

**INSTITUTO DEL MAR**

**SERIE DE INFORMES ESPECIALES No. IM-162**

21 OCT. 1974

**MODELOS EN CIENCIA PESQUERA**  
**G. L. Kesteven**



INSTITUTO DEL MAR DEL PERU

**INVENTARIO 2008**

INDEP PERU 16623

Callao, Setiembre 1974



**IMARPE**  
**INVENTARIO**  
**2010**

**IMARPE**  
**INVENTARIO**  
**2011**



Instituto del Mar del Perú  
Control Patrimonial

Modelos En Ciencia Pesquera.



5403407047

# MODELOS EN CIENCIA PESQUERA

G. L. Kesteven

## CONTENIDO

	<u>Pag.</u>
Algunas Observaciones Generales en Modelos	2
Modelos Generales en Investigación Pesquera	5
Modelos Bio-económicos de Situaciones Pesqueras	9
Diagramas y Gráficos	19
Una Ecuación Matemática como Modelo de la Realidad	23
Discusión y Conclusión	25

## MODELOS EN CIENCIA PESQUERA

El propósito primario de este documento debería haber sido el ofrecer cuenta de los 'modelajes' en ciencia pesquera, especialmente para aquellas situaciones pesqueras en las cuales se toman las decisiones económicas, con la esperanza de promover la aplicación de tales modelos en unos programas en los cuales el modelaje no ha sido implementado, y tal vez aún alentar la invención de otros modelos. A primera vista, ésto aparentemente fué un asunto relativamente directo. Después de todo, la mayoría de los científicos pesqueros pueden charlar con respecto a los modelos elaborados por Ricker, Beverton/Holt y Schaefer con respecto a las poblaciones en explotación. En consecuencia parecía ser un asunto solamente de reunir unos modelos representativos en cada área de trabajo y de añadir unos comentarios sobre el éxito, ú otra manera, del trabajo con cada uno de ellos, quizás también con una formulación de los principios que deben de observarse en la elaboración de modelos y de unas reglas que puedan ser útiles como guía para el trabajo. Sin embargo, pronto se hizo claro, durante la búsqueda de la literatura que el uso del término 'modelo' implica unas veces demasiado y otras veces muy poco, así como unas veces indica unas ideas totalmente erróneas.

Brevemente el problema es así: el término 'modelo' parece ser solamente un nombre nuevo para una clase de símbolos y objetos que los científicos han estado elaborando durante muchos años para representar los sistemas, fenómenos y procesos que ellos han estado estudiando; lo nuevo en los símbolos actualmente presentados como 'modelos' es aquello que es nuevo en la rama de ciencia en las cuales ellos han sido formulados. Pero, en vista que el término 'modelo' y sus derivados han sido tan ampliamente utilizados en la literatura científica, pareció necesario tratar de descubrir qué es lo que había de particular en un modelo, y la manera en la cual ése se diferencia de los otros del grupo al cual él pertenece.

El modelo Beverton/Holt es una ecuación matemática; no contiene ningún signo ni símbolo nuevo y tampoco propone ninguna nueva operación matemática; lo que fué nuevo en ese modelo cuando originalmente fué construido fueron los avances que la biología pesquera tuvo que hacer en ese tiempo con respecto a la identificación de las relaciones que prevalecen en las poblaciones de peces bajo explotación, así como en la medición de las fuerzas que operan a través de esas relaciones. La importancia de la contribución de Beverton y Holt consistió en su ampliación de la quintoesenciamiento que representa la ecuación de Russel:

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

la cual después de todo es el modelo arquetípico para todas esas poblaciones; es la simplificación suprema que, una vez asimilada, posibilita el pensar en complejidades innumerables. Ella tiene la misma simplicidad de otro modelo famoso,  $PV = RT$ . La habilidad des-

plegada por Beverton y Holt fué en fijar funciones matemáticas apropiadas a los procesos identificados en la naturaleza, incluyendo el uso de la descripción por Von Bertalanffy del crecimiento. Pero, todo ésto era matemáticas y biología pesquera, y hasta donde parece a primera vista, nada más que era modelaje.

Aún el asunto no termina ahí, con una sustitución inadecuada de la palabra 'modelo' como sinónimo de 'ecuaciones matemáticas' - sino solamente porque no son ecuaciones matemáticas todos los modelos ni son modelos todas las ecuaciones matemáticas\*. En su uso común la palabra 'modelo' es sencilla y modesta, con diversas connotaciones así como en "modelo tren", "modelo arquitectónico", y "modelo artístico" de las cuales entendemos "una representación de estructura", "un tipo de diseño" y "un objeto para imitación". Considerando el efecto de estos términos es justo preguntar ¿en que sentido puede ser una ecuación matemática un modelo de cualquier cosa en realidad? Pero, si tratamos de responder a esa pregunta nosotros nos encontramos involucrados en preguntas de epistemología las cuales encontraríamos que no podemos acercarnos hasta que hubiéramos examinado otras preguntas más sencillas, con respecto a lo que creemos que es un modelo, lo que esperamos encontrar en un modelo, lo que creemos que son las ventajas de elaborar modelos, y lo que consideramos es el papel que el modelaje puede significar en un programa de investigación.

Bunge en (1967) dice que las "teorías basadas en hechos no son modelos pero involucran modelos. Un modelo es una representación idealizada de una clase de objetos reales", y él representa su punto de vista con respecto a este asunto en la figura sencilla que sigue (Fig. 1). Obviamente no se nos pide con esto entender que todas las representaciones idealizadas de objetos son modelos, pero por nuestra parte podemos preguntar: ¿en que manera se diferencian los modelos de otras representaciones idealizadas? ¿en la idealización en la representación, o en la selección de la clase de objetos reales? Además en la misma obra Bunge escribe de "modelos de la teoría de probabilidad abstracta", y en otro lugar, de un modelo como "interpretación de una teoría abstracta". En Wittgenstein (1963) descubrimos que "2.12 una pintura es un modelo de la realidad", y "4.01 una proposición es un modelo de la realidad como nos lo imaginamos", lo cual dice, aparentemente, que la "pintura" = "proposición" = "modelo".

### Algunas Observaciones Generales en Modelos

Evidentemente esta es una materia tan extremadamente amplia, penetrando en los rincones más remotos del pensamiento humano, que para los propósitos actuales debemos seguir un curso pragmático, el cual está representado aquí por las observaciones sumamente personales del autor con respecto a las prácticas de modelaje en la ciencia pesquera como siguen:

\* La dificultad del asunto está revelada también en esta declaración, la cual es una anticipación necesaria de resultados que todavía tenemos que obtener por el argumento de este documento.

- 1) Un científico siempre está ocupado en la elaboración de modelos; es decir, siempre está formando en su cerebro o sobre un papel, imágenes que representan, inter alia,
  - (a) las cosas (objetos, sistemas, etc.) en los cuales él trabaja;
  - (b) características de esas cosas, especialmente de las relaciones entre ellas;
  - (c) unos conceptos sumamente abstractos que él ha formado con respecto al modo de operación de su sistema-objeto.

El puede también aplicar esta práctica así mismo, a sus instrumentos, y sus técnicas, que constituyen en sí un sistema.

- 2) Los modelos son de muchos tipos, teóricos, y materiales, verbales, pictóricos, simbólicos; pero una clasificación primaria y práctica para los propósitos actuales es en matemática y no-matemática, y clasificando más en numérico y no-numérico. Podemos agregar que el término 'modelaje' cubre la elaboración de imágenes desde algo con semejanza estrictamente cruda a un sistema-objeto, hasta conjuntos descriptivos, precisos y altamente complejos de ecuaciones matemáticas.
- 3) Aunque los modelos matemáticos generalmente son más poderosos que los modelos de otros tipos, ellos no tienen precedencia.

La matematización es un estado de la actividad científica que puede ocurrir en cualquier momento del proceso de un proyecto de investigación, pero es necesariamente precedida en las ciencias naturales y sociales por la identificación de los elementos del sistema-objeto y por las relaciones que prevalecen entre ellas.

- 4) Mientras que la complejidad de cualquier modelo matemático deriva de la complejidad del sistema que se describe, sabemos que en general los modelos matemáticos efectivos de los sistemas bióticos son complejos conjuntos de ecuaciones. La efectividad de tales modelos debe de ser evaluada en términos de su precisión descriptiva y aún más su poder predictivo y estas características tienen su origen en la participación del trabajo analítico que se antecede, la exactitud de identificación de los elementos y relaciones, y la destreza con que se escogen las funciones matemáticas.
- 5) Para nuestros propósitos podemos decir que, un modelo científico tiene las siguientes características:

- (a) que exista una correspondencia directa, en conformidad con leyes designadas, entre los elementos de un modelo y los elementos del sistema-objeto\*, el grado de correspondencia está determinado por la exactitud de la identificación analítica y la validez de las leyes de correspondencia escogidas;

\* Dícese que un sistema material es un modelo dinámico de un segundo sistema cuando la conexión del primero puede ser expresada por tales coordenadas como para satisfacer las siguientes condiciones: (1) que el número de coordenadas del primer sistema es igual al número del segundo (2) que con un arreglo apropiado de las coordenadas para ambos sistemas las mismas ecuaciones de condición existen. (3) que por este arreglo de las coordenadas la expresión para la magnitud de un desplazamiento concuerda en ambos sistemas. Hertz (1956) citado por Black (1964).

Esto quiere decir, que si una imagen no tiene correspondencia directa con su sistema-objeto, no es indicativa, no es selectiva y no es predictiva, entonces no es un modelo; y si un modelo tiene solo algunas de estas características, o las tiene débilmente desarrolladas, entonces es un modelo débil.

- 6) Podemos designar niveles de competencia para modelos en términos de los siguientes pasos:
- I Aquellos que meramente reportan el curso de un proceso, describiendo los cambios de una sola característica en términos de tiempo, como por ejemplo  $Y_t = Y_0 f(t)$ , o de una característica en términos de otra, como  $w = ql$ ;
  - II Aquellos que describen la generación de un proceso en términos del funcionamiento de los componentes del sistema-objeto, en el cual el proceso toma lugar;
  - III Aquellos que describen las determinantes del funcionamiento de los componentes del sistema-objeto.

En cada caso que hablamos del funcionamiento de los componentes, debe entenderse que podemos hacer la descripción en términos de propiedades intrínsecas del sistema y factores extrínsecos. Un modelo puede ser evaluado en cada uno de los niveles precedentes de acuerdo con su validez de construcción, y de acuerdo al rango de exactitud de datos con respecto a cada una de las variables consideradas.

- 7) Finalmente, debemos guardarnos de actitudes totemísticas hacia los modelos; la elaboración de los modelos es tan esencialmente una parte de la actividad científica que para anunciar en el título de una contribución científica que estamos representando un modelo en ella, es casi tan ingenuo como para dar a un documento un título como "Un estudio científico de X". Bunge (l.c.) a este respecto ha hecho las siguientes observaciones: "En la ciencia del hombre, las teorías planteadas en términos matemáticos son frecuentemente llamadas "modelos matemáticos", quizás para evitar la ambigüedad del término "teoría matemática", que puede ser tomado para designar una parte de las matemáticas o una teoría a base de hechos utilizando fórmulas matemáticas. Otra racionalización de la preferencia de "modelo" por "teoría" puede ser el deseo de prevenir al lector que se está construyendo un esquema rudo o bosquejo idealizado en lugar de un retrato confiable de un tramo de realidad; pero esta advertencia debería ser innecesaria para cualquiera familiarizado con las teorías científicas.... El mismo proceso de maduración ocurrirá probablemente en lo que ahora se llama "biología matemática", "psicología matemática" y "sociología matemática": las cuales podrán eventualmente ser conocidas como biología teórica, psicología teórica y sociología teórica respectivamente. Esto deberá suceder cuando el presente proceso revolucionario de la matematización en estas ciencias avance tanto que ningún teórico en

ninguno de estos campos necesita disculparse por inventar modelos esquisitados y por afirmar las propiedades de dichos modelos en un lenguaje matemático... Una vez que se alcance un grado mínimo de madurez, la matematización hará una mas amplia clarificación y precisión posible; en su propia "traducción" de estados verbales a formular matemáticas los conceptos serán agudizados".

Sin embargo, el término 'modelo' aparece en títulos de napeles de ciencia pesquera por una razón diferente a aquella en la que Bunge ve una explicación por su aparición en algún otro lugar; en lugar de encubrir el uso de la matemática es para llamar la atención a ésto.

### Modelos Generales en Investigaciones Pesqueras

Aunque hubiera parecido de utilidad hacer un inventario de modelos en ciencia pesquera parecerá ahora que tal inventario, reuniendo modelos débiles y fuertes, pudiera ser una transcripción de una substancial parte de la literatura de ciencia pesquera. Por lo tanto, dirigimos nuestra atención solo a ejemplos seleccionados. Por razones similares no podemos emprender a repasar y apreciar los modelos que mencionamos; la tarea es la responsabilidad de aquellos que trabajan en cada uno de los campos en los cuales encontramos modelos que atraen nuestra atención. Por lo tanto, la siguiente lista, sirve solamente para ilustrar algunos de los principios recientemente enunciados.

Proceso biótico en peces: Las ecuaciones y gráficos representando las relaciones edad/longitud, peso/longitud, fecundidad/longitud y otras representando cambios en tamaño, peso, fecundidad y otras características en el tiempo son extremadamente comunes en la literatura de pesquería. La mayor parte de este trabajo, por lo tanto, se refiere al modelaje del Estado I. En su contribución original Von Bertalanffy (1934) creía que sus constantes representaban los procesos anabólicos y catabólicos involucrados en el crecimiento, pero posteriormente se pudo demostrar que esto no era cierto, sin embargo, mucho trabajo posterior ha sucedido dentro de las mediciones de las variaciones efectivas en el suministro de alimentos y de varios factores ambientales en proporción de crecimiento. Parte de este trabajo está discutido por Davis y Warren (1968) con relación a la ecuación

$$C = F + U + \Delta B + R \quad (1)$$

donde:

$$R = R_s + R_d + R_a \quad (2)$$

C = valor de energía de alimento consumido  
F = valor de energía de feces

- U = valor de energía de materiales excretados en la orina ó a través de las agallas o piel
- $\Delta B$  = cambio total en el valor de la energía en materiales de cuerpo (crecimiento)
- R = energía total del metabolismo; ésto puede ser dividido como sigue:
  - $R_s$  = energía equivalente a la liberada en el curso del metabolismo de los peces no alimentados y descansados (metabolismo normal)
  - $R_d$  = energía adicional liberada en el curso de la digestión, asimilación y almacenamiento de materiales consumidos (incluyendo específica acción dinámica ó SDA)
  - $R_a$  = energía adicional liberada en el curso de natación y de otra actividad.

