cotidianos de las investigaciones o, al menos, despierte el interés sobre esta forma de estudiar las pesquerías.

PROLOGO

El número de estudiantes extranjeros que desean estudiar técnicas matemáticas para el análisis de poblaciones ha ido aumentando año con año. Esto se debe a dos razones: que los países en desarrollo han logrado programas de explotación de sus recursos pesqueros en grado tan significativo que han tenido necesidad del procesamiento de datos, y a que el incremento en la administración de las pesquerías ha llegado a ser globalmente importante, no sólo para la conservación de los recursos marinos en un nivel óptimo sino para la elaboración de tratados internacionales y en el planteamiento de soluciones, sobre bases científicas, a los problemas de las pesquerías.

De la observación de esta demanda surgió la necesidad de editar este breve instructivo para uso práctico inmediato en la solución de los problemas actuales de poblaciones. Para facilitar este propósito se intentó una escritura accesible para todos, para ser leído en cualquier lugar y en cualquier tiempo, sin discusiones avanzadas ni teorías profundas.

Teorías generales para el estudio matemático de problemas sobre población se indican sistemáticamente en este trabajo, haciendo especial mención de los siguientes puntos:

- 1) Cómo planificar
- 2) Qué clase de información es necesaria y cómo puede obtenerse
- 3) Qué métodos o procesos se hace necesario desarrollar en el análisis matemático
- 4) Cuáles son los propósitos de los estudios de población y qué conclusiones u objetivos se derivan del análisis científico

Se espera que este esquema general, dentro del cúmulo de razonamientos matemáticos y procedimientos prácticos de técnicas llegue y sea útil a las personas interesadas en el estudio de los recursos acuáticos vivientes.

Takeyuki DOI
Jefe, Planeación de Investigación
y División de Coordinación

Tokyo
Tokai Suisan Kenkyusyo
(Laboratorio Regional de Investigación Pesquera de Tokai)

Septiembre 27, 1972.

ANALISIS MATEMATICO DE POBLACIONES PESQUERAS. COMPENDIO PARA USO PRACTICO

Takeyuki DOI

1. COMO AVANZAR EN EL ANALISIS MATEMATICO PARA EL ESTUDIO DE POBLACIONES

Hay tres campos teórico-matemáticos para la investigación y análisis de problemas de los recursos pesqueros. El primero se refiere a cómo coleccionar datos estadísticos de manera rápida y con precisión suficiente para las investigaciones científicas. El segundo, a cómo calcular los parámetros de la población por medio del análisis de los datos colectados. Y el tercero, a cómo obtener información científica para hacer la diagnosis de las condiciones actuales de la población, predicción de futuras capturas y medidas administrativas para la pesquería. Estos pasos para alcanzar la meta final, en los problemas de población y pesquerías, son procesos típicos en el progreso del análisis matemático de la población.

Además, es conveniente enfatizar la importancia de la planificación y programación al iniciarse los trabajos de investigación, si se pretende lograr resultados satisfactorios.

2. DESARROLLO DE LA PLANIFICACION

2.1 Diagrama de barras

Para controlar las condiciones de avance del trabajo, ordinariamente usamos un diagrama de barras. En un diagrama de barras, los temas de cada tarea se escriben en la primera columna de la izquierda y los periodos en la línea superior. Con trazos y barras negras horizontales se esquematiza para cada actividad el tiempo inicial y la distribución del tiempo programado. Bajo estas líneas y barras negras, se representan en rojo las actividades realizadas para facilitar la confrontación en el esquema. El diagrama de barras debe ser muy simple, para hacer fácilmente comprensibles los progresos en cada tarea. Para pequeños proyectos, el diagrama de barras es suficiente para administrar el plan elaborado previamente, pero debe comprenderse que no abarca todos los detalles previos visibles en la planificación y administración.

Muchos de los trabajos involucrados en la investigación y el análisis no son independientes, sino que están relacionados entre sí de mane-

ra compleja. En un diagrama de barras, sin embargo, cada trabajo es tratado como independiente, ya que en éste es imposible incluir las interrelaciones entre los trabajos o tareas, ni las influencias de unos sobre otros. De acuerdo con esto, cuando en el análisis surgen diferencias entre la situación real y la del esquema, resultan difíciles las comparaciones precisas y adecuadas. Los juicios pueden ser hechos de acuerdo con las experiencias. En la sistemática y en los grandes proyectos de investigación, no es tan fácil hacer comparaciones y resolver siempre favorablemente la concordancia entre la experiencia y el proyecto.

2.2 Diagrama de flujo

Un diagrama de flujo es un esquema de los procesos necesarios para la ejecución de programas de computación electrónica y son muy usados en los planes de investigación. La figura 1 muestra un ejemplo de diagrama de flujo de un proceso diseñado para detectar diferencias o errores entre datos que serán sometidos a computación electrónica y los datos crudos originales. Los temas de trabajo se representan por rectángulos  y los juicios o decisiones, por rombos .

2.3 PERT y diagrama de flechas

Ciertos trabajos previstos en un proceso, tales como series de análisis de datos combinados, prospección, colecta de datos, investigación, etc. no son independientes, sino complejamente interrelacionados. Si tratáramos los problemas sin tomar en cuenta estas interrelaciones y sus influencias, ello nos conducirá a resultados erróneos. Por tanto, para relacionar las tareas comprendidas en un plan de investigación, se recomienda utilizar un diagrama de flechas, de acuerdo a la técnica adoptada en PERT (Program Evaluation and Review Techniques). Como el diagrama es diseñado para conducir el plan de trabajo, todas las actividades o eventos deben clasificarse e interrelacionarse de manera clara y comprensible, según su necesidad, oportunidad e importancia, para facilitar su realización.

El sistema PERT se desarrolló en 1956 como un método de control en la construcción de submarinos portadores de cohetes Polaris. De aquí en adelante, esta técnica se introdujo en los campos de construcción e investigación, especialmente para proyectos que no es posible repetir. Debido a que de esta forma muchas tareas pueden relacionarse y ordenarse, puede decirse que es un método muy útil para acortar los períodos de trabajo, así como para reducir sus costos.

En la utilización del PERT, necesariamente el primer paso es la representación de un diagrama de flechas, en el que muchas tareas involucradas en el proyecto, se encuentran conectadas como en una red. Esta

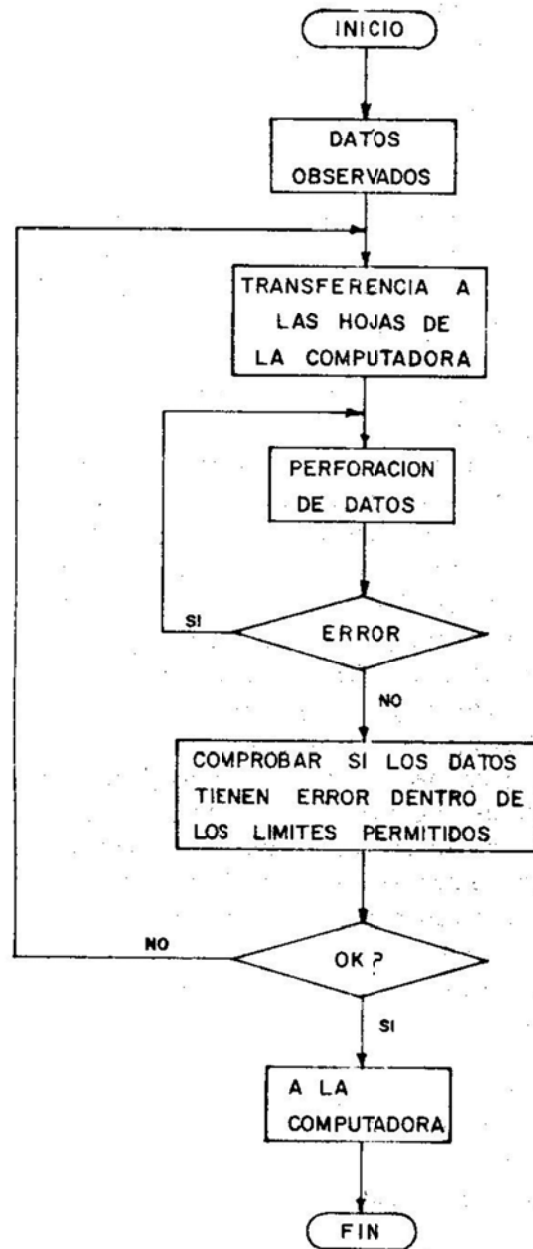


Fig. 1 Diagrama de flujo del proceso previo a la computación, a partir de datos observados

red es de hecho un diagrama de flujo. Un proyecto se divide en sus tareas componentes y se traza después en una red de diagrama de flechas; las series de eventos pueden relacionar las tareas de manera que indiquen el aspecto total del proyecto. La figura 2, muestra un diagrama de flechas para juzgar el efecto de liberar juveniles de camarón "kuruma" (Penaeus japonicus).

Como se describió en el párrafo anterior, se comienza a partir de la representación gráfica de la red, aplicando el sistema PERT a los estudios prácticos. Las reglas de la técnica se explican en el ejemplo de la figura 2. Una flecha representa una unidad de trabajo (actividad). Se considera que cada tarea puede ser estimada, en cuanto a período y costo necesario de trabajo, independientemente de las demás. El símbolo circular  llamado evento (o nodo) es un punto de tiempo que conecta varias tareas. La cola de la flecha indica el momento de iniciación de una tarea y la punta el momento en que se termina. Existe la premisa importante de que una tarea no puede comenzarse a menos que la anterior (indicada por la flecha precedente) haya sido concluida en su totalidad. Como se mostró en la figura 2, el número escrito para cada evento en el círculo de la cabeza de la flecha es mayor que el del círculo de la cola de la flecha. Una flecha punteada indica "tarea figurada". Si hay dos o más tareas que comiencen en el mismo evento y terminen simultáneamente en otros, se requiere unir estos últimos con una línea punteada o "tarea figurada". El período de trabajo en una tarea figurada es cero. Después de terminar la representación de la red, debe escribirse debajo de cada flecha el período necesario para completar la tarea. Sumando períodos sucesivos, podemos obtener el tiempo total necesario para completar el proyecto. Como se obtienen valores diferentes conforme a las distintas rutas de la red, el valor mayor de la suma de períodos que incide en un evento es adoptado como el tiempo de iniciación más corto para el siguiente. Así, las cifras escritas sobre el círculo corresponden al tiempo calculado para la mas temprana iniciación. En la investigación sobre el efecto de liberación de juveniles de camarón "kuruma" se considera un mínimo de 340 días para completar todo el proyecto. Para poder concluirlo dentro de este período, algunas tareas están bajo el mínimo posible de tiempo y otras tienen un escaso margen de tiempo extra. Dicho tiempo de tolerancia disponible se llama "tiempo flotante" y llega a ser muy importante en la administración del proyecto.

Enseguida, debe calcularse el tiempo de iniciación más tardío. Este se obtiene substrayendo los períodos necesarios sucesivamente hacia atrás a partir del círculo final. Los valores se escriben debajo de los círculos. Donde dos o más flechas conducen a un mismo evento, se obtienen valores diferentes de tiempo. El menor deberá ser tomado como el último tiempo de iniciación. La diferencia entre el mayor y el me-

nor tiempo de iniciación, es un tiempo flotante o tiempo de tolerancia disponible, factible de utilizar si se considera necesario.

Como se indica en la figura 2, puede encontrarse la trayectoria en la cual el tiempo más temprano de iniciación es igual al tiempo de iniciación más tardío. Esta trayectoria se conoce como la ruta crítica y en el ejemplo se muestra con líneas gruesas. En la ruta crítica no hay tolerancia para tiempo sobrante y, por tanto, si cualquier tarea no se cumple dentro del período previsto, el tiempo total para completar el proyecto se prolonga. Por consiguiente, la administración del tiempo en las tareas de la ruta crítica debe tender no sólo a la realización del proyecto conforme fue planeado, sino a acortar su duración total.

Cuando el proyecto en operación se sitúa en la realidad, a menudo resulta difícil seguir los trabajos en la forma prevista, porque surgen accidentes o condiciones inestables que los interrumpen o alteran. Generalmente, sin el uso del diagrama de flechas no se advierten los primeros retrasos sino hasta después de un tiempo considerable. Al adoptar el sistema PERT, pronto se detectan las diferencias entre el plan y el progreso real del trabajo. Además, puede comprobarse fácilmente la necesidad de otras personas o gastos, establecer adecuadamente planes alternativos para los retrasos, etc. En esto residen los mayores éxitos de esta técnica de planificación.

2.4 Relación general de estudios de población, ejemplificados con un diagrama de flechas.

La figura 3 muestra un diagrama de flechas generalizado para los estudios de poblaciones, del cual cada tarea individual señalada se explica en los siguientes capítulos.

2.5 Investigación interdisciplinaria

La investigación de los recursos marinos requiere la participación de ciencias conectadas con dos o más campos diferentes y/o complementarios y a eso se llama investigación interdisciplinaria. Este tipo de investigaciones se hacen cada vez más necesarias y urgentes para el desarrollo de las ciencias y la atención de sus complejos problemas. Podrán llegar más rápida y efectivamente a las soluciones de estos problemas un grupo de personas con conocimientos sobre diferentes ciencias que especialistas de una sola disciplina. Mediante la acción cooperativa de un equipo heterogéneo de científicos, el trabajo se hace sistemático y ofrece la posibilidad de resultados espléndidos. Como los campos de investigación de las pesquerías son todos interdisciplinarios, no cabe esperar logros valiosos dentro de un solo campo de investigación. Hay que ser cuidadoso, sistemático no significa un estilo de or-

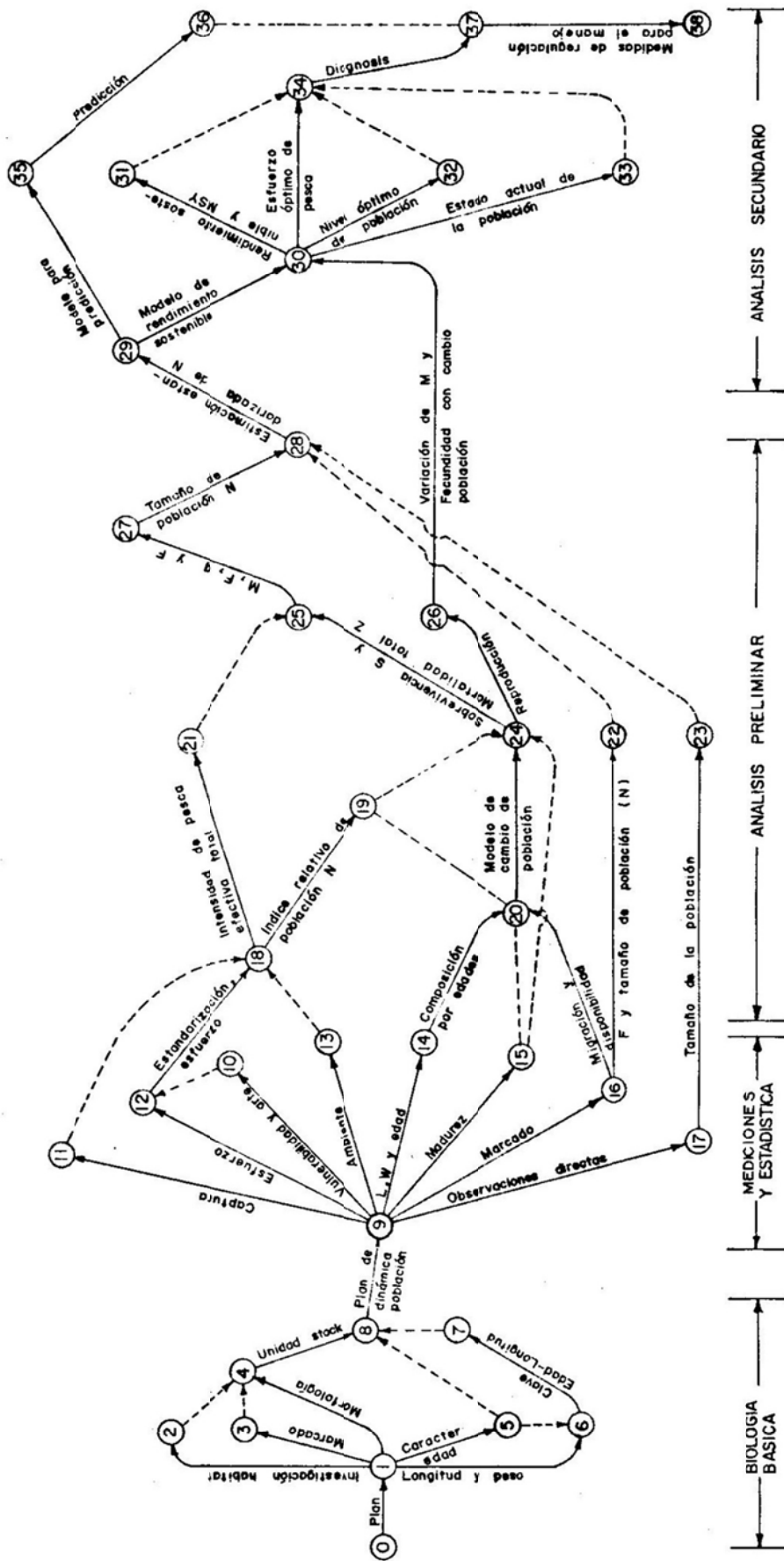


Fig. 3 Relación general de estudios de población en un diagrama de flechas, que indican no solo las conexiones entre cada trabajo sino también los procesos razonables para llegar a ellos.

ganización, sino hacer buen uso de la función de unidad en la organización. Es más factible alcanzar resultados brillantes con unos cuantos excelentes investigadores que con muchos investigadores de nivel medio.

3. TEMAS QUE REQUIEREN ACLARACION ANTICIPADA

Antes de iniciar la evaluación de un stock, es necesario aclarar algunos temas, de los cuales los dos más importantes son: la identificación de la unidad de stock y la técnica para determinar la edad. El primero se relaciona con la depuración de datos y el segundo es la condición para el empleo necesario de métodos ortodoxos en el análisis de poblaciones.

3.1 Identificación de la unidad de stock

¿Qué es una unidad de stock?. ¿Cómo puede definirse un stock local?. Es posible examinarlo desde varios puntos de vista de la ecología, tales como áreas de desove, distribución y migraciones. En el análisis se adoptan generalmente los siguientes métodos discriminatorios:

- 1) Experimentos de marcado
- 2) Caracteres morfológicos
- 3) Tipos sanguíneos
- 4) Patrones de distribución y migración
- 5) Parasitismo

3.2 Determinación de edad

3.2.1 Caracteres para determinar la edad

Lo más usado en la determinación de la edad es la observación directa de las marcas de crecimiento, de las diversas estructuras duras del organismo, como:

Escamas
Otolitos
Vértebras
Barbas de las ballenas
Tapón del oído en las ballenas
Dientes

Sin embargo, el número de marcas leídas no siempre coincide con la edad, es preciso convertir las lecturas a la edad calendárica (añadiendo un año por cada enero); al considerar el período de formación de la marca. Tomando en cuenta la temporada de desove, puede obtenerse la edad total. Se opina que es mejor adoptar la edad calendárica porque

las estadísticas de captura son registradas con el año del calendario y, además, las épocas de desove y los períodos de formación de marcas de crecimiento varían individualmente en los peces.

3.2.2 Claves de edad-longitud/peso

Frecuentemente no puede leerse directamente la edad en cada muestra examinada. Si se conoce la relación edad-longitud/peso, con base en observaciones previas, es posible estimar las edades de los peces a partir de mediciones de longitud o peso. En casi todos los casos de análisis poblacionales se requieren estas claves para obtener fácilmente la composición por edad. La Tabla 1 muestra la clave edad-longitud de "cachema" en Perú, donde puede observarse la edad a través de la lectura de otolitos. La longitud y el peso de los peces cambian continuamente; por consiguiente, las claves no deben tabularse para un año solamente, sino cada tres meses por lo menos.

TABLA 1. Correlación entre edad y longitud de la "cachema" (Sciaenidae) del Perú (10 de octubre a 12 de diciembre).

LONGITUD (cm)	EDAD (edad calendario)					
	2	3	4	5	6	7
18	3					
19	17					
20	11					
21	11					
22	1	1				
23		4				
24	1	5				
25		10				
26		4				
27		9	4			
28			4			
29			5			
30			4	1		
31			2	3		
32						
33				4		
34				4		
35					1	
36					1	
37						
38						1
39						1
40						1

4. DATOS Y ESTADISTICAS PARA EL ANALISIS DE POBLACION

El método de análisis que se elija debe estar de acuerdo a los datos disponibles y la exactitud de los resultados, determinada con el apego a la línea de investigación. Los datos básicos para el análisis poblacional son la captura y el esfuerzo pesquero y es la combinación de ambos lo que se conoce como estadísticas de captura o estadísticas pesqueras. En una etapa más avanzada del análisis llega a ser necesaria una información cualitativa y cuantitativamente más detallada, desglosada en tiempo y espacio, estudios biológicos sobre la unidad de stock, distribución de tallas, composición por edades, etc. Además, registros de experimentos de marcado y recaptura, estudios sobre huevos y larvas, registros de exploración pesquera realizados con aparatos hidroacústicos, observaciones visuales y otros datos más que son de suma utilidad para profundizar en el estudio poblacional.

