

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS**

**SECCION DE POSGRADO**



**APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS EXPERTOS EN  
EL SECTOR PESQUERO**

**TESIS**

Para Optar el Grado Académico de  
**MAESTRO EN CIENCIAS**  
**CON MENCIÓN EN INGENIERIA DE SISTEMAS**

**RICARDO VILCHEZ CHUMACERO**

**LIMA – PERU  
2004**

1.2.3. Factores	23
1.2.4. Desarrollo de un Sistema Experto	24
1.2.5. Lógica de primer orden	26
1.2.6. Ingeniería del conocimiento	28
1.2.7. Ontología	30
1.3. Biosistemas	34
1.3.1. Ecosistema	34
1.3.2. Estructura trófica	39
1.3.3. Comunidad Ecológica	42
1.3.4. Pesquerías	45
1.3.5. Peces marinos peruanos	48
1.4. Representación del Conocimiento	52
1.4.1. Modelos	53
1.4.2. Mapas conceptuales	55
1.4.3 Mapas mentales	58
1.4.4. Red semántica	61
1.4.5. Árboles	64

## **CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE EN IDENTIFICACION DE PECES**

2.1. Antecedentes Históricos	74
2.2. Métodos y modelos de identificación de peces	77
2.3. Software	79
2.4. Una visión desde Internet	80
2.5. Resumen del estado del arte.	82

## **CAPITULO III. ESTADO DEL ARTE EN DINAMICA DE POBLACIONES DE PECES**

3.1. Antecedentes Históricos	84
3.2. Población y Stock de Peces	86
3.2.1. Poblaciones de peces	86
3.2.2. Stock de peces	87
3.3. Variaciones de las pesquerías	88
3.4. Modelamiento y métodos	90
3.5. Software: utilidad, aplicaciones y usos	93
3.6. Resumen del estado del arte	95

## **CAPITULO IV: SISTEMA EXPERTO PESQUERO**

4.1. Modulo Clips	106
4.1.1. Árboles de decisión que aprenden	107
4.1.2. Árbol de decisión de peces marinos peruanos.	107
4.2. Modulo Programación Lógica	113
4.2.1. SWI-Prolog	113
4.2.2. Visual Prolog	119
4.3. Modulo Base de Datos	121
4.4. Modulo Stella	125
4.4.1. Modelización de la Población de Peces	125
4.4.2. Modelización del Subsistema Barcos	129
4.4.3. Modelización del Subsistema Conexión	133
4.4.4. Combinación de los Subsistemas	136
4.4.5. Tragedia de los Recursos comunes.	138

4.4.6. Modelo Anchoveta	141
4.4.7. Evolución del Modelo Anchoveta	149
4.4.8. Evolución de dos especies. Modelo Volterra-1	154

## **CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Conclusiones	159
Recomendaciones	162
GLOSARIO	164
BIBLIOGRAFIA	169
ANEXOS	176

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Curva de Crecimiento Exponencial	10
Figura 1.2. Ciclo de vida genérico	11
Figura 1.3. Pasos en el desarrollo de un sistema experto	24
Figura 1.4. El nivel más elevado de la ontología del mundo.	32
Figura 1.5. Los niveles de organización	37
Figura 1.6. La cibernética en la jerarquía de los organismos y ecosistemas	38
Figura 1.7. Combinación de las cadenas de detritívoros y los herbívoros	41
Figura 1.8. Componentes básicos en la modelación de ecosistemas	55
Figura 1.9. Mapa Conceptual sobre plantas.	57
Figura 1.10. Mapa Mental del avance de Tesis	60
Figura 1.11. Red Semántica de Peces.	63
Figura 1.12. Ejemplo de árbol	64
Figura 1.13. Árbol de decisión para identificar Sistemas Operativos	67
Figura 1.14. Árbol de decisión de identificación de Sistemas Operativos después de aprender OS/2	68

Figura 4.1. Modelo de bloques de Peces Marinos Peruanos	99
Figura 4.2. Árbol mostrando especies de secciones A y D.	100
Figura 4.3. Modelo de Peces Marinos Peruanos	103
Figura 4.4. Árbol binario mostrando la Sección B de los Tiburones	104
Figura 4.5. Árbol mostrando la Sección C de las Rayas	105
Figura 4.6. Árbol de decisión de peces marinos peruanos	108
Figura 4.7. Árbol de decisión para identificar Peces marinos peruanos aprendiendo.	110
Figura 4.8. Árbol de decisión para identificar dos especies de Peces marinos peruanos	112
Figura 4.9. Detalle de un Registro de Pez Marino Peruano	123
Figura 4.10. Diagrama Entidad-Relación	124
Figura 4.11. Diagramas Forrester en STELLA 6.01	127
Figura 4.12. Gráfico de la Tasa de Mortalidad	127
Figura 4.13. Comportamiento de la Población de peces a lo largo del tiempo.	128
Figura 4.14. Población de peces al introducir peces extra	129
Figura 4.15: Diagrama de Forrester en STELLA del Subsistema Barcos	131
Figura 4.16. Simulación del modelo mostrando el crecimiento del número de barcos.	131
Figura 4.17. Crecimiento de las ganancias anuales	131
Figura 4.18. Numero de barcos constante al disminuir la Captura por Barco a 10.	132
Figura 4.19. Perdidas de 500 dólares por año al disminuir la Captura	132

por Barco a 10.	
Figura 4.20. Ganancias totales iguales a cero con un valor de Captura por de Barco de 12.5	133
Figura 4.21. Diagrama de Forrester del Subsistema Conexión	135
Figura 4.22. Gráfico de Captura por Barco.	135
Figura 4.23. Gráfico del comportamiento del Subsistema Conexión	136
Figura 4.24. Diagrama en STELLA del Sistema Dinámico Pesquero	137
Figura 4.25. Gráfico del comportamiento de la población de PECES y su Captura Total Anual.	137
Figura 4.26. Gráfico que muestra las Ganancias Anuales	138
Figura 4.27. Diagrama de Forrester en STELLA con la estructura del Modelo Anchoveta.	145
Figura 4.28. Gráfico del número de embarcaciones y captura total anual	146
Figura 4.29. Gráfico del comportamiento de la población de anchovetas	146
Figura 4.30. Gráfico que muestra las embarcaciones con impuesto y la captura total anual.	147
Figura 4.31. Gráfico del comportamiento de la población de anchovetas con política de impuesto.	148
Figura 4.32. Diagrama de Forrester del modelo Anchoveta-2.	150
Figura 4.33. Crecimiento de la Población de la especie del modelo Anchoveta2.	151
Figura 4.34. Evolución en la producción de Harina de Anchoveta	152
Figura 4.35. Diagrama de Forrester del modelo Anchoveta-3.	153
Figura 4.36. Diagrama de Forrester del Modelo Volterra-1	155

Figura 4.37. Evolución de dos poblaciones del modelo Volterra-1	156
Figura 4.38. Simulación en Stella del modelo Volterra-1	157
Figura 4.39. Evolución de la captura de las poblaciones de anchoveta Sardina.	157
Figura 4.40. Oscilaciones de las poblaciones de sardina y caballa	158
Figura A1. Árbol de la Sección E correspondiente a los peces óseos	177



## **DESCRIPTORES TEMATICOS**

1. Identificación de peces
2. Sistemas Expertos
3. Programación Lógica
4. Redes Semánticas
5. Base de Conocimientos
6. Stock de peces
7. Tragedia de los recursos comunes
8. Sistemas Dinámicos
9. Bases de datos
10. Lenguaje Clips

## RESUMEN

En nuestro país existe la necesidad de un sistema que permita identificar o reconocer las diferentes especies de peces, tan abundantes en el mar peruano. Dicha necesidad es más apremiante en la explotación de los recursos pesqueros, es por esta razón que se preparó para los fines aludidos, un estudio técnicas de Inteligencia artificial orientado al desarrollo de un sistema experto que permita el manejo adecuado de información dispersa de la biodiversidad íctica marina peruana y evitar la tragedia de los recursos comunes.

La aplicación de las técnicas, principalmente las de inteligencia artificial, a la *Clave para identificar Peces Marinos peruanos* y al *Catálogo comentado de peces marinos del Perú*, ambos de IMARPE, que contienen información de las especies ícticas identificadas en el mar peruano, es posible capturar este conocimiento creando una base de conocimientos y codificarlo en Prolog y Clips obteniendo un sistema de software. Al codificar la base de conocimientos se innovará la forma de realizar los estudios en torno a la fauna acuática peruana, por lo tanto, el desarrollo metodológico de los investigadores de biodiversidad íctica ya no será el mismo, el paradigma cambiará ya que contará con más tiempo para evaluar los resultados.

Con la seguridad de constituir una importante herramienta de trabajo a los fabricantes de aparejos, Empresas Pesqueras, Ministerio de la Producción, IMARPE, Facultades de Pesquería, profesionales e investigadores de biodiversidad íctica, y al usuario novel que requiera información, con

precisión científica. El sistema experto para el sector pesca permitirá concentrar la base de conocimientos de la fauna íctica marina peruana haciendo posible encontrar especies iguales o similares con precisión científico.

El sistema experto para el sector pesquero consta de 4 Modulos:

**Modulo Programación Clips.** Tiene como objetivo es identificar la especie marina peruana, conociendo sus caracteres morfológicos; para lograrlo se parte desde la raíz y mediante preguntas el sistema avanza al siguiente nivel, llegando finalmente hasta la especie. Este sistema aprende nuevas características morfológicas y nuevas especies.

**Modulo Programación Lógica.** Tiene como finalidad mostrar los caracteres morfológicos y el nombre de la especie. Es necesario conocer el código de la especie o su nombre científico, y el sistema muestra el recorrido desde la raíz hasta la especie o viceversa.

**Modulo Base de Datos.** En éste se emplea la información contenida en el Catálogo comentado de los Peces marinos del Perú, que registra 1070 especies. Se ha diseñado un modelo de datos y se creó una aplicación en PowerBuilder para el registro de cada una de las especies.

**Modulo Stella.** Muestra la interacción entre la población de peces y la Empresas Pesqueras. Conforme la población de peces disminuye, los barcos de pesca comienzan a generar ganancias cada vez más pequeñas. La reacción natural a esto es aumentar la flota pesquera para intentar mantener las mismas ganancias netas.

## INTRODUCCION

En pleno siglo XXI, la importancia de la disponibilidad de información amplia y variada crece proporcionalmente con el aumento de la complejidad de la sociedad actual, de ahí que se señale que nos encontramos en la denominada “Sociedad de la información” o “Sociedad del Conocimiento”, en la que las naciones, empresas y entidades estatales, en menor grado, destinan grandes cantidades de recursos a la adquisición, almacenamiento, procesamiento, etc., de la información. Como parte de este engranaje, la Ingeniería de Sistemas y, más concretamente, la rama conocida como Inteligencia Artificial, cuyas aplicaciones son de importancia mayormente prácticas, están basadas en construir un modelo de conocimiento usado por un experto humano.

El potencial de los Sistemas Expertos se fundamenta en su capacidad para automatizar nuevas aplicaciones, lo que hasta ahora no había sido factible realizar, y para agilizar la toma de decisiones sin que se sacrifique por esto la buena calidad de las mismas. Los Sistemas Expertos son un subconjunto especial dentro de los Sistemas Basados en Conocimiento, que constan de una Base de Conocimientos y un motor de inferencias.

Los Sistemas Expertos se han venido aplicando con éxito en muchos campos: medicina, geología, química, ingeniería, etc. En la actualidad los administradores de la pesca no disponen de un sistema que permita identificar las diferentes especies ni predecir las fluctuaciones anuales de la

biomasa de recursos pesqueros; necesidades objetivas que hacen del sector pesquero un campo en el que se pueden aplicar los Sistemas Expertos.

El problema de los recursos pesqueros, en su condición de recursos renovables, están expuestos permanentemente a una sobre explotación, por eso es necesario el monitoreo de los mismos con el fin de estimar el efecto que la pesca ejerce sobre ellos y evitar la tragedia de los recursos comunes. El principal propósito de esta investigación es la identificación de la especie, el stock y la construcción de un modelo que muestre la simulación de la población.

El Sistema experto construido logra identificar 688 especies ícticas marinas peruanas, además cuenta con una base de datos 1070 peces marinos. Al hacer un estudio analítico de las cifras de capturas de los últimos 50 años de captura de las especies comerciales los gráficos obtenidos muestran oscilaciones de la biomasa. Finalmente se presentan varios modelos de la población de la especie más estudiada científicamente y la más representativa comercialmente, la anchoveta (*Engraulis ringens*).

El contenido de esta Tesis se agrupa en cinco capítulos.

- En el capítulo 1 se examinan las ideas básicas sobre las que se sustenta este trabajo: pensamiento sistémico, sistemas expertos, biosistemas y las diferentes formas de representación de conocimiento.
- En el capítulo 2 se presenta el estado del arte en identificación de peces desde las formas tradicionales de identificación de peces a través de pictogramas, guías, manuales, claves y catálogos hasta los métodos modernos como son observaciones submarinas y bases de datos relacionales.
- En el capítulo 3 se analizan las diferentes las definiciones de población y stock de peces. Asimismo las fluctuaciones del stock

debido a sobrepesca, cambios climáticos y competencia entre especies. Asimismo se analizan los modelos que pueden aplicarse para stock de peces: presa-predador, bio-económicos, banco de peces y la Dinámica de Sistemas. Finalizando con la presentación de algunos paquetes de software para la evaluación de stock de peces.

- El capítulo 4 es la parte medular de la tesis. En donde se presenta la metodología, desarrollo de modelos y construcción del sistema experto pesquero que consta de cuatro Modulos: Clips, Programación lógica, Bases de Datos y Stella.
- Finalmente, el capítulo 5 recopila diferentes conclusiones y recomendaciones.

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1.1. PENSAMIENTO SISTÉMICO

El pensamiento sistémico se basa en un creciente cuerpo de teoría relativa al comportamiento de la retroinformación y de la complejidad, es decir, de las tendencias innatas de un sistema que llevan al crecimiento o estabilidad. Hay muchas formas viables de pensamiento sistémico como: Sistemas vivos, Sistemas Auto-organizados, Sistemas Dinámicos e Inteligencia Artificial. Es vital que estas cuatro formas se desarrollen como un conjunto. El pensamiento sistémico las integra fusionándolas en un cuerpo coherente de teoría y practica. Sin una orientación sistémica, no hay motivación para examinar como se interrelacionan. El pensamiento sistémico nos recuerda continuamente que el todo puede superar la suma de sus partes

#### 1.1.1. SISTEMAS

Según SENGE [2000] un sistema es cualquier cosa que derive de su integridad y forma de la interacción continua de sus partes. Los sistemas se definen por el hecho de que sus elementos tienen un propósito común y que se comportan en formas comunes, precisamente porque están relacionados entre sí para ese propósito. La disciplina de **Pensar en Sistemas** ofrece una manera distinta de ver los problemas y las metas: no como hechos aislados sino como componentes interrelacionados de estructuras más grandes.

*Un **sistema** es cualquier todo, cuyos elementos se juntan porque continuamente se afectan unos a otros. “Sistema” viene del griego **sunistanai** que originalmente quería decir “hacer juntar”. Como sugiere ese origen, la naturaleza de un sistema incluye la percepción en que el observador lo “haga juntar”. Ejemplos de sistemas son los organismos biológicos, la atmósfera, las enfermedades, los nichos ecológicos, fabricas, reacciones químicas, entidades políticas, industrias, familias, equipos y todas las organizaciones.*

La disciplina de pensar en sistemas es el estudio de la estructura y comportamiento de estos para lo cual se requiere de una serie de herramientas. Además los que tienen experiencia de Pensar en Sistemas pueden actuar con un poder más eficiente de lo que generalmente permite una cultura de “corto tramo de atención”.

Para SENGE [2002], existe un ámbito viable de prácticas para Pensar en Sistemas, todas con diversos grados de rigor y con distintos puntos de vista sobre la naturaleza de un sistema.

- ◆ **Sistema total:** Esfuerzos para instituir el cambio de toda una organización en lugar de un dominio más estrecho. Pensar en sistema total es por lo general más eficiente que trabajar aisladamente, pues se enfoca al sistema como un ente conformado por un conjunto de subsistemas que, a su vez, están formados por la reunión de otros subsistemas más detallados.
- ◆ **Sistemas abiertos:** Desarrollada por pensadores como Ludwig Von Bertalanffy, Russell Ackoff, Eli Goldratt y otros. Esta escuela de pensamiento busca entender un sistema en términos de sus insumos, productos y límites, en constante interacción con el ambiente.
- ◆ **Sistemas humanos:** Pensadores como David Cantor y Barry Oshry han propuesto maneras en que el papel de una persona y sus



relaciones pueden interactuar y llevar a resultados que nadie elegiría pero que no se pueden evitar.

- ◆ **Sistemas de procesos:** Esta manera de pensar en sistemas, que surgió del movimiento de calidad y la reingeniería, ve una organización como una serie de flujos de información. Al reajustar las estructuras de comunicación, varían los patrones de comportamiento de la organización.
- ◆ **Sistemas vivos:** Diversas formas de la teoría de complejidad y caos, junto con las teorías de Humberto Maturana, David Bohm y Lynn Margulis, sugieren que existen sistemas emergentes, que del caos saldrán patrones de orden, en forma muy parecida a como se desarrollan los seres vivos.
- ◆ **Sistemas relacionados con retroalimentación** (a veces llamados “dinámica de sistemas” o simplemente “pensar en sistemas”) son una amplia serie de técnicas y métodos derivados de la comprensión de los dinámicos procesos de retroinformación (ciclos de refuerzo y equilibrio).
- ◆ **Simulación de dinámica de sistemas:** Este es el tipo de análisis de sistemas propuesto por Jay Forrester y sus colegas, en el que las interacciones de retroinformación se representan por ecuaciones matemáticas no lineales. Puesto que tales ecuaciones describen acumulaciones y crecimiento exponencial, y por lo general son demasiado complicadas para que la gente las pueda manejar, la dinámica de sistemas se ha servido de los modelos y simulaciones computarizadas.

Todas esas maneras de pensar en sistemas son apropiadas para distintos fines, en circunstancias diversas. El empleo con regularidad de cualquiera de ellos, o de todos, desarrollará su capacidad para Pensar en Sistemas, comprenderlos, adecuarlos y aplicarlos de manera más eficiente de acuerdo a los propósitos que desea lograr.

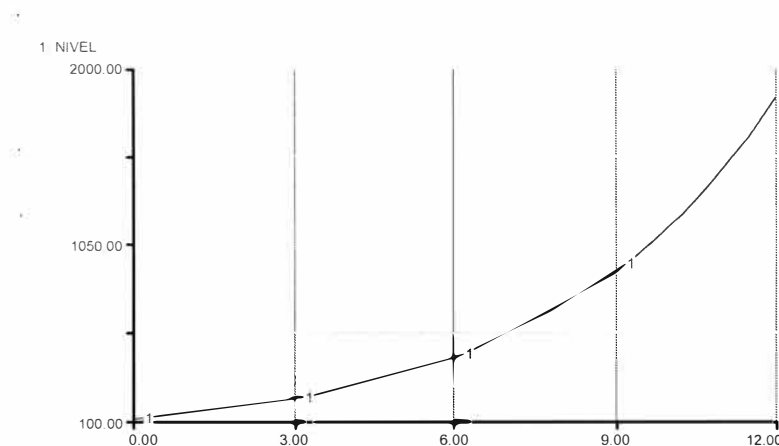
### **1.1.2. SISTEMAS VIVOS**

En los sistemas vivos, se ve el mundo como realmente es: un mundo constantemente pulsante, cambiante, interconectado, de relaciones rápidamente interactuantes en las cuales el orden surge naturalmente del caos sin ser controlado.