En esto tenemos un ejemplo del modelo en el Estado (III).

Principalmente, las características a las que se refiere el párrafo anterior son aquellas que asociamos con el crecimiento y los procesos nutricionales que la sustentan. El interrogatorio sin embargo, sigue profundizándose a las características del proceso metabólico y sus determinantes extrínsecos y de la misma manera a los patrones originales de comportamiento, y las consecuencias de estos patrones.

El punto de estas observaciones es que ya podemos apreciar la necesidad para los modelos avanzados del Estado II, de los procesos orgánicos y autoecológicos que son las bases de nuestros modelos de población.

Producción Primaria: El Manual IBP No. 12 (ed. Vollenweider, 1967) sirve como un indicador del estado de este campo; sus ecuaciones son esencialmente de modelos en el Estado I, como por ejemplo "La relación fundamental que gobierna los procesos de producción puede ser resumida con la bien conocida ecuación:



Ecosistema: El capítulo sobre "El Ecosistema", por Margalef en Ecología Marina (Castellvi et al., 1967) es una útil demostración de varias formas de modelaje, pasando de diagramas pictóricos de flujo a modelos matemáticos sofisticados y numéricos. El siguiente capítulo de ese trabajo, también por Margalef, que trata de ritmos, fluctuaciones y sucesiones, con sus modelos en el Estado I, muestran el estado de esta parte de la ecología.

Poblaciones: Esta es quizás la sección mas "modelada" de la ciencia pesquera. Quizás sea por que la "población" es esencialmente un concepto estadístico en contraste con por ejemplo, el concepto "especies"; más aún las propiedades (estructurales y dinámicas) de una



población son estrictamente numéricas - discutimos una población en términos de su número total o peso, o el número y peso de algunos segmentos de ella - mientras que cambios en estas características tienen su origen en procesos que toman lugar en y entre organismos individuales. Por lo tanto, con respecto de esta clase de fenómeno, habría sido imposible conseguir progreso sin contar con este tipo matemático de imagen.

La literatura es extensa, una verdadera montaña donde se destacan dos macizas y consistentes constantes de Beverton y Holt (1957) y Ricker (1958), y recientemente otra, Watt (1968) ha sido empujada hacia arriba. Las primeras dos de estas presentaron modelos esencialmente en el Estado II pero apuntaban el camino a modelos en el Estado III. El tercer trabajo presenta métodos para hacer uso completo de la capacidad de los equipos de computación; su capítulo 11.2, es de especial interés en este campo. La Figura 11.2 debe parecer extremadamente útil para la mayoría de los biólogos. Es también interesante anotar el punto de vista de Watt sobre modelos en uso; él dijo que "todos los modelos propuestos para poblaciones descritas en problemas de recursos administrativos caen dentro de cuatro categorías". (Sección 11.1) y describe sus cuatro clases como sigue:

1. Modelos que intentan explicar cambios en el tamaño de una población en base a las relaciones entre el tamaño de la parte reproductiva de la población y el tamaño de la población resultante.

2. Modelos que usan métodos de regresión para referir el stock en cada edad, en cada año con el stock en uno ó mas grupos de edad del año anterior.

3. Modelos que intentan explicar los cambios en las poblaciones solo en términos de factores intrínsecos de la población (modelos complicados "steady-state"). Factores extrínsecos a la población, tales como tiempo, cambio de temperatura; velocidad, o dirección de corrientes oceánicas, se asume que permanecen constantes. El modelo considera tales factores como cambio en el crecimiento individual de animales, intensidad de cosecha, edad en la que las clases anuales son cosechadas por primera vez, y mortalidad natural.

4. Modelos que son complicados pero no modelos "steady-state". Esta categoría está "open-ended" en la que no hay límite al grado de complejidad que puede ser considerada dentro del modelo. Tantas factores ambientales como sean requeridos pueden ser construídos dentro del modelo además de una gran variedad de especies competitivas, parásitos, predadores, enfermedades, dispersiones, y los resultados de una variedad de estrategias impuestas por el hombre".

Después él dice en su Sección 11.10: "Se han discutido dos muy diferentes clases de modelos, que representan dos filosofías distintas sobre el uso de modelos en ciencia;

requieren dos tipos diferentes de entrenamiento, y tienen dos conjuntos diferentes de implicaciones para las futuras direcciones de ciencia". En este punto su primer tipo "puede ser llamado de los modelos analíticos" dentro de los cuales están los modelos matemáticos de epidemias y modelos de predador-presa, parásito-huésped y sistema de competencia inter-específicas, dentro de las más avanzadas, de los cuales son modelos estocásticos y de dispersión.\*

Su otro tipo de modelo "incluye programas Fortran y juegos de computadoras o estudios de simulación". Pero, encajado en esta dicotomía está el problema concerniente a "la discrepancias entre predicciones estocásticamente derivadas y las derivadas determinísticamente; mientras que alguien hubiera podido pensar que las consecuencias de las diferencias entre modelos estocásticos y determinísticos eran de tanta importancia que debería constituir un criterio clasificatorio de por sí mismos. Paulik (1969) hizo una distinción entre modelos "desarrollados para beneficios investigatorios y costo de administración pesquera política y aquellas para estudio de propiedades fundamentales de comunidades de animales naturales", una distinción que parece coincidir con la última clasificación de Watts.

La mayoría de los modelos son determinantes, y operan con parámetros que son los valores promedio del Estado I, algunas veces descripciones del tipo Estado II de características de la población y de sus constituyentes individuales. Una línea importante de avance de esta posición es ciertamente por la forma de modelos estocásticos, de los cuales aquellos propuestos por Riffenburgh (1969) indudablemente, merecen más atención; las ventajas dadas por Riffenburgh para su modelo son: "(i) coordinación de modelos con una sola variable y evaluación de su calidad; (ii) cálculo (ó refinamiento de cálculos) per se; (iii) identificación de los elementos más relevantes e importantes en un sistema; (iv) experimentación (en el sentido cibernético) en situaciones donde los datos son poca frecuentes o son incontralables, o ambos; (v) experimentación (en el sentido cibernético) con nuevos patrones de subsistemas abstraídos de sus orientaciones físicas constreñidas; y (vi) predicción del futuro comportamiento de sistemas ya sea con ó sin control". La correspondencia de esto con las secuencias representadas por los tres estados (I al III) descritos arriba, será claro.

Mann (1937) y Clark (1972, 1973) aún presentan otro acercamiento. Finalmente, enlistamos abajo algunas unas otras áreas-sistemas y algunas de las prácticas de modelaje relevantes.

Aperejos y diseño de barcos: Diseños a escala, modelos-escala, pruebas-tanque.

Prácticas pesqueras: Pella (1968); modelos-escala y pruebas-tanque.

Procesamiento de pescado: Ecuaciones físicas y químicas; experimentos-laboratorios, operaciones piloto a escala; diagramas de flujo.

\*Debemos anotar aquí la siguiente observación de Watt, al final de este párrafo que trata de este tipo de modelo: "Una muy importante característica de todas las bio-matemáticas clásicas es la suposición de que los cambios temporales en los sistemas considerados, surgieron por cambiar diversos valores de factores intrínsecos del sistema, y no de factores extrínsecos al sistema".

Mercadeo: Diagramas de flujo, curvas de oferta y demanda

Toma de decisiones: Análisis de ruta crítica (CPA), la técnica de evaluación y revisión de programas (PERT), programación lineal.

### Modelos Bio-económicos de Situaciones Pesqueras

Tenemos un interés especial en los modelos bio-económicos actuales; por las siguientes razones:

- (a) Porque al construirlos estamos obligados a reconocer que una pesquería es un sistema bio-técnico-socio-económico, y
- (b) Porque un examen de aquellos que conocemos por informes publicados pueden mostrarnos algo del contenido de partes de la ciencia pesquera que no sea la biología pesquera; y puede sugerirnos como podemos aumentar útilmente nuestros programas de ciencia pesquera y fortificar las relaciones entre los diferentes sectores; y
- (c) Porque los resultados que pueden producir son ahora urgentemente necesarios en muchas partes del mundo para decisiones administrativas.

Tomaremos por lo tanto, una estrecha consideración de algunos ejemplos de estos modelos, para anotar la entrada (=input) de datos sobre los cuales operan, las funciones incorporadas en ellos y los resultados - esperados y realizados; y nos aventuraremos a hacer algunos comentarios sobre algunas de las suposiciones de estos modelos.

Antes de hacerlo, sin embargo, examinamos los tres diagramas siguientes con los cuales el autor y su colega Robert Ingpen han tratado de representar de manera generalizada la estructura, y las principales relaciones funcionales de cualquier pesquería (Kesteven 1972). La Figura 2 representa los estados y los cambios de estado de material, desde el huevo fecundado hasta el producto entregado, y los canales de movimiento de material desde un estado hacia otro. Los estados son representados en la figura por círculos marcados, incorporados en la mayoría de los casos en un símbolo más complejo - por ejemplo, los dos estados de "huevo" y "juveniles" en el símbolo en forma de 8 para "material reorganization". Se representan cuatro tipos principales de cambios de estados que son de: crecimiento, reorganización, traslado y transformación; los tres principales se encuentran en los sistemas dirigidos por el hombre; el segmento de un círculo simboliza la pérdida de material de cualquier estado. La Figura 2 entonces es el plan fundamental, no ofreciendo ningún argumento, meramente expresando hechos con respecto a las relaciones tróficas (de traslado de material), en tiempo y espacio, con una implicación de flujo desde la izquierda hacia la derecha.

La Figura 3 es la misma que la Figura 2 pero presenta adicionalmente una representación de esfuerzos para impulsar los cambios de estado; es decir, están indicadas las relaciones trópicas (de flujo de energía). Una vez más no está representado ningún argumento en base del cual se puede calcular; es así por ejemplo que el cuadro pequeño a la izquierda de la palabra "fishing" significa sencillamente que la aplicación del esfuerzo de pesca a un stock pescable puede mudar una proporción de este stock del estado de vida libre hacia el estado de "captura".

Las relaciones teleonómicas (de flujo de la información) han sido agregadas a la Figura 3 para elaborar la Figura 4. Como está la representación en la Figura 4, ésta no presenta ningún argumento: por ofrecer una declaración sencilla de los hechos ésta no admite de argumento - si no se procesa ninguna proporción de la captura de una pesquería se debe eliminar la mitad de la parte inferior de la figura a la derecha, y no hay más que decir.

Sin embargo, cada uno de los cuadros pequeños que representan la aplicación de la energía puede estar representado por una ecuación para describir las consecuencias por una unidad de material, en este punto de la aplicación de una cantidad de energía. Pero en los sistemas dirigidos por el hombre son controladas esas aplicaciones de energía, con respecto al tipo y cantidad de energía, por decisiones tomadas por unidades de control. En la Figura 3 las unidades de control están representadas por un pequeño círculo con una "S" dentro de cada operador; en la Figura 4 están incluidas otras unidades de control (por ejemplo de la gerencia industrial); y se representa cada unidad de control en estado de recibir y emitir información, el manejo de la aplicación de la energía está representado en el diagrama por el símbolo "Material Flow Regulation". En breve el funcionamiento del sistema está para controlar en términos de información con respecto a la cantidad de material del cual se debe cambiar el estado, así como de un conocimiento de los resultados de la aplicación de la energía: es el objetivo de la ciencia pesquera proveer el conocimiento necesario desde su análisis del sistema, y obtener la información sobre la cantidad de material en tiempo real de la operación del sistema de monitoreo.

### Caso 1: Operaciones pesqueras

Bogucki y Eddi ( ) presentaron un diagrama de flujo representando computación simulada de la operación de un arrastrero congelador para proveer una base para decisiones sobre un diseño óptimo de barcos en términos de comparación de los costos y ganancias de barcos de diferentes características. Aparte de los datos iniciales con respecto a características de barcos y su presente valor, los datos de consumo consisten en estimados realísticos de tiempos de navegación, promedios de captura, consumo de combustible, costos de viajes y diversos elementos financieros.

Engstrom, Engvall y Salmon (1971-1974) construyeron un modelo similar que aplicaron en conexión con barcos anchoveteros peruanos y barcos camaróneros mexicanos. Los datos iniciales de su trabajo están demostrados en la Tabla 1, y algunas de las relaciones componentes incorporadas en el modelo se muestran en la Tabla 2.

El procedimiento del modelo es:

- (1) Calcular los costos y ganancias para un viaje típico del buque del tipo seleccionado,
- (2) repetir este cálculo para cada uno de los viajes que el buque-tipo se espera pueda llevar a cabo en un año;
- (3) sumar los costos y ganancias y calcular las ganancias netas para el año;
- (4) repetir los cálculos (1), (2) y (3) para cada año de vida del buque;
- (5) descontar las **ganancias** de cada año y sumar las ganancias netas descontadas;
- (6) dividir el resultado de (5) por el costo de inversión (cash outflow); llamar a esto índice de valor actual;
- (7) repetir los pasos (1) a (6) para cada buque-tipo;
- (8) plotear los valores (6) contra las características del buque-tipo.

Así este modelo es esencialmente un conjunto de cálculos de contabilidad, de gastos y ganancias, contando con una descripción básica de las operaciones de pesca y de las relaciones que sostienen entre las características del sistema-objeto en conjunto, de sus componentes y diversas características de la ejecución del trabajo. Obviamente el suceso de este modelo depende de la validez del plan de trabajo incorporado en el Paso 1 y en los datos de costo y ganancia; paso uno (y luego, por supuesto, todos los otros pasos) pueden ser repetidos cualquier número de veces, con diferentes datos iniciales. El problema está entonces en identificar las situaciones (en el funcionamiento del modelo) para que parezcan tener la mayor probabilidad de corresponder con la realidad, y la prueba crítica de aceptación recae, no con este modelo en sí, sino con la predicción de las situaciones para las cuales los resultados del modelo han de proporcionar la base para tomar decisiones.