4.1 Estadísticas pesqueras

Las estadísticas de captura y esfuerzo pesquero son esenciales en el estudio poblacional y su análisis debe emprenderse con base en la teoría del muestreo (ver Apéndice I), con el objeto de evitar sesgos y errores. En el Japón, aún si fuese introducida la teoría del muestreo, sería muy difícil obtener datos precisos y confiables, porque las pesquerías japonesas tienen ciertas características particulares como: 1) varias clases de empresas, 2) diferentes clases de artes y métodos de pesca, 3) pesquerías reducidas y muchos pescadores, 4) muchos puertos pesqueros, 5) gran variedad de especies de tamaños diversos, 6) inestabilidad en los desembarques y en las especies desembarcadas.

4.1.1 Captura

Es indispensable conocer la captura para el análisis de poblaciones. Dado que es el efecto combinado de la población explotada y la intensidad de pesca, la magnitud de la captura es considerada preliminarmente como una medida de la abundancia relativa. De acuerdo al propósito y al nivel de la investigación, los investigadores requieren diferente información sobre la captura. A veces es suficiente conocer la captura por arte, por mes y por área de pesca; pero cuando se requiere además captura por día y por tamaños, se hace necesario utilizar datos obtenidos en muestreos de los bancos pesqueros, en cooperativas de pescadores y en los barcos de investigación. De cualquier manera, se debe tratar de compilar no sólo datos de censos, sino también examinar las muestras para obtener una información confiable y significativa.

Aún a través de estadísticas aparentemente completas resulta difícil un conocimiento satisfactorio de la realidad. Por ejemplo, la cap-

tura de juveniles de "jurel cola amarilla" sembrados en corrales de cultivo es notificada oficialmente como de 30 millones, pero la captura real se estima en varias veces más. Esta notificación puede estar relacionada con problemas de administración o situación internacional, y no podemos negar que las estadísticas de algunas especies en particular pueden tener sesgos intencionales.

4.1.2 Esfuerzo pesquero

Se llama esfuerzo pesquero a la fuerza humana empleada en la captura, expresada en: número de barcos, dimensión total de las redes empleadas, número de pescadores, días u horas de trabajo, número de viajes, número de operaciones de pesca, efectividad de los métodos de pesca, capacidad de los aparatos de navegación, etc. En problemas de análisis de población esto es tan básico como el conocimiento de la captura. ¿Cuál debe ser el criterio para la elección de la condición de esfuerzo pesquero más efectivo que se ha de usar?. Este juicio depende de la relación entre esfuerzo y captura. Es fácil conocer el número de barcos pesqueros registrados, pero suele suceder que no todos participan en igual medida en las operaciones de pesca, por lo que resulta más conveniente obtener el número de barcos en operación.

Además, el tamaño y los equipos, entre los barcos, no son siempre los mismos. Por tanto es necesaria una información detallada, pero, querer abarcar todos los datos posibles no es siempre recomendable, ya que este es un esfuerzo tremendo e incongruente con la necesidad de salvar tiempo y esfuerzo.

4.2 Estadísticas biológicas

Una población de peces es una congregación de individuos con igualdad de caracteres en la misma unidad de stock. Así, frecuencias de longitud y peso, composición por edades, proporción de sexos, cuenta de vértebras, estado de madurez, contenido de grasa, contenido estomacal, fecundidad, huevos desovados, etc., son estadísticamente necesarios para el análisis de estas poblaciones. Tales estadísticas pueden obtenerse mediante muestras de peces, relativamente pequeñas, para lo cual se requiere introducir la teoría del muestreo. Algunos estudios de muestras deben proporcionar información detallada; por tanto debe realizarse por un experto y no se puede confiar a pescadores o colaboradores eventuales, lo que a veces hace difícil reunir una cantidad de muestras suficientemente sistemáticas. Por otra parte, es inevitable comprobar si la composición de la captura es la misma que la de la población de peces en el mar.

Hay tres métodos para estudiar la información biológica:

- 1) Estudio de las capturas comerciales en puerto
- 2) Estudios a bordo de barcos de investigación
- 3) Estudios a bordo de barcos pesqueros, por los mismos pescadores o por personal técnico

4.2.1 Distribución de peso/longitud

Para estimar la distribución peso/longitud de los peces, es conveniente realizar sistemáticamente el muestreo multivarado: por puerto pesquero, día/bote, caja, pez y así sucesivamente. De las mediciones de los peces, se obtiene la distribución peso/longitud. Las diversas variaciones espaciales y temporales de esta distribución en las congregaciones poblacionales proporcionan información acerca del crecimiento del cuerpo y las migraciones, así como los datos básicos para la elaboración de las claves edad-longitud/peso.

4.2.2 Composición por edades

Para conocer la composición por edades es preciso determinar la edad de los peces analizados, lo cual significa un trabajo considerablemente grande cuando se trata de leer marcas de crecimiento en gran cantidad de ejemplares y en varias especies. De acuerdo a las diferentes situaciones y características de las poblaciones marinas, actualmente se han establecido los siguientes métodos:

- 1) Determinación de edad en la captura total (en ballenas capturadas por balleneros japoneses)
- 2) Determinación de edad de todos los peces muestreados (en salmón del Pacífico). Este método requiere un tratamiento estadístico adecuado
- 3) Determinación de edad en una parte de los peces de la muestra
- 4) Mediante el uso de la clave edad-longitud/peso, explicada en el Capítulo 6

La composición por edades cambia con la tasa de sobrevivencia y el reclutamiento; por lo consiguiente, es información vital para conocer la tasa de sobrevivencia y la abundancia de reclutas.

(# 1)

4.3 Datos de experimentos de marcado

Los experimentos de marcado (captura-marcado-liberación-recaptura) son estudios necesarios para observar el movimiento espacial o temporal

de los peces. Los principales materiales para el marcado son los siguientes:

- 1) Marcas externas insertadas manualmente
- 2) Tubo tipo "spagueti"
- 3) Marcas metálicas aplicadas con pistola
- 4) Cortes en aletas
- 5) Tinción
- 6) Dieta especial con un material indicador

Los datos de tales experimentos son ampliamente usados en el estudio de crecimiento, migración, unidad de stock, tasa de explotación, estimación de abundancia y otros; pero debe siempre tomarse en cuenta la pérdida de marcas, que la conducta de los peces marcados puede variar respecto a los no marcados y asegurar cuál es la calidad de los informes de recaptura.

4.4 Datos obtenidos por observación directa o rápida

Generalmente, el tamaño de la población se estima indirectamente a través del análisis de la información colectada de la pesquería, estadísticas de captura, información biológica, datos de captura-recaptura, etc. Sin embargo, si fuese posible cualquier estimación directa como la visión humana o los registros ecosónicos, podrían eliminarse sesgos introducidos por métodos artificiales de medición. Esto es lo que se conoce como método directo. El método es particularmente útil como fuente de información sobre stocks no explotados o cuya captura ha sido prohibida, ya que en tales casos es imposible emplear métodos indirectos, por la inexistencia de capturas. Ejemplos de métodos directos son la detección visual de ballenas o de cardúmenes de peces pelágicos, los registros hidroacústicos y el uso de aparatos ópticos o telemétricos. La observación directa de las ballenas ha dado origen a un método práctico e importante en el desarrollo de la teoría matemática.

4.5 Otros

Los siguientes aspectos son de vital importancia, no sólo en la estimación de adultos oviposidores y reclutas, sino también en la evaluación del rendimiento máximo sostenible:

- 4.5.1 Investigación de huevos desovados
- 4.5.2 Investigación de juveniles de peces
- 4.5.3 Madurez y fecundidad

4.6 Estudio basado en los métodos de muestreo

Deben obtenerse datos estadísticos a través del estudio de la población, y del método de estudio adoptado depende si los datos obtenidos son suficientes y significativos para el análisis de los problemas poblacionales. Si los datos contienen algún sesgo, las conclusiones reales no pueden derivarse del análisis matemático y teórico. Es incorrecto tratar de hacer un análisis después de que los datos han sido colectados en desorden y sin un diseño adecuado del plan de investigación. Por el contrario, lo correcto es tomar datos exactos, adecuada y sistemáticamente, como corresponde al método analítico, es decir, el primer paso es la planificación.

La mayoría de los estudios pueden ser desarrollados de acuerdo a la teoría del muestreo, excepto los censos. Se pueden elegir algunas muestras de peces del total de la captura y medir longitud, peso y otros caracteres biológicos, como lectura de escamas. Ver Apéndice 1.

5. FORMULA FUNDAMENTAL EN LA DINAMICA DE POBLACIONES DE PECES

5.1 Representación de las condiciones de la población

5.1.1 Identidad de la población (qué)

Especies, unidad de stock (patrón de distribución), stock local (diferencias en áreas de oviposición y comportamiento), tamaños del cuerpo de los individuos, etapa de crecimiento y edad.

5.1.2 Area de distribución (dónde)

Ubicación en sentido vertical y horizontal, magnitud del área.

5.1.3 Epocas de migración (cuándo)

Epocas de reclutamiento, temporadas de buena pesca, fin de la temporada de pesca, épocas de dispersión.

5.1.4 Abundancia (cuánto)

Abundancia en número y/o en peso, densidad de población.

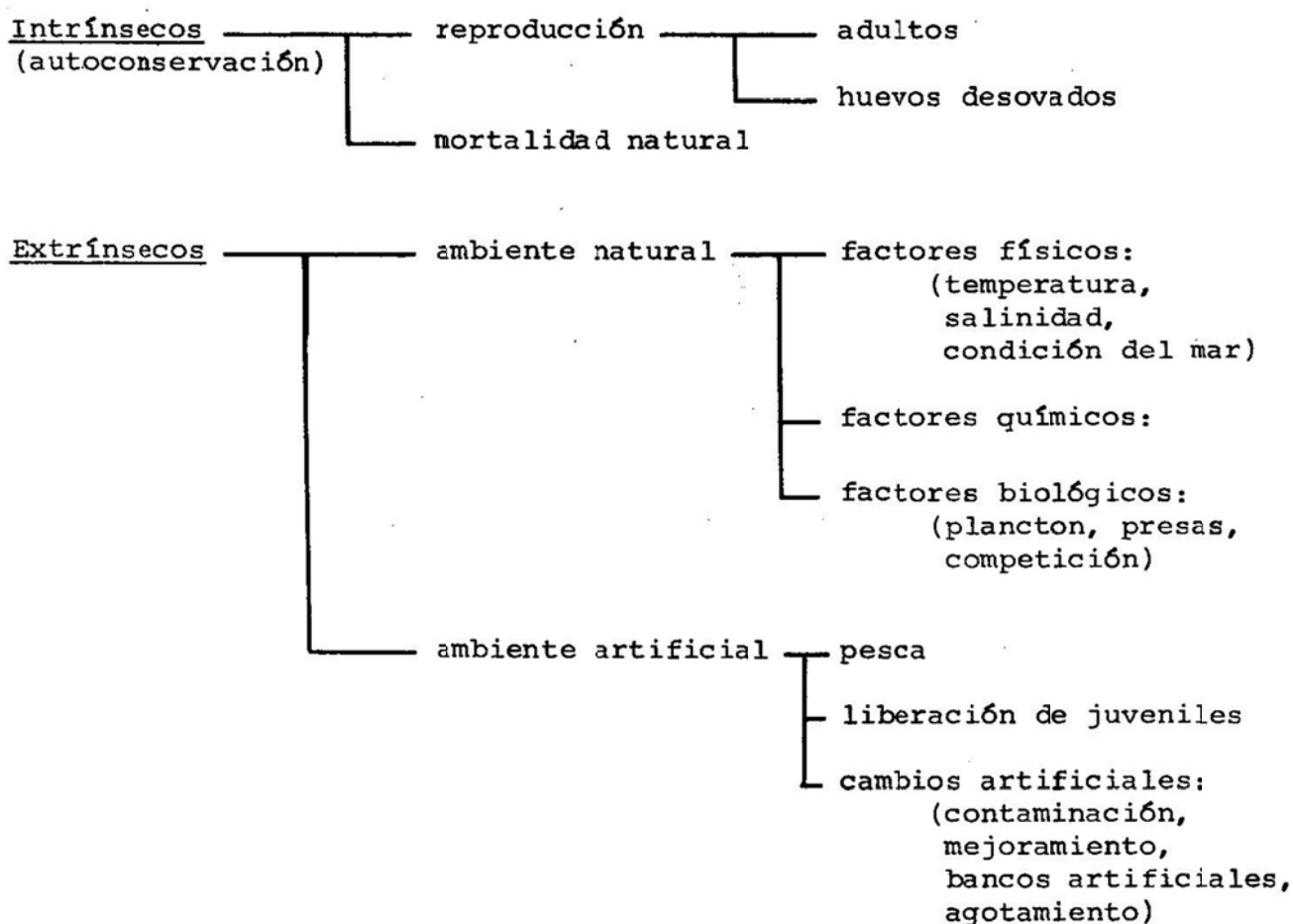
5.1.5 Ocasión (cómo)

Disponibilidad migratoria hacia las áreas de pesca, distribución espacial según variaciones en la densidad de población.

5.2 Factores de variación (porqué)

Las condiciones de la población, mencionadas en la sección anterior, cambian espacial y temporalmente de acuerdo a la influencia de ciertos factores intrínsecos y extrínsecos, como sigue:

FACTORES DE VARIACION



Los factores intrínsecos o de autoconservación son propios de las especies, y las poblaciones de peces conducen al ajuste de las condiciones naturales de sobrevivencia. Los factores extrínsecos o de acción externa están dados por las condiciones naturales del medio ambiente y las que derivan de la acción humana, en su interés por utilizar no sólo las poblaciones de peces sino las propiedades del medio acuático.

5.3 Modelo

5.3.1 Importancia del modelo

Para conocer y aprovechar los mecanismos de variación que, como se ha dicho, influyen espacial y temporalmente sobre las poblaciones de peces, se requiere el uso de modelos. Si se toma un modelo a la ligera, las soluciones que se obtengan carecerán del necesario apego a la realidad y, por tanto, no serán de utilidad práctica. Un modelo debe desarrollarse después de entender la fisiología y la ecología de los peces y considerar los factores ambientales necesarios.

5.3.2 Clasificación de los modelos

Al tratar matemáticamente un problema, es preciso recurrir a formulaciones matemáticas de acuerdo al establecimiento de un modelo; entonces se procede a resolver analíticamente la fórmula matemática. Para ello es usual seguir la clasificación de los modelos, que representada dicotómicamente es como sigue:

METODO	Sistema del Problema	
	Determinístico	Probabilístico
Determinístico		
Probabilístico		

La gran mayoría de los modelos adoptados en estudios de pesquerías son determinísticos-determinísticos. En el análisis práctico es imposible tomar en cuenta todos los factores y condiciones del modelo matemático. Igualmente, si bien puede establecerse la fórmula, no siempre es posible resolverla analíticamente; en tal caso, un método para resolver el problema es el uso de la simulación de un modelo probabilístico, aunque en el campo de la investigación pesquera es muy poco frecuente el uso de la simulación probabilística.

5.3.3 Acción cruzada en la discusión del modelo

Es imposible establecer un modelo que represente o describa perfectamente las fluctuaciones reales de una población. Algunos investigadores que gustan de la perfección al 100% dicen "por su simplificación, un modelo no representa el estado actual de la población". Por el contrario, investigadores afectos al practicismo suelen decir "no podremos resolver un modelo si introducimos muchas condiciones y factores". De acuerdo con estos puntos de vista, no es posible ninguna acción útil en la diagnosis, manejo y predicción. Sería tanto como "esperar que los puercos vuelen".

Sólo a los dioses se atribuye la posibilidad de la perfección. Pero como la Dinámica de Poblaciones es una ciencia aplicativa, es preciso establecer modelos mediante una simplificación adecuada.

5.3.4 Retroalimentación

Aun cuando sea posible la simplificación, no resulta sencillo construir un modelo delineando los objetivos. Las soluciones obtenidas mediante el modelo, deben ser comparadas con el estado real de la población; si se encuentran diferencias, es necesario examinarlas científicamente desde varios puntos de vista y después, para desarrollar un modelo más confiable, se debe retroalimentar la información, para lo cual se sigue la secuencia: planear-ejecutar-observar. Este ciclo asegura los avances de la investigación. La Fig. 4 muestra un ejemplo de retroalimentación mediante un diagrama de flujo.

5.4 Fórmula fundamental

5.4.1 Conceptos básicos

Una población de peces sufre cambios temporales de acuerdo con la reproducción (natalidad) que la incrementa y la mortalidad que la disminuye. Estas relaciones se describen típicamente de la manera siguiente:

- 1) El incremento o decremento de la población es igual al incremento por reclutamiento menos decremento por mortalidad natural y captura
- 2) El reclutamiento es igual a la abundancia de adultos por la tasa de reproducción

Estas son las fórmulas básicas de las variaciones de la población.

La reproducción y la mortalidad están influenciadas por presiones externas dadas por las condiciones ambientales. Las leyes que definen estas relaciones pueden ser obtenidas por correlación entre los factores ambientales y los parámetros poblacionales anteriores.

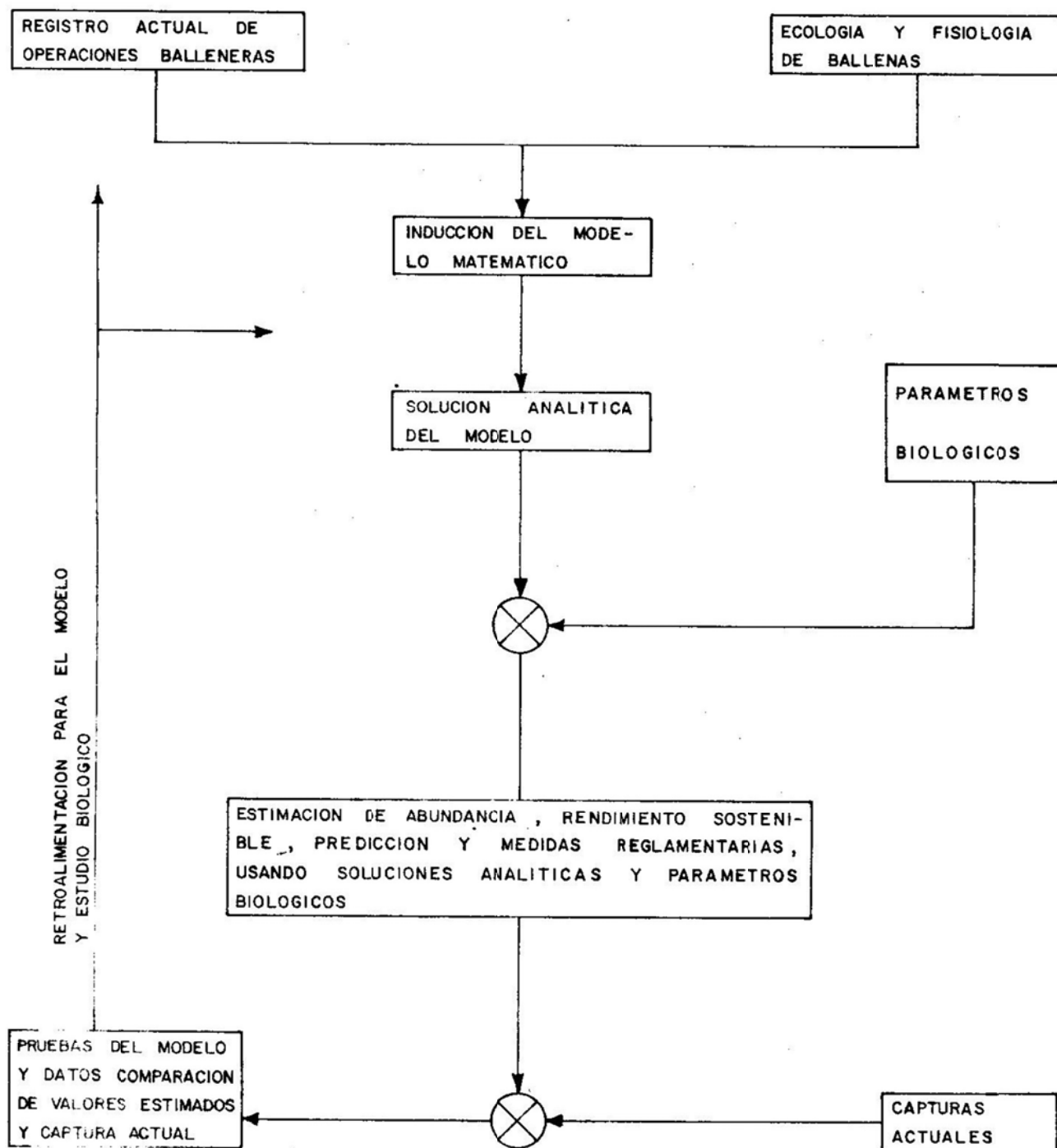


Fig. 4 Diagrama de flujo para el análisis de las poblaciones de ballenas.

5.4.2 Cuantificación

Los factores fisiológicos y ecológicos que influyen en las reacciones internas y externas pueden ser cuantificados, conocidas sus relaciones y éstas expresadas mediante ecuaciones matemáticas. Para ello, primero se desarrolla un modelo ecuacional que represente los cambios temporales de la población en relación con los factores ambientales. El siguiente paso se resuelve matemáticamente, bajo las condiciones de: especie-tiempo-lugar, con lo cual se hacen claros los patrones de cambio de la población.