El tiempo de la naturaleza es distinto. Es inseparable de los procesos por los cuales la naturaleza produce cambio. La naturaleza crea ciclos como flujo de las estaciones, la migración de las aves y los ciclos del temperamento humano; y crea crecimiento. Los procesos naturales tienen un crecimiento exponencial se aceleran ellos mismos. Según MARTIN [1997] el crecimiento exponencial es producido por un bucle de retroalimentación positiva entre los componentes de un sistema. El comportamiento característico del crecimiento exponencial o compuesto se muestra en la Figura 1.1.

Muchos sistemas habituales muestran el comportamiento exponencial propio de un proceso que se alimenta a si mismo. Por ejemplo, en un sistema ecológico, el nacimiento de venados incrementa la población de venados, lo que a su vez incrementa la cantidad de venados que nacen. En su banco, el saldo en su cuenta se incrementa por el interés que recibe por él y mientras mayor se haga su saldo, más interés ganará sobre él.

Otro sistema que puede decirse que muestra crecimiento exponencial es el sistema de conocimiento y aprendizaje. Dicho de manera sencilla, mientras más sabe, más rápido aprende y entonces adquiere más conocimiento. Estos sistemas tan diferentes muestran el mismo patrón de comportamiento, graficado en la Figura 1.1, porque la relación entre sus componentes es fundamentalmente la misma.



**Figura 1.1. Curva de Crecimiento Exponencial**

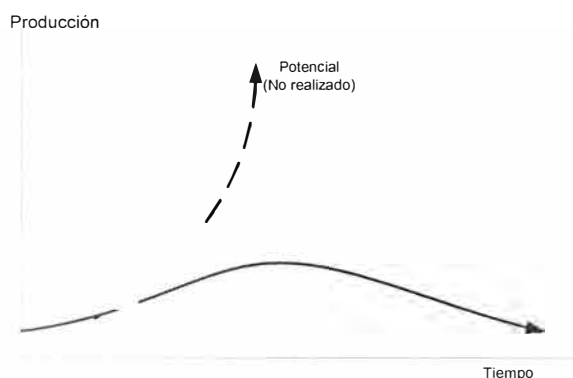
Todos contienen la estructura genérica de retroalimentación positiva lineal de primer orden, mostrado en la Figura 1.1. La población se relaciona con los nacimientos de la misma forma que su saldo en el banco se relaciona con el interés que gana y el conocimiento se relaciona con el aprendizaje.

En biología “nada crece para siempre”. Si bien reforzar el crecimiento exponencial es el vehículo de la naturaleza para la expansión, nunca opera libre de trabas. El crecimiento en todos los sistemas naturales ocurre mediante interacción entre procesos de refuerzo y procesos limitantes. En la naturaleza el poder de los límites determina la extensión hasta donde el crecimiento sigue la vía de aceleración.

Las situaciones de límites al crecimiento ocurren cuando un proceso de refuerzo (o crecimiento) se encuentra con un proceso de balance: alguna forma de resistencia que ocurre naturalmente. Estos procesos en el medio por el cual los sistemas mantienen integridad, continuidad y estabilidad, representan la busca continua de algún punto natural de balance: el estado homeostático del cuerpo humano, el equilibrio de depredador y presa en un ecosistema, o el nivel de estabilidad generalmente aceptado de una compañía. Los límites al crecimiento constituyen una de las más comunes y poderosas estructuras en la

naturaleza. Nadie está exento. Esto explica por qué a la larga pocos esfuerzos de cambio salen adelante.

Para entender por qué sostener un cambio significativo es tan difícil debemos como biólogos. Podemos empezar por observar que, en general, las iniciativas de cambio siguen un ciclo de vida genérico parecido a lo que se indica en la Figura 1.2.



**Figura 1.2. Ciclo de vida genérico**

Las prácticas innovadoras propuestas por la iniciativa –sea gestión de calidad total, rediseño de procesos o “crear una organización abierta al aprendizaje” – crecen durante un tiempo y luego dejan de crecer. Tal vez se suspenden del todo; o tal vez la iniciativa persiste a bajo nivel. En ambos casos el crecimiento inicial no realiza potencial: Es comprensible que muchas prácticas novedosas no se extiendan porque nunca llegan a producir suficientes beneficios; pero ¿qué decir de las que sí arrojan beneficios sustanciales y sin embargo no se extienden, como les ocurre a muchas innovaciones promisorias que “mueren en flor” en las grandes compañías? En la Figura 1.2, la línea punteada indica el crecimiento potencial de que pudo haber gozado la práctica innovadora. Si las nuevas ideas o instrumentos o procesos tenían verdadero potencial ¿Por qué sólo penetraron al 1% de la organización? ¿Por qué se alcanzó apenas un 5% de mejoramiento en el índice de desarrollo de nuevos productos, cuando pudo haber ocurrido un mejoramiento del 100%? ¿Por qué murió el impulso?

Para un biólogo, la curva de la Figura 1.2 no es idiosincrasia del cambio organizacional. Muestra la pauta que sigue cualquier cosa que crece en la naturaleza, aún de lo que crece y muere “prematadamente”. En efecto, el crecimiento en S ocurre tan constantemente en biología que tiene nombre propio: se llama sigmoideo. Todo organismo, desde el ser humano hasta el escarabajo, crece según ese patrón: acelerando, luego desacelerando gradualmente hasta llegar a su tamaño completo de adulto. Las poblaciones biológicas crecen de la misma manera: aceleran durante un tiempo, luego desaceleran gradualmente. Dicha pauta se repite constantemente en la naturaleza debido a la manera como ésta genera y controla el crecimiento.

Según SENGE [2000], en la naturaleza todo crecimiento proviene de la interacción entre procesos impulsores y procesos limitantes. La semilla contiene la posibilidad de un árbol, y esa posibilidad se realiza en virtud de un proceso emergente impulsor de crecimiento. De la semilla se desprenden sensores, o raicillas que buscan agua y nutrientes; las raíces avanzan más y toman más agua y más nutrientes, lo cual lleva a mayor y mayor expansión, y así sucesivamente. El proceso inicial de crecimiento está en marcha. Pero, el progreso que alcance depende de muchos factores limitantes: cantidad de agua y nutrientes que haya en el suelo, espacio para que se estiren las raíces, calor. A su vez, cuando el árbol sale a la superficie, entran en juego otras limitaciones: luz solar, espacio para las ramas, insectos que destruyen las hojas. Por lo que puede afirmar que el crecimiento se detiene “prematadamente”, antes que el organismo haya alcanzado su pleno potencial, cuando este ha encontrado restricciones que se habrían podido evitar. Otros miembros de la especie crecerán más porque no encontraron esas limitaciones: Cualquier restricción específica de las arriba mencionadas (insuficiente agua, nutrientes o espacio para las raíces) puede impedir que la semilla crezca.

### **1.1.3. SISTEMAS AUTO-ORGANIZADOS**

La característica clave de un sistema o estructura auto-organizada es que se forma sin las restricciones o contribuciones que se aplican desde el exterior. La forma de auto-organización la determinará algo que se conoce como "atractor". Un atractor puede ser algo tan simple como el centro de la bola de un bolígrafo o puede ser muy complejo. Algunos sistemas auto-organizados tienen muchos atractores y es posible que todos deban llegar a un estado estable. [PC-PRO, 2001].

La auto-organización no requiere ningún sentido de utilidad o inteligencia, ni la capacidad de controlar directamente ningún entorno. Esta es inherente a los seres vivos, como es el caso de aves y peces que viven en bandadas o cardúmenes; también a granos de arena organizados en un montón y podría darse con la misma naturalidad en un sistema informático. En la mayoría de los casos, el código real que se ejecuta en un computador se habrá compilado y enlazado con una gran matriz de funciones externas. Sin embargo, la parte central de cualquier Modulo de software seguirá reflejando la estructura impuesta por su autor y funcionará dentro de una matriz de software que es potencialmente única de cualquier máquina dada. Esto se añade a la complejidad global y facilita aún la auto-organización.

Una de las mejores pistas se encuentra en la naturaleza y se han estudiado tres de estos sistemas: montón de arena, aves de Craig Reynolds y la hormiga de Langston.

### **1.1.4. SISTEMAS DINAMICOS**

El término dinámica se refiere a cambios en el tiempo. Si algo es dinámico, está cambiando constantemente. Por lo tanto, un sistema dinámico es aquel en el que las variables interactúan produciendo

cambios en el tiempo. La dinámica de sistemas es una metodología usada para entender como los sistemas van cambiando en el tiempo. La manera en la cual los elementos o variables de un sistema van cambiando a medida que pasa el tiempo se denomina comportamiento del sistema. En un ecosistema, el comportamiento está representado por las dinámicas de crecimiento y reducción de la población. Este comportamiento se debe a la influencia de la disponibilidad de alimentos, los depredadores y el medio ambiente, que son todos elementos del sistema.

MARTIN, [1997] estableció que una realimentación (feedback) es un proceso por el cual una señal viaja a través de una cadena de relaciones causales hasta relacionarse de nuevo consigo misma. La realimentación se puede dividir en dos categorías: positiva y negativa. Los nombres de positiva o negativa indican si los cambios en la realimentación se hacen en la misma dirección para producir un comportamiento reforzado, o se mueven en direcciones opuestas, para producir equilibrio y un comportamiento estable.

La realimentación es positiva si el aumento de una variable, después de un retraso, provoca un nuevo aumento de esa misma variable. Las realimentaciones positivas se hallan cuando hay un refuerzo o amplificación en el sistema, que provoca un comportamiento exponencial. La reproducción de bacterias E. Coli y el comportamiento de la adicción a la nicotina son ejemplos de realimentación positiva. Por otra parte, una realimentación es negativa si el aumento de una variable provoca que posteriormente haya una disminución de la misma variable. Ejemplos de realimentación negativa son la disminución de radiactividad de un núcleo o el proceso de adelgazamiento para lograr el peso deseado. Las realimentaciones negativas llevan al equilibrio o estabilizan los sistemas, lo que produce un comportamiento asintótico o bien oscilante. Los dos tipos de realimentación se combinan para

producir todos los tipos de comportamientos observados en los sistemas complejos.

Según ALBIN [2000], las estructuras genéricas son estructuras relativamente simples que se presentan recurrentemente en muchas situaciones diversas. Por ejemplo los modelos de una cuenta bancaria y una población de peces ¡comparten la misma estructura básica! La posibilidad de que un mismo tipo de estructura sirva para explicar sistemas diferentes hace que el estudio de estructuras genéricas tenga una gran importancia en dinámica de sistemas.

Los bucles de realimentación son los elementos estructurales primarios de los sistemas. La realimentación en los sistemas es la causa de casi todos los comportamientos dinámicos. La simulación de un sistema dinámico requiere de herramientas informáticas adecuadas. En lo que respecta a esta tesis se ha empleado el software STELLA, de High Performance Systems, que permite construir modelos empleando procedimientos gráficos, mediante iconos. Asimismo, permite construir los diagramas de Forrester en la pantalla del computador, de modo que al establecer su estructura se generan las ecuaciones. También se puede agrupar elementos en sus modelos, y posee un zoom que permite desenvolverse con modelos complejos.

#### **1.1.5. INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

La Inteligencia Artificial es un área de las Ciencias de la Computación más antiguas pero a la vez menos explotadas, ya sea por falta de recursos y tecnología o por la complejidad que se le atribuye. Según NILSSON, [2001] Inteligencia Artificial significa la capacidad de las máquinas para tomar sus propias decisiones. El objetivo de la Inteligencia Artificial es el estudio, la comprensión y la construcción de entidades inteligentes. Dichas entidades son generalmente sistemas



computacionales que tienen cierta capacidad de emular un comportamiento racional, a los que denominamos "**sistemas inteligentes**".

#### a) CAMPOS

El desarrollo de la Inteligencia Artificial abarca los siguientes campos:

- ◆ Sistemas Expertos: En el área de ingeniería, diseño, detección de fallas, planificación, pronósticos, diagnósticos médicos, análisis financiero, etc.
- ◆ Juegos: los juegos de computadora y de video poseen algoritmos que usan la inteligencia artificial para determinar el grado de complejidad de las jugadas.
- ◆ Resolución general de problemas: problemas de la vida cotidiana.
- ◆ Percepción: reconocimiento de patrones, como por ejemplo el telescopio Hubble, satélites artificiales, observatorios, el proyecto SEIT, etc.
- ◆ Comprensión del lenguaje natural: programas y aplicaciones de reconocimiento de voz, comprensión, generación y traducción.
- ◆ Robótica: autónomos como el Robot de Honda, robot "Roboug" de Inglaterra, "Titán" de Japón, etc.
- ◆ Demostración de teoremas.

#### b) ENFOQUES

RUSSELL [1996], considera la Inteligencia Artificial como el estudio y construcción de agentes racionales. Este enfoque ofrece dos ventajas. Primera, es más general que el enfoque de las "leyes del pensamiento", dado que al efectuar inferencias correctas es sólo un mecanismo útil para garantizar la racionalidad, pero no es un mecanismo necesario. Segunda, es

más afín a la manera como se ha producido el avance científico que los enfoques basados en la conducta o pensamiento humanos, toda vez que se define claramente lo que será la norma de la racionalidad, norma que es de aplicación general.

Sin embargo en el campo científico, en la inteligencia artificial se puede distinguir dos enfoques o métodos en el propósito común de crear máquinas o programas informáticos inteligentes.

### **1) Método de-abajo-para-arriba.**

Se considera que el mejor modo de lograr inteligencia artificial es construyendo réplicas electrónicas de la compleja red neuronal del cerebro humano, de donde surgirán como propiedades emergentes los procesos mentales superiores.

Este método que busca crear inteligencia de-abajo-para-arriba mediante redes neuronales lidia actualmente con dos obstáculos: lo caro y voluminoso (dada la cantidad enorme de neuronas que habría que replicar para simular el cerebro humano) y la arquitectura actual de la mayoría de las computadoras (que carecen del alto número de rutas de conexión entre sus componentes, requerido para simular las interconexiones de las neuronas).

### **2) Método de-arriba-para-abajo.**

Se juzga que la mejor manera de lograr inteligencia artificial es elaborando programas informáticos que reproduzcan parcial o totalmente los procesos específicos del funcionamiento del cerebro.

Entre los practicantes de este enfoque están quienes han desarrollado los sistemas expertos, programas que permiten predecir qué tan efectiva será una solución (qué tanta probabilidad hay de que sea exitosa). Merced a la gran capacidad de memoria de las computadoras, los sistemas

expertos pueden almacenar estadísticas, interpretarlas, deducir reglas condicionales y aplicarlas. Proceden a la manera de los detectives, usando diagramas de flujo de información o árboles de decisión, con cálculo de probabilidades a partir de pertinente información estadística. Los sistemas expertos son programas informáticos que simulan la capacidad mental que el hombre tiene de analizar sistemáticamente experiencias pasadas para extraer válidas soluciones a problemas presentes y futuros.

### **c) EL CONOCIMIENTO**

La representación del conocimiento es la cuestión esencial en Inteligencia Artificial. En las primeras épocas se supuso que el conocimiento se presentaba en oraciones semejantes a “paquetes”, y que, por lo tanto el mejor medio para implantar conocimiento en un programa consistía en desarrollar una forma simple de traducir hechos a pequeños paquetes pasivos de datos. Después cada hecho sería simplemente una pieza de datos disponibles para su utilización por los programas.

El que todo ser humano almacene hechos de una manera más complicada era algo conocido desde hace mucho tiempo por los psicólogos, y descubierto, sólo en épocas recientes, por la investigación en Inteligencia Artificial, la cual se encuentra ahora estudiando los problemas del conocimiento articulado “en bloques”, y la diferencia entre los tipos procedimentales y declarativos del conocimiento, esto se relaciona con la diferencia entre el conocimiento accesible a la introspección, y el inaccesible a esta última.

Son muchos los esfuerzos que se han aplicado en Inteligencia Artificial a sistemas en los cuales la masa de conocimientos ha

sido almacenada en lugares específicos, es decir declarativamente. No hace falta decir que algún conocimiento tiene que ser incorporado a los programas, pues de otra manera no serían programas en absoluto, sino meras enciclopedias. El asunto es como repartir el conocimiento entre programas y datos. En el desarrollo de un sistema, si el programador concibe intuitivamente algún ítem específico como dato (o como programa), eso puede tener repercusiones significativas en la estructura del sistema. Es provechoso estar en condiciones de variar entre representaciones procedimentales y declarativas.

Otra de las cuestiones que aparecen en la representación del conocimiento es la modularidad. ¿Hasta qué punto es fácil insertar nuevos conocimientos? Sería útil que aprendiéramos a transplantar modularmente el conocimiento. A su vez, otro aspecto de representación del conocimiento se asocia con su aplicación, es decir precisando en qué se desea utilizarlo. ¿Se entiende que las inferencias son extraídas cuando llegan las piezas de información? ¿Se deben efectuar analogías y comparaciones, permanentemente, entre la información nueva y la información anterior?

#### d) CONOCIMIENTO DECLARATIVO Y PROCEDIMENTAL.

En el campo de la Inteligencia Artificial se distingue entre conocimiento de tipo procedimental y de tipo declarativo. Se dice que una pieza de **conocimiento es declarativa** cuando es explícitamente almacenada, de modo que no solamente el programador, sino también el programa puedan “leerla” como si estuviera incluida en una enciclopedia o en un repertorio. Esto quiere decir que su codificación está localizada y no ampliamente diseminada. En contraste el **conocimiento procedimental** no se codifica como hecho, sino como programa.

Un programador puede estar en condiciones de hacer un examen y luego decir: "Veo que gracias a estos procedimientos incluidos aquí, el programa 'sabe' escribir oraciones en inglés", pero el programa mismo puede no ser explícitamente sabedor de cómo hace para escribir esas oraciones. Por ejemplo, su vocabulario quizá no incluya, para nada, las palabras inglesas que significan "inglés", "oración" y "escribir". Luego, el conocimiento Procedimental está diseminado por todas las piezas, y no se lo puede delimitar, ni "teclear"; es una consecuencia global del modo como funciona el programa, no en un detalle localizado.

#### **e) ENZIMAS**

Según HOFSTADTER et al. [1992], una fuente de analogías para llevar el campo de la circulación de mensajes al campo del procesamiento de información la constituye, la célula. Ciertos objetos de la célula son enteramente comparables con las enzimas. Cada sitio activo de la enzima actúa como un filtro que reconoce exclusivamente ciertas clases de sustratos (mensajes). De tal modo, una enzima tiene, en efecto, una "dirección". La enzima está "programada" (en virtud de su estructura ternaria) para realizar ciertas operaciones con ese "mensaje", y luego devolverlo al mundo. Así, cuando un mensaje circula de una enzima a otra, a lo largo de un recorrido químico, la cantidad de tareas cumplidas puede ser muy grande. Ya hemos descrito las elaboradas clases de mecanismos de retroalimentación que pueden funcionar en las células (sea por inhibición o por represión). Estos mecanismos muestran que pueden surgir complicados controles de procesos, completamente generados por el tipo de circulación de mensajes que existe en la célula.

Una de las cosas más sorprendentes que presentan las enzimas es la forma en que permanecen ociosas, a la espera de ser

desencadenadas por el arribo de un sustrato. Cuando esto se produce, la enzima entra súbitamente en acción. Este género de programa de “disparo inmediato” ha sido utilizado en Inteligencia Artificial, bajo el nombre de *demonio*. Lo importante aquí es la idea de contar con muchas “especies” diferentes de subrutinas desencadenables que permanecen a la espera de que se las dispare. En las células, todas las moléculas compuestas y los orgánulos son construidos mediante un paso simple tras otro.