## Caso 2. Decisiones sobre inversión en la pesquería del camarón

Thompson, Cullen y Woken (1970) presentaron un modelo para calcular los ahorros que pudiera tener un pescador camarónero al final de un número determinado de años de operación, bajo ciertas condiciones tales como: capital inicial, préstamos, amortizaciones, intereses e impuestos, costos de operación y precio del producto. El objetivo del modelo es guiar al pescador en sus decisiones como para maximizar la cantidad de ahorros sostenidos en el último año del período de la toma de decisión, más el valor de barcos poseídos

TABLA 1

Initial cost of vessel	Costo inicial del barco
Initial cost of gear	Costo inicial del aparejo
Engine power	Poder del motor
Fishing power	Poder de pesca
Technical problems related to larger vessels	Problemas técnicos relacionados con los barcos de tamaño más que el promedio
Yearly number of days at sea	Número de días de navegación al año
Yearly change in number of days at sea	Cambio anual del número de días de navegación
Price of fuel	Precio del combustible
Crew share	Participación de la tripulación
Yearly change in crew share	Cambio anual de la participación de la tripulación
Cost of provisions	Costo de las provisiones
Harbour costs	Costos del muelle
Miscellaneous operational costs	Costos operacionales misceláneos
Cost of insurance	Costo del seguro
Vessel repair costs	Costos de reparación del barco
Gear repaint and replacement costs	Costos del repinte y reposición del aparejo
Miscellaneous yearly fixed costs	Costos fijos anuales misceláneos
Appropriate rate of discount	Tarifa apropiada de descuento
Crew number	Número de tripulantes
Duration of trips	Duración de los viajes
Yearly change in catch rate	Cambio anual del porcentaje de captura
Economic lifetime of vessels	Curso de vida económica de los barcos
Residual value of vessel	Valor residual del barco
Ex-vessel price of anchovy	Precio de la anchoveta a la descarga
Yearly change in ex-vessel prices	Cambios anuales en los precios a la descarga
Items required for calculation of income tax	Items requeridos para el cálculo del impuesto sobre ingresos

TABLA 2

Relation between size of vessel and engine motor	Relación entre el tamaño del buque y poder de motor
Relation between catch rate and size of vessel - Chimbote	Relación entre el porcentaje de captura y el tamaño del buque - Chimbote
Relation between catch rate and size of vessel - Pisco-Tambo de Mora	Relación entre el porcentaje de captura y el tamaño del buque - Pisco-Tambo de Mora
Catch rates for vessels of different age	Porcentaje de captura para embarcaciones de diferente edad
Number of days at sea for vessels of different age	Número de días de navegación para barcos de diferente edad
Relation between catch rate and size of vessel	Relación entre el porcentaje de captura y tamaño de la embarcación
Yearly catch and catch per ton hold capacity - in relation to vessel	Captura anual y captura por tonelaje de la capacidad sostenida en relación al tamaño del barco.
Relation between vessel size and profitability - Basic cases	Relación entre el tamaño del barco y la utilidad - Casos básicos
Influence of change in ex-vessel price of anchovy	Influencia de los precios de la anchoveta a la descarga
Influence of crew share, fuel cost and income taxes	Influencia de la participación de la tripulación, costo de combustible é impuestos sobre ingresos
Influence of change in rate of discount	Influencia del cambio en la tarifa de descuento
Influence of change in economic lifetime	Influencia del cambio en el curso de vida económica
Influence of changes in catch rates and number of days at sea	Influencia de cambios en los porcentajes de captura y número de días de navegación
Unit production costs for various yearly catch alternatives	Costos de unidad de producción para diversas capturas anuales alternadas

durante el último año con debida asignación por depreciación tecnológica é inflacionaria en precios de compra, menos la cantidad por obligaciones pendientes. Obligaciones, ahorros y compra de barcos son variables de estado (stock); la compra de barcos y préstamos son variables de control de flujo. El "cash-flow" de los pescadores se describe bajo condiciones especificadas del precio del producto, captura, intereses sobre deuda, impuestos, gastos operacionales y depreciación. El modelo entonces opera en dos grados; el primero maximiza el valor  $V$  igual a la cantidad de ahorros obtenida en el último año, mas la inflación en los precios de compra menos la cantidad de las deudas pendientes, satisfaciendo tres diferentes ecuaciones y 4 desigualdades; este procedimiento, con cálculos suplementarios elimina las variables de estado del problema y nos lleva a un modelo de programación lineal.

### Caso 3: Estudio econométrico de la industria de harina de pescado

La contribución de Segura (1973) es probablemente el material ideal con el que se puede examinar las dificultades que confrontan los científicos pesqueros que no tienen ningún entrenamiento en economía.

El objetivo del estudio se describe como:

"hacer un análisis de las condiciones de oferta y demanda en la industria de la harina de pescado, aunque el énfasis está al lado de la demanda. Los objetivos del estudio pueden ser mas ampliamente definidos como, para:

- (1) Desarrollar un modelo teórico de oferta y demanda en la industria pesquera que reúna las condiciones actuales tanto como sea posible;
- (2) Estimar empíricamente el modelo\* económico en bases de los datos disponibles;
- (3) Analizar el modelo\* estimado y aplicarlo a la determinación de:
  - El grado de explotación de los recursos pesqueros y la eficiencia de producción;
  - El grado de sustituibilidad entre la harina de pescado y productos competitivos en los dos principales mercados de harina de pescado.
  - La elasticidad en la demanda en los mercados principales;
  - El efecto de cambios exógenos en el mecanismo del precio de consumo de la harina de pescado".

Un modelo teórico económico se presenta en el Capítulo 3, como un arreglo desconcertante de cerca de 100 ecuaciones. Lo que deberíamos anotar acerca de estas ecuaciones

\*El documento es viciado seriamente por expresiones similares a estas dos, que por lo mejor son ambigüedades, sino que en el peor de los casos son errores. Es muy improbable que el autor calculó el modelo mismo (y es muy difícil concebir lo que puede ser tal procedimiento), mientras que posiblemente él analizó los resultados que obtuvo por operar el modelo.



es que sus constantes reflejan características de series de datos estadísticas y no las características de los sistemas que determinan el nivel dominante de cada serie de datos y las variaciones del mismo.

Sin embargo, la relación del procedimiento de estimación y de los resultados empíricos es introducida por la siguiente declaración: "Un modelo económico ó teórico se obtiene por teoría económica y algún conocimiento a priori del funcionamiento del sector de la economía que está siendo estudiado. Esto es lo que nosotros hicimos para la industria de la harina de pescado en el Capítulo III. Sin embargo, debido al presente estado de la teoría estadística y a la insuficiencia de datos, es necesario hacer suposiciones adicionales ó simplificantes, para las cuales las condiciones económicas ofrecen poca guía. Por ejemplo, la forma algebraica de la ecuación debe ser especificada y se deben hacer transformaciones de algunas variables para poder obtener un estimado estadístico de los parámetros del modelo. El conjunto de ecuaciones consistentes con todas las especificaciones, tanto económicas como estadísticas, se llama modelo estadístico".

Anotamos particularmente en esta declaración que los modelos teóricos se derivan de algún conocimiento previo de como funciona el sistema. Este capítulo tiene más de 64 ecuaciones declarando aparentemente, que el precio, la oferta y el inventario de "broilers", de harina de pescado y de frijol de soya y la demanda para ellos, son variables tan relacionados unos con otros que la variación de uno puede ser expresado solamente en términos de las variaciones de los otros\*. Si esto es satisfactorio para los economistas es algo que solo lo pueden declarar ellos mismos; los que no son economistas se pueden permitir dudar, y ciertamente mirar con recelo el siguiente capítulo en el cual el autor aplica métodos similares para explicar la producción de harina de pescado y para predecir "captura máxima sostenible" y "esfuerzos óptimos de pesca".

El punto en pro de la ciencia pesquera que se debe tomar aquí, es que cuando quiera que se ofrece un modelo comprensivo (como puede ser útil en la toma de decisiones) sobre una industria los no-economistas pueden solicitar evidencia de la exactitud de la contribución economista, y deben escrudificar muy de cerca la operación de los economistas sobre datos de trabajos biológicos y tecnológicos. En conexión con la contribución de Segura, por ejemplo, debemos vetar las Figuras 6.1 y 6.3 que representan el rendimiento máximo sostenible como una cantidad fija durante unos años: la cantidad de captura promedio tomada de un recurso no es su RMS - aquel término significa una cantidad que puede ser tomada, que varía de un año a otro por las propiedades intrínsecas del recurso de población y factores extrínsecos de él, teniendo en cuenta las propiedades de la población y de su habitat, ambas en el momento para el cual esa captura está propuesta y algunos tiempos futuros.

\* Ni el cálculo de los errores de regresión, ni las discusiones de la verosimilitud de los estimados, ni un recurso a la teoría de la oferta y demanda, desprecia esta descripción.

#### Caso 4: La Pesquería de Georges Bank Haddock

Un modelo mucho más comprensivo, y probablemente de mucha mayor utilidad está descrito por Saita (1972) para la pesquería de "Georges Bank Haddock". El modelo empieza con una función general y específica, de la oportunidad del sistema, definido como, "La totalidad de inversiones o cursos alternativos de acción disponible al empresario ó a el que planea según la política. El empresario ó el que planea según la política está obligado a explorar el conjunto general de oportunidades por métodos intuitivos, empíricos ó analíticos. En términos de este problema, la búsqueda del conjunto general de las oportunidades se puede considerar como terminado por la decisión de ocuparse en la empresa pesquera, ó por establecer la política para la industria pesquera. La decisión a la cual se refiere arriba puede ser para los propósitos de modelo, al nivel industrial, del grupo o de la política nacional.

El modelo toma en consideración los siguientes recursos físicos:

- disponibilidad de stocks de especies deseables,
- disponibilidad de capital,
- disponibilidad de mano de obra y
- disponibilidad de maquinaria y tecnología

también examina las siguientes consideraciones socio-económicas:

- la necesidad planeada de bienes y servicios,
- restricciones públicas, y
- tipo y fuerza de competición potencial.

El modelo tiene datos de entrada con respecto a 6 variables operaciones del sistema pesquero, 27 variables de costo y financiación del sistema pesquero, 19 variables biológicas y de desembarque (de las cuales 12 pertenecen al modelo biológico y 7 al modelo de desembarque), y un complejo arreglo de variables de mercado, del sistema pesquero. El resultado es, naturalmente igualmente comprensivo. El modelo biológico, que sigue el método Beverton/Holt con la ecuación de Von Bertalanffy para crecimiento, está descrita con las debidas reservaciones con respecto a las asunciones (e.g. de reclutamiento y mortalidad natural constante). El modelo de mercado fué diseñado para abarcar hasta 6 productos pesqueros, hasta con 11 variables en los catálogos de la función en tiempo de la oferta y la demanda. Este modelo difiere del de Segura no solo en el número y rango de las variables consideradas, sino en las clases de funciones incorporadas a él. Mientras que la selección de función debe ser hecha por cada especialista que luego se confía en la ejecución del modelo en sí para una reivindicación de su juicio, un observador puede llamar la atención a las consecuencias probables de elegir, por ejemplo, una función lineal con respecto

a un proceso que parece claramente reflejar las operaciones de relaciones no lineales.

**Caso 5: Pesquerías de Salmón**

Se han hecho muchos modelos con respecto a los recursos de salmón y sus pesquerías; se han hecho modelos de las migraciones del salmón (Royce et al. 1968; Saita y Shappy, 1963) y de otros aspectos del comportamiento y dinámica de población del salmón (ver Saita l.c. para algunas referencias); también se han hecho modelos sobre operaciones y administración de la pesquería, y podemos anotar especialmente aquella de Royce et al. (1963) descrita por Watt (l.c.). Rothschild y Balsiger (1971) describen un modelo de programación lineal "para distribuir la captura de salmón entre los días de migración"; el modelo maximiza la función objetiva

$$z = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M c_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

donde M se refiere al número total de categorías de edad-sexo y N se refiere a los días de la migración. La variable  $X_{ij}$  es el número de peces capturados en la categoría i-ésima del día j-ésimo de la migración, y  $c_{ij}$  corresponde al valor de los peces capturados en la categoría i-ésima en el día j-ésimo.

Esta operación se ejecuta sujeta a diversos conjuntos de limitaciones. El primero se refiere al número de peces de una categoría en particular que escapan del equipo de pesca en un día particular; el segundo, limita la captura de cualquier día a ser menor que la capacidad diaria de las fábricas conserveras; el tercero, intenta asegurar que un número adecuado de peces escape de los aparejos de pesca y en consecuencia así tenga la posibilidad de desovar, un constreñimiento que está relacionado con la fecundidad de las hembras; el cuarto tiene como meta asegurar que la razón de machos y hembras en el grupo escapante es aquél que se necesita para obtener la fecundación exitosa de huevos a ser producidos. Los autores se refieren a tres suposiciones básicas contenida en el procedimiento de programación lineal: la propiedad lineal del modelo, el problema de divisibilidad y la naturaleza determinista del proceso, y luego presentan una interesante discusión de las desviaciones que inevitablemente resultan de estas características del modelo; esta es una estrategia con la cual uno no puede luchar; si un constructor de modelos confronta tales problemas en su modelo, él puede explotar la información que se obtiene por la comparación de resultados de este modelo con la realidad como para encontrar caminos para mejorar su modelo.

Otro grupo de modelos a los que se debe dar atención son aquellos preparados por Clark (ver bibliografía), aunque, habiendo llegado recientemente a poder del autor, no se puede hacer ningún comentario sobre ello.

## Diagramas y Gráficos

Hemos tratado en el curso de este breve exámen sobre algunos modelos en ciencia pesquera, aducir algunos principios, para clasificar y evaluar modelos, que no involucran la materia-substantiva de cada modelo. Esto quiere decir, que nuestro objetivo sería de estar capaz de juzgar si un modelo particular puede proporcionar descripción válida y aceptable sobre un sistema-objeto en particular, y aún predicción de su comportamiento, sin tener que repasar los datos de entrada o esperar una prueba de la experiencia; la ventaja operacional para la planeación y conducta de investigaciones aplicadas, de tener tal habilidad, podría ser considerable. Como se sugirió anteriormente, esta es un asunto muy profundo que trataremos de ilustrar con el siguiente juego de figuras.