5.4.3 Fórmula fundamental.- I Sobrevivencia y reproducción

Proceso de sobrevivencia

$$\frac{dN}{dt} = -(M + F)N \text{ ----- (1)}$$

donde,

N : tamaño de la población en número de individuos

M : coeficiente de mortalidad natural

F : coeficiente de mortalidad por pesca

Mecanismo de reproducción

$$R = K(A)A \text{ ----- (2)}$$

$$A = f(N) \text{ ----- (3)}$$

donde,

A : abundancia de adultos

K : tasa de reproducción

5.4.4 Fórmula fundamental.- II Propagación general

$$\frac{dN}{dt} = (\lambda - M)N \text{ ----- (4)}$$

donde,

λ : coeficiente relativo a la reproducción

$(\lambda - M)$ es un coeficiente de reclutamiento neto y es variable de acuerdo al tamaño de la población. Si $(\lambda - M)$ lo convertimos a $\mu(\nu - M)$, la ecuación (4) se transforma en:

$$\frac{dN}{dt} = \mu(\nu - N)N \text{ ----- (5)}$$

Si μ y ν se consideran constantes, la solución de la ecuación (5) es una curva sigmoïdal.

Las ecuaciones (4) y (5) se usan cuando no es posible analizar en forma separada la supervivencia y el mecanismo reproductor.

5.4.5 Estados transitorio y estacionario

Siendo x = edad y t = tiempo, los cambios en el tamaño de la población N están en función de x y t , o sea $N(x, t)$ como fenómeno transitorio. El caso específico en que $dN/dt = 0$, se considera como estacionario. En el presente análisis a menudo se asume como estacionario el tamaño de la población, aunque esto sería muy raro observarlo en las condiciones reales de las poblaciones de peces o de las pesquerías. Por tanto, hay que ser cuidadosos al aplicar los resultados analíticos a los problemas reales.

5.4.6 Captura

C , es la captura en número de individuos, durante el período $0 - t$ y se representa como:

$$C = \int_0^t FN dt \quad \left. \begin{array}{l} \\ \frac{dC}{dt} = FN \end{array} \right\} \text{----- (6)}$$

o bien,

Esta ecuación puede ser resuelta si se conoce el cambio temporal de F y N .

Y , es la captura en peso y se representa de la siguiente manera:

o bien,

$$\left. \begin{aligned} Y &= \int_0^t FNw dt \\ \frac{dY}{dt} &= FNw \end{aligned} \right\} \text{----- (7)}$$

5.5 Solución de un modelo simple

Como se mencionó en la Sección 5.3 (modelos), si se introducen muchos factores, resulta muy difícil resolver los problemas analíticamente. La fórmula más comúnmente usada en la evaluación de poblaciones se deriva de los modelos más simplificados. Esto significa que no debemos adaptar fórmulas a ciegas y por imitación, como fue muy común en el pasado; siempre se debe examinar desde el punto de vista de un modelo original.

5.5.1 Cuando los parámetros son constantes

En el caso más simple, todos los parámetros de las ecuaciones (1) a (5) son constantes.

Solución de la ecuación (1):

En la suposición de que M y F, en la ecuación (1) sean constantes, la solución es:

$$N = N_0 e^{-(M+F)t} \text{----- (8)}$$

Esta fórmula es usada con frecuencia en el análisis dinámico.

Cuando $N_{(t=1)}$ es la abundancia en la unidad de tiempo:

$$N_{(t=1)} = N_0 e^{-(M+F)}$$

o bien,

$$\frac{N(t=1)}{N_0} = S = e^{-(M+F)} \text{ ----- (9)}$$

donde,

S: tasa de sobrevivencia

Solución de la ecuación (2)

El ejemplo más simple de la ecuación (2) es:

$$R = KA \text{ ----- (10)}$$

donde,

K: constante

Esto significa que el reclutamiento es proporcional a la abundancia de los peces maduros. Sin embargo, los valores de K disminuyen según se incrementa A y de acuerdo a las limitaciones que imponen los factores espaciales. Este problema será explicado en el capítulo de la curva de reproducción.

Solución de la ecuación (3)

La ecuación (3) puede resolverse fácilmente si se conoce N y la edad de primera maduración.

Solución de la ecuación (4)

Si λ y M son constantes:

$$N = N_0 e^{-(\lambda-M)t}$$

donde,

N_0 : población inicial en el tiempo $t=0$. Si λ y M no son constantes, la solución se complica.

Solución de la ecuación (5)

Si consideramos a μ y ν como constantes:

$$\frac{1}{N} = \left[\frac{1}{N_0} - \frac{1}{\nu} \right] e^{-\mu\nu t} + \frac{1}{\nu}$$

o bien,

$$N = \frac{V}{1 + \left[\frac{V}{N_0} - 1 \right] e^{-\mu V t}} \quad (12)$$

La representación gráfica es una curva sigmoidea, conocida por un ejemplo de efecto espacial, en el crecimiento de la población.

Solución de la ecuación (6)

Tomando el valor de N tal como se expresa en la ecuación (8), la solución de la ecuación (6) es:

$$C = \frac{N_0 F}{M+F} \left[1 - e^{-(M+F)t} \right] \quad (13)$$

cuando,

$$t = 1 \text{ (unidad de tiempo),}$$

$$C_{(t=1)} = \frac{N_0 F}{M+F} \left[1 - e^{-(M+F)} \right]$$

o bien,

$$\frac{C_{(t=1)}}{N_0} = E = \frac{F}{M+F} \left[1 - e^{-(M+F)} \right] \quad (14)$$

donde,

E: tasa de explotación

La ecuación (14) es la más frecuentemente usada en el análisis dinámico; pero no hay que olvidar que durante el período en consideración se debe asumir que M y F son constantes (modelo simplificado).

Si la temporada de pesca es menor que un año, la tasa de explotación (E) se representa como:

$$E = \frac{F}{M+F} \left[1 - e^{-(M+F)T} \right] \quad (15)$$

donde,

T: período correspondiente a la temporada de pesca

5.5.2 Cuando los parámetros son variables

Cuando M y F son funciones de t, la solución de la ecuación (1) es:

$$N = N_0 e^{-\int_0^t (M+F) dt} \text{ ----- (16)}$$

A menos que $M(t)$ y $F(t)$ sean representadas concretamente, no podremos obtener otra fórmula que la ecuación (16). Los cambios de $M(t)$ y $F(t)$ son complejos y para la solución debe adoptarse un método numérico.

(# 2)

5.6 Intensidad total efectiva de pesca e índice relativo de abundancia

5.6.1 Estandarización del esfuerzo pesquero - por eficiencia del arte de pesca

La cuantificación, corrección y estandarización del esfuerzo pesquero llega a ser fácil si se evalúan previamente:

la eficiencia de las artes de pesca,
las características de construcción de las embarcaciones,
los aparatos de navegación y localización del recurso,
la tripulación.

Sin embargo, estos elementos cambian año tras año, por lo que no es posible estandarizarlos a través de un ligero ensayo.

La estandarización debe efectuarse, generalmente, comparando las capturas de las diversas clases de artes o de un mismo arte, operadas en la misma área de pesca y en el mismo período.

Si tomamos en cuenta que hay dos artes de pesca, A y B, y sus correspondientes capturas y esfuerzos son C_A , X_A y C_B , X_B , tomando A como estándar, el esfuerzo total estandarizado X es:

$$X = X_A + kX_B \text{ ----- (17)}$$

$$k = \frac{C_B / X_B}{C_A / X_A} \text{-----} (18)$$

donde,

k: coeficiente de corrección

La ecuación (17) es convertida de la siguiente manera:

$$X = \frac{C_A + C_B}{C_A / X_A}$$

Esto quiere decir que puede obtenerse el esfuerzo estándar sin calcular k.

Cuando hay muchas clases de artes de pesca, el esfuerzo estándar se obtiene del mismo modo, con una fórmula más generalizada:

$$X = \frac{\sum C_i}{C_A / X_A} = \frac{\sum C_i}{C_A} X_A \text{-----} (19)$$

(# 3)

5.6.2 Estandarización del esfuerzo pesquero - por condiciones ambientales

La eficiencia de las operaciones, desde luego, son influenciadas por:

fenómenos cronológicos: duración del día, mareas;
condiciones del mar: oleaje, tormentas, corrientes;
condiciones meteorológicas: viento, niebla, tormentas,
huracanes.

Por lo mismo, teóricamente los ajustes y correcciones llegan a ser necesarios; no obstante, tal procedimiento raramente es adoptado en el análisis práctico, ya que es muy difícil obtener datos sobre factores ambientales durante largos períodos y que estén basados en la misma regla.

5.6.3 Intensidad total efectiva de pesca e índice relativo del tamaño de la población

Aunque se haya corregido y estandarizado el esfuerzo pesquero, todavía no queda bien definida la interpretación de su influencia sobre la abundancia. Así, en áreas de pesca donde la concentración de peces es grande, las operaciones ejercen mayor presión que cuando se efectúan en áreas de menor concentración. Por tanto, el concepto de intensidad total efectiva de pesca puede ser mejor reconocida tomando en cuenta la distribución y la densidad de las concentraciones de peces, combinándolas con la distribución del esfuerzo pesquero. El esfuerzo total efectivo de pesca es proporcional al coeficiente de la mortalidad por pesca.

Considerando que las áreas de pesca se dividen en subáreas, se pueden establecer las siguientes notaciones:

- i : número correspondiente a la subárea
- A_i : dimensión de la subárea- i
- X_i : esfuerzo de pesca en la subárea- i
- ϕ_i : densidad de peces en la subárea- i
- C_i : captura (en número de individuos) en la subárea- i

El esfuerzo total efectivo de pesca puede ser calculado de acuerdo a los procedimientos siguientes:

$$\text{Area total, } A = \sum A_i \text{ ----- (20)}$$

$$\text{Población total, } N = \sum \phi_i A_i \text{ ----- (21)}$$

$$\text{Densidad media de peces, } \phi = \frac{N}{A} \text{ ----- (22)}$$

Entonces, el esfuerzo total efectivo de pesca (X) es:

$$= \frac{1}{A} \frac{\sum \phi_i X_i}{\phi} \text{ ----- (23)}$$

El esfuerzo efectivo de pesca:

$$\bar{X} = \frac{\sum \phi_i X_i}{\phi} \text{ ----- (24)}$$

La efectividad del esfuerzo de pesca:

$$r = \frac{\bar{X}}{\sum X_i} \text{ ----- (25)}$$

donde, X es el total del esfuerzo bruto de pesca estimado inicialmente, $\sum X_i$.

Si la densidad de peces es uniforme en toda el área de pesca, r es 1, igual que cuando el esfuerzo pesquero es uniforme en toda el área. Cuando las operaciones se concentran en una área más densa, r es mayor que 1. Por el contrario, si la mayoría de las operaciones se concentran en áreas de escasa densidad, r será menor que 1. Suponiendo que en cualquiera de las dos alternativas el esfuerzo es el mismo, la influencia del esfuerzo sobre una población de peces es mayor en el caso en que $r > 1$, que cuando $r < 1$.

Por lo general, ϕ es desconocido antes del análisis, en tal caso:

$$\phi_i \propto \frac{C_i}{X_i} \text{ ----- (26)}$$

($\propto$ significa proporcional a)

Substituyendo el valor de ϕ de la ecuación (26) en las ecuaciones antes mencionadas, se obtienen sucesivamente las siguientes:

(En estos casos el apóstrofo indica valores relativos en vez de absolutos)

$$\phi_i' = \frac{C_i}{X_i} \text{ ----- (27)}$$

$$N' = \sum A_i \frac{C_i}{X_i} \text{ ----- (28)}$$

$$\phi' = \frac{N'}{A} \text{ ----- (29)}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum C_i}{\phi'} \text{ ----- (30)}$$

$$f = \frac{1}{A} \frac{\sum C_i}{\phi'} = \frac{\bar{X}}{A} \text{ ----- (31)}$$

De acuerdo con las ecuaciones (27) a la (31), se puede calcular la intensidad total efectiva de pesca (f), el esfuerzo efectivo de pesca (X) y el índice relativo del tamaño de la población (N').

(# 4)

5.7 Ley para el crecimiento del cuerpo de un pez

Aunque es conveniente conocer el número de individuos para el análisis

sis de la población, la captura suele observarse en peso por lo que de aquí en adelante es necesario considerar la ley del crecimiento del cuerpo en peso.

5.7.1 Principio del crecimiento (metabolismo)

La ley del crecimiento del cuerpo puede ser expresada por la ecuación diferencial:

$$\frac{dw}{dt} = \alpha w^{2/3} - \beta w \quad (32)$$

donde,

α : coeficiente de anabolismo
 β : coeficiente de catabolismo

Considerando α y β constantes, la solución de esta ecuación corresponde a la llamada fórmula de von Bertalanffy:

$$w = \left[a - be^{-kt} \right]^3 \quad (33)$$

$$k = \beta/3$$

$$a = \alpha/\beta$$

donde,

b: constante de integración, decidida por las condiciones iniciales.

El punto de inflexión corresponderá a un tiempo t, donde:

$$e^{-kt} = \frac{a}{3b}, \quad \text{ó} \quad t = -\frac{1}{k} \log_e \frac{a}{3b}$$

No es recomendable aplicar la ecuación (33) durante un período de edad muy prolongado, porque en tal caso α y β no se pueden considerar constantes. Es natural que α y β cambien de acuerdo a la edad, estadio del desarrollo, estación, factores ambientales como: temperatura, salinidad, etc. Si $t \rightarrow \infty$, de la ecuación (33) se deriva $w_{\infty} = (\alpha/\beta)^3$; pero, este valor carece de significado, tanto desde el punto de vista biológico, como en cuanto al límite de crecimiento, porque no es posible adoptar valores de α y β cuando $t \rightarrow \infty$. Debe reconocerse que la ecuación (33) es buena sólo en períodos dentro de los límites del crecimiento en consideración.

5.7.2 Ajuste de la curva de la ley del crecimiento

Asumiendo que el peso (w) es observado en un período definido y obteniendo su raíz cúbica, se forma la siguiente ecuación de diferencia, a partir de la ecuación (33) :

$$w_{n+1}^{1/3} = \beta_0 + \beta_1 w_n^{1/3}$$

donde,

n : número de intervalo τ

$$\beta_0 = a (1 - e^{-k\tau})$$

$$\beta_1 = e^{-k\tau}$$

Esta expresión es una regresión lineal, por tanto, es posible calcular los valores de β_0 y β_1 y a partir de ellos obtener a y k (b , es decidida por las condiciones iniciales). Si el intervalo de tiempo τ no es el mismo, se debe usar el método de mínimos cuadrados para estimar a , k y b . Sin embargo, este problema no es tan fácil, ya que no se trata de una ecuación lineal, habiendo muchos métodos para resolverla. En futuros programas de observación, se debe procurar medir el cuerpo de los peces a iguales intervalos de tiempo.

5.7.3 Práctica y sencilla curva de crecimiento

Si el anabolismo y el catabolismo no son constantes, se puede adoptar una ecuación sencilla en vez de las complicadas ecuaciones (32) y (33). Las fórmulas empíricas son buenas para usos prácticos.

5.7.3.1 Lineal

$$\frac{dw}{dt} = b$$

$$w = a + bt$$

donde,

a : constante de integración

5.7.3.2 Exponencial

$$\frac{dw}{dt} = kw$$

$$w = ae^{-kt}$$

donde,

a : constante de integración

5.7.3.3 Saturada

$$\frac{dw}{dt} = k(a-w)$$

$$w = a - be^{-kt}$$

donde,

b : constante de integración

a y k se pueden estimar por ecuación de diferencia de w. En esta fórmula se ajusta la longitud.

5.7.3.4 Sigmoidal

$$\frac{dw}{dt} = kw(1-aw)$$

$$w = \frac{1}{a + be^{-kt}}$$

donde,

b : constante de integración

a y k pueden calcularse a partir de la ecuación de diferencia de la recíproca de w .

5.7.4 Ley del crecimiento de la longitud del cuerpo

El peso del cuerpo suele ser proporcional al cubo de la longitud. Así, las ecuaciones (32) y (33) se transforman en:

$$\frac{dl}{dt} = \frac{\alpha}{3} l - \frac{\beta}{3}$$

$$l = a - be^{-kt} \text{ ----- (34)}$$

Recordar que α y β son coeficientes metabólicos

Sin embargo, la relación cúbica entre el peso y la longitud no es siempre buena para todos los casos. A veces se introduce error al estimar w a partir del cubo de la longitud, por la ecuación (34). En la expresión cuando la longitud es infinito en $t \rightarrow \infty$, ésta carece de sentido biológico, tanto como el caso anterior de w_{∞} .

(# 5)

5.7.5 Relación peso-longitud

$$w = al^n$$

Esta es una manera común de representar la relación entre peso y longitud, donde el exponente n es casi igual a 3. a y n se calculan mediante regresión logarítmica:

$$\log w = \log a + n \log l$$

(# 6)

6. ANALISIS PRIMARIO

El análisis primario consiste en obtener los parámetros de los recursos pesqueros, así como de sus pesquerías, los cuales son una importante información básica para la diagnosis, predicción y administración. Estos parámetros pueden ser comprendidos a través de las investigaciones de los recursos y las estadísticas de captura. los estudios deben realizarse en base a métodos correctos, dentro del significado de la teoría del

muestreo. Si no es así, no se podrán obtener valores reales de los parámetros, aun cuando el procedimiento matemático sea correcto.

6.1 Notaciones de los parámetros poblacionales usados en la dinámica de las pesquerías

A continuación se presentan notaciones adoptadas internacionalmente para el análisis de población. Algunas de ellas fueron ya explicadas en capítulos anteriores:

N	: tamaño de la población en número de individuos
P	: tamaño de la población en peso
C	: captura en número de individuos
Y	: captura en peso
Z	: coeficiente de mortalidad total; $Z = \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dt}$
F	: coeficiente de mortalidad por pesca
M	: coeficiente de mortalidad natural
R	: reclutamiento
l	: longitud
w	: peso
t	: tiempo
x	: edad
x_r	: edad de reclutamiento
x_c	: edad de primera captura
l_c	: longitud a la edad de primera captura
w_c	: peso a la edad de primera captura
l_r	: longitud a la edad del reclutamiento
w_r	: peso a la edad del reclutamiento
X o g	: esfuerzo de pesca
f	: intensidad total efectiva de pesca
S	: tasa de sobrevivencia; $S = e^{-Z}$
E	: tasa de explotación; $E = \frac{F}{Z} (1-S)$
D	: tasa de mortalidad natural; $D = \frac{M}{Z} (1-S)$
q	: coeficiente de capturabilidad; $q = \frac{F}{f}$

6.2 Principios para obtener los parámetros de la población

Las relaciones entre los parámetros de la población se derivan de las ecuaciones fundamentales descritas en el Capítulo 5. No hay que olvidar las suposiciones o hipótesis introducidas al establecer los modelos del cambio de la población. Si en un momento dado la situación real no

es la misma que la previamente asumida, debe modificarse la ecuación de acuerdo a la ecuación diferencial original.

6.3 Cómo estimar la composición por edades

La composición por edades suele utilizarse para el cálculo de los parámetros poblacionales y es asimismo factor vital en la dinámica de poblaciones. En esta sección se indican algunos métodos para obtener la composición por edades.

6.3.1 Determinación de la edad de todos los individuos de la captura

La composición por edades de la captura puede obtenerse fácilmente si se tienen a la vista los caracteres para la lectura de edad en toda la captura. Este sistema se adopta en las operaciones balleneras.

6.3.2 Determinación de la edad de los peces de una muestra de la captura

Se determina la edad de los peces de la muestra y se extrapola a la captura total, de acuerdo a la teoría de muestreo establecida.

6.3.3 A partir de la clave de edad-longitud/peso

Si se observan las distribuciones de longitud, se puede estimar la composición por edades, no a través de la lectura directa de la edad, sino mediante una clave de edad-longitud/peso, siempre que ésta se haya obtenido previamente.

La transformación de la distribución de longitudes a composición por edades, se hará mediante los siguientes procedimientos:

$$N(x) = \sum_{l=1}^{\infty} P_l(x) N_l \quad \text{-----} \quad (36)$$

donde,

- $P_l(x)$: clave edad-longitud. Probabilidad de la edad x en peces con longitud l
- N_l : Distribución de longitudes. Número de peces con longitud l
- $N(x)$: Composición por edades. Número de peces de la edad x

6.4 Tasa de sobrevivencia S y coeficiente de mortalidad total Z

El uso de la composición por edades es una forma acostumbrada para la estimación de la tasa de sobrevivencia (S) y el coeficiente de mortalidad (Z), relacionado con las ecuaciones (8) y (9).

Hay varios métodos de cálculo, como se muestra a continuación.

6.4.1 Método de la edad promedio

La edad de los peces no es tan amplia como para comprender de 0 a ∞ . Sea (a) la edad menor y ($a+\Delta$) la edad mayor, donde Δ = edad mayor menos edad menor. La edad promedio, $\bar{x}$, de los peces de la muestra (la cual debe ser mayor de 50 individuos), es considerada como distribución normal con media m y desviación estándar $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, donde m y σ son :

$$m(a, S, \Delta) = \frac{\sum x S^x}{\sum S^x} = a + K(S, \Delta) \text{ ----- (37)}$$

$$\sigma^2(S, \Delta) = \frac{\sum (x-m)^2 S^x}{\sum S^x} \text{ ----- (38)}$$

Los valores de m y σ se indican en las Tablas 2 y 3, de acuerdo a diferentes valores de S y Δ .