Algunas de estas nuevas estructuras son también, frecuentemente, enzimas, y participan en construcción de nuevas enzimas, etc. Tales cascadas recursivas de enzimas pueden tener efectos drásticos sobre lo que está haciendo una célula. Uno querría ver el mismo proceso de montaje paso simple tras paso simple en Inteligencia Artificial.

## 1.2. SISTEMAS EXPERTOS

En la actualidad, una de las diferencias básicas que existen entre las computadoras y los seres humanos tiene que ver con la utilidad práctica del material memorizado. Esta diferencia consiste en que, mientras una computadora almacena información que únicamente puede ser de explícita por un programa, el ser humano “aprende”. En el hombre, la adquisición de una nueva información modifica su comportamiento (o forma de pensar), en la medida que le aporta nuevos criterios para la toma de decisiones, tanto a escala consciente, como inconsciente. El hombre debe su gran capacidad de adaptación, también llamada *plasticidad*, a su habilidad para aprender.

### 1.2.1. DEFINICION

Se aplica el término Sistema Experto a cualquier sistema que utiliza tecnología de Sistemas Expertos. Esta tecnología puede incluir

lenguajes y programas especiales de sistemas expertos además de hardware diseñado para ayudar a su desarrollo y ejecución. El conocimiento de los sistemas expertos puede obtenerse por experiencia o consulta de los conocimientos que suelen estar disponibles en libros, revistas y con personas capacitadas. Los términos Sistema Experto, Sistema Basado en Conocimiento, o Sistema Experto Basado en Conocimiento son sinónimos. [GUIARRATANO, 2001].

Un sistema experto almacena conocimientos y hace inferencias, en forma similar a un experto humano. La investigación realizada en el campo de la Inteligencia Artificial durante las dos últimas décadas está dando como resultado Sistemas Expertos que investigan nuevas posibilidades de negocios, aumentan la rentabilidad global, reducen costos y proporcionan servicios excelentes a los consumidores y clientes.

### 1.2.2. CARACTERÍSTICAS Y LIMITACIONES

Las características de un sistema experto son las siguientes:

- ◆ ***Puede explicar su razonamiento o decisiones sugeridas.*** Una característica valiosa de un sistema experto es la capacidad de explicar cómo y por qué se llegó a una decisión o solución.
- ◆ ***Puede mostrar un comportamiento “inteligente”.*** Al examinar un grupo de datos, un sistema experto puede proponer nuevas ideas o métodos para la solución del problema.
- ◆ ***Puede obtener conclusiones de relaciones complejas.*** Los sistemas expertos pueden evaluar relaciones complejas para llegar a conclusiones y solucionar problemas.
- ◆ ***Puede proporcionar conocimientos acumulados.*** Una característica única de los sistemas expertos, es que se pueden usar

para capturar conocimientos humanos que en caso contrario podrían perderse.

- ◆ **Puede hacer frente a la incertidumbre.** Una de las características más importantes de un sistema experto es su capacidad para enfrentar conocimientos incompletos o inexactos en su totalidad.

Aunque estas características de los sistemas expertos son impresionantes, otras limitan su utilidad actual. Muchas de esas limitantes se relacionan con inquietudes de costos, control y complejidad como son: no se han probado en forma extensa, dificultad de uso, no pueden enfrentar problemas mixtos, no pueden perfeccionar su propia base de hechos, altos costos de desarrollo y dificultad de mantenimiento.

### 1.2.3. FACTORES

A continuación se presenta una lista de factores para poner en operación un sistema experto.

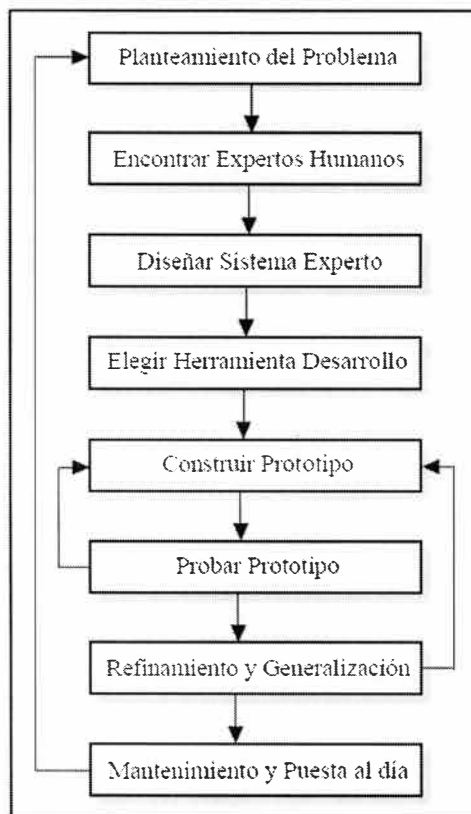
- ◆ Proporciona un alto potencial de rendimiento o reduce el riesgo en forma importante.
- ◆ Puede capturar y conservar conocimientos humanos irremplazables.
- ◆ Puede desarrollar un sistema más consistente que los expertos humanos.
- ◆ Puede proporcionar conocimientos en varias ubicaciones al mismo tiempo o en un ambiente hostil peligroso para la salud humana.
- ◆ Puede proporcionar conocimientos costosos y poco comunes.
- ◆ Puede desarrollar una solución con más rapidez que los expertos humanos.
- ◆ Puede proporcionar conocimientos necesarios para la capacitación y el desarrollo con el propósito de compartir los conocimientos y experiencias de expertos humanos con gran número de personas.



#### 1.2.4. DESARROLLO DE SISTEMAS EXPERTOS

En el **Desarrollo de los Sistemas Expertos** se requiere de un método. Este incluye determinar el área o la disciplina de investigación, poner en operación los resultados y mantener y revisar el sistema completo.

La especificación de los requisitos para un sistema experto se inicia con la identificación de los objetivos del sistema y su uso potencial. Identificar a los expertos puede ser difícil. Para el desarrollo de los elementos del Sistema Experto son necesarias las habilidades especiales. La puesta en operación del sistema experto incluye ponerlo en acción y asegurarse de que funciona como se desea. Al igual que otros sistemas de computación, a los sistemas expertos se les debe revisar y dar mantenimiento en forma periódica.



**Figura 1.3 Pasos en el desarrollo de un sistema experto**

CASTILLO et al. [1998], sugieren las etapas, mostradas en la Figura 1.3, para el diseño e implementación de un sistema experto:

1. **Planteamiento del problema.** La primera etapa en cualquier proyecto es normalmente la definición del problema a resolver. Puesto que el objetivo principal de un sistema experto es responder a preguntas y resolver problemas, esta etapa es quizás la más importante en el desarrollo de un sistema experto. Si el sistema está mal definido, se espera que el sistema suministre respuestas erróneas.
2. **Encontrar expertos humanos que puedan resolver el problema.** En algunos casos, sin embargo, las bases de datos pueden jugar el papel del experto humano.
3. **Diseño de un sistema experto.** Esta etapa incluye el diseño de estructuras para almacenar el conocimiento, el motor de inferencia, el subsistema de explicación, la interfase de usuario, etc.
4. **Elección de la herramienta de desarrollo, Shell, o lenguaje de programación.** Debe decidirse si realizar un sistema experto a medida, o utilizar un Shell, una herramienta, o un lenguaje de programación. Si existiera un Shell satisfaciendo todos los requerimientos del diseño, ésta debería ser la elección, no sólo por razones de tipo financiero sino también por razones de fiabilidad. Los Shells y herramientas comerciales están sujetas a controles de calidad, situación que no se da en otros programas.
5. **Desarrollo y prueba de un prototipo.** Si el prototipo no pasa las pruebas requeridas, las etapas anteriores (con las modificaciones apropiadas) deben ser repetidas hasta que se obtenga un prototipo satisfactorio.
6. **Refinamiento y generalización.** En esta etapa se corrigen los fallos y se incluyen nuevas posibilidades no incorporadas en el diseño inicial.
7. **Mantenimiento y puesta al día.** En esta etapa el usuario plantea problemas o defectos del prototipo, corrige errores, actualiza el producto con nuevos avances, etc.

Todas estas etapas influyen en la calidad del sistema experto resultante, que siempre debe ser evaluado en función de las aportaciones de los usuarios.

### 1.2.5. LOGICA DE PRIMER ORDEN.

Uno de los primeros conceptos que se debe conocer para entender los Sistemas Expertos es el de la **Lógica de Primer Orden**, cuyos alcances ontológicos son amplios. Uno de ellos es considerar que el mundo está constituido por **objetos**, es decir, entes (entidades individuales) y **propiedades** que los distinguen de otros objetos.

Entre estos objetos, existen diversos tipos de relaciones. Algunas de éstas son las funciones: relaciones en que a una “entrada” corresponde un solo “valor”. No es difícil ofrecer una lista de ejemplos de objetos, propiedades, relaciones y funciones:

- Objetos: gente, casas, números, teorías, peces, colores, partidos de fútbol, guerras, siglos, etc...
- Relaciones: hermano de, mayor que, dentro de, parte de, de color, sucedió luego de, es el dueño de.....
- Propiedades: rojo, redondo, de varios pisos, falso, lo mejor....
- Funciones: padre de, mejor amigo de, tercer tiempo de, uno más que....

De hecho, prácticamente cualquier hecho se refiere a objetos y a propiedades y relaciones. Veamos algunos ejemplos:

- “Uno más dos es igual a tres”  
Objetos: uno, dos tres, tres, uno más dos. Relación: es igual a.  
Función: más. (Uno más dos es el nombre del objeto que se obtiene al aplicar la función suma a los objetos uno y dos: Tres es otro de los nombres de tal objeto).

La lógica de primer orden ha cobrado tanta importancia en matemáticas, filosofía e inteligencia artificial precisamente porque resulta muy práctico concebir que esos campos se ocupan de objetos y de las relaciones que éstos guardan entre sí. No se pretende afirmar que el mundo realmente está formado por objetos y relaciones, sino que el esquematizar el mundo de esta forma nos facilita la tarea de razonar sobre él. Mediante la lógica de primer orden también es posible expresar hechos sobre los objetos y relaciones del universo, pero, su alcance ontológico no abarca cosas como categorías, tiempo y acontecimientos, aspectos que forman también buena parte del mundo.

En los sistemas expertos se emplean la lógica de primer orden porque es universal en el sentido de ser capaz de expresar todo aquello que se pueda programar. Se eligió el estudio de la representación de conocimiento y del razonamiento a través de la lógica de primer orden porque es, hasta ahora, el esquema que más se ha estudiado y se le conoce mejor.

El gran problema para la Inteligencia Artificial es qué expresar, no como expresarlo. El cálculo de predicados no hace más que proveer un lenguaje uniforme mediante el cual se puede expresar conocimiento del mundo. El primer paso en la representación del conocimiento acerca del mundo es conceptualizarlo en términos de sus objetos, funciones y relaciones. La conceptualización requiere generalmente un esfuerzo de inventiva por parte del conceptualizador. A menudo, hay muchas elecciones acerca de los tipos de objetos que pensamos que podrían existir en nuestros mundos. Somos libres de conceptualizar el mundo de cualquier manera que deseemos; sin embargo, algunas conceptualizaciones serán más útiles que otras. El siguiente paso consiste en crear expresiones del cálculo de predicados cuyos significados se refieren a los objetos, las funciones y las relaciones definidas.

Otros conceptos que comúnmente se emplean al hablar de la lógica de primer orden se dan a continuación:

**RAZONAMIENTO.** Es un tipo de pensamiento que consiste en obtener una conclusión a partir de unas premisas. Aunque raras veces se explica la distinción, “razonamiento” tiene sus acepciones, una procesal (la actividad del agente que razona) y otra funcional (la relación entre las premisas y la conclusión).

**TERMINOS.** Es una expresión lógica que se refiere a un objeto. Por lo tanto, los signos de constante son términos. A veces es más práctico utilizar una expresión para referirse a un objeto.

**DOMINIO.** En la representación del conocimiento, un dominio es un fragmento del mundo acerca del que deseamos expresar un determinado conocimiento

### **1.2.6. INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO**

Los Sistemas Expertos, son programas que razonan utilizando grandes bases de conocimiento. El proceso mediante el cual se construye una base de conocimientos es conocido como ingeniería del conocimiento. Un ingeniero del conocimiento es aquel que realiza investigación en un dominio particular y crea una representación formal de los objetos y relaciones del dominio. Es frecuente que los ingenieros del conocimiento estén capacitados en la representación aunque no sean expertos en el dominio que manejan. Normalmente el ingeniero del conocimiento entrevista a los verdaderos expertos de un campo para que éstos le enseñen lo necesario sobre el dominio de interés y le deslinden las fronteras del conocimiento respectivo, por medio de un proceso denominado adquisición del conocimiento.

Una buena base de conocimientos debe ser clara, correcta, expresiva, concisa, inequívoca, independiente del contexto y eficiente. Es necesario asegurarse de que estén bien definidas todas las relaciones de verdadera importancia, y suprimir todo detalle irrelevante. Considerando que habrá que establecer compromisos entre las propiedades, podemos hacer simplificaciones que sacrifiquen algo de exactitud a cambio de una mayor claridad y concisión. Asimismo, lo relativo a la eficiencia es un aspecto más difícil de resolver. Lo ideal es conservar la separación entre la base de conocimientos y procedimientos de inferencia. Esto permitirá al creador de la base de conocimientos ocuparse sólo del contenido del conocimiento, no de cómo se le utilizará en el procedimiento de inferencia. Este deberá obtener siempre las mismas respuestas, independiente de cómo esté codificado el lenguaje. En la medida de lo posible, el garantizar una inferencia eficiente es tarea del diseñador del procedimiento de inferencia, el que por ningún motivo deberá distorsionar la representación.

El Ingeniero del Conocimiento debe conocer por lo menos lo elemental sobre cómo se realiza la inferencia, de manera que con la representación diseñada se logre la máxima eficiencia. A lo que hay que agregar que toda base de conocimientos tiene dos consumidores en potencia: los lectores humanos y los procedimientos de inferencia; por lo que el ingeniero del conocimiento también debe contar con bastante comprensión del dominio en cuestión, que le permita representar objetos y relaciones importantes. A su vez este profesional deberá poseer un suficiente dominio del lenguaje de representación, con el fin de que pueda codificar adecuadamente tales hechos. Por último, el ingeniero del conocimiento también debe contar con un conocimiento amplio de la implantación del procedimiento de inferencia, que garantice la respuesta de las consultas en un tiempo razonable.

### 1.2.7. ONTOLOGIA

La Ontología permite incluir decisiones sobre como representar una amplia gama de objetos y relaciones. Su codificación se realiza mediante la lógica de primer orden, aunque asume ciertos compromisos ontológicos que la lógica en mención no hace. En cualquier área de la ontología especial es posible realizar cambios y así lograr una generalización. Son dos las características principales de las ontologías para propósito general que las diferencian del grupo de la ontología para casos especiales:

- Las ontologías de propósito general deben funcionar en prácticamente cualquier dominio especial (previa adición de los axiomas correspondientes a este dominio). Es decir, en la medida de lo posible no deberá pasarse por alto ningún elemento de la representación.
- Existen dominios muy exigentes, en donde es necesario unificar diversas áreas del conocimiento puesto que el razonamiento y la resolución de problemas pueden llegar a implicar simultáneamente a varias áreas.

Según NILSSON [2001], el estudio de la ontología de propósito general está organizado de acuerdo con los siguientes subtemas:

- **Categorías:** Más que constituir un conjunto de objetos totalmente aleatorio, el mundo muestra en su disposición bastante regularidad. Por lo que son muchos los casos en los que diversos objetos comparten varias características. Por lo general se habla de **categorías** cuyos miembros son todos aquellos objetos que comparten entre sí ciertas propiedades. Aquí se explica cómo las categorías pueden ser objetos por derecho propio y qué relación guardan con una **jerarquía taxonómica** unificada.

- **Medidas:** En muchos casos, mediante propiedades útiles tales como masa, edad y precio se establece una relación entre objetos y cantidades especiales a las que denominamos medidas. Aquí se explica cómo se representan las medidas en la lógica y qué relación guardan con las unidades de medida.
- **Objetos compuestos:** Es muy común que los objetos formen parte de las categoría en virtud de la estructura de su constitución.
- **Tiempo, espacio y cambio:** Para poder incorporar acciones y hechos de distinta duración pero que se producen simultáneamente, ampliamos nuestra ontología del tiempo. La noción básica es la de un universo continuo en sus dimensiones tanto espaciales como temporales. La hora, el lugar y los objetos formaran parte de este universo.
- **Hechos y procesos:** Hechos tales como la compra de un tomate se convierten en individuo en nuestra ontología; y como los tomates, se les agrupa en categorías. Cada hecho tiene lugar en sitios y momentos determinados. Los procesos son hechos continuos y homogéneos por naturaleza, como un aguacero o cocinar tomates.
- **Objetos físicos:** Entes que se prolongan en el tiempo y en el espacio. Los objetos físicos tienen mucho en común con los hechos.
- **Sustancias:** A diferencia de objetos como tomates que es fácil caracterizar, hay sustancias como el jugo de tomate cuya representación es un poco elusiva.
- **Objetos mentales y creencias:** Con frecuencia, el agente tendrá necesidad de razonar acerca de sus propias creencias. En la Figura 1.4 se muestran los niveles superiores de la jerarquía de las categorías.





**Figura 1.4. El nivel más elevado de la ontología del mundo.**

La organización de objetos en Categorías es una parte medular en la representación del conocimiento. Si bien la relación que se establece con el mundo se produce a nivel de objetos individuales, buena parte del razonamiento se realiza a nivel de categorías. Las categorías nos permiten hacer predicciones acerca de los objetos, una vez que éstos se clasifican. Es posible inferir la existencia de un objeto determinado a partir de una información perceptual, inferir qué tipo de miembro es el objeto dentro de una categoría con base en las propiedades que se hayan percibido de dicho objeto y luego utilizar la información en la categoría para hacer predicciones sobre los objetos.

Existen dos maneras para representar las categorías en la lógica de primer orden: La primera ya la hemos mencionado, es la representación de las categorías mediante predicados unarios. El signo del predicado Tomate, por ejemplo, representa la relación unaria que es válida sólo para aquellos objetos que son tomates; y Tomate(x) significa que x es un tomate. La segunda manera consiste en reificar la categoría. La reificación es el procedimiento mediante el cual un predicado o una

función se convierten en un objeto del lenguaje. Ejemplo: Tomates es un signo constante que se refiere al objeto constituido por el conjunto de todos los tomates. Para decir que  $x$  es un tomate, se escribe  $x \in$  Tomates.

Las categorías desempeñan un papel más importante porque sirven para organizar y simplificar la base de conocimientos a través de la Herencia. Las relaciones de subclase organizan las categorías en una Taxonomía o Jerarquía taxonómica. Durante siglos las taxonomías se han empleado de manera evidente en diversos campos técnicos, por ejemplo la Biología Sistemática ofrece una taxonomía de todos los seres vivos así como el de las especies extinguidas; la Bibliotecología ha desarrollado una taxonomía de todos los campos del conocimiento, una de cuyas codificaciones es el sistema decimal de Dewey; las autoridades tributarias y otras entidades gubernamentales han desarrollado taxonomías de ocupaciones y productos comerciales. Las taxonomías también son un aspecto importante del conocimiento de la realidad cotidiana.