La primera, (Figura 5) es un "cuadro" típico de una comunidad, nos ayuda a visualizar lo que generalmente encontramos descrito en el texto acompañante y apreciar mejor algunas relaciones especiales entre organismos; pero no nos llevan mas adelante porque no seleccionan, ni guían, ni predicen. En la Figura 6, vemos los resultados de la selección y el nombramiento de relaciones; en contraste con la presentación de nombres específicos en la Figura 5, sus declaraciones son generalizadas, nombrando comunidades, una amplia clase de organismos, y algunas clases de materiales; pero los enunciativos representados por sus flechas son, por decir lo menos, extremadamente débiles, y en algunos grados son redundantes, dadas las consideraciones de las palabras en el diagrama — los organismos mueren, y el fitoplancton es un organismo cuyas nutrientes son materias inorgánicas disueltas. No se puede pensar que este diagrama acrecienta nuestro conocimiento de las relaciones que prevalecen entre las categorías de los organismos y materiales nombrados en él; la misma observación puede ser hecha con respecto a la Figura 7, que lleva esta generalización falsa a un estado mas adelante: el diagrama es completamente inútil sin la leyenda, y aún con ella no hace ninguna proposición útil, que diagrama; la leyenda hace una afirmación que quizás la observación la podría apoyar pero, careciendo de cualquier simbolismo el diagrama en sí no refleja ni demuestra como ni en que manera lo que se dice en la afirmación puede ser el caso. La conspicua insuficiencia de este diagrama nos sugiere un principio importante que podemos considerar necesario enunciar, es decir, que un modelo, por sus simbolismos y su uso de operadores\* lógicos, debe comunicar una proposición inteligente. Este principio está satisfecho para un cierto grado en la Figura 3, a pesar de sus ambigüedades de símbolo — un símbolo (un cuadrado) es usado tanto para procesos (ej. fotosíntesis) y como para grupo ecológico (ej. herbívoro) y un otro, (una línea) se usa para transferir tanto energía como material. Claramente es aconsejable evitar tal ambigüedad, pero un escrutinio mas cercano del diagrama descubre que el diagrama representa hechos que son potencialmente sin sentido: así las líneas inmediatamente a la derecha de la etiqueta cuadrada "herbívoro" parece significar que algo fluye de herbívoro a carnívoros, a corruptores y al exterior que pueden, sin ninguna reserva, ser material o energía.

\*La forma dada a los símbolos y a los operadores lógicos es una materia de indiferencia si es que se observan las reglas para simbolismos; nombramos a los operadores lógicos separadamente de los símbolos por su rol especial y su generalidad, aunque ellos también están representados como símbolos.

Las tres Figuras 6, 7 y 8 son simplemente descriptivas; ellas no significan ni siguieron la naturaleza de las fuerzas que operan en el sentido indicado en las flechas, y por lo menos dar cualquier medida del poder de esas fuerzas, y obviamente, ellas no pueden entonces mostrar nada de la variabilidad de la operación de aquellas fuerzas; consecuentemente su poder predictivo es virtualmente nulo. Sin embargo, nosotros podemos preguntar si aún a este nivel de representación podría ser posible aplicar algún criterio de aceptabilidad, ¿da el diagrama cuenta exhaustiva y lógica para todas las relaciones que prevalecen en el sistema-objeto y para fuerzas que significativamente afectan esta operación?

La siguiente, Figura 9, parecería ser más fácilmente entendible, debido a la inclusión de dibujos de objetos, pero en el sentido metódico ello corresponde a las Figuras 5 y 8 y lleva algunos defectos de esos diagramas, mas otros propios. La figura no está formada de símbolos (con excepción de que las palabras son símbolos) y las flechas no significan nada más explícito que aquellas relaciones que existen entre ciertas amplias clases de organismos; la figura no es selectiva y al mismo tiempo es incomprendible; la información que representa es trivial de un muy bajo nivel de interés y la manera de presentación no es tal como la sugerida en la hipótesis; la figura no puede llegar a ninguna predicción porque no representa ninguna función. La Figura 10 falla igualmente, y la Figura 11, aunque intenta llevar esta línea de representación dentro del campo cibernético está como la Figura 7, por tener poca relación con su leyenda — uno se puede preguntar como se puede ver un control (especialmente uno homeostático) en el simbolismo, si no existe alguno, en esta figura. Lo que se puede ver en las Figuras 6, 9, 10 y 11 es que el arreglo en cada una es largamente fijado en primera instancia como una reflexión del arreglo en el espacio; en la segunda instancia, en una clase de secuencia evolucionaria que da las posiciones más altas en la figura a los organismos mas altos. Fijas en realidad ellas no pueden asir el abstracto. Luego nota que, con una excepción, ninguna de ellas confiere sentido a las flechas; la excepción única es la curiosa Figura 11, en la que las palabras, si tienen un lugar en la figura, parecen constituir etiquetas para las flechas que entonces deben representar el proceso, efecto ó relación; pero una constelación de 5 cualidades, dos procesos y un sistema operativo, es quizás una fantasía irreal.

Con el objeto de comprender las deficiencias de estas figuras, como modelos, vamos a las siguientes figuras.

Ya que un modelo debe ser efectivamente descriptivo, y en consecuencia predictivo, sus proposiciones deben ser de una clase que puedan ser formuladas como hipótesis, y como tales susceptibles a probar — y deben sernos de utilidad para hacer tales pruebas. No podemos hacer una hipótesis útil, por ejemplo, que los carnívoros alimentan a los herbívoros, porque al menos que nuestro vocabulario haya cambiado sin que nosotros lo notemos, no podremos añadir conocimiento por esfuerzo para desaprobado (y mucho menos por esfuerzo para aprobar) dicha hipótesis.

Casi sin excepción las Figuras 6 á 11 son tal que no indican una hipótesis útil; la Figura 12 sin embargo, no lo es, ni lo son ninguno de los siguientes diagramas. Si hacemos crecer el alga *Antithamnion samienae* bajo las condiciones descritas en el trabajo de Tatewaki & Provasoli, citado por Margalef (l.c.) podremos esperar el obtener resultados tales como los indicados en la Figura 12, pero también podemos asentar experimentos por los cuales podamos probar la hipótesis que lo que ella describe y predice, no sucede bajo otras condiciones particulares, y así proseguir hasta llegar a un resultado mas general que aquel obtenido por ellos. Así es con cada una de las figuras que siguen, incluyendo la de Walford (Figura 16) la cual muestra que, para los años de observación, 1934 á 1941, las desviaciones de salinidad del valor promedio son de sexta y porcentaje del promedio, lo mismo que las desviaciones del poder numérico de las clases anuales de su promedio; una asociación que subsecuentemente cayó. Cada una de estas figuras es una descripción de lo que prevalece en una relación (o en un conjunto de relaciones), lo cual está representado en las figuras anteriores, generalmente por una flecha única y anónima. Los diagramas de Sella y Parrish (Figuras 17, 18 y 19) señalan el camino para desarrollar estos diagramas ecológicos. Para el lector, puede ser de interés comparar cada una de las partes de la Figura 18 con, por ejemplo, la flecha numerada 15 en la Figura 10 (de herbívoro a predador) y comparar la Figura 21 con cualquiera de las figuras anteriores. La lógica del sistema representado en los gráficos tróficos, con su incorporación de funciones tales como descritas en la Figura 20, debe ser fuertemente estimulante para la especulación; el auto-ciclo es un artificio especialmente fuerte.

Las Figuras 12 al 16 y la Figura 20 son modelos en el Estado I, describiendo y prediciendo ciertas relaciones directas; la siguiente Figura 22 mientras que no es en sí un modelo, informa de algunos de los resultados de un modelo.

Finalmente podemos unir los hilos del argumento con los diagramas que siguen, derivados del Patten (1971). La Figura 23 se originó en una comunicación por H. T. Odum (1957) y representa el flujo de energía a través de distintos procesos (bióticos y abióticos) de una comunidad natural y su habitat. Esta figura corresponde a la Figura 3 de la presente documentación con una valorización, en términos de energía, de cada uno de los flujos indicados de materiales y energía. Sin embargo, como observó Hubbell (1971) (quien citó a Odum 1960 y Slobodkin 1962), tal diagrama parece tener un valor muy limitado para los propósitos de las investigaciones y la predicción; esto es porque el diagrama representa solamente un sistema determinístico de contabilidad como un juego de tasas fijas de cambios. Como lo notó Hubbell (l.c.) la idea de control está eliminada deliberadamente; en consecuencia, no se puede desarrollar la Figura 23 en una versión\* de la Figura 4, no podemos predecir con confianza los flujos del periodo particular a través de los canales representados a la derecha de la Figura 23; además, tampoco, sin conocimiento del control que las plantas y animales pueden ejercer en circunstancias diferentes, podemos predecir las consecuencias de sacar

\*El hecho de que la Figura 4 no lleva ninguna representación de los controles internos para el sistema natural indicado a la izquierda de la Figura, no afecta el poder de esta declaración.

cualquier componente del sistema o de añadir componentes nuevos - es precisamente de esta manera que la ecología falla frente a la crisis ambiental actual. El diagrama de cajoncitos de Patten (l.c.), así como su sistema de ecuación (Figura 24), lo cual posteriormente está graduado para simulación (l.c., p.42) reescrito (l.c., p.101), representado en diagramas de simulación (l.c., pp. 102 y 103), y escrito como programas para computadora (l.c., pp.71 y 110), son caminos diferentes para llegar al mismo resultado predeterminado.



## Una Ecuación Matemática como Modelo de la Realidad

Al principio de este documento hemos formulado, y puesto a un lado, la pregunta: "en que sentido es una ecuación matemática un modelo de cualquier cosa en la realidad?" quizás ya estamos listos para examinar esta pregunta.

El tema aquí no es si podemos o no podemos modelar la realidad, sino de como las ecuaciones matemáticas pueden servir en tal procedimiento. Sin embargo, para contestar a la pregunta tenemos en primer lugar que mostrar el sentido que entendemos por la expresión "Modelar la realidad". En este punto se debe aceptar que no significamos meramente "imitar fielmente", lo cual sería nuestro sentido si aceptamos que "modelo" es virtualmente sinónimo de "dibujo". Los ejemplos citados en las secciones anteriores ofrecen bastante evidencia de que con la palabra "modelo" entendemos que significa mucho mas que "levantar un espejo a la naturaleza"; una fotografía que resulta de la operación de unos lentes que admiten de la imagen cualquier detalle ofrecido a él, no puede dirigir nuestros procesos de pensamiento de la manera que intentamos lograr con un modelo; un modelo excluye todo detalle innecesario para su propósito explícito. Tampoco intentamos significar con "modelo" los tipos de guía de nuestra emociones logradas por obras de arte; igualmente "modelo" no se halla entre las expresiones descritas por Carnap y otros como meras "expresiones de emociones, sentimientos o deseos" y podemos concluir que lo que significamos con esta palabra pertenece al pensamiento discursivo.

Entre las formas que emplea un lenguaje discursivo, el modelo se distingue por ser un símbolo complejo para servir como un mecanismo operativo capaz de generar unos resultados descriptivos en particular; cuanto mas generales sean los resultados y mas exacta su correspondencia con el mundo real, el modelo será mas poderoso. Si entonces aceptamos esta caracterización cruda de modelo, nuestra pregunta original nos conduce a la conjunción entre modelo como símbolo complejo (por el cual hablamos en respecto al mundo real), y la naturaleza del mundo real. Ahora, mientras que prevalecen muchos puntos de vista de la naturaleza del mundo real, para propósitos prácticos está aceptado generalmente que el mundo es cuantitativo: las cosas son numerables y se hallan en un orden dimensional, y "toda la naturaleza está dominada por la existencia de eventos periódicos" (Whitehead, l.c.), y cuando Whitehead sugiere que "na es demasiado decir que cada propiedad del espacio corresponde a una declaración matemática abstracta" (l.c.) podemos pensar que presumiblemente se puede aseverar lo mismo con respecto a cada magnitud, orden dimensional, y periodicidad. Por lo cual, mientras que "un matemático no profesa decir nada con respecto a la existencia, realidad y eficacia de las cosas (Langer, 1951) "las ideas matemáticas, por ser abstractas, proveen precisamente lo que está deseado para una descripción científica del curso de los eventos" (Whitehead, l.c.) y" ..... el primer hecho notable con respecto a la aritmética es que ella se aplica a todo, a sabores y a sonidos, a manzanas y ángeles, a las ideas del cerebro y los huesos del cuerpo" (Ivid).

Verdaderamente no es demasiado decir que sin lenguaje formado especialmente para representar esas características del mundo y expresar nuestros pensamientos con respecto a ellos, es probable que quedamos incoherentes en la presencia de los fenómenos de los cuales queremos hablar. Entonces, la matemática con su lenguaje y su anotación no es meramente un instrumento útil, sino es indispensable.

Sin embargo, "cada cálculo matemático con respecto al curso de la naturaleza debe iniciarse de alguna ley supuesta de la naturaleza" (Whitehead, l.c.). No existe nada en la matemática que pueda estirarse hacia la naturaleza para exigir que alguna cosa debe comportarse en una manera particular; lo que dice la matemática es que si se puede comprobar que un sistema particular se comporta de una manera que corresponde a algún patrón ya conocido por matemática, entonces, a través de alguna extensión en tiempo y espacio, y prevista con que las condiciones de la especificación original sigan siendo verdaderas, se puede especificar\* la ubicación del sistema en cualquier momento o su estado a cualquier punto en el continuo de tiempo y espacio. Sin embargo, en cuanto que un esfuerzo no incluido en la especificación original puede intervenir imprevistamente, los eventos pueden salir de un curso planteado por el cálculo matemático. Es así que aviones caen del cielo, y ocurren las crisis económicas.

Por consiguiente, es para cada especialista meter la mano en la matemática para encontrar una pieza que conforme a su acertijo\*\*; y por esto una descripción efectiva resulta de la conjunción de la matemática como una ó más de las especializaciones. Entonces en cuanto que la ecuación matemática es una declaración en el lenguaje matemático, su validez (= correspondencia con la realidad) depende sobre si el especialista ha indicado correctamente la ley relevante de la naturaleza, así como si los procedimientos matemáticos han sido observados correctamente. Si, también, alguna ecuación matemática en particular es un modelo de la realidad, esto por juzgar por los criterios que establecamos para juzgar la aceptabilidad como modelos de las declaraciones en cualquier lenguaje; y, como hemos indicado a la cabeza de la sección sobre Diagramas y Gráficos, esto es un objetivo al cual se debe dirigir el estudio de modelos.

\* Por supuesto la matemática, como otros procedimientos de pensamiento, también puede tomar algunos indicios ligeros, con respecto a la ubicación o estado actual de un sistema para deducir otras características.

\*\* Podemos sugerir que la situación es como que cada especialista estuviera sentado ante un rompecabezas y que todos fueran sacando piezas de un cajón grande y único en el cual las piezas están mezcladas, y con muchas piezas en común para muchos de los rompecabezas.