Para el cálculo de S por el método de la edad promedio se desarrolla la siguiente secuencia:

- 1) Conocer a y Δ
- 2) Calcular $\bar{x}$
- 3) Obtener K : $K = \bar{x} - a$
- 4) Encontrar S en la Tabla 2

Para obtener los correspondientes valores de K y Δ , la interpolación numérica o gráfica puede ser necesaria.

(# 7)

A veces queremos conocer el intervalo de confianza de lo estimado y para ello se procede en los siguientes términos:

A partir de la tabla de distribución normal (véanse libros de teoría estadística) t_0 y ∞ se obtienen:

TABLA 2 Edad promedio y tasa de sobrevivencia

(Tabla de $K(S, \Delta)$)

$\Delta \backslash S$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	∞
0.05	0.048	0.052	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053
0.10	0.091	0.108	0.107	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
0.15	0.130	0.166	0.174	0.176	0.176	0.176	0.176	0.176	0.176	0.176	0.176
0.20	0.167	0.226	0.244	0.248	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
0.25	0.200	0.286	0.318	0.328	0.332	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333
0.30	0.231	0.345	0.396	0.416	0.424	0.427	0.428	0.428	0.429	0.429	0.429
0.35	0.259	0.404	0.478	0.512	0.527	0.534	0.537	0.538	0.538	0.538	0.538
0.40	0.286	0.462	0.562	0.615	0.642	0.655	0.661	0.664	0.666	0.666	0.667
0.45	0.310	0.517	0.646	0.724	0.768	0.792	0.805	0.811	0.815	0.816	0.818
0.50	0.333	0.571	0.733	0.839	0.905	0.945	0.969	0.982	0.990	0.995	1.000
0.55	0.355	0.623	0.819	0.957	1.050	1.114	1.155	1.181	1.197	1.208	1.222
0.60	0.375	0.673	0.904	1.078	1.206	1.298	1.363	1.408	1.439	1.460	1.500
0.65	0.394	0.721	0.988	1.201	1.368	1.496	1.594	1.667	1.721	1.760	1.857
0.70	0.412	0.767	1.069	1.323	1.534	1.705	1.844	1.955	2.043	2.111	2.333
0.75	0.429	0.811	1.149	1.444	1.701	1.922	2.110	2.269	2.403	2.515	3.000
0.80	0.444	0.852	1.225	1.563	1.868	2.142	2.387	2.605	2.797	2.966	4.000
0.85	0.459	0.892	1.298	1.679	2.034	2.364	2.670	2.954	3.215	3.456	5.667
0.90	0.474	0.930	1.369	1.790	2.195	2.582	2.953	3.308	3.647	3.969	9.000
0.95	0.487	0.966	1.436	1.898	2.351	2.795	3.232	3.659	4.079	4.490	14.000

- NOTA 1. Edad promedio = Edad mínima + K
 2. Δ = Edad máx.-Edad mín.
 3. Proceso para emplear la tabla:
 a) De la composición de edad se calcula la edad promedio
 b) De la nota 1 se obtiene K
 c) De la nota 2 se obtiene Δ
 d) Buscar el valor de K en la columna correspondiente de Δ en la tabla y tomar la lectura de S mediante interpolación.

TABLA 3 Desviación estándar de la edad promedio

(Se emplea cuando se quiere obtener el límite de tolerancia de la sobrevivencia S , calculada en la Tabla 2).

Δ S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	∞
0.05	0.213	0.233	0.235	0.235	0.235	0.235	0.235	0.235	0.235	0.235	0.235
0.10	0.288	0.338	0.350	0.351	0.351	0.351	0.351	0.351	0.351	0.351	0.351
0.15	0.337	0.421	0.447	0.454	0.455	0.456	0.456	0.456	0.456	0.456	0.456
0.20	0.373	0.489	0.536	0.552	0.557	0.558	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559
0.25	0.400	0.547	0.618	0.648	0.660	0.664	0.666	0.666	0.667	0.667	0.667
0.30	0.421	0.596	0.693	0.742	0.766	0.776	0.780	0.781	0.782	0.782	0.783
0.35	0.438	0.638	0.756	0.834	0.872	0.893	0.902	0.907	0.909	0.910	0.910
0.40	0.452	0.674	0.824	0.922	0.981	1.015	1.034	1.044	1.049	1.052	1.054
0.45	0.463	0.703	0.880	1.005	1.088	1.142	1.175	1.194	1.206	1.212	1.217
0.50	0.471	0.728	0.929	1.081	1.192	1.269	1.322	1.257	1.379	1.393	1.414
0.55	0.479	0.749	0.971	1.149	1.288	1.395	1.473	1.530	1.569	1.596	1.648
0.60	0.484	0.766	1.006	1.210	1.379	1.516	1.624	1.708	1.771	1.819	1.937
0.65	0.489	0.780	1.036	1.262	1.459	1.628	1.760	1.886	1.981	2.056	2.304
0.70	0.492	0.791	1.061	1.306	1.530	1.728	1.903	2.056	2.188	2.299	2.789
0.75	0.495	0.800	1.080	1.342	1.585	1.814	2.022	2.212	2.382	2.535	3.464
0.80	0.497	0.806	1.095	1.370	1.633	1.883	2.121	2.344	2.554	2.750	4.472
0.85	0.498	0.811	1.106	1.390	1.667	1.936	2.197	2.450	2.694	2.928	6.146
0.90	0.499	0.814	1.113	1.404	1.690	1.773	2.251	2.525	2.794	3.059	9.487
0.95	0.500	0.816	1.117	1.412	1.704	1.994	2.282	2.568	2.853	3.137	19.494

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_0}^{\infty} e^{-t^2/2} dt = \alpha$$

Por ejemplo: para el nivel de significación $\alpha = 0.05$ (5% de riesgo)
 $t_0 = 1.64$

Así, puede derivarse:

$$\text{Prob.} \left[a + K - \frac{t_0 \sigma}{\sqrt{n}} \leq X \leq a + K + \frac{t_0 \sigma}{\sqrt{n}} \right] = 1 - 2\alpha$$

Por tanto, obtenemos S_1 y S_2 , resolviendo sucesivamente las siguientes ecuaciones mediante el uso de las Tablas 2 y 3.

$$K(S, \Delta) - \frac{t_0 \sigma(S, \Delta)}{\sqrt{n}} = \bar{x} - a$$

$$K(S, \Delta) + \frac{t_0 \sigma(S, \Delta)}{\sqrt{n}} = \bar{x} - a$$

Tales cálculos pueden realizarse convenientemente por el método gráfico; representándose a: $K(S, \Delta) - t_0 \sigma(S, \Delta) / \sqrt{n}$ y $K(S, \Delta) + t_0 \sigma(S, \Delta) / \sqrt{n}$, en la ordenada contra S , tomando los valores conocidos de n, Δ y t_0 . Así obtenemos tres curvas. Trazando $\bar{x} - a$ paralela a la abscisa, los puntos de intersección de las tres curvas representan a S_2 , $\hat{S}$ y S_1 , donde $\hat{S}$ es la estimación más probable y $S_1 - S_2$ es el intervalo de confianza, con grado de confianza $1 - 2\alpha$, que es:

$$\text{Prob} \left[S_2 < S < S_1 \right] = 1 - 2\alpha$$

(# 8)

En caso de estimar la tasa de sobrevivencia a partir de la composición por edades, tenemos que usar edades por arriba de la de completo reclutamiento, porque la composición por edades de los jóvenes en la captura no representa a la de los peces en el mar, debido a la selectividad de las artes de pesca.

6.4.2 Regresión logarítmica

La ecuación (8) puede ser transformada en la (39), la cual indica la regresión lineal entre $\log_e N_x$ y x .

$$\log_e N_X = \log_e N_0 - Z_X \text{ ----- (39)}$$

Podemos estimar $\log N_0$ y Z con un cierto intervalo de confianza, a partir del análisis estadístico de la regresión lineal.

(# 9)

En términos generales, es menor el grupo de individuos de mayor edad que el de los jóvenes, a causa de la poca precisión de la muestra. Así, en el análisis de la regresión logarítmica, pueden introducirse errores al considerar con el mismo valor a los más viejos y a los más jóvenes. Por el contrario, en el método de la edad promedio, la consideración de las edades jóvenes tiene mayor valor que las más viejas, y a menudo los errores causados por estas edades pueden considerarse casi inapreciables.

6.4.3 Estimación a partir de la distribución exponencial

En la Sección I se trató la distribución discreta de la composición por edades; sin embargo, cuando esta composición por edades se considera continua, digamos, cuando la unidad de tiempo no es el año sino el día, la población (en sentido estadístico, no la abundancia del recurso) obedece a una distribución exponencial. Así, los parámetros pueden ser estimados a partir del análisis estadístico, como sigue:

Distribución exponencial Ze^{-Zx}

Media $\frac{1}{Z}$

Desviación estándar $\frac{1}{Z^2}$

Tomando n muestras de una población exponencial, se obtiene la edad media $\bar{x}$ y la estimación del parámetro Z es :

$$Z = \frac{1}{\bar{x}}$$

La distribución de $\bar{x}$ corresponde a la distribución de X^2 (xi cuadrada). Por lo tanto, el intervalo de confianza para la precisión de $1-\alpha$ se calcula como sigue:

$$x_0^2 \leq 2nZ\bar{x} \leq x_1^2 \quad (\text{para } 2n \text{ grados de libertad})$$

donde,

$$\text{Prob} \left[x^2 < x_0^2 \right] = \frac{\alpha}{Z}$$

$$\text{Prob} \left[x^2 > x_1^2 \right] = \frac{\alpha}{Z}$$

Al aplicar este método debe ponerse especial atención a la "continuidad" de la gama de edades x consideradas de 0 a ∞ .

6.4.4 Búsqueda de las clases anuales en el stock

Hay dos significados para la composición por edades. Una es la composición por edades en un cierto tiempo, es decir, muchas clases anuales de peces observadas en la misma ocasión; la otra es la composición por edades siguiendo una cierta clase anual a lo largo de varios años. A esto último se le llama búsqueda de una clase anual en el stock. Si se conoce el índice relativo de abundancia de año con año o de período en período, se puede aprovechar el conocimiento de tal composición por edades.

6.5 Coeficiente de mortalidad natural M

6.5.1 Composición por edades de un stock virgen

La mortalidad total obtenida a partir de la composición por edades de un stock virgen es la mortalidad natural, porque aún no está afectado por la pesquería. Los cálculos son los mismos que los vistos para obtener Z .

6.5.2 Separación a partir de la mortalidad total

Cuando se conoce Z y ya ha sido estimada F , entonces puede fácilmente obtenerse M , por simple substracción:

$$M = Z - F$$

Otro método frecuentemente empleado es el análisis regresivo de las relaciones entre Z y f . Digamos,

$$Z = M + q f$$

Se puede calcular M y q como coeficientes de la regresión lineal de Z contra f . En la aplicación práctica, el rango de variación de f debe ser considerablemente grande.

(# 10)

6.6 Coeficiente de mortalidad por pesca F y tasa de explotación E

6.6.1 Separación a partir de la mortalidad total

Del análisis anterior (Capítulo 6.5.2) se obtuvo la separación de M y q. En este análisis se obtienen M y F simultáneamente, porque:

$$F = q f$$

y la tasa de explotación E es:

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

6.6.2 Recuperación de datos con los experimentos de marcado

La planeación de los experimentos de marcado, así como el análisis de los datos de recaptura, se explican en el Apéndice 1 (Apartados 3.2.3, 3.2.4, 3.2.5 y 3.3). Como resultado del análisis se obtiene el tamaño de la población N, y así:

$$E = \frac{C}{N}$$

(# 11)

6.6.3 Cuando el tamaño de la población se estima por otros métodos específicos

Cuando la magnitud de un recurso pesquero N puede ser calculada por otros métodos específicos, tales como la observación directa, E se representa, naturalmente, por:

$$E = \frac{C}{N}$$

6.7 Mecanismos de reproducción

El mecanismo de reproducción es el elemento más importante cuando se pretende efectuar el análisis de población - diagnóstico, predicción y administración. Mientras no estén perfectamente claros los diferentes aspectos de la reproducción, será imposible tener una evaluación teórica y exacta del stock.

6.7.1 Peces maduros y reclutamiento

Si se conoce la composición por edades N_x para un período considerablemente largo, el número de adultos A se puede calcular como sigue:

$$A = \sum_{x_m} N_x$$

donde,

x_m : edad de primera maduración

Siendo, R la abundancia a la edad de reclutamiento (x_r), se pueden estimar las relaciones entre R y A . Si se elabora un diagrama de dispersión con la relación entre R y A , los puntos no siempre forman una curva y es muy común que se separen ampliamente; así, las curvas se pueden obtener inductivamente "a ojo" o por algún método de ajuste.

6.7.2 Proceso de sobrevivencia en peces juveniles

Se ha expresado ya el proceso de sobrevivencia como:

$$\frac{dN}{dt} = -MN \text{ ----- (40)}$$

En juveniles, M no es constante, pues cambia con los efectos espaciales, pudiéndose describir como sigue:

$$M = M(x, N) = a(x) + b(x)N \text{ ----- (41)}$$

6

$$M = M(x, B) = a(x) + b(x)B \text{ ----- (42)}$$

donde,

B es la abundancia en un tiempo dado, digamos: número de huevos expulsados. Resolviendo la ecuación (40) bajo las condiciones de la ecuación (41) o la (42), tenemos:

$$\frac{1}{N} = \frac{1}{P(x)} \left[Q(x) + \frac{1}{B} \right] \text{ ----- (43)}$$

6

$$N = P_{(x)} B e^{-Q(x)B} \text{ ----- (44)}$$

donde: $P_{(x)}$ y $Q_{(x)}$ son funciones de $a_{(x)}$ y $b_{(x)}$, no representadas aquí,

$$N = \begin{cases} B & \text{en } x = 0 \\ R & \text{en } x = x_r \end{cases}$$

Por substitución de x_r por x , las ecuaciones (43) y (44) se transforman en:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{P} \left[Q + \frac{1}{B} \right] \text{ ----- (45)}$$

$$R = PB e^{-QB} \text{ ----- (46)}$$

donde,

B : número de adultos
R : número de reclutas

En este caso P y Q son constantes relativas a la mortalidad natural. Se puede asumir que

$$B = hA$$

porque el número de huevos es proporcional al número de adultos A y al coeficiente de fecundidad h. Así, las ecuaciones (45) y (46), como funciones de A, cambian a:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{p} \left[q + \frac{1}{A} \right] \text{ ----- (47)}$$

$$R = pAe^{-qA} \text{ ----- (48)}$$

p y q son constantes. Las curvas de reproducción generalmente empleadas están resumidas en las dos ecuaciones anteriores.

Se debe poner especial atención a todas las hipótesis introducidas al obtener la fórmula.

En la ecuación (47), $1/R$ y $1/A$ representan regresión lineal y en la ecuación (48) sucede lo mismo con R/A y A . Por tanto, podemos estimar p y q a través del análisis de la regresión lineal.

(# 12)

6.7.3 Fecundidad y reproducción

La tasa de reproducción ($K = R/A$) no es indiferente al tamaño de la población. Este es un principio en la conservación de las especies; así, desde este punto de vista se reconoce que:

$$h = a - bA \text{ ----- (49)}$$

La mortalidad natural de juveniles M' , también varía conforme cambia la población. Entonces, se asume que:

$$M' = \alpha + \beta A \text{ ----- (50)}$$

Suponiendo que la relación de sexos sea 50:50, se deriva:

$$R = \frac{A}{2} h e^{-M' x_m} \text{ ----- (51)}$$

Substituyendo en las ecuaciones (49) y (50) para h y M' de la ecuación (51), tenemos:

$$R = \frac{(a-bA)A}{2} e^{-x_m(\alpha+\beta A)} \text{ ----- (52)}$$

6

$$K = \frac{a-bA}{2} e^{-x_m(\alpha+\beta A)} \text{ ----- (53)}$$

Este es un tipo de curva de reproducción obtenido elegantemente a partir del método deductivo. Si de alguna forma es posible estimar h y M' , el uso de este método es útil y conveniente.

(# 13)

6.8 Disponibilidad por edades en los campos de pesca (se omite).

7. ESTIMACION DEL TAMAÑO DE LA POBLACION

7.1 Abundancia en números absolutos

Los índices relativos de la población pueden ser calculados fácilmente como se ha descrito en el Capítulo 5; sin embargo, esto no es suficiente para la evaluación de las existencias y no es comprensible por los pescadores ni en las oficinas administrativas; por ello, es importante conocer el tamaño de la población en números absolutos o en peso. Esto es muy necesario para el análisis de poblaciones y, si puede llegarse a estimar el tamaño de la población en número de individuos, se puede decir que con ello se ha cubierto la mitad del estudio de la población. A continuación se resumen los diferentes métodos empleados en el cálculo del tamaño de la población.

- 1) A partir de la intensidad de pesca
- 2) A partir de experimentos de marcado
- 3) A partir del mecanismo de reproducción
- 4) Por estimación directa
- 5) Por transformación del índice relativo de abundancia

7.2 A partir de la intensidad de pesca

El tamaño inicial de la población N_0 puede calcularse por las siguientes ecuaciones, como se indicó en las ecuaciones (13) y (14) en el Capítulo 5.

$$N_0 = \frac{C}{E}$$

$$E = \frac{qf}{M+qf} \left[1 - e^{-(M+qf)} \right]$$

Por supuesto, M , q y f deben ser aclarados por adelantado con los métodos descritos en el Capítulo 6. Además, la abundancia promedio N en un período dado y la misma al final del período, N'' , son:

$$N = \frac{C}{q f}$$

$$N'' = N_0 S$$

7.3 A partir de experimentos de marcado

Ya se mencionaron los experimentos de marcado en el Capítulo 6.6.2. El proceso de captura-recaptura es solamente un método experimental en di námica de poblaciones. Aunque el tratamiento teórico se desarrolle, la aplicación real a la pesquería no se puede poner prácticamente en uso de manera suficiente, debido a muchos factores, tales como lesiones que alte ran el funcionamiento del cuerpo del pez, cambios en la sobrevivencia o en la conducta, caída de las marcas, inexactitud en la información de la recaptura, etc. y también a que una gran cantidad de dinero es necesaria para efectuar el experimento de marcado, la premiación de datos de recaptura y la propaganda; por lo tanto, es necesario hacer un buen plan por adelantado, considerando cómo se efectuará el análisis. Algunas veces es de más utilidad para estudios de migraciones que para la estimación del tamaño de la población.

7.4 A partir del mecanismo de reproducción

Si se conoce con claridad el mecanismo reproductivo, el reclutamiento R puede calcularse a partir de las ecuaciones descritas en el Capítulo 6.7 y los métodos de cálculo que se indican en el Capítulo 7.8. Sin embargo, es usual que se conozca el mecanismo de reproducción después de obtener la información sobre la composición por edades y el tamaño de la población. Hay que ser cuidadoso de no entrar en un razonamiento cíclico (tautológico).

(# 16)

7.5 Por estimación directa

La observación visual, la cuantificación aérea de mantos de algas a la deriva, el ecosondeo, etc. son mediciones directas, sin filtros, de las poblaciones. La observación visual de ballenas actualmente se usa en for ma práctica en el Antártico y en el Pacífico Norte. De cualquier manera, la estimación directa es útil para la ecología específica de peces y sus pesquerías. La estimación de ballenas por observación directa, por ejemplo, puede efectuarse con los valores de:

campo de visión del sextante (con distancia de L , y ángulo de $2\Theta_1$)
 períodos de inmersión de T minutos
 tiempo de respiración de τ segundos
 velocidad del barco en V nudos
 ángulo de observación de cada vigía Θ_p (7 grados)
 velocidad angular del ojo del observador w (grados/segundos)
 número de observadores s

Hablando de valores promedio, se pueden detectar ballenas dentro de las 9.8 millas a ambas bandas del barco, con 10 a 20% de probabilidad según las diferentes especies. En la Tabla 4 se presentan resultados de los cálculos para la estación 1969/70, en el Antártico. No es posible estimar sin observación directa las otras especies diferentes de la ballena de aleta y la ballena Sei, porque no son explotadas o porque su captura está prohibida.

7.6 Por transformación del índice relativo de abundancia

Se puede estimar fácilmente el índice relativo de abundancia si se conoce, en el pasado, la tasa de transformación al número absoluto y con ésta es factible calcular en el futuro la abundancia absoluta. Tabla 4.

7.7 Análisis por medio del índice de densidad de poblaciones

La ecuación (6) del Capítulo 5 se escribe como sigue:

$$\frac{dC}{dt} = qfN \text{ ----- (57)}$$

Literalmente, esto significa que la captura por unidad de tiempo es proporcional a la abundancia de la población, si no hay cambio en f . Si se usa un esfuerzo de pesca X en lugar de la intensidad de pesca f , se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{dC}{dt} = q \frac{X}{A} N = qX \frac{N}{A} = qX\varnothing \text{ ----- (58)}$$

Esto es: la captura por unidad de tiempo es proporcional a la densidad, si no hay cambio de X .