Tanto en las teorías científicas del mundo como en las que apelan al sentido común, los objetos poseen peso, masa, costo, etc. Los valores que se asignan a estas propiedades se conocen como Medidas. Es fácil representar las medidas sencillas y cuantitativas. Existe otro tipo de medidas que son más difíciles, pues no existe para ellas una escala de valores bien definida. Los ejercicios tienen dificultad; los postres delicia; los poemas belleza; sin embargo a ninguna de estas cualidades se les puede asignar un número. Podríamos estar tentados, en un afán de tomar en cuenta sólo aquello que es contable, descartar las propiedades anteriores, al considerarlas inútiles para el razonamiento lógico; o, peor aún, imponer una escala numérica a la belleza. Lo anterior sería un grave error, puesto que no es necesario. El aspecto más importante de las medidas no reside en los valores numéricos

particulares en sí, sino en el hecho de que las medidas permiten una ordenación. Aún cuando las medidas no estén representadas por números, es posible compararlas mediante signos de ordenación como >

Tener la idea de que un objeto puede ser parte de otro nos es familiar. Todo objeto que esté formado por partes se denomina objeto compuesto. Las categorías de los objetos compuestos normalmente se caracterizan mediante la estructura de dichos objetos, es decir, por sus partes y cómo se relacionan éstas entre sí. Quizás al mundo se le podría considerar constituido por objetos primitivos (partículas) y por los objetos compuestos contruidos con estas partículas.

### **1.3. BIOSISTEMAS**

La biosfera es una entidad autorreguladora con capacidad de mantener nuestro planeta saludable controlando nuestro ambiente físico y químico. La tierra es un superecosistema (pero no un superorganismo, puesto que su desarrollo no es controlado genéticamente) con numerosas funciones interactuantes y ciclos de retroalimentación que moderan extremos de temperatura y mantienen relativamente constante la composición química de la atmósfera y los océanos.

#### **1.3.1. ECOSISTEMA**

Según ODUM [1985], ecosistema es cualquier unidad que incluya todos los organismos que funcionan juntos en un área determinada, interactuando con el medio físico de tal manera que el flujo de energía conduzca a la formación de estructuras bióticas claramente definidas y el ciclaje de materia entre partes vivas y no vivas.

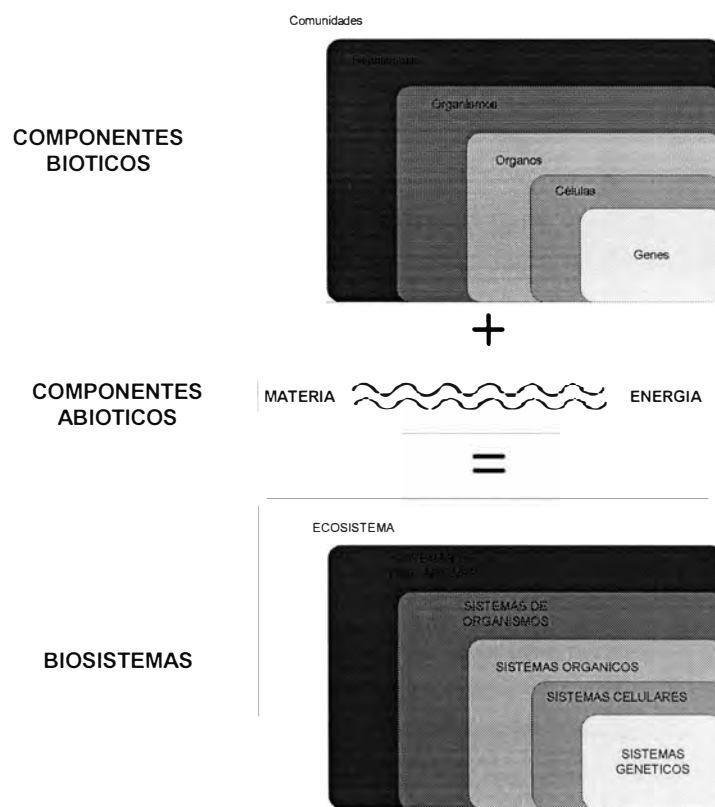
Las características de los Ecosistemas son:

- Los ecosistemas son ricos en redes de información las cuales incluyen flujos de comunicación física y química que conectan todas las partes y dirigen o regulan el sistema como un todo.
- Los componentes del ecosistema están acoplados en redes gracias a diversos mensajeros físicos y químicos análogos a mensajeros nerviosos y hormonales de los organismos, pero mucho menos conspicuos.
- Los ecosistemas tienen más de un estado de equilibrio y a menudo regresan a uno diferente después de ser perturbados.
- Los nuevos ecosistemas o nuevas relaciones huésped-parásito tienden a oscilar con más violencia y a sufrir sobrecrecimientos, lo que no sucede con los sistemas maduros, en los que los componentes tienen ocasión de ajustarse entre sí.
- Los ecosistemas tienden a volverse más complejos en los ambientes físicamente benignos, lo que no sucede cuando están sujetos a perturbaciones fortuitas.
- El ecosistema no es equivalente al organismo, ya que tiene propiedades emergentes que le son propias.
- Los ecosistemas acuáticos y terrestres tienen la misma estructura básica y funciones similares, difieren en composición biótica y tamaño de los componentes tróficos.
- Tanto en los ecosistemas acuáticos como en los terrestres, una buena parte de la energía solar se disipa durante la evaporación de agua, de modo que sólo una pequeña fracción, generalmente menos del 5% se fija por fotosíntesis.
- Los ecosistemas y organismos son sistemas termodinámicamente abiertos, no equilibrados, que intercambian materia y energía con el medio en forma ininterrumpida para reducir su entropía interna e incrementar la externa.

- Los sistemas vivos usan parte de la energía internamente disponible para autorrepararse y “extraer” el desorden; las máquinas tienen que ser reparadas y substituidas mediante el uso de energía externa.
- La energía es utilizada una sola vez por un organismo determinado, para luego convertirse en calor al salir del ecosistema.
- No es posible la existencia de sistemas vivos termodinámicamente cerrados. Todo componente vivo, sea organismo o ecosistema, debe tener un ingreso constante de energía proveniente de su medio.
- La mayor concentración de clorofila se encuentra en comunidades estratificadas como los bosques y, es generalmente, es más alta en la tierra que en el agua.
- La mayoría de los ecosistemas naturales funcionan como sistemas de detritos, pues el 90% o más de la producción autótrofa no son consumidos por los heterótrofos hasta que las hojas, tallos y otros grupos vegetales mueren para convertirse en materia orgánica, en partículas, y disuelta en agua, sedimentos y suelos.
- Conforme el tamaño y la complejidad del sistema aumenta, el costo energético de mantenimiento tiende a aumentar proporcionalmente, pero con más rapidez. La duplicación del tamaño suele requerir más del doble de energía destinada a reducir la mayor entropía asociada con el mantenimiento de la nueva complejidad estructural y funcional. [Odum, 1985].

Los Niveles de Organización Jerárquica se muestran en la Figura 1.5. Los términos: comunidad, población, organismo, órgano, célula y gen, se utilizan ampliamente para designar importantes niveles bióticos con orden jerárquico, de mayores a menores. De hecho, los “niveles” del espectro, como un espectro de radiación o una escala logarítmica, pueden extenderse hasta el infinito en ambos sentidos. Los sistemas que contienen elementos vivos (sistemas biológicos o biosistemas)

pueden ser concebidos o estudiados en cualquier nivel, como se aprecia en la Figura 1.5, o en cualquier posición intermedia que convenga o sea práctica para el análisis. Por ejemplo, los sistemas huésped-parásito, o cualquier sistema de dos especies de organismos mutuamente relacionados (como la asociación entre hongo y alga que constituyen los líquenes), son niveles intermedios entre la población y comunidad.



**Figura 1.5. Los niveles de organización**

Según ODUM [1998], la biosfera es un sistema cibernético o controlado, altamente integrado y autoorganizado. El control es interno y difuso, e implica cientos o miles de ciclos de retroalimentación e interacciones sinérgicas en subsistemas como la red microbiana que controla el ciclo del nitrógeno. El contraste entre estos dos tipos de control en la jerarquía ecológica se demuestra en la Figura 1.6. Desde el nivel de los organismos hacia abajo, los mecanismos neurales, hormonales y genéticos mantienen un control muy preciso en el

crecimiento y las funciones corporales. Por encima del nivel de organismos, el control mediante los circuitos de retroalimentación positiva o negativa es mucho menos preciso, así que cuando las condiciones se acercan a los límites, existen tendencias a mantener un estado pulsante en lugar de uno estable. Waddington (1975) acuñó el término Homorresis (del griego homeorhéin que significa mantenimiento del flujo) para describir la estabilidad evolutiva y ecológica en oposición a la Homeostasis (del griego homeostasis que significa mantenimiento del estado estático), término ampliamente utilizado para describir la estabilidad fisiológica a nivel del organismo.

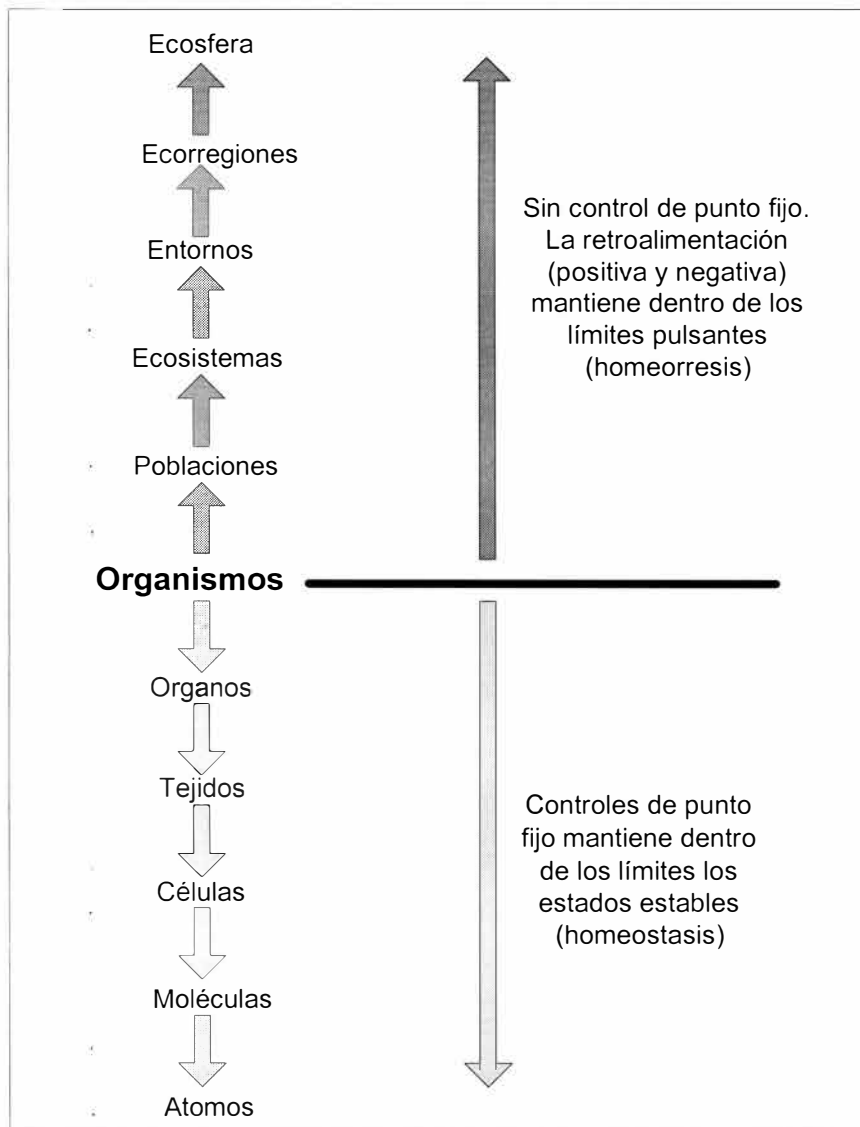


Figura 1.6. La cibernética en la jerarquía de los organismos y ecosistemas

### 1.3.2. ESTRUCTURA TROFICA

Según SMITH [2001], desde el punto de vista de la estructura trófica, los ecosistemas poseen dos estratos: 1) el **estrato autótrofo**, superior o “faja verde” de plantas clorofilianas o partes de las mismas, en las que predominan la fijación de la energía lumínica, el uso de sustancias inorgánicas simples y la síntesis de sustancias orgánicas complejas, y 2) el **estrato heterótrofo** inferior, o “faja café”, que consta de suelos y sedimentos, materia en descomposición, raíces, etc., en los que predomina la utilización, reorganización y descomposición de materiales complejos.

Las especies se agrupan en categorías llamadas niveles tróficos. El primer nivel trófico pertenece a los productores o plantas; su fuente de energía es el sol, y sus nutrientes provienen del suelo, el agua y la atmósfera. El segundo nivel trófico pertenece a los herbívoros o comedores de vegetales, que constituyen los consumidores primarios. Los herbívoros son capaces de transformar en tejido animal la energía almacenada en forma de tejido. Su función es esencial para el ecosistema, pues sin ellos los niveles tróficos superiores no existirían. Sólo los herbívoros pueden vivir con una dieta rica en celulosa. Los herbívoros, a su vez, son la fuente de energía para los carnívoros, animales que se alimentan de otros animales: Aquellos que se alimentan directamente de los herbívoros son los carnívoros primarios o consumidores secundarios. Estos a su vez, constituyen la fuente de energía para los carnívoros secundarios o consumidores terciarios. No todos los consumidores se ubican claramente en un nivel trófico, ya que muchos no limitan su alimentación a un único nivel, así por ejemplo algunos peces se alimentan de plantas y animales.

En los Ecosistemas Acuáticos, el fitoplancton y el zooplancton juegan un papel fundamental en el reciclado de nutrientes y energía.



Fitoplancton, macroalgas y zooplancton proporcionan materia orgánica disuelta, siendo las algas las principales contribuyentes. En ciertos estadios de su ciclo vital, en particular durante las fases de crecimiento rápido, el fitoplancton y otras algas excretan cantidades de materia orgánica, que se disuelven en el agua. Las bacterias concentran esos nutrientes al incorporarlos en su propia biomasa: Los ciliados y el zooplancton se comen entonces a estas bacterias y excretan nutrientes en el agua en forma de exudados o bolitas fecales. El zooplancton, cuando la comida es abundante, consume más de lo que necesita, excretando más de la mitad como material fecal, lo que constituye una fracción significativa de la materia en suspensión. Esta materia es atacada por bacterias que utilizan compuestos orgánicos y la energía que contienen. De esta forma el ciclo vuelve a empezar.

En la estructura trófica de un ecosistema, podríamos emplazar a los organismos descomponedores en el nivel de los herbívoros o de los carnívoros, dependiendo de su fuente de alimento. Este planteamiento incorporaría a los descomponedores en varios niveles de la cadena trófica dentro de los grupos generales de la cadena alimenticia. Cuando los ecólogos siguen el flujo de energía a través de un ecosistema, tienen que rastrear el flujo de energía entre niveles tróficos. También tienen que definir la conexión entre las dos cadenas tróficas, herbívoras y detritívoras, y medir las pérdidas del ecosistema producidas por la respiración.

La Figura 1.7 combina las cadenas tróficas para producir un Modelo General de la Estructura Trófica y del flujo de energía a través de un ecosistema. Las dos cadenas están conectadas; la fuente inicial de energía para la cadena detritívora es la entrada de material de desecho y materia orgánica muerta proveniente de la cadena trófica de los herbívoros. Esta conexión se representa como una serie de flechas desde cada uno de los niveles tróficos de la cadena de los herbívoros

hasta los cuadros designados como detritos o materia orgánica muerta. Existe una notable diferencia en el flujo de energía entre niveles tróficos de las dos cadenas. En los herbívoros el flujo es unidireccional, siendo la producción neta primaria la que proporciona la fuente de energía a los carnívoros. En la cadena de los descomponedores el flujo de energía no es unidireccional. Los materiales de desecho y la materia orgánica muerta (organismos) de cada uno de los niveles tróficos de los consumidores son "reciclados", volviendo como una nueva entrada en el cuadro de la materia orgánica muerta en base a la cadena detritívora. Además, los niveles superiores de la cadena de los detritívoros proporciona energía para los niveles superiores (mediante la depredación) de la otra cadena.

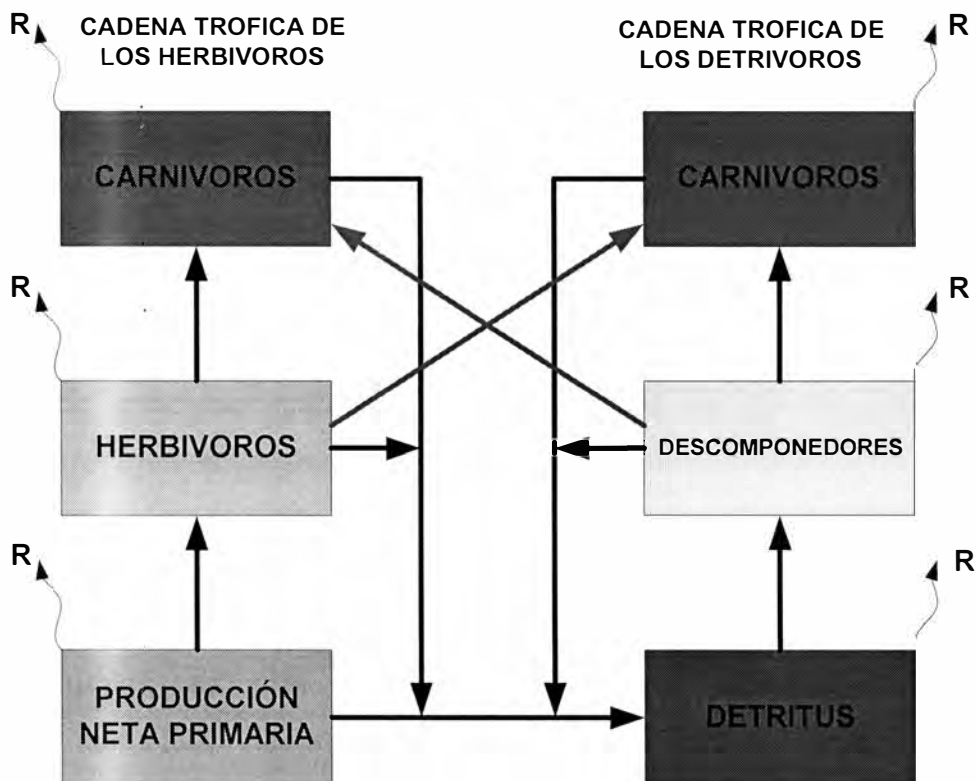


Figura 1.7. Combinación de las cadenas de los detritívoros y de los herbívoros.

### **1.3.3. COMUNIDAD ECOLÓGICA**

Según ODUM [1998], la naturaleza, al igual que las sociedades humanas bien ordenadas, tiene sus especialistas y sus generalistas en lo referente a nichos ecológicos (función ecológica de un organismo en su comunidad) o profesiones. Hay insectos, por ejemplo, que se alimentan de una parte especial de una especie de planta mientras que otros insectos se alimentan de docenas de especies vegetales distintas. En general, los especialistas son eficientes en el uso de sus recursos (puesto que todas sus adaptaciones y conductas se concentran en un modo de vida especializado); por tanto, a menudo se hacen abundantes cuando sus recursos se hacen ampliamente disponibles. Pero el especialista es vulnerable a cambios o perturbaciones que afectan su reducido nicho. Puesto que el nicho de las especies no especializadas tiende a ser más amplio, ellas son más adaptables a ambientes cambiantes o fluctuantes, aunque nunca abundan tanto localmente como los especialistas.