## Discusión y Conclusión

Ya que la ciencia pesquera está relacionada con los sistemas bio-técnico-socio-económicos, debe estar orientada para alcanzar una total descripción de tales sistemas, y de tal descripción, a la predicción del comportamiento del sistema completo en cada paso particular. Los científicos pesqueros pueden, por supuesto, intentar una descripción directa del Estado I de, digamos el consumo del pescado de una especie particular en un país en términos de variaciones observadas en la biomasa del stock pesable, de la cantidad de esfuerzo pesquero, de diversas características del equipo de transformación y de mercadeo, y de fluctuaciones en el precio; pero tal descripción aunque fuera hecha para conformar muy de cerca a la que ha pasado en el pasado no nos daría un fundamento seguro para predicción de lo que puede tomar lugar en el futuro. La descripción obviamente deberá ser ampliada para descubrir los mecanismos que determinan los cambios en cada una de las variables nombradas. Se ha hecho un considerable trabajo durante el pasado al describir los componentes, físicos, bióticos, y técnicos de los sistemas pesqueros, y la literatura pesquera contiene una gran variedad de modelos de estos componentes. Hasta hace poco las descripciones de los componentes socio-económicos han sido escasos y muchas de ellas han sido extremadamente débiles. Verdaderamente, para científicos pesqueros no economistas todavía parece que los modelos económicos significan una organización sumamente impresionante de equipo complejo para reducir formidables masas de datos por simples operaciones aritméticas para llegar a resultados bastante triviales. Sin embargo, esta situación está cambiando rápidamente y el modelo para la pesquería de Georges Bank Haddock, descrito por Saita y discutido en el capítulo como Caso 4, parecería representar la clase de descripción comprensible y realística que podría colocar a la ciencia pesquera en una posición fuertemente responsable.

Como se ha señalado anteriormente, existen muy buenas razones por las cuales nadie puede intentar hacer un inventario y examen comprensible de todos los modelos de ciencia pesquera. El respeto a esa amonestación ha sido fortalecido en el caso de la presente contribución, tanto por las limitaciones propias del autor y por su limitado acceso a literatura actual, sin embargo, él cree que puede presentar las siguientes proposiciones con seguridad:

Pocas contribuciones podrían ser excluidas de una bibliografía de "modelos en pesquería" si una amplia definición de "modelos" es aceptada; una limitación de la definición reduciría la lista, pero progresivamente daría mayor responsabilidad en el que compila, al juzgar el grado en el cual cada modelo satisfaga el criterio arriba enlistado;

dar cuenta y apreciación de los modelos desarrollados en una de las ramas de ciencia, es evaluar el estado de esa rama de la ciencia; el que declare que algún modelo particular es inválido, impugna la paradigma completa de la cual el modelo forma parte;

un modelo puede ser evaluado solo en términos de los criterios de las ramas de ciencias en las cuales ha sido preparado; esto sigue porque su preparación es completamente una parte de la actividad científica en sí; un matemático puede escrudiar un modelo por la validez de las prácticas matemáticas incorporadas en él; similarmente un programador de computación puede escrudiar el programa para un modelo, un dibujante puede escrudir el flujo de un diagrama, y un artista la figura del modelo; pero, ninguno de estos especialistas, en su propio rol, puede juzgar sobre la efectividad de un modelo tal que el pueda ser valorizado por el criterio arriba descrito.

Sin embargo, como hemos indicado al principio de la sección sobre Diagramas y Gráficos, buscamos unos criterios para una evaluación objetiva de los modelos así como una estrategia con respecto a la preparación de ellos. Las definiciones citadas anteriormente (por Bunge y otros) se confirmaron inadecuadas cuando las he relacionado aún con el pequeño arreglo de modelos discutidos en esta revisión. No es suficiente decir que un modelo es una representación idealizada de una clase de objetos y es escasamente preciso hablar de modelos de teorías en vista que un modelo es de un sistema y puede incorporar teoría. La gran aseveración de Watt en el sentido de que sus dos tipos de modelos significan distintos caminos filosóficos es un síntoma del pobre entendimiento de la naturaleza de los modelos que prevalecen en la literatura.

Con el material en nuestras manos no podemos hacer mas que sugerir que es necesario hacer un examen de modelaje, mucho mas exhaustivo que el que se ha logrado en esta revisión, por el cual los modelos deberían ser clasificados con respecto a: el lenguaje (juego de símbolos) en el cual estos han sido presentados, la clase de sistema que ellos describen, su alcance descriptivo y predictivo, el orden de exactitud de los resultados que ellos proveen, el nivel de efecto, como está indicado arriba en la página 3. Sugerimos que después de esto podemos encontrar que un modelo, para ser efectivo, debe estar formulado en base de un plan fundamental (semejante al propuesto en las Figuras 2, 3 y 4 del documento) que identifica los estados y cambios de estado; que traza un mapa del movimiento de materiales y energía; que ubica los puntos donde está ejercitado el control é indica el rango el rango de efecto de cada unidad de control. El modelo también tendrá que decir algo con respecto a la dinámica del suministro de materiales sobre los cuales el sistema opera y de la energía con la cual él funciona. El modelo mismo entonces sería un juego de ecuaciones, o declaraciones, o de artificios mecánicos, eléctricos o de otro tipo para describir o simular el funcionamiento del sistema dentro de un rango de condiciones de suministro y de efecto de los factores extrínsecos.

Es decir, el modelo describe esencialmente las características funcionales é intrínsecas del sistema, que están sujetas a las variaciones en la cantidad de efecto de los factores extrínsecos. Tal juego de ecuaciones, etc., puede en primer lugar dar una descripción del comportamiento del sistema en el pasado, por lo cual se puede identificar las periodicidades

y evaluar las relaciones; y en segundo lugar, puede sugerir procedimientos para él tomar otras observaciones, por un lado para anticipar fluctuaciones en los elementos extrínsecos, y por otro lado para detectar cambios en la estructura y dinámica intrínseca del sistema mismo, para predecir el comportamiento del sistema.

BIBLIOGRAPHY

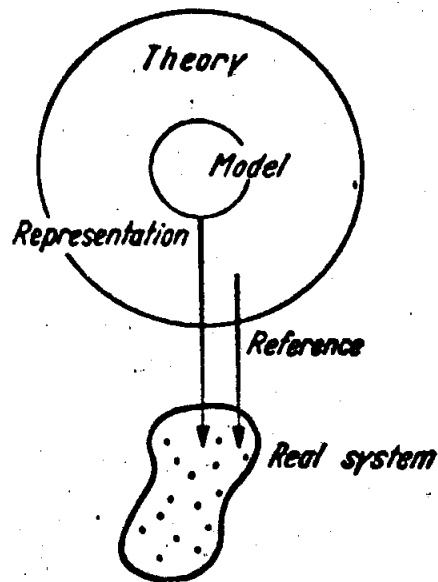
- BERTALANFFY, L. VON., (1934).- Untersuchungen Über Die Gesetzmäßigkeit des Wachstums. 1. Teil. Allgemeine Grundlagen der Theorie. Mathematische Und Physiologische Gesetzmäßigkeiten des Wachstums Bei Wassertieren. Archiv. f. Entwicklungsmech., 131: 613-52.
- BEVERTON, R.J.H. and S.J.HOLT., (1957).- On the Dynamics of Exploited Fish Populations. Ministry of Agri., Fish, and Food, London Fish. Invest. Ser. 2, 10: 533.
- BLACK, MAX., (1984).- A Companion to Wittgenstein's Tractatus. Cambridge at the University Press.
- BOGUCKI, D., and G.C. EDDIE., ( ).- The Development of Systems for Exploiting Distant Water Fisheries. In: The Inst. Marine Engineers, Inter. Marine and Shipping Conference (advance copy).
- BUNGE, MARIO., (1967).- Scientific Research 1, The Search for System. In: Studies in the Foundations Methodology and Philosophy of Science, 3/1 Springer-Verlag, New York Inc.
- CASTELVI, JOSEFINA., et. al. (1967).- Ecología Marina, Caracas: Fundación La Salle de Ciencias Naturales.
- CLARK, C.W., (1972).- The Dynamics of Commercially Exploited Natural Animal Populations. Math. Biosciences 13: 149-164.
- CLARK, COLIN W., (1973 a.).- Profit Maximization and the Extinction of Animal Species. JPE. 81: 950-961.
- CLARK, C.W., (1973 b.).- The Economics of Overexploitation. MS Submitted for Science.
- CLARK, COLIN, GORDON EDWARDS and MICHAEL FRIEDLAENDER., ( ).- The Beverton/Holt of a Commercial Fishery: Optimal Dynamics. MS Submitted for publication.
- DAVIES, G.E., and C.E. WARREN., (1968).- Estimation of Food Consumption Rates in: IBP Handbook 3. (ed) W.E. Ricker, Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- ENGSTROM, J.E., L.O. ENGVALL, and G.C. SALMON., (1974).- Evaluation of Investment Proposals for Peruvian Anchovy Vessels, FAO Fisheries Technical Paper, 125.

- HERTZ, Principles of Mechanics. New York.
- HUBBEL, STEPHEN P. (1971).- Of Sowbugs and Systems: The Ecological Bioenergetics of a Terrestrial Isopod. In: Patten (1971) q.v.
- KESTEVEN, G.L., (1972).- Management of the Exploitation of Fishery Resources. In: World Fisheries Policy: Multidisciplinary View. Edited by Brian J. Rothschild, Univ. Washington Press.
- LANGER, SUSANNE K., (1951).- Philosophy in a New Key New York: The New American Library.
- MANN, STUART H., (1971).- On the Optimal Size for Exploited Natural Animal Populations. Operation Research, 21 (3): 672-676.
- MARGALEF, RAMON., (1967).- El Ecosistema. In: Castelvi et.al., q.v.
- ODUM, H.T., (1957).- Ecol. Monogr. 27, 55 citado por Patten  
(1960).- Amer. Sci. 48, 1 citado por Hubbell
- PATTEN, BERNARD C. (Ed.), (1971).- Systems Analysis and Simulation in Ecology, Vol. 1. New York: Academic Press.
- PAULIK, G.J., (1969).- Computer Simulation Models for Fisheries Research, Management, and Teaching. Trans. Amer. Fish. Soc., 98 (3): 551-559.
- PELLA, JEROME J., (1969).- A Stochastic Model for Purse Seining in a Two-Species Fishery. J. Theoret. Biol., 22: 209-226.
- PENNAK, ROBERT W., (1964).- The Dynamics of Fresh-Water Plankton Populations. Ecological Monographs, 16: 339-356.
- RICKER, W.E., (1958).- Handbook of Computations for Biological Statistic of Fish Populations. Fish. Res. Board Can., Bull 119.
- RIFFENBURGH, ROBERT H., (1969).- Stochastic Model of Interpopulation Dynamics in Marine Ecology. J. Fish. Res. Bd. Can. 26 (11): 2843-2880.
- ROTHSCHILD, BRIAN J., and JAMES W. BALSIGER., (1971).- A Linear-Programming Solution to Salmon Management. Fishery Bull. 69 (1): 117-140.
- ROYCE, WILLIAM F., LYNWOOD S. SMITH, and ALLAN C. HART., (1968).- Models of Oceanic Migrations of Pacific Salmon and Comments on Guidance Mechanisms. U.S. Fish and Wildlife Ser., Fish. Bull 66 (3): 441-462.

- ROYCE, W.F., D.E. BEVAN., J.A. CRUTCHFIELD, G. J. PAULIK, and R.F. FLETCHER., (1963).- Salmon Gear Limitation in Northern Washington Waters. Univ. Wash. Publ. Fish., 2(1): 1 - 123.
- SAILA, SAUL B., (1972).- System Analysis Applied to Some Fisheries Problems. Systems Analysis and Simulation in Ecology, 2: 331 - 371.
- SLOBODKIN, (1962).- Advan. Ecol. Res. 1, 69 citado por Hubbe!!
- SCHULTZ, ARNOLD M., (1971).- A Study of an Ecosystem: The Arctic Tundra In: The ecosystem concept in Natural Resource Management, Edited by George Van Dyme, New York and London: Academic Press: 77-93.
- SEGURA, EDILBERTO LEONCIO., (1973).- An Econometric Study of the Fish Meal Industry. FAO Fisheries Technical Paper, 119.
- THOMPSON, RUSSEL G., RICHARD W. CALLEN and LAWRENCE C. WOLKEN., (1970).- Optimal Investment and Financial Decisions for a Model Shrimp Fishing Firm. Texas A & M University Sea Grant Program; TAMUS-SG-70-205.
- WALFORD, LIONEL A., (1946).- Correlation Between Fluctuations in Abundance of the Pacific Sardine (*Sardinops caerulea*) and Salinity of the Sea Water. Journ. Mar. Res., 6 (1): 48-53.
- WATT, KENNETH E.F., (1968).- Ecology and Resource Management. New York: McGraw-Hill Book Company.
- WHITEHEAD, A. D., (1944).- An Introduction to Mathematics. London: Oxford University Press.
- WITTGENSTEIN, LUDWIG., (1963).- Tractatus Logico-Philosophicus (Trans. Pears, D.F. & B.F. McGuiness). London: Routledge & Kegan Paul.



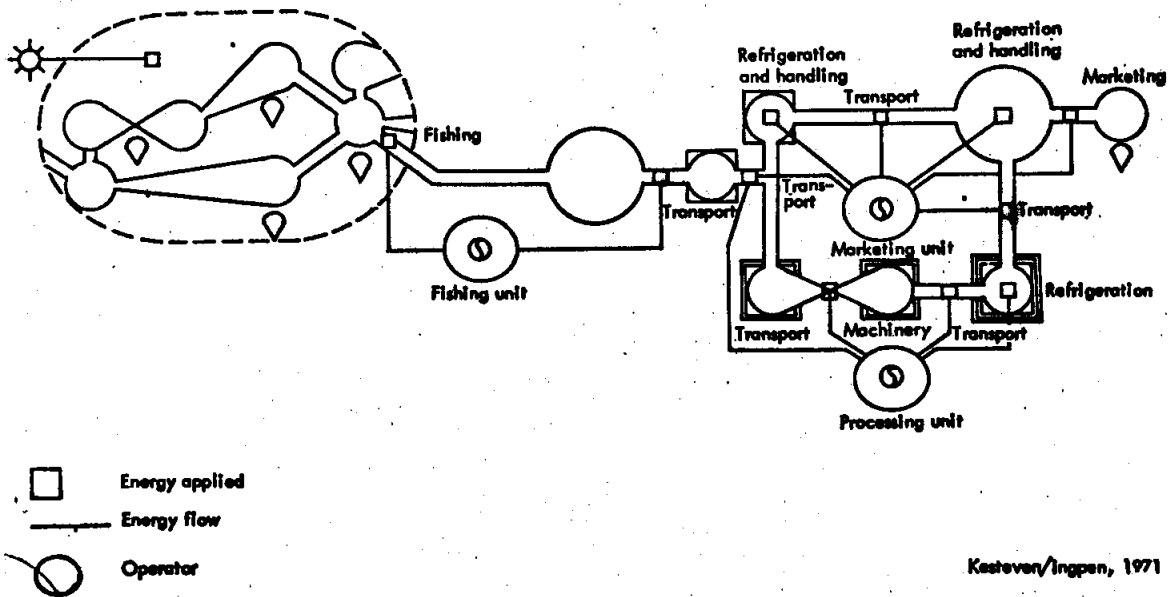
Figure 1.