Poniendo dC/dt como C_t , debido a que la captura es una unidad de tiempo, las ecuaciones (57) y (58), se transforman en:

$$\frac{C_t}{f} = qN \text{ ----- (59)}$$

$$\frac{C_t}{X} = q\varnothing \text{ ----- (60)}$$

Literalmente, la captura en la unidad de tiempo por la intensidad de pesca o por el esfuerzo pesquero es proporcional a la abundancia o densidad de la población. Hay que ser cuidadosos en usar f para abundancia y X para densidad. Por otro lado, asumiendo que no hay mortalidad natural, dispersión ni reclutamiento, la población decrece solamente por la pesca, así la ecuación (59) se modifica como sigue:

TABLA 4. Tasa de observación de diferentes especies de ballenas y población de las mismas en el Antártico. Hábitos de las ballenas.

(Temporada 1969 - 1970)

Especies	Tiempo sumergido T (min)	Tiempo de expiración T (seg)	Tasa de observación P	Población (miles de ejemplares)
<u>Balaenoptera borealis</u>	4.21	3.66	0.197	86.7
<u>Physeter catodon</u>	8.56	2.72	0.188	98.5
<u>Balaenoptera musculus</u>	5.67	5.08	0.141	6.6
<u>Balaenoptera physalus</u>	4.87	4.57	0.211	23.5
<u>Eubalaena glacialis</u>	3.70	3.56	0.221	1.2
<u>Megaptera novaengliae</u>	8.13			
<u>Balaenoptera acutorostrata</u>	1.30	3.23	0.112	31.3
<u>B. musculus</u> (pigmea)	9.70			

$$\frac{C_t}{f} = q \left[N_0 - \sum_{t=0}^t C_t \right] = qN_0 - q \sum_{t=0}^t C_t \text{ ----- (61)}$$

Si se grafica C_t/f contra $\sum C_t$, la relación es lineal. Por tanto, se puede estimar qN_0 y q desde el análisis de una regresión lineal. Parece ser un buen método para estimar el tamaño de la población N y el coeficiente de capturabilidad q , usando simplemente estadísticas de captura. Sin embargo, ésta sólo nos dice que la captura total es casi igual al tamaño de la población, o sea, la estimación de población mínima. Esto no es nada extraño, es aplicable a las carpas doradas de un estanque, pero no es útil para las pesquerías reales porque no podemos dejar de lado la mortalidad natural, el reclutamiento y la migración. Tomando en cuenta esos factores, algunas veces se puede usar la siguiente ecuación:

$$\frac{C_t}{f} = q \left[N_0 + KN_a - MN_b - \sum C_t \right] \text{ ----- (62)}$$

No obstante, para el cálculo efectivo de la ecuación (62) son necesarias muchas suposiciones en cuanto a la tasa de reproducción K , M , el número de adultos N_a , el número de la población N_b ; igual que si se calculara en un ensayo imaginario. Pero la realidad es que en lugar de tal ensayo se deben analizar ortodoxamente a partir de la fórmula básica descrita en el capítulo anterior.

7.8 Fenómenos transitorios de la abundancia

Por lo que toca a una población en estado transitorio, en vez de una en estado estacionario, los cambios en la abundancia deberían calcularse como sigue:

$$N_{t+1} = (N_t - C_t) e^{-M} + R_{t+1} \text{ ----- (63)}$$

Esta ecuación es sólo válida cuando las temporadas de captura son cortas, por ejemplo: 4 meses.

(# 16)

Por supuesto, cuando la temporada de pesca es anual (un año es igual a la unidad de tiempo), es necesario hacer modificaciones en el cálculo, debiendo efectuarse como sigue:

donde, S_t puede ser calculada paso por paso de la siguiente manera:

$$\frac{C_t}{N_t} = E_t$$

$$E_t = \frac{F_t}{M_t + F_t} \left[1 - e^{-(M + F_t)} \right]$$

$$S_t = e^{-(M + F_t)}$$

7.9 Variación de la abundancia durante la temporada de pesca

Cuando el período de pesca es T ($0 < T \leq 1$), las ecuaciones deben derivarse de la ecuación (13) del Capítulo 5.

$$C = \frac{qfN_0}{M + qf} \left[1 - e^{-(M + qf)T} \right]$$

$$E = \frac{C}{N_0} = \frac{qf}{M + qf} \left[1 - e^{-(M + qf)T} \right]$$

$$N_0 = \frac{C}{E}$$

La abundancia al final de la temporada, N' , es :

$$N' = N_0 e^{-(M + qf)T}$$

y la abundancia promedio, $\bar{N}$, durante la temporada es:

$$\bar{N} = \frac{C}{qfT}$$

La abundancia de sobrevivientes para el siguiente año, N'' , será:

$$N'' = N_0 e^{-(M + qfT)}$$

Si la mortalidad natural es menor, comparada con la mortalidad por pesca, y el período de pesca es también menor a 1, las ecuaciones anteriores se modifican de la siguiente manera:

$$E = 1 - e^{-(qfT)}$$

$$N_0 = \frac{C}{E}$$

$$N' = N_0 - C$$

$$N'' = (N_0 - C) e^{-M}$$

7.10 Sumarización de las estimaciones a través de diversos métodos

Existen diversos métodos para calcular el tamaño de una población a partir de los mismos datos. La figura 5 presenta como ejemplo un diagrama de flechas para la diagnosis de las poblaciones de ballenas.

En el nodo (27) del diagrama hay varias estimaciones que no son coincidentes unas con otras y, por lo tanto, resulta necesario sumarizarlas. Usualmente se adopta la media de ellas como la más probable estimación, aunque algunas veces esto carece de significado, porque se introducen diferentes suposiciones para cada modelo. Después se comprueba cada suposición y, tomando en cuenta la biología de la especie y el estado de la pesquería, se puede determinar el grado de confianza (aunque no hay nada que justifique que no pueda hacerse de otra manera).

En la figura 6 se presenta un modelo del ciclo de vida del jurel "cola amarilla" del Japón, con la abundancia en cada una de sus fases de crecimiento. La población de juveniles se estima como $3 \sim 11 \times 10^8$ individuos. Tal intervalo de estimación no es sorprendente en los estudios de problemas de poblaciones pesqueras.

8. MANERA DE PENSAR SOBRE EL ANALISIS SECUNDARIO

3.1 Propósitos del estudio de poblaciones

- 1) Diagnósis
- 2) Administración
- 3) Predicción

Salud: significa el nivel óptimo de la población, en el cual puede obtenerse un rendimiento máximo sostenido.

Diagnósis: debe definir si la población se encuentra "saludable" o "enferma". En este último caso, se administrarán y tomarán las medidas adecuadas para regular la pesquería.

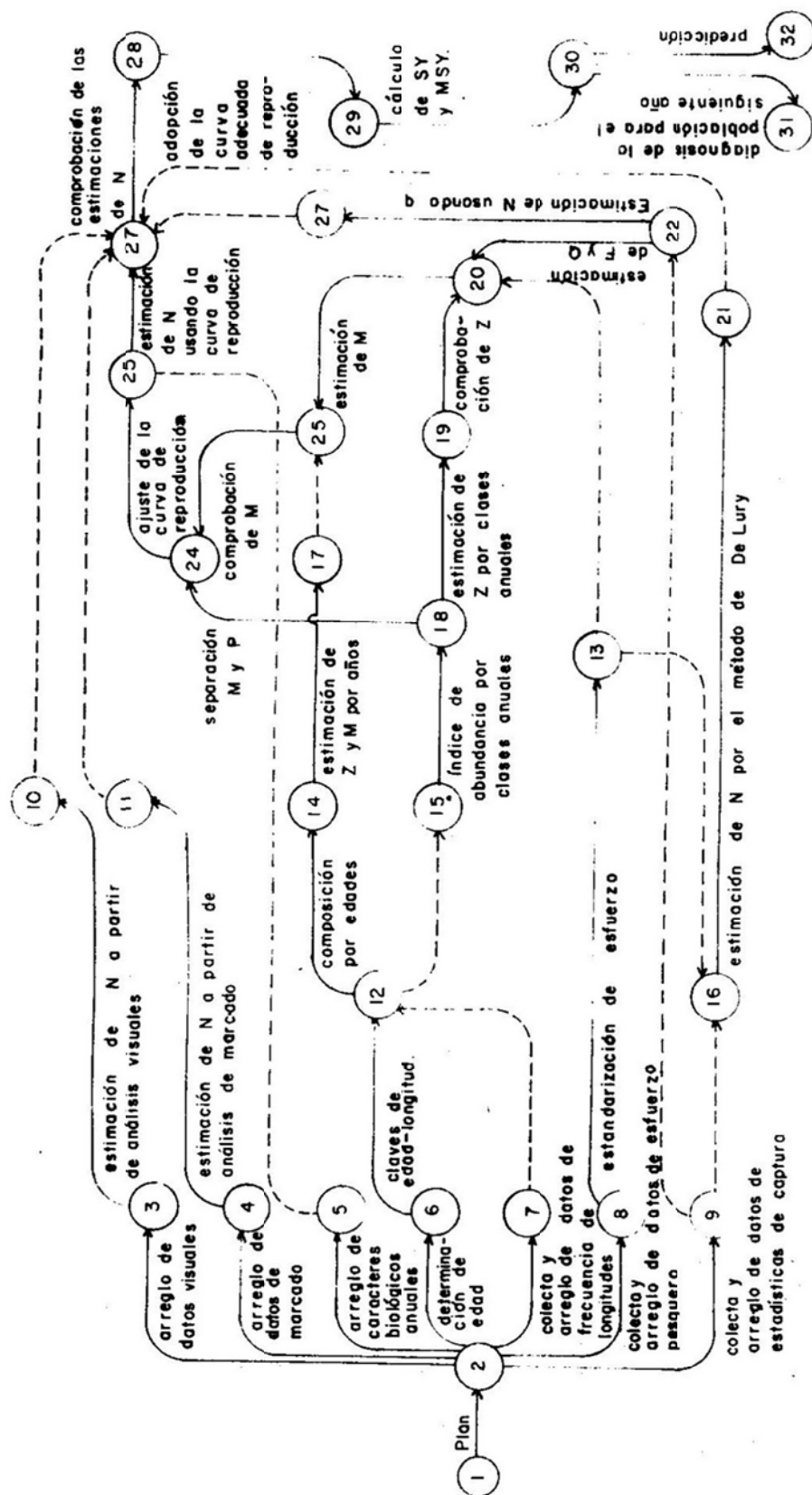


Fig. 5 Diagrama de flechas para la diagnosis de las poblaciones de ballenas

8.2 ¿Cómo debe considerarse la dinámica de poblaciones?

La dinámica de poblaciones es como un molino de granos. La semilla debe ser buena si se quiere obtener harina de alta calidad. Las "semillas" de mayor importancia son: la Biología, la Ecología y el modelo.

8.3 Ciclo de vida

Ver la figura 6

8.4 Variación de la abundancia

8.4.1 Reproducción

8.4.2 Mortalidad natural

8.4.3 Pesquería

8.5 Nivel óptimo de la población

1) Stock virgen

2) Nivel óptimo

3) Sobrepesca

9. DIAGNOSIS

El propósito de la diagnosis de las poblaciones de peces es establecer un juicio sobre su estado de "salud" o "enfermedad"; es decir, si esa población está en el nivel óptimo o no. Si el nivel de la población está por debajo del óptimo (población sobre-explotada) o por encima (subexplotada), de cualquier forma es necesario tomar las medidas adecuadas para mantenerla lo más cerca posible del nivel óptimo.

Para diagnosticar el estado de la población, es necesario conocer el rendimiento sostenible y el máximo sostenible. Existen muchos modelos matemáticos para resolver esto, pero el factor más importante es, sin duda, conocer el mecanismo de reproducción. Al menos que se tenga buena información sobre el mecanismo de reproducción, no se podrá hacer un buen análisis. Como se describió anteriormente, el mecanismo de reproducción depende de los cambios de mortalidad natural, fecundidad, tasa de preñez, crecimiento del cuerpo, así como variaciones en el tamaño de la población.

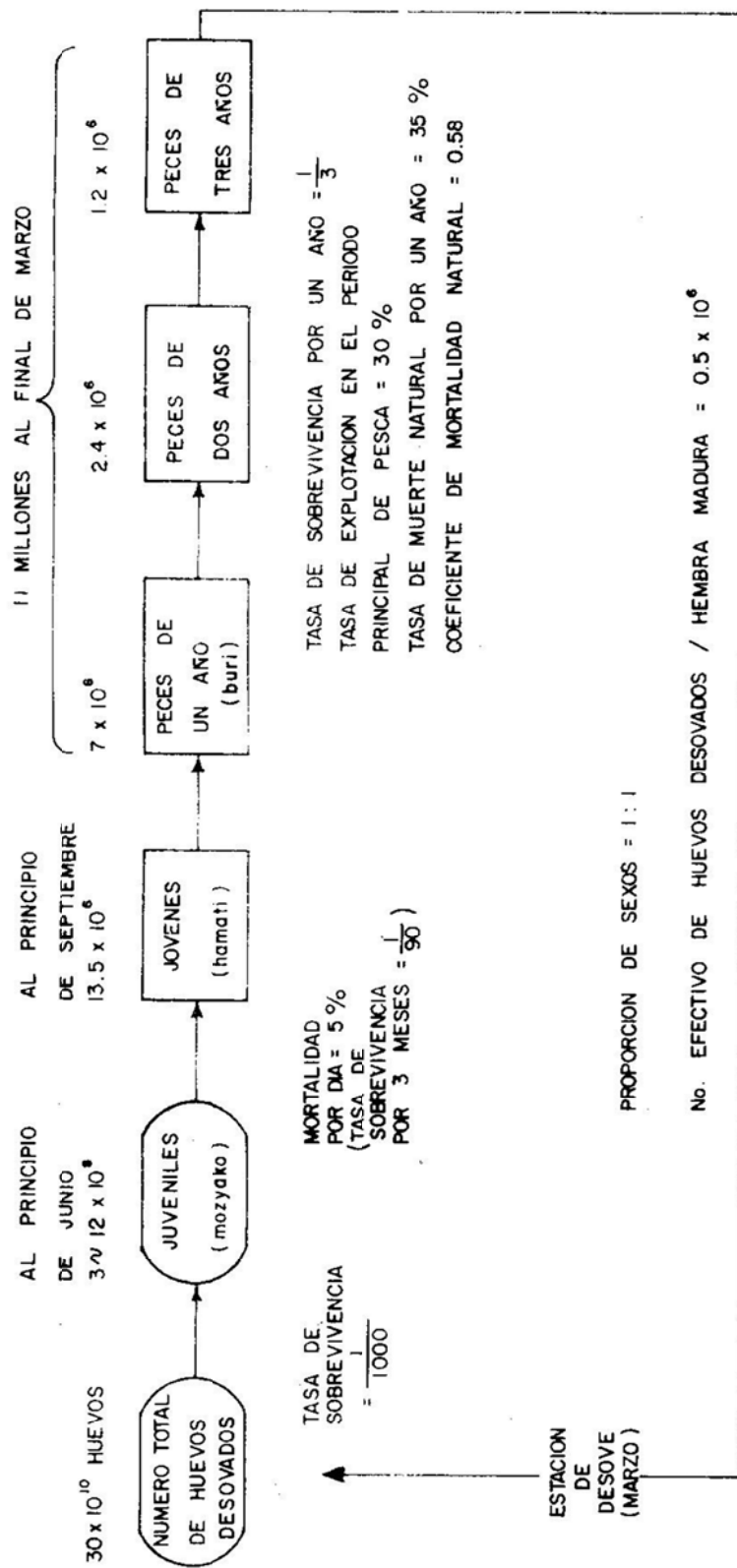


Fig. 6 Ciclo de vida del Jurel cola amarilla, en la costa del Pacifico y parámetros estimados de la población.

9.1 Rendimiento sostenible

No es diagnóstico decir que una población está aumentando o disminuyendo con respecto a su nivel de óptima estabilidad. Es necesario mantener a la vez el tamaño de la población y su máximo nivel de captura. Un rendimiento sostenido sólo puede obtenerse mediante el adecuado equilibrio de la tasa de reproducción y la de explotación. Matemáticamente puede calcularse resolviendo ecuaciones simultáneas relativas a la reproducción y al proceso de sobrevivencia.

9.1.1 Solución en una curva sigmoideal

Algunas veces la ley del crecimiento de la biomasa se representa por una curva sigmoideal, especialmente cuando no se puede conocer a cada clase anual, por la falta de conocimiento no sólo de la composición por edades sino también del mecanismo de reproducción. La representación por ecuación diferencial es la ecuación (5) y la solución analítica es:

$$N = \frac{1}{a + be^{-kt}} \text{ ----- (65)}$$

donde, $\nu = \frac{1}{a}$

$$\mu = ak$$

b : constante de integración

a y k (de acuerdo a: μ y ν) pueden obtenerse a partir del análisis de la ecuación de diferencia. Se puede calcular b por medio de los valores reales de N_t y estimaciones de μ y ν por el método de mínimos cuadrados. N no sobrepasa a ν , la cual es una cantidad saturada de la población como stock virgen. El incremento en la unidad de tiempo es dN/dt . Si la captura es dN/dt ó $\mu(\nu - N)N$, el nivel de la población no cambia. Esto es el rendimiento sostenible C_s . Por tanto:

$$C_s = \mu(\nu - N)N \text{ ----- (66)}$$

La representación gráfica de la ecuación (66) es una parábola, donde $C_s = 0$, en $N = 0$ y $N = \nu$. C_s alcanza el mayor valor de $\mu \nu^2 / 4$ cuando $N = \nu/2$, el cual es el rendimiento máximo sostenible = $C_m = \mu \nu^2 / 4$, en el nivel óptimo de la población ($\nu/2$).

Tal análisis se aplica a una población que no presenta claridad en cuanto a los detalles de su proceso de sobrevivencia y su mecanismo de reproducción. Cuando éstos son evaluados a través de investigaciones, el mé-

todo que se adopta para el análisis será el que se indica en la siguiente sección.

9.1.2 Solución que considera la composición por edades

La tasa de reproducción K es necesaria para obtener el rendimiento sostenible. K es una función de M' (mortalidad natural en el estado juvenil), x_m (edad de primera madurez) y P (fecundidad o preñez).

En general, K se decide por la edad de primera madurez; pero hay que tomar en cuenta que la edad de la primera captura o la de reclutamiento generalmente no coinciden con la edad de primera madurez. En los problemas reales, a menudo K debe ser considerada en una cierta edad conveniente, independientemente de su significado biológico. La figura 7 representa una composición esquemática de edades con parámetros de población en cada estadio. La expresión matemática se facilita a partir de tal figura.

La tasa de reproducción K es dada por:

$$K = \frac{R_m}{A} \text{ ----- (67)}$$

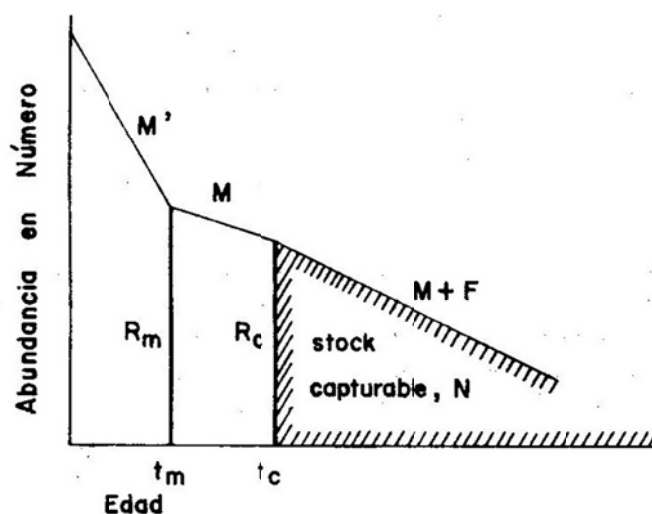


Fig. 7 Composición por edad y parámetros de población; M' : mortalidad natural de juveniles; M : mortalidad natural de adultos; t_m : edad de maduración; t_c edad de primera captura; A : número de adultos (en t_m); N stock capturable (en t_c); R_m : reclutamiento en edad t_m ; R_c : reclutamiento en edad t_c .