La mayoría de las comunidades naturales contienen tantas especies y variedades (incluyendo tanto especialistas como generalistas), que sería imposible catalogar todos los tipos de plantas, animales y microorganismos presentes en cualquier extensión grande de un lago o bosque. Por fortuna, no es necesario conocer todas las especies para evaluar su cometido en la estructura de la comunidad y su funcionamiento, dado que una característica de las comunidades naturales es que contienen comparativamente pocas especies comunes (representadas por grandes cantidades de individuos o una gran biomasa) y una cantidad comparativamente grande de especies raras en cualesquiera lugar y tiempo dados.

Las pocas especies comunes en un agrupamiento de una comunidad dada se denominan Dominantes Ecológicos. Aunque los dominantes

pueden representar la mayor parte de la biomasa y el metabolismo de la comunidad, esto no significa que las especies raras o menos comunes no sean importantes. Las especies que ejercen algún tipo de influencia controladora, sean o no dominantes, se denominan Especies Clave (puntales). Globalmente las especies raras tienen un efecto apreciable, y determinan la diversidad de la comunidad como un todo. Si las condiciones se hacen desfavorables para los dominantes, especies menos comunes adaptadas a las nuevas condiciones o tolerantes a ellas, pueden abundar y asumir funciones vitales.

El ser humano ha modificado en gran medida la composición de las comunidades bióticas dondequiera que se ha establecido, no solo modificando el ambiente sino también eliminando algunas especies e introduciendo otras nuevas, tanto inadvertida como deliberadamente. Ya sea que una introducción implique sustituir una especie por otra en el mismo nicho u ocupar un nicho vacante, el efecto global sobre el funcionamiento del ecosistema puede ser neutro, benéfico o perjudicial.

Con frecuencia resultan problemas especialmente graves cuando plantas y animales domesticados escapan de regreso a la naturaleza y se convierten en plagas debido a la ausencia de controles, sean humanos o naturales. Por ejemplo, en algunas de las islas Galápagos y de las de Hawai, las cabras ferales o cimarronas (alguna vez domesticadas pero después readaptadas al estado silvestre) han tenido un efecto más severo en el suelo, la flora y la fauna que los bulldozers. Algunas de nuestras "malezas" más persistentes son especies que han revertido a la vida silvestre. Debemos pensar que una "maleza" o incluso una "plaga" no son una especie indeseable que debe ser borrada de la faz de la tierra, sino más bien una especie que se encuentra en el lugar y el momento incorrectos.

Los componentes de la diversidad: 1) el componente riqueza o variedad, que puede expresarse como la cantidad de tipos (variedades genéticas, especies, categorías de uso de suelo, etc.) por unidad de espacio o como una razón de tipos sobre cantidades, y 2) el componente de abundancia o distribución de individuos entre los tipos. Así, dos comunidades pueden tener la misma cantidad de especies pero ser muy distintas en términos de abundancia relativa o dominancia de cada especie. Por ejemplo, es posible que dos comunidades tengan cada una diez especies, pero una comunidad puede tener el mismo número de individuos en cada especie, mientras que la mayoría de individuos en la otra comunidad pueden pertenecer a una especie dominante.

La diversidad tiende a ser mínima cuando las condiciones físicas son limitantes para la vida (por ejemplo, en el Ártico, en un lago salado o en un río contaminado) y máxima en ambientes benignos en que las condiciones son favorables para una gran variedad de formas de vida. Según la llamada Hipótesis de los Disturbios Intermedios un disturbio moderado, por fuerzas externas a la comunidad, puede incrementar la diversidad en cualquier comunidad, sin importar su posición en un gradiente ambiental. La variedad de los organismos enriquece nuestra vida y tiene un gran valor práctico. Es mucho más seguro contar con más de un tipo de organismo que realice una función vital. No sabemos si una especie rara, de planta o animal, proporcionará un nuevo fármaco o será necesaria para sustituir a otra común que es víctima de una enfermedad.

En la actualidad existe mucha preocupación no sólo por la pérdida de la diversidad de especies, sino también por la pérdida de diversidad genética que causan las actividades humanas. El interés por la preservación de la diversidad biótica alcanza niveles públicos y políticos. En Estados Unidos se están haciendo esfuerzos especiales

en los sectores gubernamental, legal y privado para identificar y proteger especies en peligro de extinción, así como para conservar una elevada diversidad de especies silvestres. Esfuerzos similares se realizan en Latinoamérica por establecer bancos genéticos a fin de preservar tantas variedades de plantas alimenticias como sea posible, para recuperarlas en el caso de que una de las que son de uso común en la actualidad llegara a perderse por algún motivo.

#### **1.3.4. PESQUERIAS**

Es una agrupación casi natural de barcos, hombres e instrumentos para la explotación de un recurso, en un área más o menos determinada. De acuerdo a conceptos biológicos, el crecimiento es la adición de material, que aumenta el tamaño de una forma determinada; y, desarrollo es reorganización y cambio de componentes, para establecer una nueva forma con nuevos conjuntos de capacidades. La evolución de una pesquería podemos definirla en cuatro etapas principales: desarrollo, crecimiento, estabilización y mantenimiento. [TRESIERRA, 1993].

Para administrar los stocks de peces es necesario comprender la relación entre los peces de una parte de la pesquería y los de otras, a fin de permitir aplicar las medidas administrativas a todos los miembros de los stocks de peces explotados en cualquier lugar que ocurran. Los investigadores pesqueros han usado varios métodos para estudiar las relaciones entre los peces de diversas zonas. Los experimentos de marcado y recaptura son usados ampliamente en la ciencia pesquera para estimar características tales como: crecimiento, mortalidad, desplazamientos y mezcla. El siguiente paso es el estudio del ciclo vital temprano de los peces, el que es esencial para determinar la dinámica de una pesquería. En vista de la baja densidad de las larvas y la inmensidad de las zonas donde ocurren, este tipo de investigación es

de utilidad máxima si se complementa con la cría de peces larvales y juveniles en el laboratorio, lo cual pone grandes cantidades de especímenes a disposición de los investigadores.

El mejoramiento de la eficiencia de flotas pesqueras industriales se puede realizar mediante el uso de cartas satelitales de zonas probables de pesca. La necesidad de la industria pesquera nacional de disponer de un servicio que oriente e informe en forma más precisa y confiable sobre áreas favorables para la pesca de anchoveta, sardina y jurel, es muy apremiante, más aún cuando estos recursos son sensibles a las fluctuaciones ambientales.

Para producir en tiempo real los mapas de zonas probables de pesca (ZPP) de dichos recursos. Se requiere de información histórica de la pesquería y de la condición ambiental registrada en imágenes satelitales de temperatura superficial del mar (TSM), así como de datos recopilados durante la ejecución del proyecto: imágenes satelitales de TSM, clorofila y vientos superficiales, muestreos pesqueros (capturas y tallas) y oceanográficos (TSM y clorofila), entrevistas y encuestas a las empresas pesqueras. El producto final es enviado diariamente vía correo electrónico a las empresas pesqueras. Este contiene la carta de ZPP y las imágenes satelitales de temperatura superficial del mar y vientos superficiales. Además se hace una interpretación pesquera oceanográfica de los datos más relevantes observados en cada imagen. [Universidad Católica de Valparaíso, 2000].

La incorporación de las cartas satelitales de ZPP generará beneficios económicos al disminuir los costos de operación de la flota, reduciendo los tiempos de búsqueda del recurso y por ende el consumo de combustible requerido. Cabe destacar que la aplicación de estas tecnologías no tiene impactos negativos en el sentido de aumentar la explotación de los recursos que se encuentran protegidos por la

legislación vigente, sino que busca disminuir los costos de operación y así mejorar la eficiencia de las flotas pesqueras.

Según CONSTABLE [2001], el Enfoque Sistémico de los Ecosistemas se refiere a las siguientes cuestiones generales relativas a la aplicación del mismo en la ordenación de pesquerías:

- ¿Cuáles podrían ser las consecuencias incidentales de las pesquerías en un ecosistema?
- ¿Cuáles deberían ser los objetivos de conservación para los depredadores de las especies explotadas? y
- ¿Cuáles enfoques podrían considerarse para alcanzar los objetivos de conservación?

El enfoque tiene que tener en cuenta las incertidumbres producidas por la falta de conocimiento sobre la estructura de los ecosistemas. Los enfoques ecosistémicos utilizados actualmente en la ordenación de pesquerías no incorporan estas características y no ponderan los datos de entrada (tales como el éxito reproductor per-cápita) en las evaluaciones de acuerdo a la influencia relativa de las especies explotadas en las estimaciones. La ordenación de pesquerías enfocada hacia la conservación de sistemas ecológicos está en sus albores. Es necesario un enfoque general para mantener las relaciones ecológicas y ayudar en la recuperación de las poblaciones mermadas del sistema trófico que sustenta a la pesquería.

La historia del Manejo pesquero parece estarse llenando de ejemplos de colapsos (casi exterminio de poblaciones locales explotadas) que hacen sospechar que en realidad ninguna pesquería ha sido manejada de forma sostenible. Esto se hace patente en el ejemplo dramático frente a las costas atlánticas del Canadá. La que se había proclamado como la pesquería mejor manejada del mundo fracasa a principios de



los 90 y aún no ha logrado su recuperación. Dentro de las razones encontradas para este fracaso se incluyen falta de claridad en las metas de manejo, errores en la estimación de biomazas, preeminencia de criterios políticos sobre criterios científicos y, más que todo, falta de conocimiento en cuanto al impacto de la pesquería sobre el ecosistema. A nivel global existe evidencia de que el nivel sostenible de apropiación de la productividad primaria por parte de las pesquerías marinas se ha alcanzado y que la pesca se está ejerciendo progresivamente sobre niveles tróficos más bajos.

Según MENDO et al. [2001], Modelación ecológica como herramienta contrastante con valoraciones uniespecíficas de stocks pesqueros, ha adolecido del problema de falta de practicidad a la hora de formular hipótesis de manejo de los ecosistemas y sus recursos. Muchos de los modelos creados son complejos incluyendo cientos de parámetros, son incompletos respecto al ecosistema y no entran en detalles de la pesquería, aparte de ser altamente específicos del sitio donde fueron formulados, lo cual dificulta su aplicabilidad a otros sitios y, en general, son más descriptivos que predictivos.

#### **4.5. PECES MARINOS PERUANOS**

El Perú es reconocido a nivel mundial como uno de los países que cuenta con una de las más altas concentraciones de diversidad biológica y probablemente sea el que presenta la mayor complejidad ecológica y biogeográfica.

CHRIRICHIGNO [1998], ha creado una clave para identificar peces del mar peruano que contiene 727 especies, incluidas en 388 géneros y 138 familias. Con el fin de agrupar los peces que presentan caracteres generales comunes, se han dividido en 5 secciones: Lampreas,

Tiburones, Rayas, Chimeras y Peces óseos, lo cual permite un mejor ordenamiento ictiológico.

En esta Clave se incluyen algunas especies no registradas en el Perú y cuyo límite sur de distribución, para la mayoría de ellas, está señalado hasta Ecuador, siendo probable su presencia en aguas peruanas. Además se incluye una relación de las especies que temporalmente amplían su área de distribución por efecto del Fenómeno del Niño, que produce desplazamiento de masas de aguas cálidas con su ictiofauna propia. Es así que especies características de Aguas Subtropicales Superficiales, conocidas comúnmente como "aguas oceánicas", se desplazan longitudinalmente junto con esta masa de agua, acercándose a la costa, mientras que otras que habitan en Aguas Ecuatoriales y Tropicales Superficiales migran latitudinalmente, es decir hacia el sur. Ambos desplazamientos pueden tener magnitud considerable, de acuerdo a la intensidad y duración del fenómeno, que se considera una anomalía de las condiciones atmosféricas y oceánicas, que deja sentir sus efectos principalmente en los países del Pacífico Suroriental, con repercusiones a nivel mundial.

En cada especie se menciona uno o más nombres comunes en español y que son los de mayor uso en el Perú, pero además se indica el nombre dado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). El nombre en inglés ha sido tomado de diversas publicaciones, entre los que se incluye el nombre FAO. Esta clave se basa principalmente en caracteres morfológicos externos, proporciones, número de espinas y radios de las aletas, número de branquiaspinas, número de escamas y color.

Para el Uso de la Clave es necesario tener en cuenta que esta basada en el sistema dicotómico o con dos alternativas de caracteres "a" y "b". Cada sección se enumera independientemente en forma correlativa,

pero además se señala otro número entre paréntesis que facilita el regreso al número principal, en el caso que se desee rectificar o comprobar los caracteres. En la identificación de un pez, primero, es necesario usar la clave correspondiente a "secciones" y una vez ubicado en cualquiera de ellas, se revisará esa "sección". Luego se comparará el pez que desea identificar con cada una de las alternativas "a" y "b" del número 1 que aparece a la izquierda de la clave. Si sus caracteres coinciden con "b" se pasa al número 2, donde en igual forma se comparará también las dos posibilidades (alternativas). Por ejemplo, si sus caracteres coinciden con la sección de "Tiburones" o "Rayas", tendrá que verse precisado a consultar las alternativas para estos grupos, enumeradas del 1 al 56 (para los "Tiburones") y del 1 al 40 (para las "Rayas"). Si los caracteres correspondieran a la alternativa "b" del número 2, es decir a los peces con sólo una abertura branquial externa, se prosigue al número que éste le indica hasta llegar a la Sección respectiva, ya sea de "Chimeras" o de los "Peces óseos". Al llegar a este punto, se comparará con las alternativas enumeradas del 1 al 4 para las "Chimeras" y del 1 al 574 para los "Peces óseos".

También existe el *Catálogo Comentado de los Peces Marinos del Perú* [CHIRICHIGNO, 2001] en el que se da a conocer la taxonomía, distribución y hábitat de los integrantes de la fauna íctica marina peruana, como paso previo e indispensable para la evaluación de la magnitud del potencial pesquero y, consecuentemente, posibilitar su adecuado manejo. La utilidad de este catálogo incide también en mejorar las estadísticas pesqueras, proporcionando información más confiable sobre la identidad de las especies que se desembarcan. No menos significativo es su aporte relacionado con el intercambio comercial a nivel mundial, para el que frecuentemente se requiere información, con precisión científica, sobre las especies exportadas e importadas.

En la apertura de nuevos mercados es de suma importancia encontrar especies iguales o similares a las existentes en otros países; de otro lado, en las investigaciones de biodiversidad íctica del ambiente marino, los inventarios constituyen una pieza fundamental. En aguas marinas peruanas se han determinado 1070 especies (incluyendo 7 subespecies e indicando algunas sinonimias), 549 géneros, 194 familias, 39 órdenes. Se trata de una rica diversidad atribuible a la situación latitudinal especial del Perú, en donde al norte de los 6° S, encontramos el Área de Transición, llamada así por la influencia conjunta de las aguas cálidas provenientes del Ecuador y de las aguas costeras frías de la Corriente Peruana que vienen desde Chile. Esta situación es favorecida, aún más, por la variedad de ambientes, desde la superficie hasta las grandes profundidades, en el sentido latitudinal y de la orilla a las 200 millas.

En el Catálogo Comentado de los Peces Marinos del Perú se han incluido algunas especies de aguas del sur del Ecuador o del norte de Chile, que por su proximidad es muy posible que se capturen y deberán confirmarse en futuras investigaciones. También han considerado aquellas especies pelágicas cosmopolitas o de amplia distribución, así como las señaladas para las cordilleras sumergidas de Nazca y de Sala y Gómez. Asimismo, se da una relación de las principales localidades de colección y de registros, señalando sus coordenadas geográficas.

Para facilitar la ubicación taxonómica de cada especie, se sigue el modelo FAO: se indica en forma codificada los niveles taxonómicos de cada uno, señalando en forma abreviada la referencia a la Clase, la Subclase, el Orden, la Familia, el Género y el número de la especie en ese género. Así por ejemplo para la especie *Abolennes Hians* (Valenciennes) se tiene: Clase Osteichthyes (Ost); subclase Actinopterygii (Acti); orden Belontiiformes (Belon); familia Belontiidae

(belon); género Ablennes (Ablen) seguido del número 1, que se refiere al número de la especie de ese género.

### **OST ACTI BELON BELON Ablen 1**

Los nombres científicos, numerados en forma correlativa (1–1070) están ordenados alfabéticamente en base a los géneros; cada especie lleva el nombre del autor seguido por la familia a la que pertenece; luego debajo se señala la distribución geográfica en el Pacífico oriental y el ambiente en que vive. Cuando se menciona plataforma se hace referencia a la plataforma continental (hasta los 200 m de profundidad); el talud continental incluye la zona arquibentónica entre 200 a 1000 m. Los nombres comunes considerados son más usados en el Perú, Colombia, Ecuador, y Chile y otros conocidos en inglés, citándose también los nombres oficiales en español e inglés de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Para la biometría del pez se ha tomado en cuenta la longitud estándar (Long. St.), longitud total (L. t.), longitud de cabeza (L. cab.), longitud máxima citada (max. cit), en centímetros (cm), obtenida en los lugares de desembarque, de la colección científica del IMARPE y de la bibliografía; y en muchos casos referida a un promedio o aproximado.

#### **1.4. REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO**

La representación del conocimiento puede ser de diversas formas y, entonces, el aprendizaje corresponde a modificaciones de diversa índole según la naturaleza de la representación del conocimiento. Son formas de representación del conocimiento: Parámetros de ecuaciones (ajuste de coeficientes o umbrales de elementos lógicos), parámetros físicos (conectividad sináptica entre neuronas), árboles de decisión y taxonomías (para discriminar y clasificar), gramáticas formales, reglas de producción,

formalismos lógicos, grafos y redes, marcos, programas y procedimientos y representaciones múltiples.

En el desarrollo del sistema experto para el sector pesca, se usan como fuentes de información, la Clave para Identificar los Peces Marinos y el Catalogo Comentado de Peces marinos del Perú. Asimismo los modelos creados se basan en mapas conceptuales, mapas mentales, redes semánticas y árboles.

#### **1.4.1. MODELOS**

Un modelo es una sustitución de un objeto o sistema, puede ser de muchas formas y puede servir para muchos propósitos. Por otro lado un **modelo** es una representación formal de un sistema, que nos permitirá simular o estudiar los **comportamientos** diferentes frente a supuestos de partida distintos (escenarios). Los buenos programadores saben que sus modelos nunca terminarán porque siempre habrá nueva información, nuevas perspectivas y nuevas oportunidades de aprender. El que hace un modelo debe saber que éste es sólo un primer paso en la investigación y aceptar la crítica de su estructura y sus fórmulas. Los modelos deben diseñarse abiertos y sin ninguna consigna protectora, de modo que cualquiera pueda examinar lo que hay bajo la superficie, ver como está estructurado y preguntar por qué se hizo en esa forma.