Factual theories are not models but involve models. A model is an idealized representation of a class of real objects.

Bunge (1967)

Figure 3.

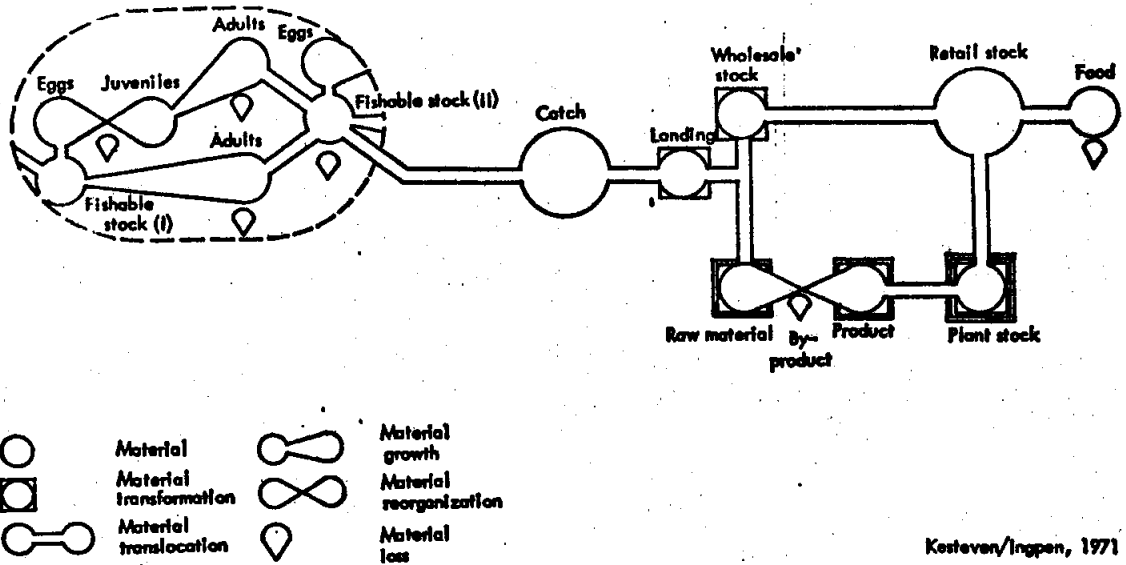


Kesteven/Ingpen, 1971

Fisheries structure: energy flow (including materials flow)

Kesteven (1972)

Figure 3.2.

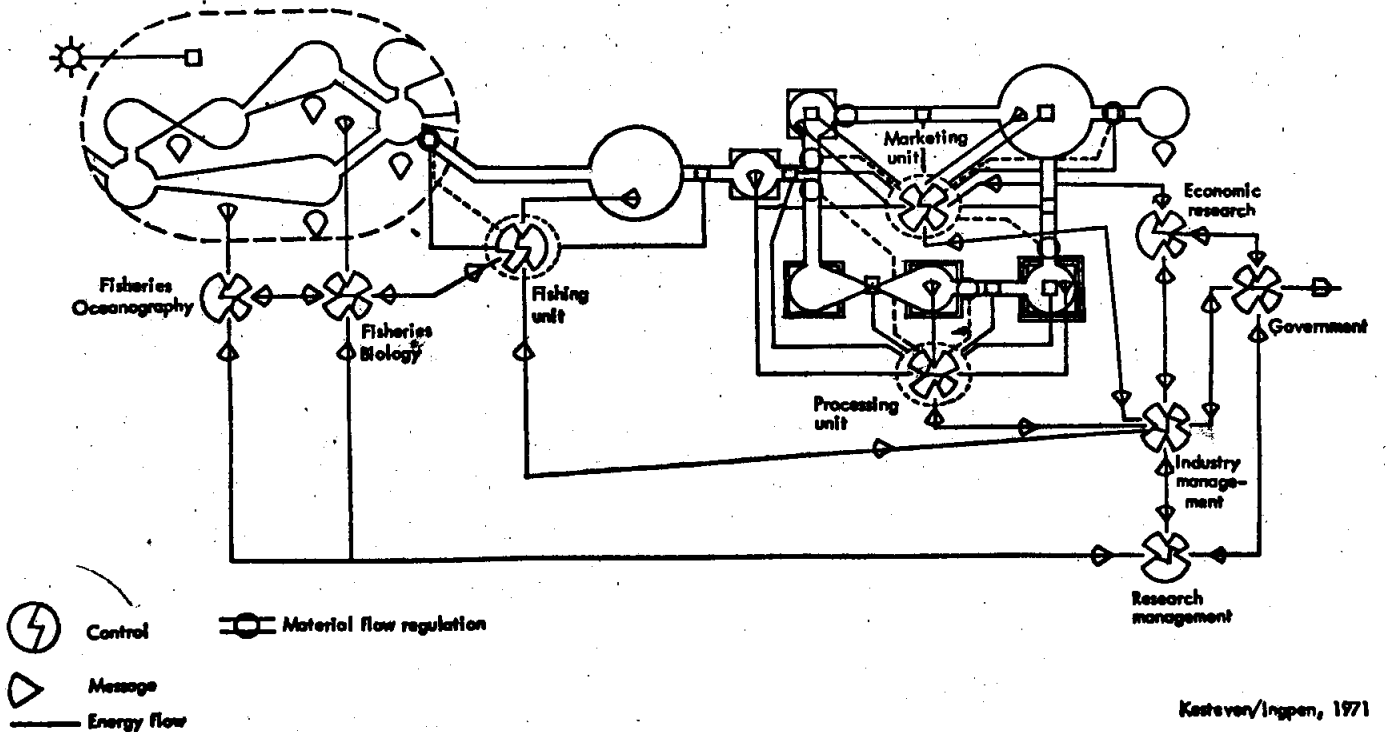


Kesteven/Ingpen, 1971

Fisheries structure: materials flow

Kesteven (1972)

Figure 4.



Kesteven/Ingpen, 1971

Fisheries structure: information flow (including materials and energy flow)

Kesteven (1972)

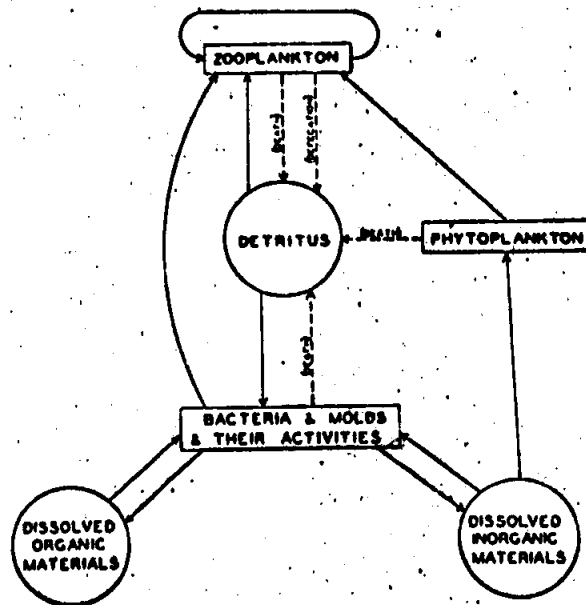
Figure 5.



Otra comunidad bentónica del Mar del Norte y estrechos daneses. Animales presentes en  $\frac{1}{4}$  m<sup>2</sup> de fondo arenoso-fangoso. Los números de individuos de las sucesivas especies, ordenadas de más a menos numerosas, son: 60 (*Amphipara filiformis*), 10 (*Turritella cerebra*), 6, 5, 5, 4, 3, 3, 2, 2, 1, 1, 1, 1, 1. Aunque la densidad de individuos es mayor en esta comunidad que en la de la figura 171, la diversidad específica es algo más baja. Según Petersen (1918)

Margalef (1967)

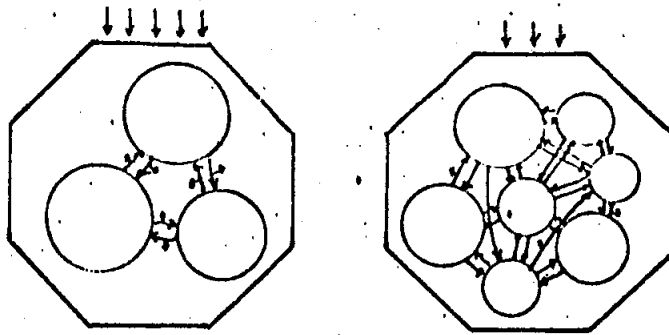
Figure 6.



Important nutritional interrelationships in the plankton ecosystem.

Pennak (1946)

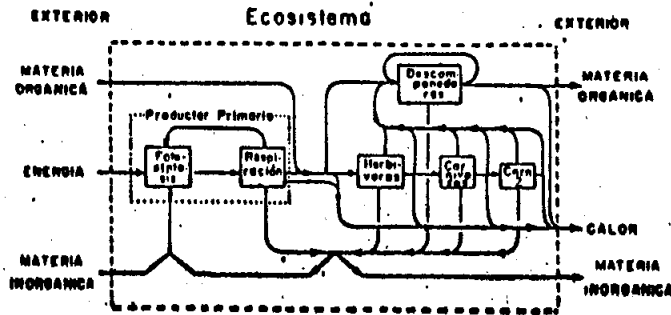
Figure 7.



Esquema de las interacciones posibles en sistemas formados por un número de elementos diferente, menor (izquierda) o mayor (derecha). Con mayor riqueza de elementos y mayor posibilidad de relaciones mutuas es posible conseguir una estabilidad mayor. En tales condiciones el flujo de energía necesario para mantener una biomasa unidad es menor

Margalef (1967)

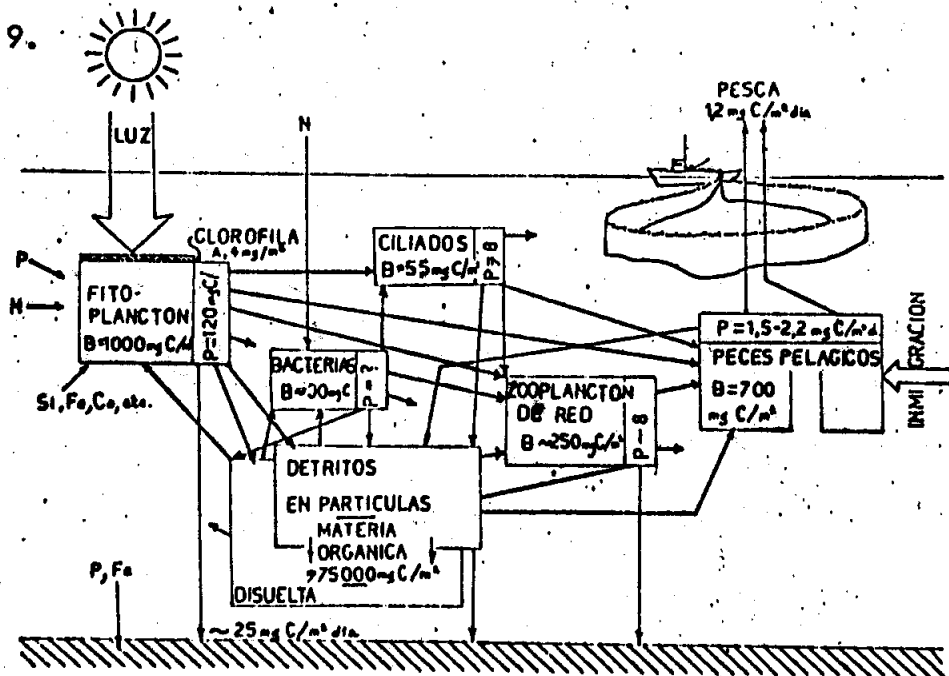
Figure 8.



Circulación de energía y materia en un ecosistema generalizado, basado en Odum (1960).  
Dibujo de G. Rodríguez

Margalef (1967)

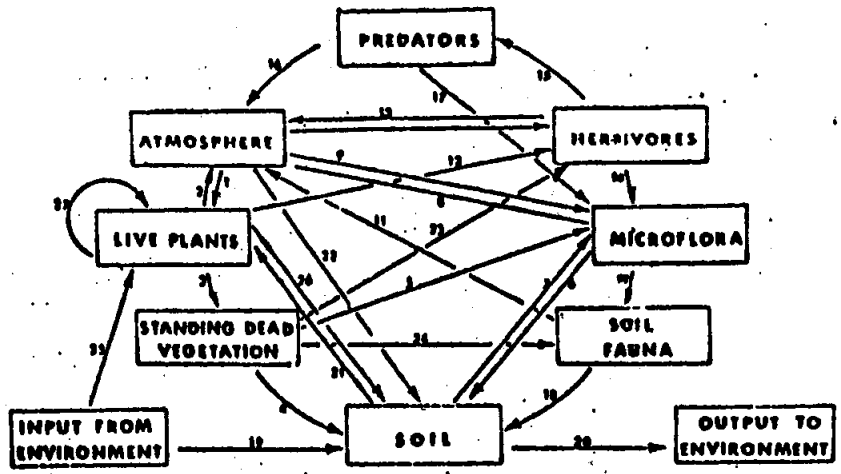
Figure 9.