A partir de la figura 7, se pueden calcular fácilmente las siguientes cantidades:

$$R_C = R_m e^{-(t_C - t_m)M} = R_m S_0^{(t_C - t_m)} \text{-----} (68)$$

donde,

$$S_0 = e^{-M}$$

La cantidad de adultos entre t_m y $(t_C - 1)$ es:

$$= R_m \frac{1 - S^{(t_C - t_m)}}{1 - S_0} \text{-----} (69)$$

La cantidad de adultos correspondientes a x_C (stock capturable N)

$$= R_C \frac{1}{1 - S} = R_m \frac{S^{(t_C - t_m)}}{1 - S} \text{-----} (70)$$

La cantidad total de adultos A es:

$$A = R_m \left[\frac{1 - S_0^{(t_C - t_m)}}{1 - S} + \frac{S_0^{(t_C - t_m)}}{1 - S} \right] \text{-----} (71)$$

Resolviendo las ecuaciones (67) y (70) de manera simultánea:

$$\frac{1}{K} = \frac{1 - S_0^{(t_C - t_m)}}{1 - S_0} + \frac{S_0^{(t_C - t_m)}}{1 - S} \text{-----} (72)$$

La ecuación anterior es fundamental y juega un gran papel en la estimación del rendimiento sostenible. Cuando K se conoce, la tasa de sobrevivencia en el rendimiento sostenible se puede calcular con la ecuación (72). Al mismo tiempo deben obtenerse el coeficiente de mortalidad por pesca F y la tasa de explotación E, como sigue:

$$F = \frac{1}{T} \left[-(\log S) - M \right]$$

$$E = \frac{F}{M + F} \left[1 - e^{-(M + F)T} \right]$$

Ahora E será una tasa óptima de explotación, porque el stock capturable N se calcula con la ecuación (70) y el rendimiento sostenible C_s .

se obtiene por:

$$C_s = EN \text{ ----- (73)}$$

Por supuesto, los valores de K cambian de acuerdo a las variaciones de las poblaciones. A menudo los cálculos anteriores deben efectuarse para varios valores de A . Así, el rendimiento sostenible C_s puede calcularse para varios valores de A . Graficando C_s en las ordenadas contra A en las abscisas se formará una curva parabólica, en la cual $C_s = 0$, cuando $A = 0$ (stock agotado) y $A = 1$ (stock virgen). Entre $A = 0$ y $A = 1$ hay un punto máximo, que es el equivalente al rendimiento máximo sostenible. Todas las ecuaciones anteriores son derivadas de la composición por edades, de acuerdo a la figura 7, donde $x_m < x_c$; en realidad, en las pesquerías algunas veces ocurre que $x_m > x_c$, cuando se capturan peces juveniles. En tales casos deben ser modificadas las ecuaciones (68) y (72).

Para el estudio de ballenas se adopta la tasa de preñez en lugar de la fecundidad. La figura 8 muestra el procedimiento para obtener el rendimiento máximo sostenible de la ballena Sei en el Antártico. El mecanismo de reproducción se estima a partir de un método deductivo descrito en el Capítulo 6 (Sección 6.7.3), lo cual corresponde al punto (3) en la figura 8. La curva (5) de rendimiento sostenible de esta figura puede calcularse con las ecuaciones (68) a (73), donde la edad $x_m = 10$ y $x_c = 17$.

(# 17)

9.1.3 Captura actual sostenible

Las ballenas Sei han llegado a ser una especie importante para las operaciones balleneras en el Antártico. Por la rápida disminución en la población de la ballena de aleta y el temor de que tenga el mismo destino que ésta y la ballena azul. A este respecto, se ha efectuado la evaluación del stock en la forma en que se presenta en la figura 8, tomando en consideración la reproducción y el reclutamiento. Por supuesto, la captura anual es conocida, de tal forma que permite calcular la abundancia para la siguiente temporada mediante la ecuación (63) que aparece en la Sección 7.8 del Capítulo 7. Este es un ejemplo de fenómeno transitorio, cuyos resultados se presentan en la Tabla 5; la columna de la derecha indica la cantidad de captura capaz de mantener el mismo nivel de abundancia del año anterior, la cual se llamaría "captura real sostenible". Esta se puede calcular con la ecuación (62), poniendo $N_{t+1} = N_t$.

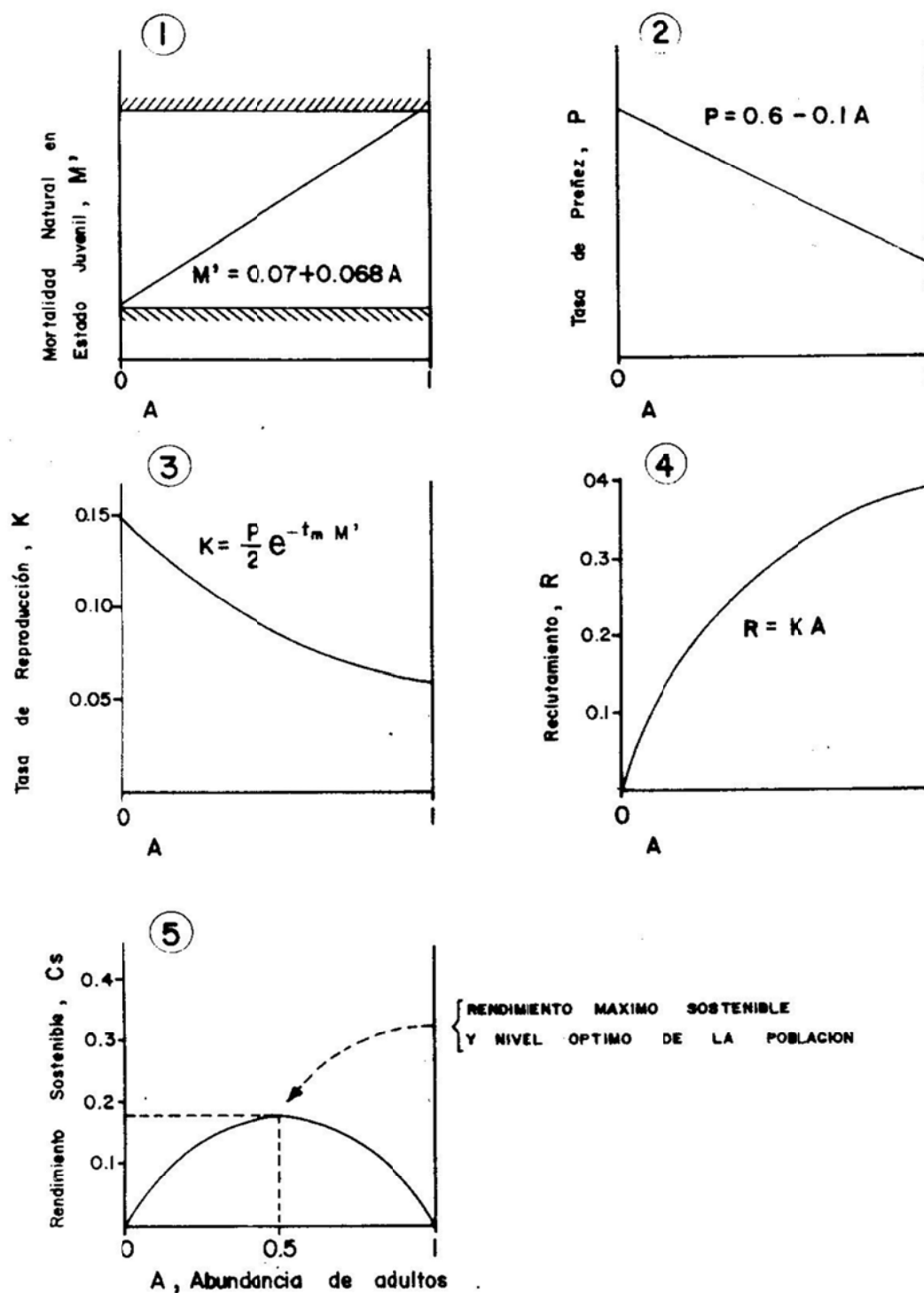


Fig. 8 Cómo obtener la curva de rendimiento sostenible en la ballena Sei del Antártico, (Los cálculos del 1 al 5 son progresivos).

TABLA 5. Cálculos de la población de ballena gris del Atlántico.

Temporada	No. de individuos capturados	Tamaño de la población	No. de individuos no considerados dentro de la captura	No. de adultos	Reclutamiento	Tamaño de la población después de la captura	Tamaño de la población para la siguiente temporada	Rendimiento actual sostenible
	C	N	A-N	A	R	N-C	(N-C)e ^{-M} +R	
1955/56	276	150,000	86,426	236,426	9,440	149,724	149,741	0
1956/57	712	149,741	86,426	236,167	9,440	149,029	149,090	18
1957/58	2,385	149,090	86,426	235,516	9,440	146,705	146,912	61
1958/59	1,402	146,912	86,426	233,338	9,440	145,510	145,793	208
1959/60	3,234	145,793	86,426	232,219	9,440	142,559	143,027	233
1960/61	4,310	143,027	86,426	229,453	9,440	138,717	139,427	468
1961/62	4,749	139,427	86,426	225,853	9,440	134,678	135,642	710
1962/63	5,503	135,642	86,426	222,068	9,440	130,139	131,389	964
1963/64	8,286	131,389	86,426	217,815	9,440	123,103	124,796	1,250
1964/65	19,874	124,796	86,426	211,222	9,440	104,922	107,759	1,693
1965/66	17,583	107,759	82,615	190,374	9,440	90,176	93,941	2,837
1966/67	12,368	93,941	82,615	176,556	9,440	81,573	85,879	3,765
1967/68	10,357	85,879	82,615	168,494	9,440	75,522	80,209	4,306
1968/69	5,770	80,209	82,615	162,824	9,440	74,439	79,194	4,687
1969/70	5,857	79,194	82,615	161,809	9,440	73,337	78,162	4,756
1970/71		78,162						

El rendimiento máximo sostenible anual para la ballena Sei es de 4,300 individuos, considerado en un nivel del 45 %, por debajo del stock virgen.

9.2 Rendimiento máximo sostenible

El rendimiento sostenible puede calcularse en cualquier estado del tamaño de la población y el rendimiento máximo sostenible es, entre ellos, el de mayor valor. No es nada difícil decir que el rendimiento máximo sostenible es el estado más deseable para la captura por el hombre.

El nivel óptimo en el cual puede estipularse el rendimiento máximo sostenible, es siempre por debajo del nivel del stock virgen o inexplorado. ¿Cómo los excedentes pueden incrementar la pesca al utilizar las propiedades de la reproducción? Ese es el objetivo del rendimiento máximo sostenible, pero ello no significa que haya tantos peces en el mar como indique el stock virgen.

(# 17)

El rendimiento sostenible C_s es cero cuando $A = 0$, o bien cuando $A = 1$ (stock virgen). Cercano a la mitad entre ambos valores, hay un punto máximo que corresponde al rendimiento máximo sostenible. En el análisis de la curva sigmoideal, la curva del rendimiento sostenible es simétrica y el rendimiento óptimo es la mitad del stock virgen. Por el contrario, en un análisis basado en los mecanismos de reproducción, la curva es asimétrica y el punto máximo se mueve a la izquierda o derecha del punto medio, como se presenta en las figuras 8 y 9. Sin embargo, comúnmente es cercano a la mitad y nunca se encuentra por debajo de un tercio. Por otra parte, se puede efectuar un cálculo aproximado del nivel óptimo en caso de que se desconozca la curva de rendimiento sostenible.

En conclusión, se enfatiza que debe ponerse atención a la composición por edades del stock pescable y al mecanismo de reproducción y, de acuerdo con ellos, puede establecerse el modelo matemático.

9.3 Evaluación del estado actual de una población

Es deseable tomar medidas adecuadas de reglamentación después de decidir sobre qué lado del estado actual se encuentra el nivel óptimo. En el "ronco amarillo" del Mar de China, el rendimiento sostenible y el rendimiento máximo sostenible pueden obtenerse considerando la mortalidad natural, el crecimiento en peso y varios valores de x_c . Las curvas de

rendimiento sostenible varían según la edad de primera captura, tal como se presenta en la figura 9. Comparando las cinco curvas, la más efectiva entre las de máximo rendimiento sostenible se obtiene cuando $x_c = 3$ años y el nivel óptimo está en un tercio del stock virgen. En la figura 10 hay unas curvas de contornos basadas en la figura anterior. La marca x representa el estado actual, el $\square$ indica el rendimiento máximo sostenible, usando la red del tamaño de malla predominante (54 mm) y el Δ es el rendimiento máximo sostenible más efectivo, cuando se usan redes con malla de 80 mm.

Los resultados sumariados de las figuras 9 y 10 son los siguientes:

- 1) El nivel óptimo de población es un tercio del stock virgen; el estado actual es menor que un décimo del stock virgen y extremadamente sobre-explotado.
- 2) En base a un cálculo sobre la edad $x_c = 1 \sim 5$, el rendimiento máximo sostenible más efectivo se obtiene con la red de malla de 80 mm, con la cual la edad de primera captura es de 3 años.
- 3) Con el objeto de restablecer el óptimo de la población a partir de su situación actual, deben permanecer protegidos de la captura todos los ejemplares por debajo de los 4 años de edad.

9.4 Utilización razonable de reclutas

A veces se discute la utilización razonable de una cierta cantidad de reclutas en relación a los efectos que pueda tener sobre cambios futuros en el proceso reproductivo de la población. Este, sin embargo, no es un problema de cambio en la población sino un problema de técnica pesquera, bajo la suposición de que los reclutas son los mismos, a pesar del cambio de los adultos. Directamente, sólo se presenta el problema de cómo capturar un número dado de reclutas o de cómo utilizar a los reclutas más razonablemente.

La captura en número o en peso, se expresa de la siguiente manera:

$$C = \int_{x_c}^{x_d} F R e^{-M(x_c - x_0)} e^{-(M+F)(x - x_c)} dx$$

$$Y = \int_{x_c}^{x_d} F R e^{-M(x_c - x_0)} e^{-(x - x_c)} w(x) dx$$

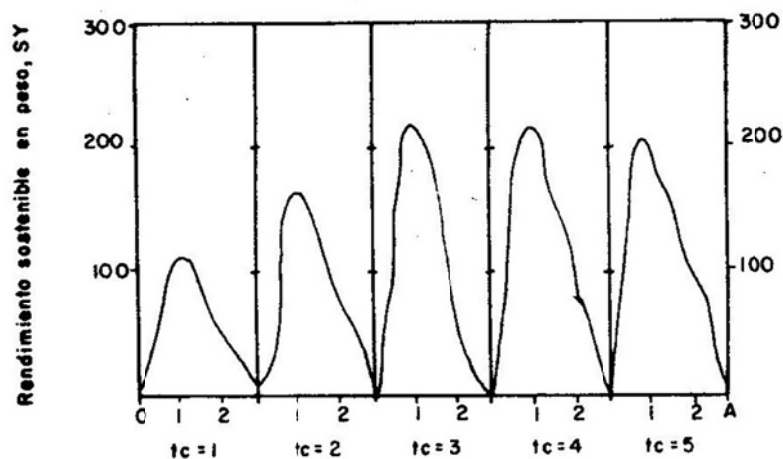


Fig. 9 Curvas de rendimiento sostenible para la población de ronco amarillo en el Este del mar de China, para varios valores en la primera edad de captura.

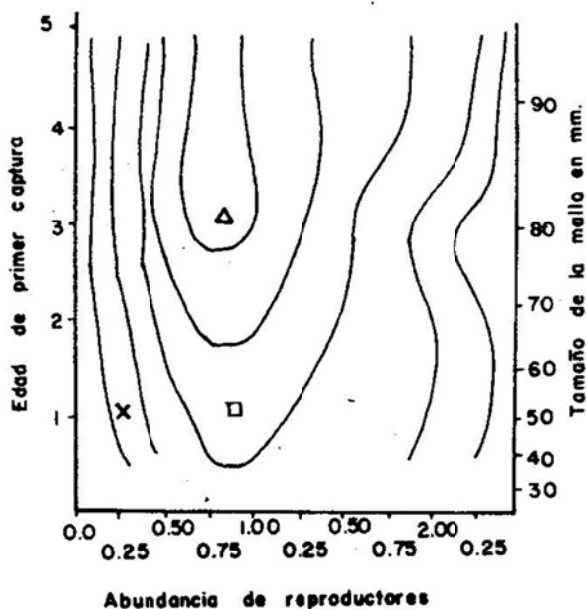


Fig. 10 Líneas de contorno del rendimiento sostenible para el ronco amarillo. X-estado actual (rendimiento sostenible de 6000 Tons); □-máximo rendimiento sostenible adoptando $t_c=1$ (30000 Tons); Δ-el más efectivo rendimiento máximo sostenible (60000 Tons).

en donde,

x_c : edad de primera captura
 x_d : máxima edad de captura
 R : reclutamiento en la edad x_0 , donde $x_0 < x_c$
 $w(x)$: peso en la edad x

Los cálculos se realizan con varias combinaciones de F y x_c . Graficando C o Y en las ordenadas contra F en las abscisas, se obtienen líneas de contorno, llamadas también isopletas. Así, a partir de la gráfica se puede saber cuánta captura es esperable con cierto esfuerzo pesquero y sobre una edad x_c .

(# 18)

En la figura 11 se presenta un ejemplo sobre la perca roja del Este del Mar de China. Los parámetros poblacionales son los siguientes:

$$\begin{aligned}
 R &= 1 \\
 x_m &= 3 \text{ (edad de madurez)} \\
 x_0 &= 0.42 \text{ (5 meses)} \\
 x_d &= 10 \text{ (edad máxima)} \\
 M &= 0.28 / \text{año} \\
 w(x) &= 6640 \left[1 - e^{-0.09 (x+1.3)} \right] 2.814
 \end{aligned}$$

9.5 Método rápido de diagnóstico

Así como se diagnosticó la población del "ronco amarillo" del Este del Mar de China, en el Capítulo 9.2, usando el mismo método se podría efectuar la diagnosis de la perca roja de mar, en las mismas áreas, si se contara con suficiente información para ello. Por ahora sólo se sabe que su captura fue de 6 000 toneladas en 1950 y que 20 años después ha disminuido hasta sólo 200 toneladas. Tan rápida disminución sólo puede atribuirse a la falta de limitaciones en el esfuerzo pesquero, así como el uso de una red de malla demasiado pequeña. Aunque no existe información sobre reproducción, no es aconsejable no hacer nada, pues se necesita una reglamentación adecuada para detener la disminución de la población. Entonces es conveniente utilizar un método rápido de diagnóstico.

Como se describió al principio del capítulo, el nivel óptimo puede encontrarse cerca de la mitad del stock virgen y no a menos de un tercio de él. De acuerdo a la opinión general, es factible hacer una diagnosis

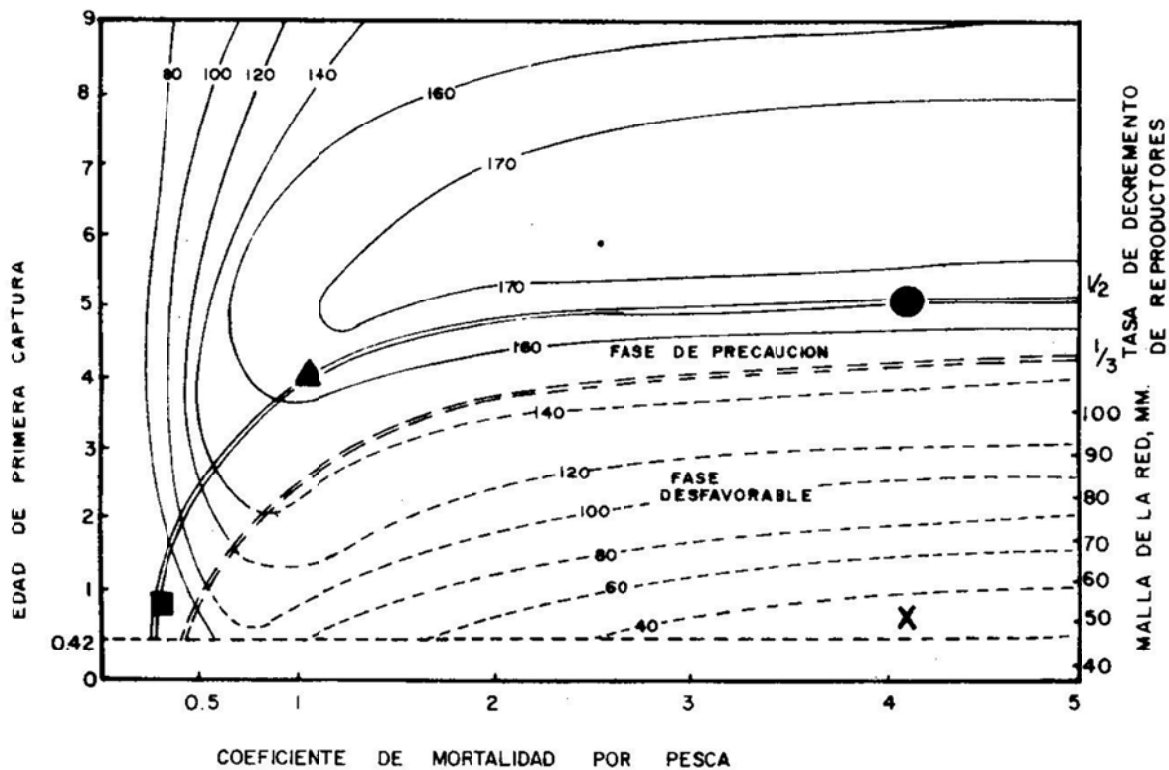


Fig. 11 Relación entre tasa de decremento de reproductores y las isopletas de rendimiento.