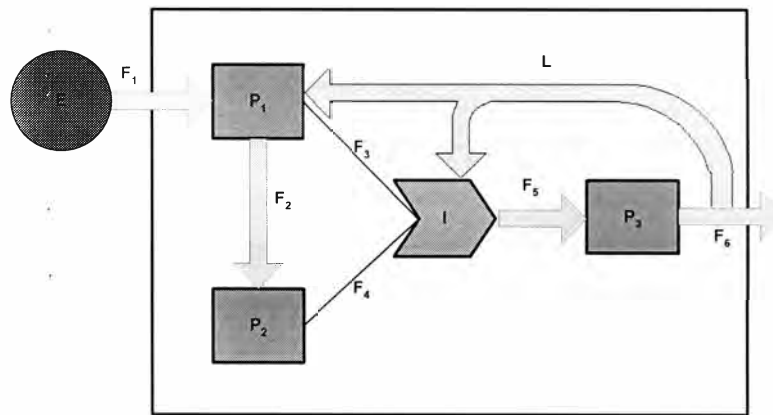
Según ODUM [1998], un modelo es una formulación simplificada que imita un fenómeno del mundo real de modo que puede abarcar situaciones complejas y hacer predicciones. En su forma más simple, los modelos pueden ser verbales o gráficos; esto es, pueden consistir en enunciados concisos o en signos y figuras. En su versión formal, un modelo funcional de una situación ecológica probablemente tendrá los cinco componentes que siguen:

1. Propiedades (P): Variables de estado
2. Fuerzas (E): Funciones de forzamiento, que son fuentes externas de energía o fuerzas causales que accionan el sistema.
3. Vías de flujo (F): Indican los sitios en que las transferencias de energía o materia conectan propiedades entre sí y con fuerzas.
4. Interacciones (I): Funciones de interacción. Las fuerzas y propiedades interactúan para modificar, ampliar o controlar los flujos.
5. Ciclos de retroalimentación (L): Retorno de una salida para influir un componente o flujo “corriente arriba”

La modelación puede comenzar con la construcción de un diagrama o modelo gráfico, que puede tomar la forma de un diagrama compartimentalizado, tal como se ilustra en la Figura 5.1. Ahí se muestran dos propiedades  $P_1$  y  $P_2$ , que interactúan en I para producir una tercera propiedad,  $P_3$ , o influir en ella. Cuando el sistema es accionado por la función de forzamiento, E, se muestran cinco vías de flujo:  $F_1$  representa la entrada y  $F_6$  la salida para el sistema como un todo. También se muestra un ciclo de retroalimentación, L, lo cual significa que una salida corriente abajo o una parte de ella se retroalimenta o recircula para influir o controlar un componente o proceso corriente arriba.

La Figura 1.8 podría servir como un modelo para la producción de esmog en el aire de Lima o de una ciudad grande. De manera alternativa, la Figura 1.8 podría representar un ecosistema de pastizal en el que  $P_1$  son plantas verdes (p. Ej. los pastos), que convierten energía solar, E, en alimento.  $P_2$  podría representar animales herbívoros (que comen dichas plantas), y  $P_3$  animales carnívoros (predadores que pueden comer a los herbívoros) y los omnívoros (que comen animales o plantas). En este caso la función de interacción podría representar varias posibilidades. Podría ser una “conmutación

no preferencial” si se observa que los omnívoros se alimentan de plantas y animales según su disponibilidad. O Podría especificarse en cierto porcentaje constante si la alimentación de los omnívoros promedia, digamos 80% de materia vegetal y 20% de materia animal. O bien podría ser una conmutación estacional si  $P_3$  cambia (conmuta) de plantas a animales según la época del año.



**Figura 1.8. Componentes básicos en la modelación de ecosistemas**

## 1.4.2. MAPAS CONCEPTUALES

Es una representación gráfica de conceptos interrelacionados, o un “resumen-esquema” de un contexto de conocimientos determinados. Para hablar en términos de Joseph D. Novak: un mapa conceptual es un recurso esquemático para representar un conjunto de significados conceptuales incluidos en una estructura de proposiciones. El mapa conceptual explica los conceptos y las proposiciones que se tienden alrededor de un tema particular. Aunque esta representación no es única (una organización jerárquica de conceptos se pueden estructurar de varias maneras) todas las posibilidades deben reflejar la inclusión de conceptos, de los más específicos a los más generales.

Los mapas conceptuales constituyen una técnica desarrollada por Joseph Novak como una respuesta práctica al modelo del aprendizaje significativo. Los mapas conceptuales brindan “una estrategia para



ayudar a los estudiantes a aprender y para ayudar a los educadores a organizar los materiales objeto de este aprendizaje". "Un método para ayudar a estudiantes y educadores a captar el significado de los materiales que se van a aprender". "Un recurso esquemático para representar un conjunto de significados conceptuales".

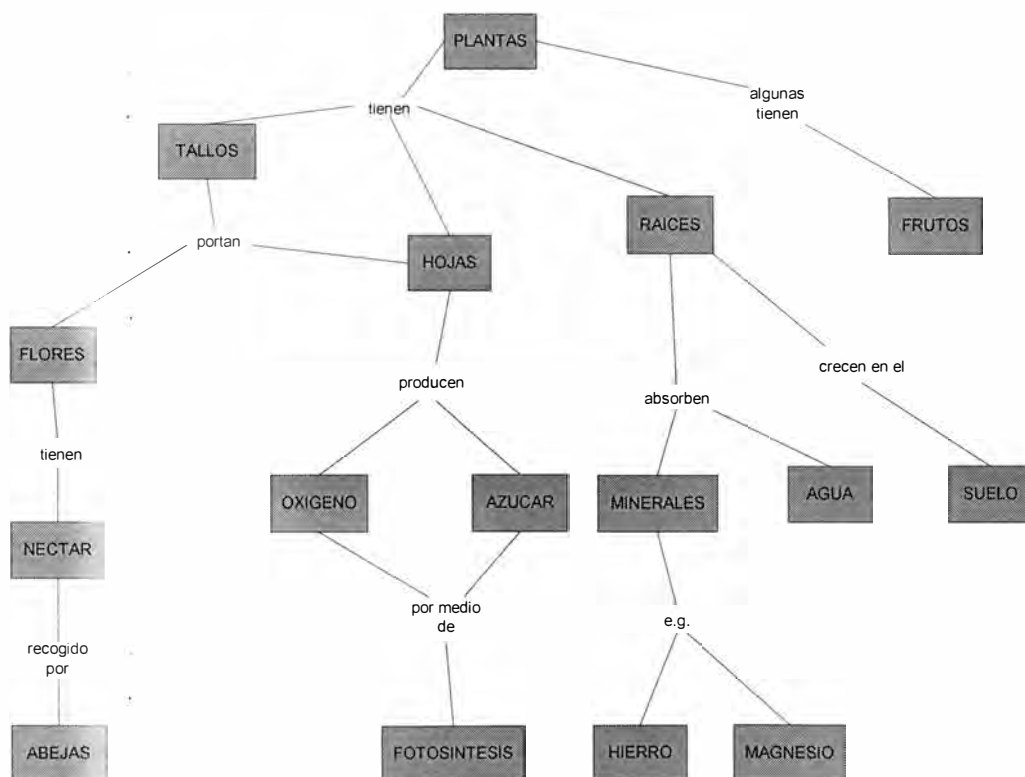
Los elementos fundamentales que los caracterizan son los siguientes:

- **Concepto.** Es una regularidad en los acontecimientos o en los objetos que se designa mediante algún término. Son imágenes mentales que provocan en nosotros las palabras o signos con los que expresamos regularidades.
- **Proposición.** Dos o más términos conceptuales unidos por palabras para formar una unidad semántica.
- **Palabras-enlace.** Palabras que sirven para unir los conceptos y señalar el tipo de relación existente entre ambos.

Tres características de los mapas conceptuales que los diferencian de otras técnicas cognitivas son la jerarquización (el mapa conceptual reflejará el orden de importancia entre conceptos), la selección (el mapa constituirá una síntesis o resumen de lo más significativo de un tema), y el impacto visual (una representación gráfica vistosa mostrará claramente el mensaje contenido en el mapa conceptual).

El mapa conceptual es la principal herramienta metodológica de la teoría de la asimilación para determinar lo que el estudiante ya sabe. En ambientes educativos, los mapas conceptuales han ayudado a personas de todas las edades a examinar los más variados campos del conocimiento. En su esencia, los mapas conceptuales proveen representaciones gráficas de conceptos en un dominio específico del conocimiento, construidas de tal forma que las interrelaciones entre los conceptos son evidentes. Los conceptos son conectados por arcos

codificando proposiciones mediante frases simplificadas. El mapa conceptual más sencillo consistirá en dos nodos conectado por un arco representado por una frase sencilla, por ejemplo 'hojas son verdes'. La Figura 1.9 muestra un mapa conceptual sobre plantas. Por convención, las ligas se leen de arriba hacia abajo a menos que incluyan una punta de flecha. Cuando las palabras seleccionadas para representar los conceptos y ligas se escogen cuidadosamente, los mapas pueden ser herramientas útiles para observar matices de significado, ayudando a los estudiantes a organizar sus pensamientos y resumir áreas de estudio.



**Figura 1.9. Mapa Conceptual sobre plantas.**

Como se observa, un mapa conceptual es una colección organizada de proposiciones que relacionan un conjunto de temas. Cada proposición se expresa como una frase simplificada que puede ser

extraída del mapa siguiendo una serie de arcos empezando y terminando en nodos. Por ejemplo en el mapa de la Figura 1.9 contiene las frases “plantas tienen hojas” y “hojas producen oxígeno por medio de la fotosíntesis”.

### **1.4.3. MAPAS MENTALES**

Es una manera de generar, registrar, organizar y asociar ideas tal y como las procesa el cerebro humano, para plasmarlas en el papel. Esta técnica que genera, organiza y asocia ideas tiene muchos beneficios. Básicamente se usan palabras claves e imágenes, colocando en acción los hemisferios izquierdos y derechos respectivamente, para dar una gran creatividad al pensamiento, desarrollando las inteligencias y ahorrando mucho tiempo para el estudio.

El mapa mental debe:

- Ser representativo de lo que se está haciendo.
- Tener un análisis de la situación y una síntesis de la misma.
- Expresar al máximo la creatividad
- Ser claro
- Desarrollar un estilo personal
- Generar ideas propias dentro de la cartografía
- Tener asociaciones y conexiones parecidas a las redes neuronales.
- Tener ideas organizadoras básicas
- Encontrar palabras claves adecuadas.

De las técnicas de BUZAN [1996], la que alcanzó celebridad mundial fue el sistema trazado de un mapa mental que consiste en dibujar un organigrama que va recogiendo, mediante formas, colores y dibujos, todos los puntos importantes de un tema. A través de este sistema es

posible indicar gráficamente las distintas asociaciones y relaciones que existen entre los temas. Los mapas mentales son aplicables a cualquier ámbito de la vida. Cuando se traza un mapa mental se incorporan elementos tales como formas, colores y dimensiones, a procesos mentales que generalmente son abstractos, la incorporación de estos aspectos estimula enormemente la imaginación, las inteligencias y las memorias, permite la libre expresión de las emociones, de esta manera los mapas mentales son pasos gigantescos hacia la conquista de nuestra mente, de hecho estimulan la actividad neuronal e involucran un mayor número de nuestras habilidades, esto significa que trabaja todo nuestro cerebro, que las diferentes inteligencias del lado derecho e izquierdo interaccionan.

El mapa mental es una expresión del pensamiento irradiante y por tanto, una función natural de la mente humana. Tiene cuatro características esenciales:

- a) El asunto motivo de la atención se cristaliza en una imagen central.
- b) Los principales temas del asunto irradian de la imagen central en forma ramificada.
- c) Las ramas comprenden una imagen o una palabra clave impresa sobre una línea asociada. Los puntos de menor importancia también están representados como ramas adheridas a las de nivel superior.
- d) Las ramas forman una estructura nodal conectada.

Los mapas mentales se pueden mejorar y enriquecer con colores, imágenes, códigos y dimensiones que les añadan interés, belleza e individualidad, con lo que se fomenta la creatividad, la memoria y, especialmente, la evocación de la información. Los mapas mentales ayudan a distinguir entre la capacidad de almacenamiento mental de quien la usa y su eficiencia para el almacenamiento. Es igual que la diferencia existente entre un almacén bien o mal ordenado, o que una biblioteca cuente o no con un sistema de organización.

Inspirado en el sistema de Da Vinci para tomar notas, BUZAN [1996] ideó el método de la cartografía mental, que implica el uso de todo el cerebro para generar y organizar ideas. Un mapa mental es una expresión gráfica de los patrones cerebrales naturales. A medida que se experimenta con al cartografía mental, sus ventajas se harán cada vez más evidentes. La cartografía mental permite empezar más rápidamente y generar más ideas en menos tiempo; además, pensar, trabajar y resolver problemas se vuelve mucho más divertido. Todos los planes de trabajo tienden a verse igual, pero cada mapa mental es diferente. Quizás la mayor ventaja de la cartografía mental es que al cultivar la expresión individual y única en cada persona, ésta empezará a recorrer el camino que conduce hacia su propia originalidad. Teóricamente un mapa mental no termina nunca.

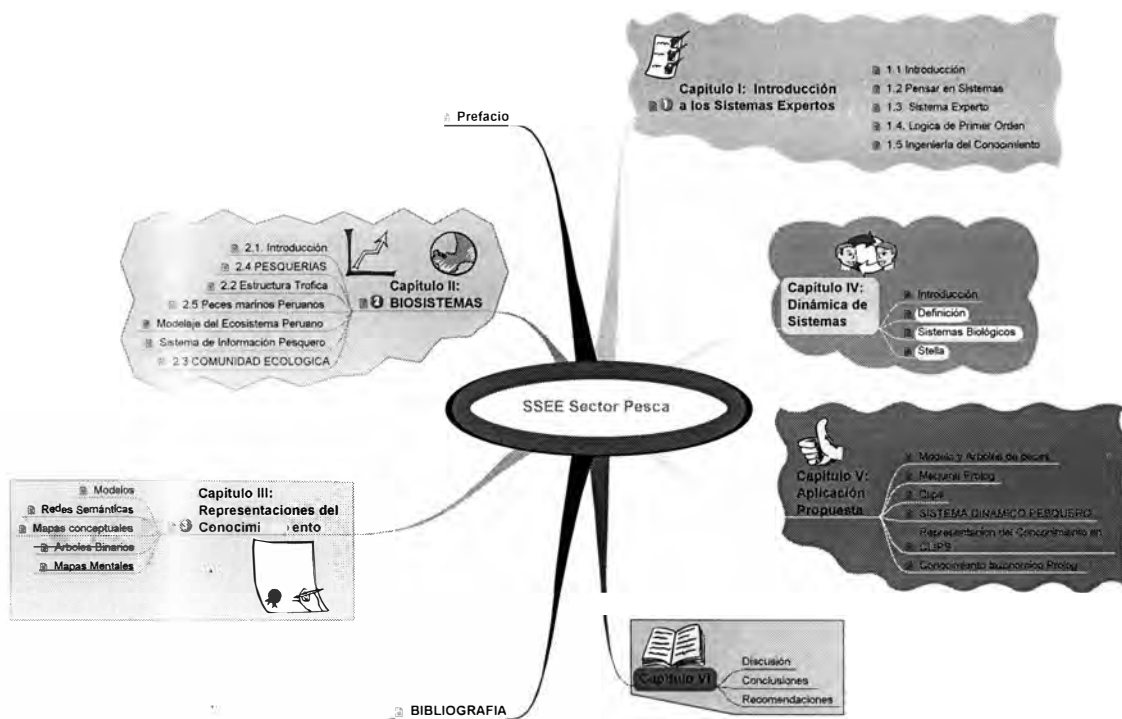


Figura 1.10. Mapa Mental del avance de Tesis

#### **1.4.4. RED SEMÁNTICA**

Las redes semánticas son estructuras que codifican el conocimiento taxonómico sobre objetos y propiedades de estos. Son archivos de conocimiento. Es un documento vivo por lo que se le puede agregar material indefinidamente. Las relaciones clave siempre están escondidas, pese a lo que se vea en la superficie, razón por la cual las redes semánticas son muy útiles para diagramar complejos modelos mentales. Se trata de un lenguaje gráfico, fácilmente traducible a forma simbólica, muy útil para representar conocimiento taxonómico, es decir, aquel que permite agrupar los elementos del universo en una jerarquía de clases y subclases entre las cuales existe una relación de herencia. Este lenguaje tiene la ventaja de permitir una representación estructurada del conocimiento factual y de ciertos tipos de conocimiento normativo, y de expresar de manera muy fácil las excepciones en los valores de propiedades heredadas.

Esencialmente una red semántica es una base tridimensional de datos que se exploran mediante diversas vistas bidimensionales en las cuales diferentes vínculos sostienen las relaciones reciprocas para mantener la red robusta. La vista cambia pero las relaciones subyacentes permanecen iguales. La capacidad de construir una red semántica es señal de una comprensión bien desarrollada del tema.

Una red semántica es un grafo dirigido en el cual los nodos corresponden a:

- ◊ **Constantes de relación**, tales como: clases y propiedades.

- ◊ **Instancias**: Objetos de alguna clase.

Un **arco en una red semántica** puede tener diversas etiquetas:

- ◊ **Instancia de o ID**, definidas entre objetos y clases.

- ◊ **Subclase de o SD**, definidas entres subclases y clases.

◊ **Otras etiquetas** que representan atributos de clases que dependen de la información que uno quiera representar. Por Ejemplo, podemos considerar las etiquetas “tiene” o “t” y “come” o “c”.

En la Figura 1.11, se muestra un ejemplo de una red semántica en la cual tenemos dos objetos: *Squatina darmota* y *Pristis perotteti*. De esta red, se puede inferir que *Squatina darmota* es un tiburón y que también es un Pez y que como tal tiene branquias en la fase adulta.

No hay una semántica precisa para las redes semánticas, y es el diseñador de una red semántica quien debe decidir cuales son los mecanismos de herencia de propiedades y los mecanismos de resolución de conflictos. El motivo de realizar la implementación en Prolog de la red semántica es porque de todos los lenguajes de programación disponibles hoy en día, es uno de los más adecuados para las aplicaciones que en el presente trabajo se realizan. Para modelar esta red semántica en Prolog, se codifica el grafo que la representa. Para esto, utilizaremos los predicados:

**instancia\_de(Objeto, Clase):** es utilizado para decir que un Objeto pertenece a una Clase determinada. Para representar la red de la Figura. 1.11, tendremos las cláusulas unitarias:

```
instancia_de('Squatina darmota', tiburones).
instancia_de('Pristis perotteti', rayas).
```

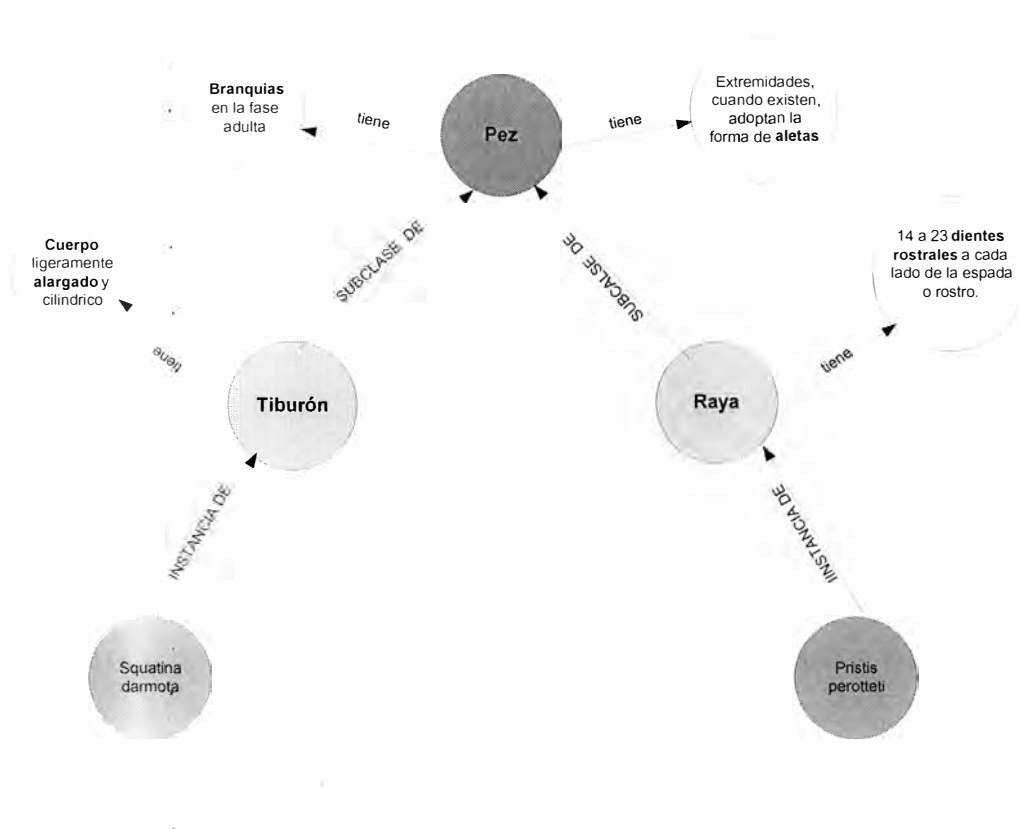
**subclase\_de(Clase1, Clase2):** Indica que la **Clase1** está contenida en o forma parte de la **Clase2**. Para la red de la Figura 1.11 tendremos:

```
subclase_de(tiburon, pez).
subclase_de(raya, pez).
```

**tiene\_propiedad(Clase1, Propiedad, Clase2):** Este involucra una relación entre dos clases e indica que **Clase1** esta relacionada con **Clase2** mediante la propiedad **tiene**. Para la red de la Figura. 1.11:

tiene\_propiedad(tiburon, tiene, 'Cuerpo ligeramente alargado y cilindrico').  
 tiene\_propiedad(pez, tiene, 'Branquias en la fase adulta').  
 tiene\_propiedad(pez, tiene, 'Extremidades, cuando existen, adoptan la forma de aletas').  
 tiene\_propiedad(pez, tiene, 'Extremidades, cuando existen, adoptan la forma de aletas').  
 tiene\_propiedad(raya, tiene, '14 a 23 dientes rostrales a cada lado de la espada o rostro').