Circulación de energía y materia en un ecosistema concreto, sometido a explotación. Los valores se refieren a un área costera del Mediterráneo occidental. Las biomásas (B) se expresan en miligramos de carbono orgánico por metro cuadrado. Las producciones (P) se expresan en miligramos de carbono orgánico por metro cuadrado y día. Las flechas indican la dirección de los flujos. En el intercambio con el medio sólo se han representado unos cuantos elementos, prescindiendo del carbono

Margalef (1967)

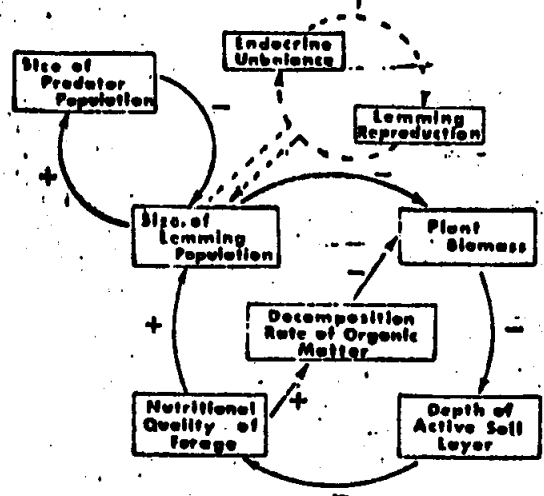
Figure 10.



Isomorphic model mapping the relations between ecosystem compartments.

Schultz (1971)

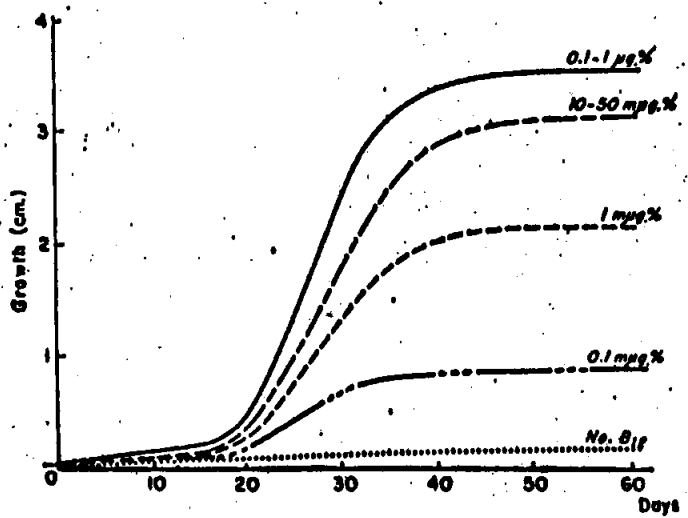
Figure 11.



Feedback-loop model showing homeostatic controls in the arctic tundra ecosystem.

Schultz (1971)

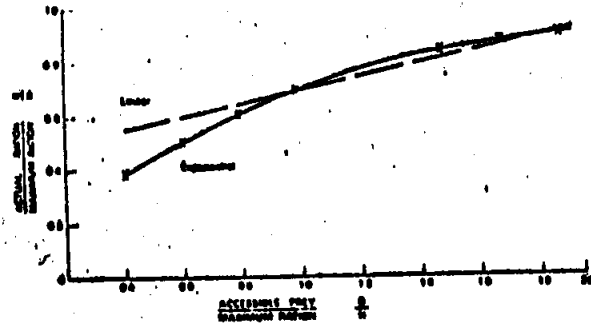
Figure 12.



Crecimiento del alga *Anilthamnon sarniente*, bajo distintas concentraciones de vitamina B<sub>12</sub>. Después de dos semanas de crecimiento muy lento, el aumento de masa se hace exponencial, para decrecer más tarde, resultando curvas de forma, en conjunto, más o menos sigmoidea. En abscisas, tiempo en días; en ordenadas, longitud en cm. Según Tatewaki y Provasoli

Margalef (1967)

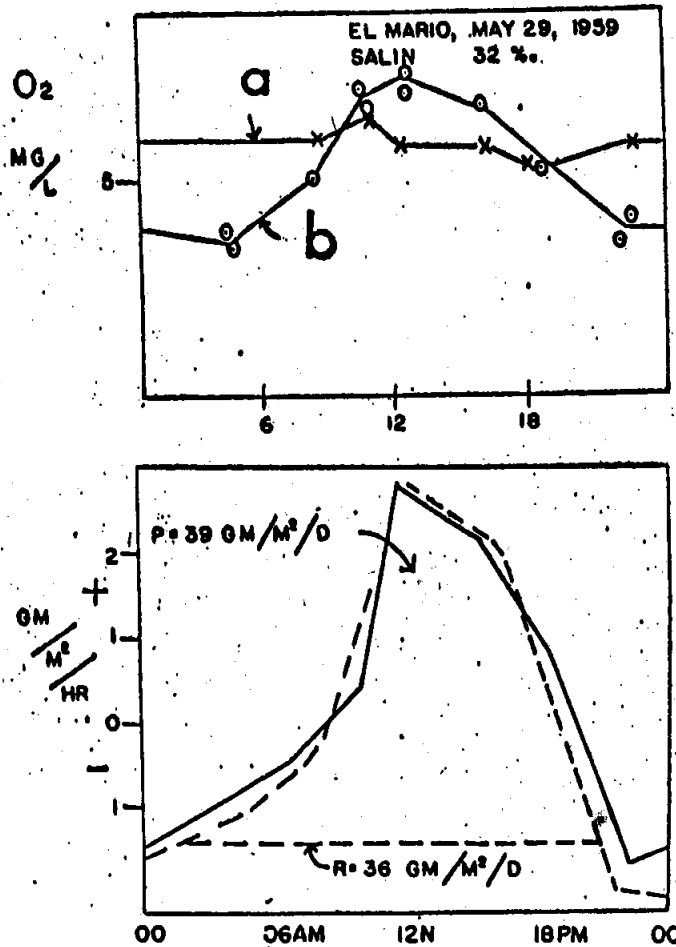
Figure 13.



—Linear and exponential approximations of feeding behavior.

Saila & Parrish (1972)

Figure 14.



Determinación de la producción en un arrecife de coral (El Mario, al sur de Puerto Rico), a base de la concentración de oxígeno en el agua antes de cruzar por el arrecife (arriba, a) y después de haber pasado por él (b). Las abscisas representan tiempo. De las diferencias entre las dos curvas de oxígeno, se deduce su tasa de cambio en el gráfico de la parte inferior y este cambio se atribuye a la producción (equivalente a 39 g O/m<sup>2</sup>/día), de la que una gran parte (36 g O/m<sup>2</sup>/día) es respirada en la propia comunidad. Este procedimiento sólo puede aplicarse donde existe una circulación aproximadamente uniforme. Según H. T. Odum, P. R. Burkholder y J. Rivera (1959)

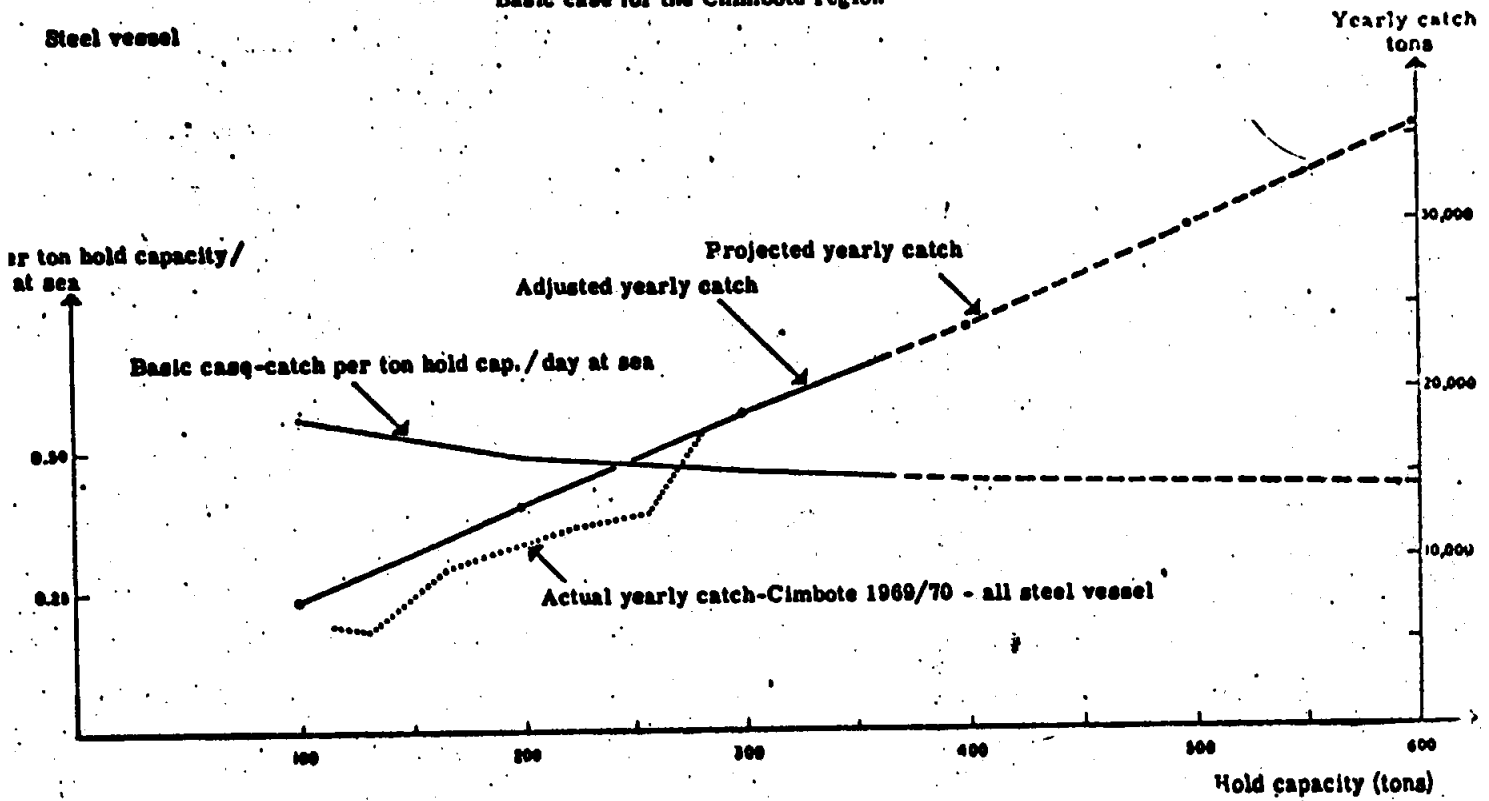
Margalef (1967)

Figure 15.

YEARLY CATCH AND CATCH PER TON HOLD CAPACITY IN RELATION TO VESSEL SIZE

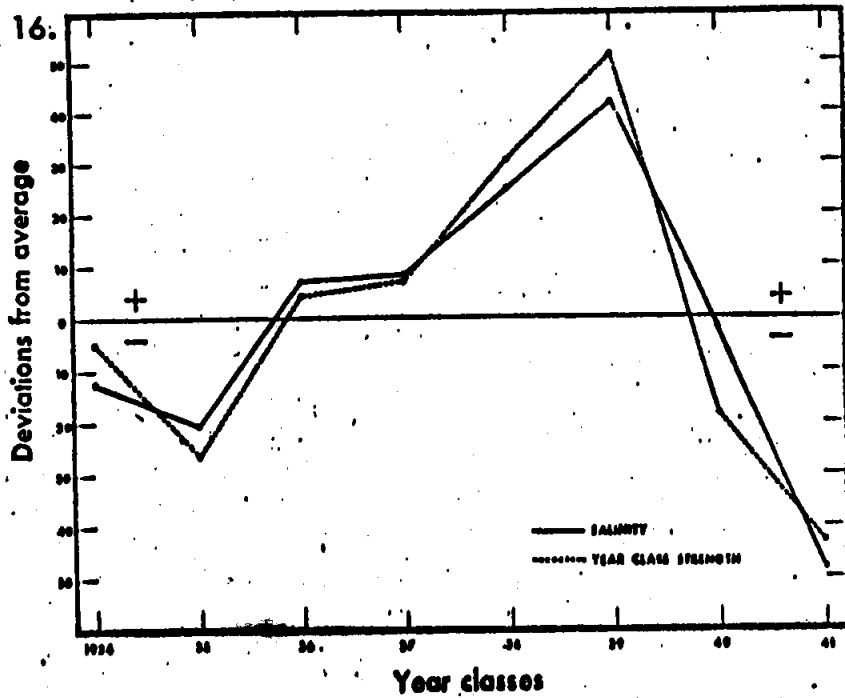
Basic case for the Chimbote region

Steel vessel



Engvall & Engstrom (1974)

Figure 16.