X : estado actual

● : el mejor estado si se mantiene el esfuerzo pesquero en el estado actual

■ : el mejor estado si se usa el tamaño de malla actual

▲ : el máximo rendimiento sostenible que se puede lograr en el nivel óptimo

rápida y dibujar fácilmente una gráfica con isopletas de captura, aún sin tomar en cuenta la reproducción. No obstante, en el proceso de cálculo se puede obtener fácilmente un número de adultos, A.

$$A = e^{-(x_c - x_m)M} \sum_{x=x_m}^{x_d} e^{-(x-x_c)(M+F)} \text{ ----- (74)}$$

donde,

$$x_c \geq x_m$$

A, también puede calcularse en varias combinaciones de x_c y F; y entonces A se grafica y se expresa por otras líneas de contorno en la misma gráfica de isopletas de captura. Son especialmente importantes las dos líneas donde los adultos equivalen a un tercio y a un medio del stock virgen. La figura 11 muestra un ejemplo de la perca roja de mar. Hay una parte donde las líneas de isopletas son punteadas, que corresponde a la fase desfavorable a la captura, porque A es menor a un tercio. La parte entre $A = 1/2 \sim 1/3$, es la zona preventiva. Hay un punto favorable cercano a la línea de $A = 1/2$, en el cual se encontrará la mayor cantidad de captura, correspondiente al más efectivo rendimiento máximo sostenible.

En la figura 11, el rendimiento sostenible más efectivo puede determinarse en la fase $F = 1$ y $x_c = 3 \sim 3.5$ (tamaño de malla de 100 mm), presentado con la marca Δ . El estado actual está representado con una X, donde $F = 4$ y $x_c = 0.42$. La fase de rendimiento máximo sostenible, usando la malla actual de 54 mm, está bajo el 0.4 de F (marca $\square$). De acuerdo a las conclusiones, el número de barcos pesqueros debe ser un décimo del actual.

10. ADMINISTRACION DE LA PESQUERIA

Los estudios sobre administración pesquera son útiles cuando son aplicables a las demandas y necesidades de las oficinas administrativas, de la industria y de los pescadores. La conservación de los recursos puede llevarse a cabo a través de la reglamentación pesquera, excepto en las pesquerías de cultivo, tales como el cultivo de peces jóvenes en redes y aquellos en los que hay liberación de juveniles incubados artificialmente.

¿Qué tanto la calidad y la cantidad del esfuerzo pesquero influyen en los cambios de abundancia y captura, de acuerdo a la conservación y la utilización de estos recursos?

La calidad del esfuerzo pesquero es función de las varias clases de artes de pesca, construcción de redes, tamaño de las redes, método de pesca, estación, área, etc.

La cantidad del esfuerzo de pesca depende del número de barcos, operaciones, pescadores, días operados, horas, etc.

Pueden lograrse medidas reglamentarias relacionando el esfuerzo pesquero y los parámetros de la población, así como con la combinación de la diagnosis y la predicción de la captura.

Las reglamentaciones se pueden lograr en los siguientes términos:

- a) Limitación del tamaño del cuerpo
- b) Limitación del tamaño de la malla de la red
- c) Santuarios
- d) Períodos de veda
- e) Limitación del esfuerzo pesquero
- f) Cuotas de captura

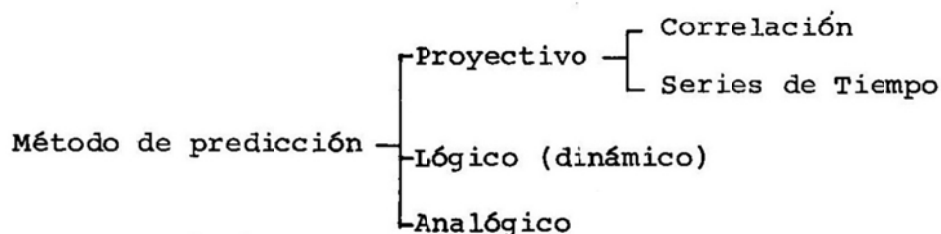
Algunas veces las medidas científicas de reglamentación no son adoptadas, por puntos de vista políticos. En tales situaciones, los científicos deben luchar con buenos argumentos sobre los resultados de sus estudios. En mi opinión, la limitación de cuotas de captura es la más importante técnica para las medidas reglamentarias. Las otras son suplementarias o secundarias.

11. PREDICCIÓN DE CAPTURAS

11.1 Elementos de la captura y clasificación de los métodos de predicción

En los pronósticos del tiempo se usan elementos meteorológicos o climatológicos tales como: cielo despejado, nublado, lluvioso, nieve, humedad, temperatura, viento, presión atmosférica, frentes, ciclones, etc. En la predicción de capturas se usan en el mismo sentido los elementos de las poblaciones de los peces y sus pesquerías, descritos en el Capítulo 5. Hay dos clases de predicción: a corto plazo y a largo plazo. Generalmente la primera es para áreas locales y la segunda para mar abierto, aunque la aplicación de los métodos es la misma en ambas situaciones.

Los métodos numéricos para la predicción se clasifican de la siguiente manera:



11.2 Método de correlación

Si en los registros de períodos pasados se encuentra correlación estadística entre fenómenos como: abundancia de la población, captura, factores ambientales, etc., puede estimarse la predicción de la captura considerando que tales interrelaciones del pasado deben continuar en el futuro, aunque las razones permanezcan desconocidas. Este es el principio de la proyección, la cual es de común adopción popular. La información necesaria para los métodos de correlación es sobre los siguientes tres puntos:

- 1) Registros de capturas por períodos considerablemente largos
- 2) Factores ambientales en el pasado que parezcan haber influenciado las capturas
- 3) Coeficiente de correlación entre 1) y 2), usado para medir la interrelación

La predicción por correlación debe ser considerada siguiendo el flujo esquemático presentado en la figura 12. Este método es fácil de comprender y los datos son también considerablemente fáciles de coleccionar. A menudo se informa de muchos ejemplos, pero estas interrelaciones de los fenómenos son aptos para teorías subjetivas de escritorio. Además, las variaciones en tiempo y espacio están limitadas por la pérdida del mecanismo biológico.

Con el objeto de aproximarse a la evidencia científica, algunas veces el intervalo es dado por el método que se indica en el Apéndice 1.5.

Si la captura se relaciona sólo a un cierto factor, por ejemplo temperatura del agua, el problema es muy fácil de resolver; pero en realidad hay siempre una gran cantidad de factores ambientales que influyen y cambian la captura, existiendo relaciones entre uno y otro. Para tal situación debe adoptarse un componente principal del Análisis Estadístico Multivariado. El análisis del componente principal (no de cada factor, sino de todos los componentes estimados a partir de su combinación con cada factor) nos da una información útil para relacionar su influencia en las capturas futuras.

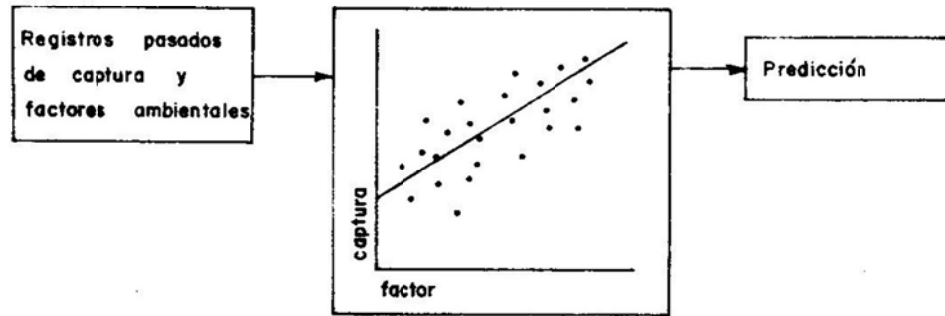


Fig. 12 Diagrama de flujo para esquematizar el método de predicción por correlación

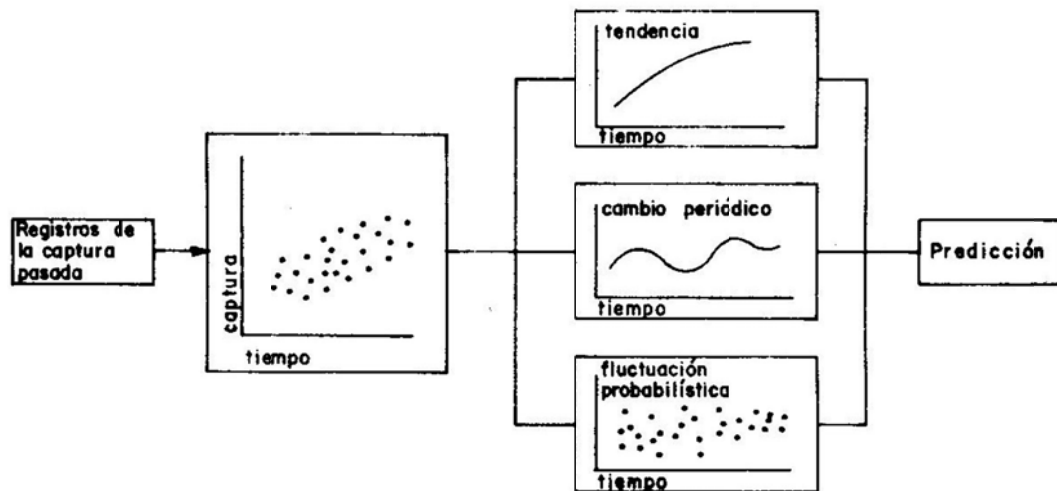


Fig. 13 Diagrama de flujo para predicción por el método de series de tiempo

11.3 Método de series de tiempo

Si no ha existido investigación sistemática en el pasado, la captura es la única información disponible y en tal caso pueden analizarse capturas en largos períodos, por series de tiempo, la cual es una técnica teórica de información útil para detectar propiedades latentes en variaciones al azar de fenómenos naturales.

Hay varios métodos para el análisis por series de tiempo. Uno de ellos es el tratamiento de todos sus componentes:

- 1) Tendencia a largo plazo
- 2) Variación cíclica
- 3) Variación estocástica estacionaria

Estos componentes son obtenidos por ruptura en cambios temporales de los fenómenos.

Primero, las tendencias a largo plazo deben detectarse por regresión temporal o promedio móvil. Segundo, los cambios cíclicos se examinan por análisis periódicos. Tercero, excluyendo las tendencias a largo plazo y las variaciones cíclicas, las variaciones estocásticas se examinan por medio de correlogramas. Con esto se pueden lograr leyes ajustables a fenómenos con fluctuaciones al azar.

En la predicción de capturas pueden extrapolarse los cambios de tendencia a largo plazo como variaciones cíclicas. Los componentes estocásticos serán calculados estadísticamente a partir de la detección de leyes. Resumiendo los tres componentes anteriores es posible estimar las capturas futuras. La figura 13 presenta un diagrama de flujo para el análisis de series de tiempo. Para los análisis periódicos y estocásticos es conveniente el uso de programas computables.

11.4 Método lógico (método dinámico)

En los métodos proyectivos se supone que las características de las variaciones de los fenómenos ocurrirán en el futuro de la misma forma que en el pasado; pero si tal premisa no se cumple, el método proyectivo no será útil en la práctica.

Los movimientos de la tierra, la luna y el sol, pueden resolverse mediante ecuaciones dinámicas. Por ejemplo, se puede saber exactamente por adelantado el tiempo de un eclipse de luna y de sol. De la misma forma, si los conocimientos sobre la dinámica de la población son correctos, puede estimarse la captura numéricamente, resolviendo la ecuación del cambio de

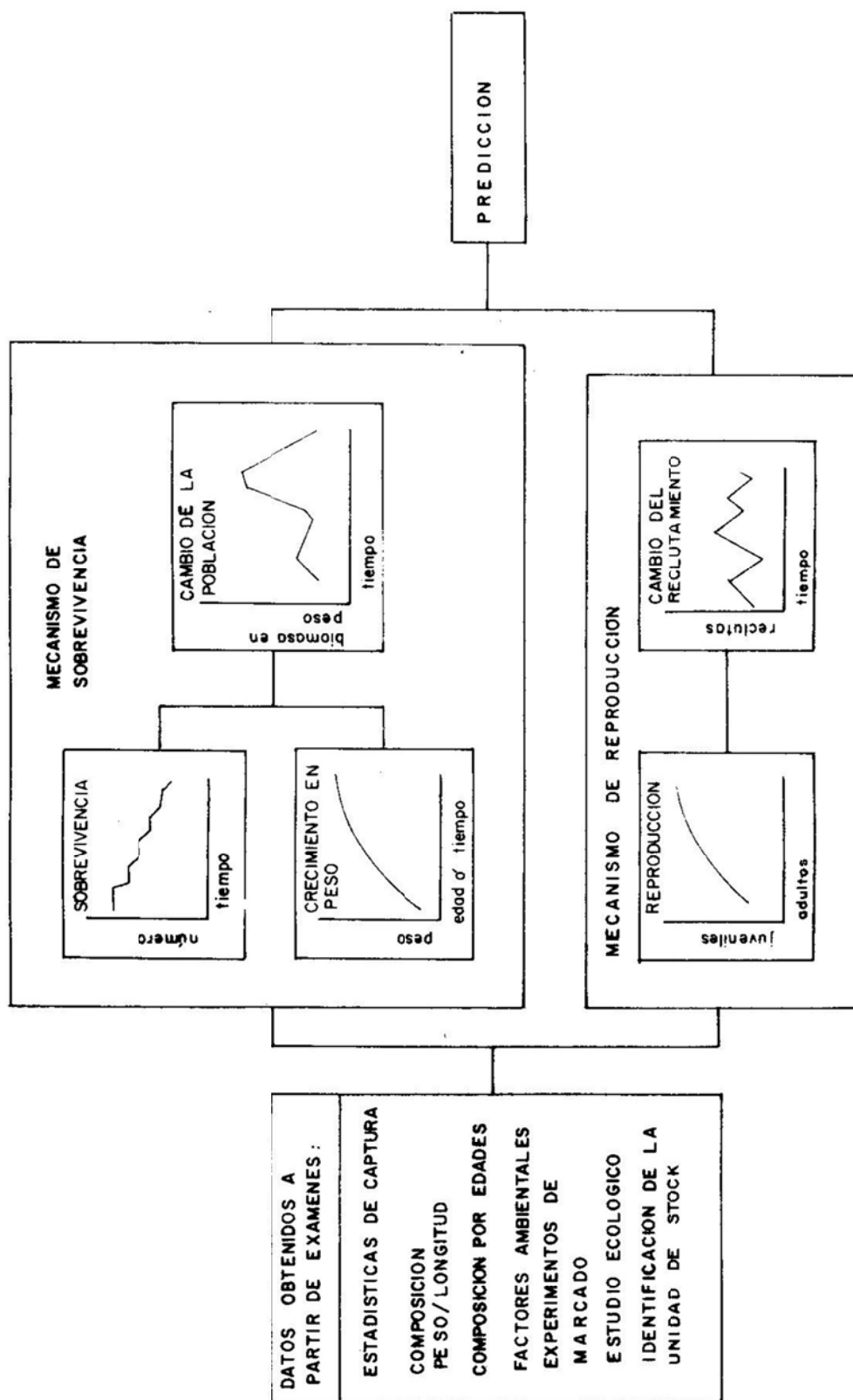


Fig. 14 Diagrama de flujo que sirve para esquematizar la predicción por el proceso dinámico.

la población. Esta es una ley de causas y efectos.

Sin embargo, actualmente la dinámica de poblaciones no es tan exacta como la dinámica de estudios físicos, debido a que aún no se puede comprender debidamente la ecología de los recursos marinos, como se presenta en la figura 6; ya que los peces viven en amplios océanos y el hombre solamente ve una parte de ellos; además, hay especies cuyo ciclo de vida todavía se desconoce. Aunque es importante efectuar un mapeo perfecto, se puede establecer una interpretación para la predicción usando el proceso de sobrevivencia y el mecanismo de reproducción como fueron descritos en el Capítulo 6. La figura 14 es un diagrama de flujo obtenido así y las abundancias en la Tabla 5 fueron calculadas de acuerdo a tal diagrama.

11.5 Método analógico

El problema de pronosticar el paso de un tifón puede resolverse matemáticamente como un problema de flúido dinámico tal como lo es el método dinámico, aunque la solución de las ecuaciones diferenciales para la distribución de la presión atmosférica son tan complicadas que no es posible resolverlas analíticamente, o bien toman una gran cantidad de tiempo y cuando se obtiene la solución el tifón ha pasado ya. Esto es, sin la predicción o el pronóstico, el método analógico llega a ser de gran utilidad. Es decir, se investiga una distribución semejante de la presión atmosférica en los registros de tifones pasados y cuando se encuentra se puede asumir que el tifón seguirá casi el mismo curso que el que sirve de comparación. No es absurdo esperar los mismos efectos a partir de las mismas causas; ésta es una solución por analogía y así se obtiene una predicción. La raza humana no puede evitar estos problemas, pero las soluciones naturales de acuerdo a la aerodinámica son un hecho. Aunque el método analógico es una clase particular del método lógico, las soluciones no se obtienen a través de procedimientos matemáticos sino de procesos proyectivos.

La representación matemática del proceso de sobrevivencia y el mecanismo de reproducción se indican en los Capítulos 5 y 6, pero frecuentemente no podemos resolverlos analíticamente por la falta de condiciones e imperfección de cifras concretas. Si se pudiese encontrar en registros pasados una situación de la pesquería y de los factores ambientales igual o semejante a la actual, sería posible predecir las capturas siguiendo estos registros.

En Japón se capturan las larvas de anchoveta en la Primavera. En Otoño los juveniles (8-10 cm) aparecen en las áreas de pesca; este es un proceso de sobrevivencia. Cuando se sabe que hay abundancia de larvas de Primavera se puede predecir que en Otoño abundarán los juveniles y vice-

versa, cuando escasean. Sin embargo, no se conocen los parámetros poblacionales tales como coeficiente de mortalidad natural, tasa de disponibilidad y de explotación. Esta es, pues, una forma de método analógico.

11.6 Diagrama de flechas para la predicción

La figura 15 es un diagrama de flechas para la predicción de la captura del jurel de aleta amarilla. Hay ejemplos para cada trabajo que aquí se omiten. Aunque es muy fácil indicar la predicción, el análisis real de ésta es muy difícil y para lograrla es necesaria la obtención de suficiente estudio e información.

APENDICE I. GUIA BASICA PARA LA ESTADISTICA TEORICA

La estadística teórica es necesaria para planificar la investigación y el procesamiento de datos. Debido a la amplitud y la profundidad del estudio teórico, aquí sólo se puede dar una descripción breve, resumiendo las partes más importantes y más frecuentemente usadas en el análisis de poblaciones. Para más detalles debe recurrirse a la literatura especializada sobre estadística.

1. Campos de la Estadística Teórica

¿Que clase de estadística?. Hay tantos campos y ramas como sigue:

- Teoría de las Probabilidades
- Función de la distribución
- Distribución del muestreo
- Teoría del muestreo
- Teoría de la prueba de hipótesis
- Teoría de inferencia
- Estimación de parámetros
- Diseño de experimentos
- Control de calidad
- Análisis de varianza
- Análisis estadístico multivariado
- Series de tiempo
- Simulación
- Método de Monte Carlo
- Investigación de operaciones
- Teoría de información

Algunas de las divisiones citadas se explican brevemente en las siguientes secciones.

2. Distribución del muestreo

2.1 Distribución normal

Cuando una distribución al azar de la variable x es normal, la media m y la desviación estándar σ , son denotadas por $N(m, \sigma)$ y la densidad probable $f(x)$ es:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-(x-m)^2 / 2\sigma^2}$$

Es decir,

$$\text{Prob. } \{t_1 \leq x < t_2\} = \int_{t_1}^{t_2} f(x) dx$$

Si hay muchas variables al azar x_i ($i = 1, 2, \dots, i, \dots, n$), con la distribución normal $N(m_i, \sigma_i)$ respectivamente, la distribución de un nuevo componente variable L , se define por:

$$L = \sum_{i=1}^n l_i x_i$$

donde,

l_i : constante

Es distribución normal con:

$$\text{media } m_L = \sum_{i=1}^n l_i m_i$$

$$\text{desviación estándar } \sigma_L = \sqrt{\sum l_i^2 \sigma_i^2}$$

Poniendo,

$$m_1 = m_2 = \dots = m_n = m$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_n = \sigma$$

$$l_1 = l_2 = \dots = l_n = \frac{1}{n}$$

y obtenemos las conocidas fórmulas siguientes:

$$L = \frac{1}{n} \sum x_i$$

$$m_L = m$$

$$\sigma_L = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

2.2 Arreglo del muestreo usando la distribución normal

Las muestras x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) a partir de $N(m, \sigma)$ pueden presentar a la media de la muestra $\bar{x}$, la cual es estimada imparcialmente a partir

de la desviación estándar s :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

y entonces, los valores calculados de t serán:

$$t = \frac{(\bar{x} - m)\sqrt{n}}{s}$$

la cual es la distribución- t , con $(n-1)$ grados de libertad. A partir de esta relación, se puede estimar el intervalo de confianza de la media de la población m .

Y también X^2 calculada a partir de la siguiente ecuación,

$$X^2 = \sum \frac{(x_i - \bar{x})^2}{\sigma^2}$$

que es la distribución de X^2 , con $(n-1)$ grados de libertad.

2.3 Distribución de F

Suponiendo que haya dos distribuciones de X^2 . La proporción entre ellas representa a la distribución F, esto es:

$$F = \frac{X_1^2 / n_1}{X_2^2 / n_2}$$

donde n_1 y n_2 son los grados de libertad en X_1^2 y X_2^2 respectivamente.