Como se observa, una Red Semántica puede ser codificada con un pequeño programa en Prolog en el que los nodos, y los arcos (junto con sus etiquetas) son modelados como conjuntos de cláusulas unitarias.



**Figura 1.11. Red Semántica de Peces.**

Dada una red semántica, uno desea que sea capaz de realizar consultas relativas a la red. Por ejemplo, ¿Es *Squatina darmota* un pez? O bien, en forma más general, queremos responder ¿A qué clase pertenece un Objeto? Para esto, podemos escribir **REGLAS**.



```

es(Clase, Obj):-instancia_de(Obj, Clase).
es(Clase, Obj):-instancia_de(Obj, Clasep),
    subc(Clasep,Clase).
subc(C1,C2):-subclase_de(C1, C2),
    Subc(C3,C2).

```

El predicado **es(Clase, X)** se satisface cuando X pertenece a la clase **Clase**. Para responder esta pregunta estamos suponiendo que un objeto es una instancia de una clase C. Si es una instancia de C o de cualquier subclase de C, la relación **subc** es la clausura transitiva de **subclase de**.

Para preguntar qué propiedades tienen objetos cualquiera se aplica la siguiente regla:

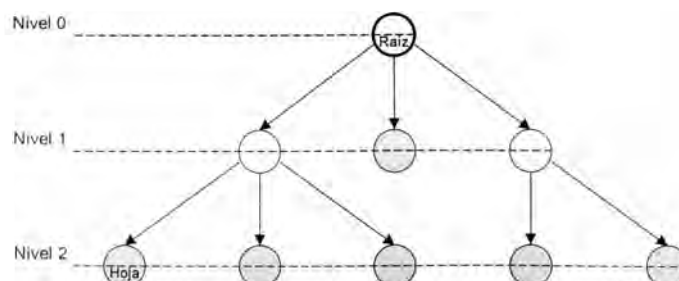
```

propiedad(Objeto,Prop):-es(Clase,Objeto),
    tiene_propiedad(Clase,Fun,Arg),
    Prop=.. [Fun,Arg].

```

#### 1.4.5. ÁRBOLES

Un árbol es una estructura con una definición puramente recursiva, ya que se puede considerar como el elemento raíz cuyos hijos son, a su vez, árboles. Si el árbol tiene únicamente dos hijos se denomina árbol binario. Este modelo específico de árbol se utiliza mucho para resolver gran cantidad de problemas en aspectos de programación. Un árbol se puede considerar, a su vez, un caso particular de grafo, donde todos los caminos son acíclicos. La Figura 1.12 muestra un ejemplo de árbol.



**Figura1.12. Ejemplo de árbol**

Muchos problemas de Inteligencia Artificial donde interviene el concepto de búsqueda se resuelven mediante la implementación de árboles. Los árboles de juego o los utilizados en la resolución de problemas relacionados con el procesamiento de lenguaje natural son casos muy concretos y descriptivos. Por lo tanto, podemos notar que el manejo eficiente de estas estructuras es sumamente importante para conseguir programas de calidad en este ámbito de la Ciencia.

**Árboles y rejillas** son útiles para clasificar objetos a causa de su naturaleza jerárquica. Un ejemplo es un árbol familiar que muestra las relaciones y la ascendencia de las personas relacionadas; también se les conoce como estructuras. Otra aplicación de las estructuras es la toma de decisiones. Una estructura de decisión es un esquema de representación del conocimiento como un método de razonamiento sobre su conocimiento.

Si las decisiones son binarias, un **árbol de decisión binario** es a la vez fácil de construir y muy eficiente. Cualquier pregunta baja un nivel en el árbol: una pregunta puede decidir una de dos posibles respuestas, dos preguntas puede decidir una de cuatro posibles respuestas, tres preguntas pueden decidir una de ocho posibles respuestas, etc. Si se construye un árbol binario de modo tal que todas las hojas sean respuestas y todos los nodos dirigidos hacia abajo sean preguntas, puede haber un máximo de  $2^N$  respuestas para N preguntas.

Otra característica útil de los árboles de decisión es que pueden realizar un **autoaprendizaje**. Si la suposición es errónea, puede llamarse a un procedimiento para pedir al usuario una nueva pregunta de clasificación correcta y las respuestas a las opciones "sí" y "no". Deben crearse dinámicamente nuevos nodos y hojas y añadirse al árbol. Con la herramienta **CLIPS** para sistemas expertos, pueden

construirse automáticamente nuevas reglas mientras el programa aprende nuevo conocimiento.

Un árbol de decisión se compone de **nodos y ramas**, los nodos representan ubicaciones en el árbol y las ramas conectan nodos padre con nodos hijo cuando se mueven de la parte superior a la base y conectan nodos hijos con nodos padres cuando se mueven de la base a la parte superior; al nodo de la parte superior del árbol, que no tiene padre, se le llama nodo raíz y a los nodos sin hijos se les llama hojas.

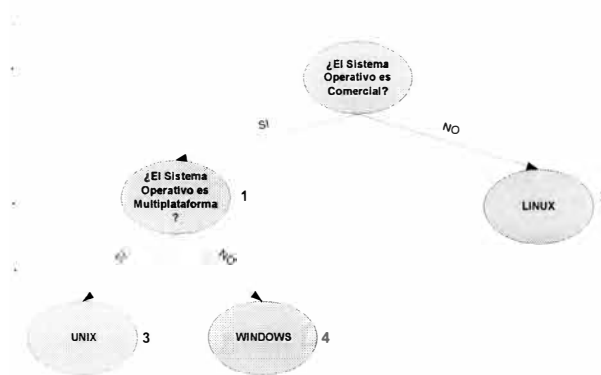
Los nodos hoja de un árbol de decisión representan todas las soluciones posibles que se derivan del árbol, a estos nodos se les denomina nodos de respuesta, y a los demás como nodos de decisión. Cada nodo de decisión representa un cuestionamiento o decisión que, al preguntarse o decidirse, determina la rama apropiada que debe seguirse en el nodo de decisión. Cada nodo de decisión representa un cuestionamiento o decisión que, al preguntarse o decidirse, determina la rama apropiada que debe seguirse en el árbol de decisión. En los árboles de decisión simples esta pregunta podría tener respuestas de si o no como ¿Es un Sistema Operativo comercial?, la rama izquierda del nodo representa la ruta que se seguiría si la respuesta es si y la rama derecha del nodo representaría la ruta que se seguiría si la respuesta es no.

En ocasiones es útil agregar conocimiento nuevo a un árbol de decisión a medida que se aprende. Una vez que el árbol de decisión alcanza una respuesta, pregunta si la respuesta es correcta y, si es así, entonces no se hace nada más; pero si la respuesta es incorrecta, se modifica para ajustarse a la respuesta correcta. El nodo de respuesta se reemplaza con un nodo de decisión que contiene una pregunta que diferenciará la respuesta anterior que estaba en el nodo de la respuesta que no se dedujo correctamente. En la Figura 1.13 se muestra un **árbol**

**de decisión que clasificará un Sistema Operativo** conforme a sus características. Este árbol es un poco ingenuo (sólo conoce tres Sistemas Operativos) y tiene necesidad de aprender.

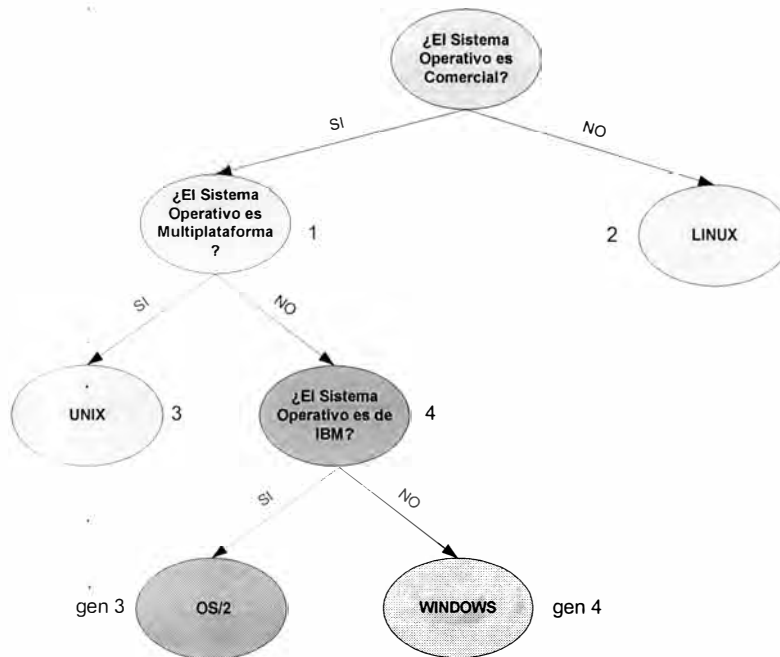
El ejemplo de una sesión de deducción con el árbol podría darse como sigue:

¿El sistema operativo es comercial? (si o no) si  
 ¿El sistema operativo es multiplataforma? (si o no) no  
 Deduzco que es WINDOWS  
 ¿Estoy en lo correcto? (si o no) no  
 ¿Cual es el SISTEMA OPERATIVO? OS/2  
 ¿Cual pregunta cuando se responde si distinguirá un OS/2 de WINDOWS? ¿El sistema operativo es de IBM?  
 Ahora puedo deducir OS/2  
 ¿Intentar otra vez? (si o no) no



**Figura 1.13. Árbol de decisión para identificar Sistemas Operativos**

La sesión puede continuar sin cesar, con el árbol de decisión aprendiendo cada vez más información. En la Figura 1.14 se muestra la representación del árbol de decisión después de la sesión anterior, aunque una desventaja de este tipo de aprendizaje es que el árbol de decisión quizá no termine muy estructurado jerárquicamente o no sea muy eficiente en el descubrimiento del Sistema Operativo apropiado. Un árbol de decisión eficiente debe tener casi el mismo número de ramas del nodo raíz a los de respuesta para todas las rutas.



**Figura 1.14. Árbol de decisión de identificación de Sistemas Operativos después de aprender OS/2**

El primer paso para determinar cómo se puede establecer un **Árbol de Decisión de Aprendizaje en CLIPS** es decir cómo debe representarse el conocimiento. Debido a que el árbol debe aprender, es mejor representarlo como hechos en lugar de reglas, porque los primeros se pueden agregar y eliminar con facilidad para actualizar el árbol a medida que aprende.

Cada Nodo del árbol de decisión se representará con un hecho; la siguiente plantilla se empleará para representar nodos de respuesta y decisión:

```

(deftemplate nodo
  (slot nombre)
  (slot tipo)
  (slot pregunta)
  (slot nodo-si)
  (slot nodo-no)
  (slot respuesta))

```

donde la ranura “*nombre*” es el nombre único para el nodo y la ranura “*tipo*” es el tipo de nodo y contiene el valor respuesta o decisión; las ranuras “*pregunta*”, “*nodo-si*” y “*nodo-no*” sólo se usan para nodos de decisión. La ranura “*pregunta*” es la pregunta que se hace cuando se recorre un nodo de pregunta. La ranura “*nodo-si*” es el nodo que habrá de proceder si la pregunta se responde de manera afirmativa, y la ranura “*nodo-no*” es el nodo que habrá de proceder si la pregunta se responde de manera negativa. La ranura “*respuesta*” sólo se emplea en nodos de respuesta y es la respuesta al árbol de decisión cuando recorre un nodo de respuesta.

Debido a que el programa “**so.clp**” aprenderá, será necesario almacenar información sobre lo que se ha aprendido de una ejecución del programa a la siguiente. Puesto que el árbol de decisión se estructurará como una colección de hechos, será útil almacenarlos en un archivo con el formato de comando “*load-facts*” y afirmarlos usando el comando “*load facts*” cuando inicie el programa y guardarlos con el comando “*save-facts*” cuando finalice el programa. En este programa los hechos se almacenarán en un archivo llamado “**so.txt**”. Si se usa la Figura 1.13 para el árbol de decisión inicial, el archivo “**so.txt**” debe contener el siguiente texto.

```
(nodo (nombre raiz)(tipo decision)
  (pregunta "¿El Sistema operativo es comercial ?")
  (nodo-si nodo1)(nodo-no nodo2))
(nodo (nombre nodo1)(tipo decision)
  (pregunta "¿El Sistema operativo es multiplataforma?")
  (nodo-si nodo3)(nodo-no nodo4))
(nodo (nombre nodo2)(tipo respuesta)(respuesta "LINUX"))
(nodo (nombre nodo3)(tipo respuesta)(respuesta "UNIX"))
(nodo (nombre nodo4)(tipo respuesta)(respuesta "WINDOWS"))
```

Para su funcionamiento correcto se requiere de dos archivos codificados en CLIPS: “**so.clp**”, el cual se muestra a continuación:

## LISTADO DEL PROGRAMA "so.clp" (Código fuente del Clips)

```

(deftemplate nodo
  (slot nombre)
  (slot tipo)
  (slot pregunta)
  (slot nodo-si)
  (slot nodo-no)
  (slot respuesta))
(defrule iniciar
  (not (nodo (nombre raiz)))
  =>
  (load-facts "so.txt")
  (assert (nodo-actual raiz)))

(defrule hacer-pregunta-nodo-decision
  ?nodo <- (nodo-actual ?nombre)
  (nodo(nombre ?nombre)
    (tipo decision)
    (pregunta ?pregunta))
  (not (respuesta ?))
  =>
  (printout t ?pregunta " (si o no) ")
  (assert (respuesta (read))))

(defrule mala-respuesta
  ?respuesta <- (respuesta ~si&~no)
  =>
  (retract ?respuesta))

(defrule proceder-a-rama-si
  ?nodo <- (nodo-actual ?nombre)
  (nodo (nombre ?nombre)
    (tipo decision)
    (nodo-si ?rama-si))
  ?respuesta <- (respuesta si)
  =>
  (retract ?nodo ?respuesta)
  (assert (nodo-actual ?rama-si)))

```

```

(defrule proceder-a-rama-no
?nodo <- (nodo-actual ?nombre)
(nodo (nombre ?nombre)
  (tipo decision)
  (nodo-no ?rama-no))
?respuesta <- (respuesta no)

(retract ?nodo ?respuesta)
(assert (nodo-actual ?rama-no)))

(defrule preguntar-si-nodo-respuesta-es-correcto
?nodo <- (nodo-actual ?nombre)
(nodo (nombre ?nombre)(tipo respuesta)
  (respuesta ?valor))
(not (respuesta ?))
=>
(printout t "Deduzco que es un " ?valor crlf)
(printout t "¿Estoy en lo correcto? (si o no) ")
(assert (respuesta (read))))
(defrule deduccion-nodo-respuesta-es-correcta
?nodo <- (nodo-actual ?nombre)
(nodo (nombre ?nombre)(tipo respuesta))
?respuesta <- (respuesta si)
=>
(assert (preguntar-por-nuevo-intento))
(retract ?nodo ?respuesta))

(defrule deduccion-nodo-respuesta-es-incorrecto
?nodo <- (nodo-actual ?nombre)
(nodo (nombre ?nombre)(tipo respuesta))
?respuesta <- (respuesta no)
=>
(assert (reemplazar-nodo-respuesta ?nombre))
(retract ?respuesta ?nodo))

(defrule preguntar-por-nuevo-intento
(preguntar-por-nuevo-intento)
(not (respuesta ?))

```



```

=>
(printout t " ¿Intentar otra vez? (si o no) ")
(assert (respuesta (read))))

(defrule una-vez-mas
?fase <- (preguntar-por-nuevo-intento)
?respuesta <- (respuesta si)
=>
(retract ?fase ?respuesta)
(assert (nodo-actual raiz)))

(defrule ya-no
?fase <- (preguntar-por-nuevo-intento)
?respuesta <- (respuesta no)
=>
(retract ?fase ?respuesta)
(save-facts "so.txt" local nodo))
(defrule reemplazar-nodo-respuesta
?fase <- (reemplazar-nodo-respuesta ?nombre)
?datos <- (nodo (nombre ?nombre)
            (tipo respuesta)
            (respuesta ?valor))
=>
(retract ?fase)
; DETERMINAR CUAL DEBE HABER SIDO LA DEDUCCION
(printout t "¿Cual es el SISTEMA OPERATIVO? ")
(bind ?nuevo-so (read))
; OBTENER PREGUNTA PARA LA DEDUCCION
(printout t "Cuál pregunta cuando se responde si ")
(printout t "distinguirá " crlf " un ")
(printout t ?nuevo-so " de un " ?valor "? ")
(bind ?pregunta (readline))
(printout t "Ahora puedo deducir " ?nuevo-so crlf)
; CREAR LOS NUEVOS NODOS APRENDIDOS
(bind ?nuevonodo1 (gensym*))
(bind ?nuevonodo2 (gensym*))
(modify ?datos (tipo decision)
            (pregunta ?pregunta)

```

```
(nodo-si ?nuevonodo1)
(nodo-no ?nuevonodo2)
(assert (nodo (nombre ?nuevonodo1)
              (tipo respuesta)
              (respuesta ?nuevo-so)))
(assert (nodo (nombre ?nuevonodo2)
              (tipo respuesta)
              (respuesta ?valor)))
;DETERMINAR SI EL USUARIO DESEA INTENTARLO DE NUEVO
(assert (preguntar-por-nuevo-intento)))
```

## **CAPITULO II**

### **ESTADO DEL ARTE EN IDENTIFICACION DE PECES**

Uno de los problemas que confrontan los actores que intervienen en el sector pesquero es la falta de herramientas que permitan identificar la gran cantidad de diferentes especies que se observan en los mares. Es importante conocer la taxonomía de los integrantes de la fauna íctica peruana, como paso previo indispensable a la evaluación de la magnitud del potencial pesquero y, consecuentemente, posibilitar su adecuado manejo.

#### **2.1. ANTECEDENTES HISTORICOS**

La ictiología, generalmente definida como "el estudio de los peces" o "la rama de la zoología que trata de los peces", tiene una larga historia bien documentada, que se remonta a miles de años, desde los antiguos Egipcios, Indios, Chinos, Griegos y Romanos [CUVIER, 1828].