Walford (1946)

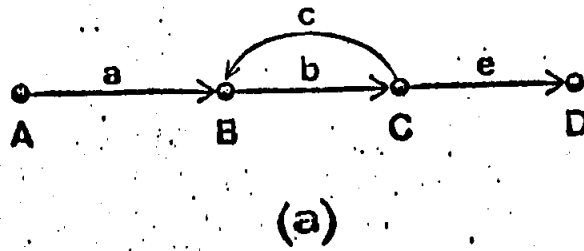
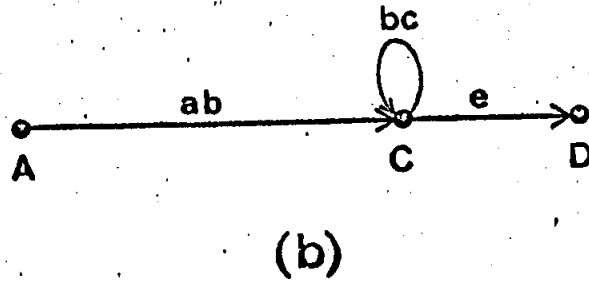


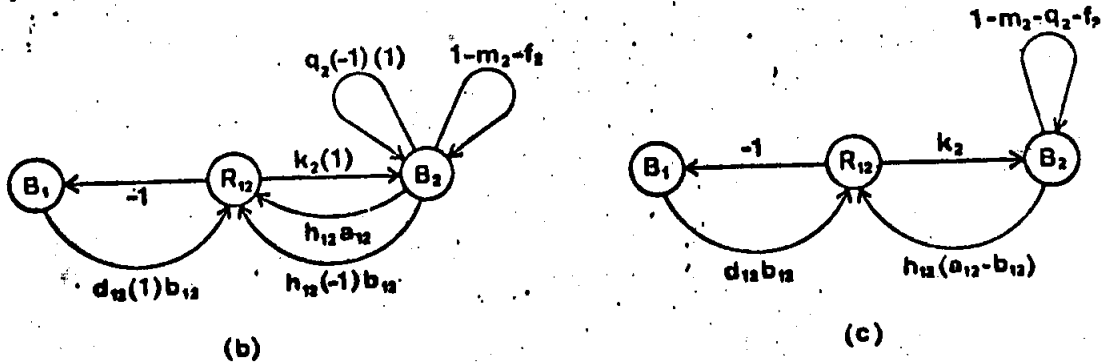
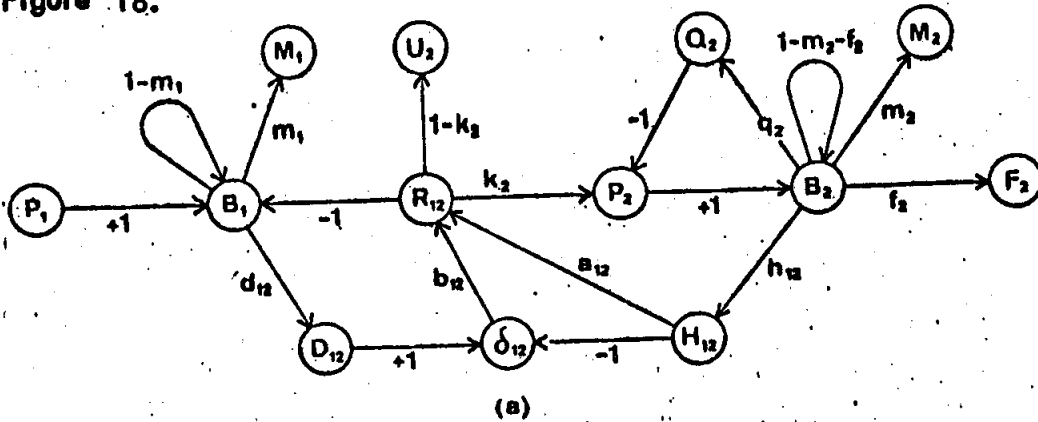
Figure 17.



—An illustration of two simple directed graphs. A "self-loop" is shown in part (b) of the figure.

Saila & Parrish (1972)

Figure 18.



Trophic graphs of Species 2 preying on Species 1. Part (a) illustrates Menshutkin's (1969) original formulation, and parts (b) and (c) represent the successive application of network analysis to obtain the basic trophic unit.

Saila & Parrish (1972)



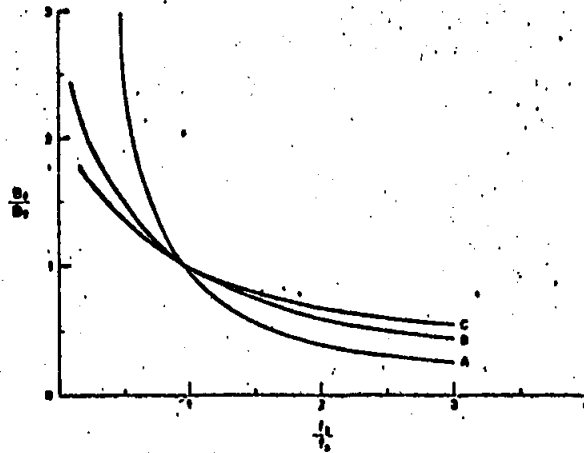
Figure 19.

-Description of the vertices and coefficients utilized in model development.

$P$	= production	
$Q$	= loss by "respiration"	
$q$	= "respiration" coefficient	$Q = qB$
$R$	= biomass	
$M$	= loss by natural mortality	
$m$	= natural mortality coefficient	$M = mB$
$F$	= loss by exploitation (fishing)	
$f$	= exploitation coefficient	$F = fB$
$U$	= loss in undigested or unassimilated food	
$R'$	= actual food ration	$U = (1 - A)R$
$IR$	= food assimilated (gross production)	
$A$	= digestion or assimilation coefficient	
$P$	= $IR - Q$	
$D_{12}$	= accessible food	
$d_{12}$	= accessibility coefficient	$D_{12} = d_{12}B_1$
$H_{12}$	= maximum ration (most a predator would ever consume)	
$A_{12}$	= maximum ration coefficient	$H_{12} = A_{12}B_1$
$R_{12}$	= $d_{12}B_1 + A_{12}B_1$	
$S_{12}$	= $D_{12} - R_{12}$	
$s_{12}$	= feeding coefficient	

Saila & Parrish (1972)

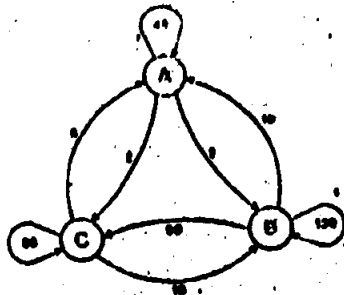
Figure 20.



-Effects of predation and exploitation on model ecosystem stability as measured by biomass ratios. Curve A illustrates a 4-species subweb in which there is no exploitation of the top predator. Curve B illustrates a 3-species subweb with no top predator. Curve C illustrates a 4-species subweb with exploitation of the top predator as well as prey species 2 and 3. All numerical values of coefficients are from Menshutkin (1969). The nominal value of  $f_2$  was taken as 0.3.

Saila & Parrish (1972)

Figure 21.



$$F_0 = \begin{bmatrix} 25 & 5 & 5 & 20 \\ 10 & 100 & 00 & 100 \\ 5 & 10 & 05 & 100 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} .00 & .00 & .04 \\ .00 & .00 & .20 \\ .00 & .10 & .05 \end{bmatrix}$$

$$M^2 = \begin{bmatrix} .0100 & .0070 & .0020 \\ .0075 & .0325 & .0520 \\ .0075 & .1070 & .7045 \end{bmatrix}$$

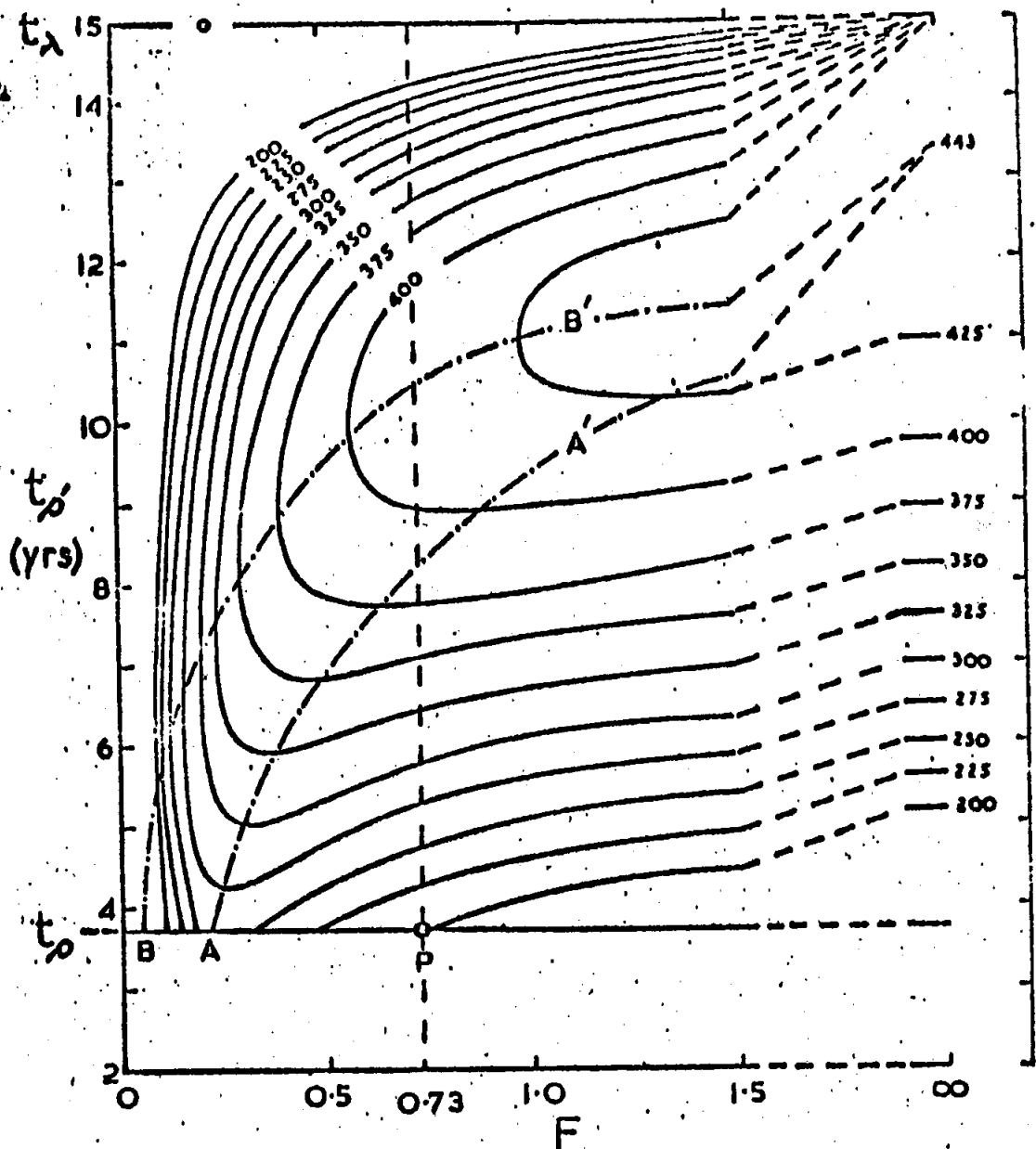
$$P_0 = \begin{bmatrix} 20 & 100 & 100 \end{bmatrix}$$

$$F_1 M^2 = \begin{bmatrix} 20 & 100 & 100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} .0100 & .0070 & .0020 \\ .0075 & .0325 & .0520 \\ .0075 & .1070 & .7045 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20.00 & 111.25 & 170.25 \end{bmatrix}$$

—Example of a hypothetical network showing the frequencies of samples resembling their initial structure as well as those of the other two community structures. In this example  $F_0$  is the matrix of frequencies at the end of the first sampling period,  $M$  is the corresponding probability matrix,  $M^2$  is the square of the probability matrix and  $P_0$  is the vector of frequencies by community type.  $F_1 M^2$  is the matrix-vector product expressing the expected new frequencies by community type at the end of the second sampling period under the assumption that the probability matrix remains constant during the time interval.

Saila & Parrish (1972)

Figure 22

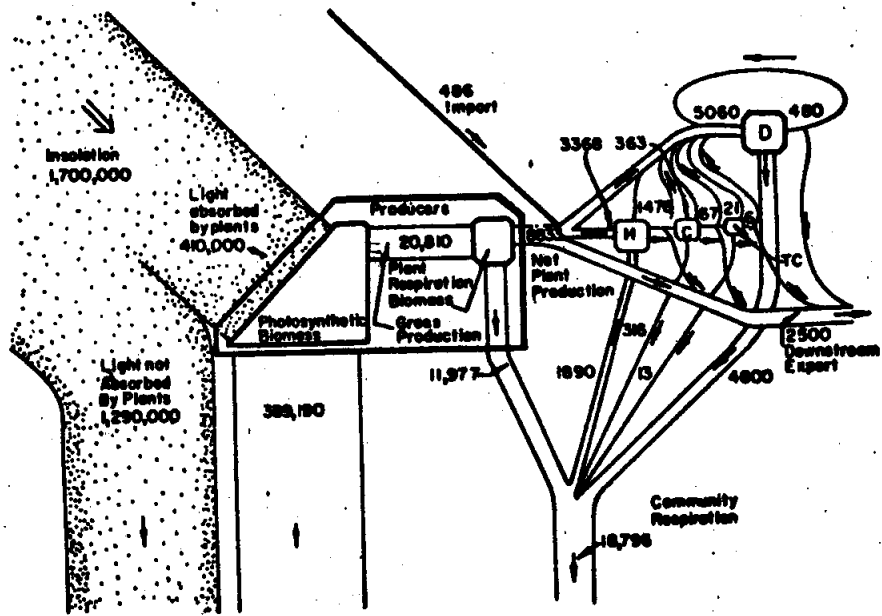


PLAICE: YIELD ISOPLETH DIAGRAM

[This shows the steady yield obtained from any combination of  $F$  and  $t_p$ . Contours are of yield per recruit at intervals of 25 gm. The top and left hand borders of the diagram are the zero contour of  $Y_w/R$ . The line  $AA'$  joins the maxima of yield-mortality curves (e.g. Fig. 17.2), while the line  $BB'$  joins the maxima of yield-mesh curves (e.g. Fig. 17.6). The point  $P$  indicates the pre-war values of  $F$  and  $t_p$ .]

Beverton & Holt (1957)

Figure 23.



Values are given in kilocalories per square meter per year. Reproduced from H. T. Odum (1957). *Ecol. Mon.* 27, 61. Reprinted by permission of Duke University Press, Durham, North Carolina.

Patten (1971)

Figure 24.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= F_{01} - \tau_{12}x_1 - \mu_{10}x_1 - \lambda_{10}x_1 - p_{10}x_1, \\ \dot{x}_2 &= F_{02} + \tau_{12}x_1 - \tau_{23}x_2 - \mu_{20}x_2 - p_{20}x_2, \\ \dot{x}_3 &= \tau_{23}x_2 - \tau_{34}x_3 - \mu_{30}x_3 - p_{30}x_3, \\ \dot{x}_4 &= \tau_{34}x_3 - \mu_{40}x_4 - p_{40}x_4, \\ \dot{x}_5 &= \mu_{10}x_1 + \mu_{20}x_2 + \mu_{30}x_3 + \mu_{40}x_4 - p_{50}x_5. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= F_{01} - \tau'_{12}x_2x_1 - \mu_{10}x_1 - \lambda_{10}x_1 - p_{10}x_1, \\ \dot{x}_2 &= F_{02} + \tau'_{12}x_2x_1 - \tau'_{23}x_2x_3 - \mu_{20}x_2 - p_{20}x_2, \\ \dot{x}_3 &= \tau'_{23}x_2x_3 - \tau'_{34}x_3x_4 - \mu_{30}x_3 - p_{30}x_3, \\ \dot{x}_4 &= \tau'_{34}x_3x_4 - \mu_{40}x_4 - p_{40}x_4, \\ \dot{x}_5 &= \mu_{10}x_1 + \mu_{20}x_2 + \mu_{30}x_3 + \mu_{40}x_4 - p_{50}x_5. \end{aligned}$$

Patten (1971)