2.4 Distribución exponencial

La densidad probable de la distribución exponencial:

$$\lambda e^{-\lambda x}$$

donde,

$$0 \leq x \leq \infty$$

la media y la desviación estándar de la población, son calculadas de acuerdo a:

$$\text{media} = \frac{1}{\lambda}$$

$$\text{desviación estándar} = \frac{1}{\lambda}$$

Poniendo $\bar{x}$ como media de la muestra en una distribución exponencial,

$$2n\lambda\bar{x}$$

la cual es una distribución de χ^2 (xi cuadrada) con $2n$ grados de libertad. Entonces, el intervalo de confianza del parámetro de población λ puede calcularse sobre el nivel de significancia α mediante la siguiente relación

$$x_0^2 \leq 2n\lambda\bar{x} \leq x_1^2$$

donde,

$$\text{Prob.} \left\{ x^2 \leq x_0^2 \right\} = \frac{\alpha}{2}$$

$$\text{Prob.} \left\{ x^2 > x_1^2 \right\} = \frac{\alpha}{2}$$

3. Teoría del muestreo

3.1 Muestreo al azar

Es de fundamental importancia asegurar que la muestra sea tomada al azar. El muestreo al azar puede ejemplificarse con el juego de los dados, por números aleatorios (al azar), etc. Lo casual no puede obtenerse fácilmente; por tanto, se adoptan las siguientes notaciones:

- N : número total de la población
- n : número muestreado
- x_i : valores atribuidos a la muestra i ($i = 1, 2, \dots, n$)
- $\bar{m}$: valor medio de la población
- σ : desviación estándar de la población
- V : varianza

Si se quiere conocer la suma total X (por ejemplo, captura), la media

$\bar{x}$ (por ejemplo, longitud media), proporción p (por ejemplo, proporción de juveniles en la captura).

En un muestreo simple las muestras son elegidas al azar, sin ninguna clasificación de la población.

3.2 Muestreo simple al azar

3.2.1 Estimación de la suma total X :

$$X = \frac{N}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$V(X) = N^2 \frac{N-n}{n-1} \cdot \frac{\sigma^2}{n}$$

3.2.2 Estimación de la media $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$V(\bar{x}) = \frac{N-n}{N-1} \cdot \frac{\sigma^2}{n}$$

3.2.3 Estimación de la proporción p

Se deja $x = 1$ para las muestras que tienen propiedades definitivas y $x = 0$ para aquellas que no las tienen:

$$p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$V(p) = \frac{N-m}{N-1} \cdot \frac{\sigma^2}{n}$$

Debido a que $m = p$ y $\sigma^2 = p(1-p)$, $\bar{V}(p)$ puede transformarse en:

$$\bar{V}(p) = \frac{N-n}{N-1} \cdot \frac{p(1-p)}{n}$$

3.2.4 Decisión del tamaño de la muestra n

¿Cuántas muestras de una población deben elegirse para hacer estimaciones con una buena aproximación? Este es el punto principal de la teoría del muestreo y para tal objeto se introduce el coeficiente de variación como una medida de precisión. Considerando la suma total X , el coeficiente

de varianza es:

$$\frac{\sqrt{V(x)}}{\bar{X}} = \frac{N}{\bar{X}} \sqrt{\frac{N-n}{n(N-n)}} = \frac{\sigma}{m} \sqrt{\frac{N-n}{n(N-1)}}$$

Si se quiere estimar $\bar{X}$ con menor aproximación que ϵ , puede decidirse el número de la muestra n por la siguiente ecuación:

$$\frac{\sigma}{m} \sqrt{\frac{N-n}{n(N-1)}} \leq \epsilon$$

Aunque el valor de ϵ es ordinariamente entre 1 y 5 %, en el campo de la investigación de los recursos pesqueros puede ser de 10 a 20 %.

A medida que el valor de ϵ disminuye (alta aproximación), n aumenta. Para estimar la media $\bar{X}$, la ecuación del coeficiente de variación es la misma que se ha descrito.

Para estimar la proporción p , se adopta la siguiente ecuación:

$$\sqrt{\frac{1-p}{p}} \sqrt{\frac{N-n}{n(N-1)}} \leq \epsilon$$

6

$$\sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{1}{n} - 1 \right] \left[\frac{1}{p} - 1 \right]} \leq \epsilon$$

donde,

$$N - 1 = N$$

$$\frac{n}{N} = r \quad (\text{proporción del muestreo})$$

Antes del muestreo no se conocen exactamente los valores de m , σ , p . Se suponen valores aproximados para tales parámetros y después se calcula el número de la muestra n con una aproximación conocida.

3.2.5 Precisión deseada y precisión lograda

La aproximación citada en el párrafo anterior es la precisión deseada, no la obtenida. La precisión lograda o intervalo de confianza de la estimación, puede calcularse partiendo de la técnica estadística ordinaria, descrita en este apéndice. Por ejemplo, al estimar la proporción p , la si-

guiente ecuación nos da la estimación del intervalo, con una cierta probabilidad.

$$\text{Prob.} \left\{ \alpha \leq \frac{r - np}{np(1-p)} \leq \beta \right\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\alpha}^{\beta} e^{-t^2/2} dt$$

3.3 Aplicación a experimentos de marcado (cuántos individuos marcados deben ser liberados en el mar)

Al considerar el problema del marcado, se debe tomar en cuenta:

N : número de peces en el mar
 n : captura en número
 R : número de individuos marcados, liberados en el mar
 r : número de marcas recuperadas en n
 p : R/N o r/n

Para la aproximación de la p estimada es necesario plantear:

$$\xi^2 = \frac{1-p}{p} \cdot \frac{N-n}{n(N-1)}$$

Al planear el experimento de marcado, primero se deja N y n en cifras gruesas y puede calcularse un valor probable de p. Después se decide el número de R como $R = pN$.

Para ahorrar el cálculo, se han preparado las tablas A1 y A2 del Apéndice 1. Por supuesto, estas tablas son para cualquier clase de estimación de p (por ejemplo: proporción de sexos, tasa de juveniles, composición por especies, tasa de preñez, tasa de madurez, etc.)

Cuando se conocen los datos de captura-recaptura, se puede calcular la abundancia de los recursos pesqueros N a través de los siguientes pasos:

$$p = \frac{r}{n}$$

$$N = \frac{R}{p}$$

Ejercicio especial:

Tortuga lora, durante 1967-1971

Liberación: 990; recaptura: 63; captura: 9750.

TABLA A1. Cálculo del tamaño de la muestra n , dentro de la estimación p , ($p=0.1$ 1.0)
 N : número de población
 ϵ : coeficiente de variación

ϵ	P	Número de organismos en la población N				
		100	1000	10000	100000	∞
$\epsilon = 0.01$	0.1	100	989	9000	47371	90009
	0.2	100	976	8000	28571	40000
	0.3	100	959	7000	18921	23337
	0.4	99	938	6000	13044	15002
	0.5	99	909	5000	9091	10000
	0.6	99	870	4000	6250	6667
	0.7	98	811	3000	4110	4286
	0.8	96	714	2000	2000	2500
	0.9	92	526	1000	1099	1111
	1.0	0	0	0	0	0
$\epsilon = 0.05$	0.1	97	783	2647	3475	3600
	0.2	94	615	1379	1575	1600
	0.3	90	483	854	925	933
	0.4	86	375	566	596	600
	0.5	80	286	385	398	400
	0.6	73	210	260	266	266
	0.7	63	146	169	171	171
	0.8	50	91	99	100	100
	0.9	31	43	44	44	44
	1.0	0	0	0	0	0
$\epsilon = 0.10$	0.1	90	474	826	892	900
	0.2	80	286	385	398	400
	0.3	70	189	228	233	233
	0.4	60	130	148	150	150
	0.5	50	91	99	100	100
	0.6	40	63	66	67	67
	0.7	30	41	43	43	43
	0.8	20	24	25	25	25
	0.9	10	11	11	11	11
	1.0	0	0	0	0	0
$\epsilon = 0.20$	0.1	69	184	220	225	225
	0.2	50	91	99	100	100
	0.3	37	55	58	58	58
	0.4	27	36	37	37	38
	0.5	20	24	25	25	25
	0.6	14	16	17	17	17
	0.7	10	11	11	11	11
	0.8	6	6	6	6	6
	0.9	3	3	3	3	3
	1.0	0	0	0	0	0

TABLA A2. Cálculo del tamaño de la muestra n , dentro de la estimación p , ($p=0.01$ 0.10)
 N : número de población
 ϵ : coeficiente de variación

	p	Número de organismos en la población N				
		100	1000	10000	100000	∞
$\epsilon = 0.01$	0.01	100	999	9900	90826	990000
	0.02	100	998	9800	83051	490000
	0.03	100	997	9700	76378	323333
	0.04	100	996	9600	70588	240000
	0.05	100	995	9500	65517	190000
	0.06	100	994	9400	61039	156667
	0.07	100	993	9300	57055	132857
	0.08	100	991	9200	53488	115000
	0.09	100	990	9100	50276	101111
	0.10	100	989	9000	47368	90000
$\epsilon = 0.05$	0.01	100	975	7984	28367	39600
	0.02	100	952	6622	16388	19600
	0.03	99	928	5640	11452	12933
	0.04	99	906	4898	8759	9600
	0.05	99	884	4318	7063	7600
	0.06	98	862	3853	5897	6267
	0.07	98	842	3470	5046	5314
	0.08	98	821	3151	4398	4600
	0.09	98	802	2880	3887	4044
	0.10	97	783	2647	3475	3600
$\epsilon = 0.10$	0.01	99	908	4975	9008	9900
	0.02	98	831	3289	4671	4900
	0.03	97	764	2443	3132	3233
	0.04	96	706	1936	2344	2400
	0.05	95	655	1597	1865	1900
	0.06	94	610	1355	1543	1567
	0.07	93	571	1173	1311	1329
	0.08	92	535	1031	1137	1150
	0.09	91	503	918	1001	1011
	0.10	90	474	826	892	900
$\epsilon = 0.20$	0.01	96	712	1984	2415	2475
	0.02	93	551	1091	1210	1225
	0.03	89	447	748	802	808
	0.04	86	375	566	596	600
	0.05	83	322	454	473	475
	0.06	80	281	377	390	392
	0.07	77	249	322	331	332
	0.08	74	223	280	287	288
	0.09	71	202	247	252	253
	0.10	69	184	220	225	225

APENDICE II. BIBLIOGRAFIA

A continuación se indican las citas bibliográficas japonesas más comunes:

1) Tanaka Shoichi

1964. Dinámica de Poblaciones de los organismos marinos y administración de los recursos pesqueros, Tokai Regional Fisheries Research Laboratory, Bulletin 28.

Esta publicación es extemporánea; además, es completamente teórica y difícil para principiantes.

2) Kubo Izuo, Yoshiwara Tomokichi

1969. Dinámica de Población Pesquera (Nueva Edición) Kyoritsu Shuppan K.K. Tokyo

Comprende en forma amplia los problemas de dinámica de poblaciones, pero carece de teoría sistemática.

3) Doi Takeyuki

1971. Diagnóstico de la Población de la ballena. Tokai Regional Fisheries Research Laboratory, Bulletin, 66.

Presenta como ejemplo a la ballena; sin embargo, la teoría puede aplicarse en igual forma a los peces. Contiene métodos para estimación directa, dándole mayor importancia al diagnóstico de la población.

De la Bibliografía en Inglés se puede citar:

4) Ricker, W. E.

1958. Handbook of computations for Biological statistics of fish population, Fisheries Research Board of Canada, Bulletin 119.

Es bueno porque abarca todos los campos, pero como es viejo, las designaciones y nomenclaturas no son las internacionales.

5) Cushing D. H.

1968. Fisheries Biology - A study in population dynamics. The University of Wisconsin Press, Wisconsin and London.

Es algo más actualizado. Es muy legible, pero incompleto en cuanto al diagnóstico de las poblaciones.

APENDICE III. EJERCICIOS Y EJEMPLOS

Los ejemplos marcados con paréntesis indican que están relacionados con algunos de los otros problemas.

EJERCICIO 1. A continuación se da la relación de tallas de la "cachema" del Perú. Obtener la composición de edad utilizando la Tabla 1, (del Texto), de correlación edad-talla.

LONGITUD (cm)	NUMERO DE ORGANISMOS	LONGITUD (cm)	NUMERO DE ORGANISMOS
12	1	35	161
13	1	36	150
14	11	37	126
15	14	38	113
16	19	39	102
17	33	40	66
18	76	41	53
19	166	42	17
20	251	43	16
21	309	44	1
22	410	45	2
23	500	46	3
24	459	47	5
25	498	48	1
26	413	49	3
27	359	50	
28	324	51	1
29	297	52	4
30	254	53	2
31	223	54	1
32	199	55	1
33	181	56	1
34	163		

- EJERCICIO 2. En la primera y segunda mitad de un año, el esfuerzo de pesca varía en F_1 y F_2 . ¿Cuál es la ecuación teórica para la variación de la población?
- EJERCICIO 3. La cachema del Perú es capturada con red de cerco y de arrastre. De los datos que se anexan, estandarizar el esfuerzo (se puede tomar como método de comparación estándar la red de cerco o la de arrastre, pero por lo general se toma aquella que captura más).
- EJERCICIO 4. Se tienen las estadísticas de producción de un Scianidae (kuguchi) en el Mar de China y Mar Amarillo de Corea. El área de pesca es de 30 x 30 millas y se tiene perfectamente delimitada su extensión por sus costas e islas. Calcular el índice de densidad ϕ , índice de la población P , esfuerzo efectivo X , intensidad de captura efectiva f , efectividad del esfuerzo r .
- EJERCICIO 5. Las tallas y pesos promedios por edades, de la cachema del Perú son como a continuación se citan. Calcular la curva de crecimiento.

EDAD	LONGITUD (al iniciar el año) (cm)	PESO (al iniciar el año) (g)
3	21.0	95
4	25.5	163
5	29.5	240
6	33.0	330
7	36.0	420
8	38.5	485

EJERCICIO 6. Las tallas y pesos de la cachema del Perú son como se citan. Calcular la ecuación de correlación talla-peso.

LONGITUD (cm)	PESO (g)	
21.0	95	
25.5	163	
29.5	240	
33.0	330	
36.0	420	
38.5	485	

EJERCICIO 7. De la composición por edad de la tortuga prieta de México, calcular la tasa de sobrevivencia, mediante los métodos de edad promedio y regresión logarítmica.

EDAD	NUMERO DE INDIVIDUOS	EDAD	NUMERO DE INDIVIDUOS
5	4	13	33
6	3	14	14
7	3	15	26
8	37	16	15
9	24	17	15
10	23	18	9
11	20	19	5
12	21	20	2

EJERCICIO 8. De los resultados obtenidos de la composición por edades en el Ejercicio (1), calcular la tasa de sobrevivencia. Calcular asimismo el límite de tolerancia.

EJERCICIO 9. Calcular la tasa de sobrevivencia de la cachema del Perú con los datos de variación estacional del índice de la población por edades.

ESTACION (mes)	EDAD	INDICE DE POBLACION
1ª - 3ª	5	318.97
4ª - 6ª		203.93
7ª - 9ª		81.60
10ª - 12ª		
1ª - 3ª	6	87.73
4ª - 6ª		177.55
7ª - 9ª		140.53
10ª - 12ª		

EJERCICIO 10. Se tienen los datos de Penaeus japonicus en el Mar Interior "Seto", por períodos de 5 días. Calcular el coeficiente de capturabilidad q y el coeficiente de mortalidad natural M .

PERIODO	INDICE DE LA POBLACION	INTENSIDAD DE CAPTURA EFECTIVA f	TASA DE SOBREVIVENCIA S	COEFICIENTE DE MORTALIDAD TOTAL Z
1	414	26.5		
2	422	25.6	1.02	- 0.019
3	417	22.3	0.99	+ 0.01
4	484	17.7	1.16	- 0.148
5	562	26.9	1.16	- 0.148
6	701	12.5	1.24	- 0.223
7		18.3		

NOTA: Como en este caso la M incluye los reclutas, el valor de M aparece a simple vista como negativo. Con estos datos no se puede dividir ese valor en coeficiente de mortalidad natural y coeficiente de reclutamiento.

EJERCICIO 11. Se tienen los datos de repoblación y recaptura de crías de perca roja. Estimar el tamaño de la población por áreas.

NUMERO DE CRIAS 3000

CAPTURA EXPERIMENTAL	TOTAL	NUMERO DE EJEMPLARES EN LA POBLACION NATURAL	NUMERO DE EJEMPLARES MARCADOS
	887	578	309

EJERCICIO 12. En la tabla se muestra la relación de la cantidad de adultos de Oncorhynchus gorbusha y de la cantidad que regresa. Aplicar la curva de reproducción, graficar la curva de rendimiento sostenible y calcular el rendimiento máximo sostenible.

AÑO	CANTIDAD DE ADULTOS 10^3	CANTIDAD QUE REGRESA 10^3
1947	3.0	16.6
1948	5.0	14.6
1949	8.3	18.8
1950	7.3	14.3
1951	9.4	30.3
1952	7.1	10.9
1953	15.1	25.8
1954	5.3	1.5
1955	12.5	56.2
1956	0.5	3.9
1957	22.8	55.2
1958	1.7	11.4
1959	18.0	29.3
1960	4.7	10.3
1961	13.7	32.9
1962	4.9	14.4

EJERCICIO 13. Formular el mecanismo de reproducción de la tortuga prieta, de la información biológica siguiente:

Edad madurez ----- 8 años
 Ciclo de reproducción ----- b años
 Número de huevos ----- h
 Mortalidad natural de
 adultos ----- M
 Mortalidad natural de
 juveniles ----- M'
 Tasa de eclosión de
 los huevos ----- a (= 80%)
 Proporción de sexos ----- 1 : 1

Los valores de b, h y M' son diferentes, en el caso de una población virgen y el de una población sobreexplotada; como primera aproximación, se supone que aumenta o disminuye en forma rectilínea.

EJERCICIO 14. La composición por edades en la merluza del Golfo de Alaska es como se indica a continuación. Calcular la tasa de reclutamiento, (Q) por edades, a las áreas de pesca.

A los seis años están completamente reclutados.

Son valores estimados M = 0.65
 F = 0.43

EDAD X	Nx	Q
2	134	
3	1481	
4	2027	
5	1771	
6	714	
Se omiten los siguientes datos		

EJERCICIO (15) En el ejercicio 10 se calculó M y F para Penaeus japonicus. En la tabla se muestra el número de organismos capturados en cada período. Calcular el tamaño de la población al iniciar el promedio y al finalizar cada período. Además, relacionándolas con el índice de la población dada en el Ejercicio 10, calcular el coeficiente que permita convertir este índice en número total.

Período	Captura Número de organismos C	Tasa de explotación E	Tamaño de la población		
			Inicial	Promedio	Final
1	2381				
2	3326				
3	1872				
4	1199				
5	2032				
6	788				
7	2969				

EJERCICIO (16) Calcular el mecanismo de reproducción de acuerdo al Ejercicio 13 y la variación anual del tamaño de la población de la tortuga prieta.

AÑO	CAPTURA (TONS)	NO. DE PESCA- DORES X	RELACION DE REPRODUCCIO (índice)		
			NO. DE ADULTOS A (Antes de 6 años)	RECLUTAMIENTO R	TAMAÑO DE LA POBLACION (TON)
1948	56.5	16	1.0	0.0448	8467.78
1949	94.0	20	1.0	0.0448	
1950	198.5	32	1.0	0.0448	
1951	129.4	48	1.0	0.0448	
1952	77.6	42	1.0	0.0448	
1953	152.4	54	1.0	0.0448	
1954	176.4	80	0.994	0.0450	
1955	194.7	88	0.983	0.0451	
1956	228.4	141	0.962	0.0459	
1957	480.4	171	0.949	0.0464	
1958	495.0	171	0.943	0.0466	
1959	566.7	181	0.928	0.0469	
1960	803.6	266	0.911	0.0473	
1961	554.7	249	0.893	0.0474	
1962	618.7	342	0.871	0.0478	
1963	664.1	342	0.822	0.0480	
1964	774.9	361	0.774	0.0485	
1965	730.6	361	0.719	0.0477	
1966	523.0	342	0.64	0.0472	
1967	467.9	336	0.591	0.0455	
1968	396.2	345	0.537	0.0442	
1969	379.2	350	0.478	0.0421	
1970	421.0	432	0.407	0.0385	

EJERCICIO (17) Aprovechando la información del mecanismo de reproducción del Ejercicio 13, obtener el rendimiento sostenible y el rendimiento máximo sostenible.

EJERCICIO (18) Graficar las (curvas de) isopletras de la cachema del Perú; calcular, mediante el método de simplificación, el rendimiento sostenible efectivo.

Edad de madurez $t_m = 4$ años

Edad máxima $t_d = 8$ años

Coeficiente de mortalidad natural $M = 0.4$
 Aumento del peso $W(t) = (11.36 - 10.37e^{-0.1406t})^3$

Cambiar la edad en que se inicia la captura de 2 a 5 años.

EJERCICIO (19) Obtener, con los resultados del Ejercicio 18, la intensidad óptima de captura (coeficiente) de la cachema del Perú (esfuerzo pesquero requerido para obtener el rendimiento máximo sostenible en el nivel óptimo de la población).

Este trabajo se terminó de
imprimir el día 26 de septiembre
de 1975, en el Departamento de
Offset del Instituto Nacional
de Pesca.
Tiraje: 1,500 ejemplares.