Hasta ahora hay mas de 1.7 millones de especies diferentes que tienen nombre científico y en la actualidad pueden existir 30 millones de especies vivas o mas. Según SMITH [1996], en el medio marino la diversidad de las especies y de los ecosistemas es muy grande y posee más filas y clases que el medio terrestre ya que sus organismos oscilan desde las plantas y animales unicelulares hasta las ballenas. El número de especies de teleósteos asciende a 20,000 y representa casi la mitad de las especies de vertebrados. Se explotan unas 9,000 especies de teleósteos y la captura correspondiente a 22 de ellas supera las 100,000 toneladas anuales.

Alrededor del 58 por ciento de los peces son marinos, y aunque los océanos cubren los dos tercios del planeta la mayor parte de los peces marinos se encuentran en aguas costeras, que representan al menos el 10 por ciento de la superficie mundial.

Fischer, fue quien inspiró a especialistas de todo el mundo a colaborar en la realización del primer conjunto de Fichas de Identificación de la FAO [FISCHER, 1973] y de sus numerosos sucesores, y a publicar la serie extremadamente útil de *FAO Species Synopses* y los *FAO Species Catalogues* [FISCHER, 1976], bajo los auspicios del Programa de la FAO *Species Identification and Data Programme*. Fischer también percibió la necesidad de una base de datos global que agrupara las informaciones fundamentales sobre los peces y los invertebrados explotados del mundo, lo que le llevó al desarrollo de la base de datos SPECIESDAB de la FAO [COPPOLA et al., 1994]. Daniel Pauly agrupó en forma de fichas la mayoría de datos sobre dinámica de poblaciones de peces hasta entonces disponibles, sugirió en 1987 que estos datos deberían ser transferidos a una base estandarizada y constantemente puesta al día y para hacerlos accesibles a otras personas a través de lo que entonces se conocía como *ICLARM Software Project*.

La gran cantidad de información, contenida en una literatura bastante dispersa, ha forzado a los ictiólogos a especializarse gradualmente. De esta manera, los trabajos pueden ser de un alcance taxonómico amplio pero sobre un tema muy específico (el *Catalog of Fishes* de ESCHMEYER [1998], o el *Frogfishes of the World* de PIETSCH y GROBECKER [1987], para citar dos ejemplos destacados), o bien de un alcance taxonómico restringido pero que trate de todos los dominios de la biología del taxón estudiado (por ejemplo, el trabajo sobre el bacalao del norte europeo y el trabajo sobre el salmón canadiense del Pacífico, siendo estas dos especies el paradigma en muchos manuales marinos).

La literatura revisada acerca del estudio de los peces marinos en el Perú es la siguiente:

- HILDEBRAND [1946] llega a describir 261 especies. Las claves se emplean con la finalidad de dar a conocer en forma resumida los caracteres principales que permitan reconocer las diferentes especies de peces.
- KOEPCKE [1951] publicó una clave que contiene 100 especies de todo el litoral y VÉLEZ [1980] una con 83 especies de peces de la costa central del Perú.
- CHIRICHIGNO [1974] publica una clave que comprende 566 especies. En ella están representados 321 géneros y 120 familias. Además incluye 6 especies nuevas para las ciencias.
- CHIRICHIGNO y VELEZ [1998] actualizan la clave que presenta 727 especies incluidas en 388 géneros y 138 familias. Con el fin agrupar los peces que presentan caracteres generales comunes, la clave se ha dividido en 5 secciones: Lampreas, Tiburones, Rayas, Chimeras Pejes-Gallo y Peces óseos, lo cual permite un mejor ordenamiento ictiológico.
- Según CHIRICHIGNO y CORNEJO [2001] en aguas marinas peruanas se han determinado 1070 especies (Incluyendo 7 subespecies e indicando algunas sinonimias), 549 géneros, 194 familias y 39 órdenes. Para facilitar su ubicación taxonómica de cada especie, se sigue el modelo FAO: indicando en forma codificada los niveles taxonómicos de cada uno, señalando en forma abreviada la referencia a la Clase, la Subclase, el Orden, la Familia, el Género y el número de la especie en ese género.

Este largo y sostenido interés por los peces se debe a su doble rol de habitantes altamente diversificados, y de formar parte de la alimentación humana. Así se han acumulado a lo largo de los siglos informaciones

extremadamente heterogéneas, principalmente de orden taxonómico, aunque también referentes a la zoogeografía, al comportamiento, al régimen alimentario, a los predadores, a las tolerancias ambientales, etc.

## 2.2. METODOS Y MODELOS DE IDENTIFICACION DE PECES

La identificación de los peces puede ser de diferentes formas.

- Hojear una guía de campo con buenas ilustraciones como indican HUMANN [1994] o LIESKE y MYERS [1994] es la manera más rápida y más práctica para encontrar información sobre las especies más comunes y las más reconocibles. También Se usan los pictogramas para permitir una comparación visual rápida del espécimen a identificar con dibujos generales de los principales grupos de peces. Para identificaciones científicamente precisas requiere un enfoque completamente distinto: deben ser hechas en un laboratorio por personal competente con material especial.
- KLEMM [1995] menciona que para distinguir las especies, los biólogos construyen claves que utilizan características fácilmente distinguibles. Una clave biológica es una serie de decisiones para identificar una especie por sus rasgos. La clave de identificación *Fin formula key to bony fishes* de SMITH y HEEMSTRA [1986], se basa que para la mayoría de especies de peces óseos (los Osteíctios sin los Tetrápodos), los caracteres merísticos de las aletas dorsales y anales (es decir, los números de radios de las aletas) son relativamente estables y fáciles de contar. Combinando la región geográfica, el tipo de agua habitada (agua dulce, salobre o de mar), la talla y una clasificación taxonómica a nivel de orden o de familia, se puede identificar la especie.
- Los catálogos taxonómicos son listas con los nombres científicos de los taxones para un determinado grupo de organismos, que contienen la información jerarquizada de acuerdo con un sistema de

clasificación. Existen diferentes niveles de complejidad para su construcción y éstos van desde una lista de nombres aceptados, la inclusión de sinonimias, agregando a cada especie su distribución geográfica, ambiente donde viven y en lo posible, un esquema de la especie o familia o género. [CHIRICHIGNO y CORNEJO, 2001].

- Por otra parte, las Bases De Datos Relacionales sirven en cierta medida para fines de identificación cuando hay un gran número de especies implicadas FROESE [1989, 1990]; FROESE Y PAPASSISI [1990]; FROESE et al., [1989, 1990].
- Con la llegada del submarinismo y de la fotografía submarina, la observación de los peces se ha incrementado, como lo indica el número creciente de guías para los submarinistas (entre otras, [LEWIS et al., 1986]; [HUMANN 1994]; [RANDALL, 1996]). Existen pequeños folletos para ciertas zonas que no contienen más que los nombres científicos y comunes regionales de los peces donde el lector puede anotar el lugar, la fecha, la hora y la profundidad de la observación o de la captura, así como la talla del espécimen [SEA CHALLENGER, 1995].
- Las Redes Semánticas sirven para representar el conocimiento. Se trata de un lenguaje gráfico, fácilmente traducible a forma simbólica, muy útil para representar conocimiento taxonómico, es decir, aquél que permite agrupar los elementos del universo en una jerarquía de clases y subclases entre los cuales existe una relación de herencia. [FERNANDEZ, 2001].
- LAUDON y LAUDON [2002] menciona que aunque los Sistemas Expertos no posean inteligencia sólida y general de los seres humanos, llegan a proporcionar beneficios a las organizaciones si se entienden bien sus limitaciones. Prácticamente este tipo de sistemas que han tenido éxito se ocupan problemas de clasificación, en los que el número de posibles resultados es reducido y en los que se conocen con antelación todos esos posibles resultados.

Es importante mencionar que las redes semánticas con una buena opción para representar el conocimiento contenido en las claves de identificación de peces y los catálogos de peces para crear Bases de Datos.

### **2.3. SOFTWARE**

En áreas del saber limitadas, como clasificar e specimenes biológicos, es posible modelar con redes semánticas el conocimiento que se encuentran en las claves de identificación de peces, y codificarlo mediante programas que se pueden obtener usando lenguajes de inteligencia artificial como los que se mencionan a continuación:

- CLIPS es un lenguaje de programación con paradigmas múltiples que proporciona soporte para programación basada en reglas, orientada a objetos y por procedimientos. Se diseñó utilizando el lenguaje de programación C en el Centro Espacial Johnson de la NASA, con el propósito específico de proporcionar una gran capacidad de transporte, bajo costo y fácil integración con sistemas externos. [GUIARRATANO y RILEY, 2001].
- SWI-PROLOG es un lenguaje de programación lógica creado por la Universidad de Ámsterdam. Es un lenguaje conversacional; es decir el sistema Prolog mantiene un diálogo continuo con el programador desde el inicio de la sesión hasta el final de la misma. Este diálogo toma generalmente la forma de un interrogatorio, a lo largo del cual el programador planteará preguntas al sistema Prolog. Por su parte el sistema Prolog responderá cada una de las preguntas formuladas por el programador en la medida en que esto sea posible. Se encuentra en (<http://www.swi-prolog.org>).
- VISUAL PROLOG es un lenguaje que usa la máquina Prolog, mediante el cual un programa utiliza distintas secciones para las declaraciones de tipos o dominios con el fin de crear estructuras



complejas de datos, predicados, reglas y hechos que forman las cláusulas y metas. Se encuentra en (<http://www.visual-prolog.com>).

Una Base de Datos suele definirse como un conjunto de información organizada sistemáticamente. Algunos manejadores de base de datos son:

- MICROSOFT ACCESS es un sistema de gestión de base de datos para uso personal o de pequeñas organizaciones. Para base de datos de gran calibre (en cuanto a volumen de datos o de usuario) es recomendable usar otros sistemas como Microsoft SQL, MySQL u Oracle. En 1993 Froese revisa las sistemas de bases de datos disponibles bajo Windows (Microsoft Access, Paradox, Foxpro, y SuperBase) y decide usar Microsoft Access para crear numerosas tablas y rutinas del FishBase, posteriormente migró todos los datos a Microsoft Access. [FROESE y PAULY, 2004].
- POWERBUILDER es una herramienta profesional de desarrollo de Software de desarrollo empresarial en el manejo de información con bases de datos empresariales como Oracle, Sybase o Informix. Además es orientada a objetos que permite construir diferentes tipos de aplicaciones y componentes. Se pueden desarrollar aplicaciones cliente/servidor, aplicaciones distribuidas, y aplicaciones para Internet. [<http://www.powerbuilder.org/index.php>].

Los Gestores de Bases de Datos Relacionales (SGBD) son una alternativa para introducir, almacenar, ordenar y manipular información que en la actualidad se encuentra en los catálogos de peces.

## **2.4. UNA VISION DESDE INTERNET**

La mayor parte del trabajo de Bases de datos de peces han sido realizados por Universidades y Organizaciones Internacionales las cuales han desarrollado paquetes de software que se pueden adquirir en CD-ROM o

se puede acceder en línea en forma gratuita. Las principales Bases de Datos son:

- FISHBASE ([www.fishbase.org](http://www.fishbase.org)) en su versión de noviembre del 2004 contiene información de 28700 Especies, 204900 Nombres comunes y 37400 Imágenes. Ha sido desarrollado por el Centro Internacional de Gestión de Recursos Acuáticos Vivientes (ICLARM) en colaboración con la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) y otros muchos participantes. Financiado por sucesivas subvenciones de la Comisión Europea y del ICLARM.
- SIIT. Sistema Integrado de Información Taxonómica (<http://www.conabio.gob.mx>). Las consultas especializadas se han desarrollado principalmente para la comunidad taxonómica y así facilitar la búsqueda de información sistemática y nomenclatural dentro del sistema. Esta se realiza mediante la selección del reino, además del nombre común y científico.
- California Academy of Sciences (CAS), en su catálogo de peces, contiene información de aproximadamente 55,000 especies o subespecie de peces, está dispuesta en registros (uno para cada especie). (<http://www.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/>)
- ATTA (<http://www.inbio.ac.cr/>), sistema que mantiene una base de datos relacional con más de dos millones de registros, cada uno de los cuales corresponde a un espécimen. Incluye Modulos para generación, consulta, edición y análisis de información taxonómica, geográfica, ecológica y de usos potenciales de especies de plantas, insectos, moluscos, arácnidos, hongos y nematodos costarricenses.
- NISC IBEROAMERICA (<http://www.nisc.com.mx>), proporciona búsquedas automatizadas con el Thesaurus Aquatic Sciences & Fisheries Abstracts (10,000 términos). Además toda la taxonomía ha sido ampliada (de genero a subreino), usando los códigos taxonómicos del National Oceanographic Data Center (NODC) y FISHLIT. Incluye una Fish Database (1960-presente) donde el noventa por ciento de este

archivo es extraído de reportes inéditos de investigación y estudios de agencias estadounidenses. El contenido enfatiza: manejo de peces, corrientes, esteros y especies en peligro. Proporciona 8,400 registros.

Otras Bases de Datos de peces en Estados Unidos son:

- Base de datos Inter-Institucional de biodiversidad de peces en el Neotrópico ([www.neodat.org/data/search1no.html](http://www.neodat.org/data/search1no.html)).
- Base de datos principal de Ictiología de el Museo de Historia Natural de la Florida ([www.flmnh.ufl.edu/scripts/dbs/fish\\_pub.asp](http://www.flmnh.ufl.edu/scripts/dbs/fish_pub.asp)).
- Base de datos en línea sobre colecciones de peces ([www.nmnh.si.edu/vert/fishcat/](http://www.nmnh.si.edu/vert/fishcat/)).
- División de peces del Museo de Zoología de la Universidad de Michigan ([www.ummz.lsa.umich.edu/fishes/fish\\_index.html](http://www.ummz.lsa.umich.edu/fishes/fish_index.html)).

Cabe destacar que Internet se presenta como una gran fuente de información y conocimiento de peces, la cual contribuyó a la profundidad de esta tesis y al nivel de actualidad de los datos entregado.

## **2.5. RESUMEN DEL ESTADO DEL ARTE**

En el medio marino la diversidad de especies y la de los ecosistemas es muy grande. Así se ha logrado acumular gran cantidad de información bastante dispersa y ha llevado a los ictiólogos a especializarse gradualmente. Perú cuenta con una clave que permite identificar 727 especies ícticas. Además de un catálogo con 1070 peces marinos registrados.

Las formas tradicionales de identificación de peces a través de pictogramas, guías, manuales, claves y catálogos han dado paso a métodos modernos como observaciones submarinas y bases de datos relacionales. Sin embargo si se requiere una precisión científica se tiene que ir a un laboratorio.

Las claves biológicas se emplean con la finalidad de dar a conocer en forma resumida los caracteres principales para identificar una especie. Asimismo las redes semánticas sirven para representar en forma gráfica el conocimiento taxonómico. Si las redes semánticas representan información de claves de identificación de peces y son traducidas a un lenguaje de programación lógica, entonces se obtiene las Bases de Conocimiento de un Sistema Experto en identificación de peces.

Por otro lado, los catálogos taxonómicos son listas con los nombres de un grupo de organismos. La información que contiene suele ser variada. Los Gestores de Bases de Datos Relacionales (SGBD) son una alternativa para introducir, almacenar, ordenar y manipular información que en la actualidad se encuentra en los catálogos de peces.

El aporte de este capítulo al sistema propuesto en la tesis es amplio, empieza con la codificación de la *Clave de identificación de peces marinos del Perú* [CHIRICHIGNO y VELEZ, 1998] mediante los lenguajes Clips y Prolog, luego la creación de una Base de Datos con los registros tomados del *Catálogo comentado de peces marinos del Perú* [CHIRICHIGNO y CORNEJO, 2001]. Obteniendo finalmente tres Módulos denominados: Clips, Programación Lógica y Base de Datos.

## **CAPITULO III**

### **ESTADO DEL ARTE EN DINAMICA DE POBLACIONES DE PECES**

El manejo de los recursos pesqueros marinos requiere del conocimiento de su diversidad así como de las relaciones regionales que se dan entre especies. Esto implica que deben conocerse los procesos a nivel de poblaciones y de comunidad, que permitan estimar en que forma son determinantes las conexiones entre especies y el ambiente para generar una mayor o menor biodiversidad y en consecuencia, cual es su efecto en la estabilidad de los sistemas.

#### **3.1. ANTECEDENTES HISTORICOS**

La historia de las pesquerías es más amplia de la que se presenta a continuación:

- BER [1854] estudió la relación alimento-pez como un complejo, sugiriendo una relación directa entre el número de consumidores (peces) y la cantidad de alimento. HJORT [1914] contribuyó mucho a solucionar el problema de fluctuaciones en la población al demostrar que las que se producían en cada clase anual tenían efecto en el volumen poblacional.

- La investigación de los efectos de la pesca en la población han sido estudiados por varios científicos, entre ellos están LEBEDEV [1961] y BOIKO [1964]. Quien dio las bases teóricas de la sobrepesca fue RUSSELL [1931] y de otro lado, quienes vieron el efecto del tamaño de malla sobre las diferentes longitudes en peces fueron BARANOV [1918] y ALM [1959].
- TRESIERRA y CULQUICHICON [1993] afirman que la determinación que la composición de la población es uno de los aspectos más importantes, a fin de conocer que unidad de la población esta siendo afectada por la captura. Asimismo la estructura de la población tanto por edades como por sexos. Para saber el potencial reproductivo de la población es necesario desarrollar estudios de fecundidad. Además los estudios de alimentación de los peces sirven para determinar los eslabones de las cadenas alimenticias.
- FRANQUESA *et al.*, [1997] menciona que el poder de la pesca es superior al que es necesario para explotar los recursos de manera sostenible, es decir capaz de satisfacer tanto las necesidades de las generaciones presentes como de las futuras, de manera continuada y sin provocar el deterioro del recurso.
- MEADOWS [1997] considera que el objetivo de mantener las poblaciones en equilibrio y evolucionando debe imponerse al objetivo de cada población de incorporar todos los recursos a su propio metabolismo. La tragedia de los comunes, está agotando la pesca comercial del mundo, este fenómeno ocurre porque no hay realimentación del estado de la población de peces hacia la decisión de invertir en los barcos pesqueros.

Las poblaciones de peces son recursos vivos limitados pero renovables, su explotación óptima es uno de los problemas que afronta el hombre en la búsqueda del nivel de explotación que permita obtener, a largo plazo, el

rendimiento máximo en peso de una pesquería sin sufrir la tragedia de los comunes.

## **3.2. POBLACIONES Y STOCKS DE PECES**

En los estudios de Dinámica de sistemas pesqueros es fundamental definir población y stock de peces.

### **3.2.1. POBLACIONES DE PECES**

Para entender el contexto que abarca el término “población”, se consideran algunas definiciones y descripciones realizadas por algunos especialistas en el tema:

- CAUHGLEY [1977], anota que la población es una unidad biológica en el nivel de integración ecológica, donde se habla de una tasa de natalidad, tasa de mortalidad, proporción por sexos y una estructura de edad en la descripción de las propiedades de la unidad.
- CIRKE [1980], define a la población como la entidad viviente formada por los grupos de peces de una misma especie que ocupan un espacio o lugar común, que tiene un nivel de organización y una estructura propia, y que cada población se renueva y se reproduce aisladamente de otras poblaciones y que la explotación de una unidad poblacional no tiene efecto en otras poblaciones.
- EVERHAT y YOUNGS [1981], definen a una población de peces como una entidad biológica. Estas son poblaciones que tienen características no necesariamente aplicables a simples organismo, incluyendo tamaño, densidad, mortalidad, longevidad, tasas de crecimiento, proporción por sexos y patrones de comportamiento.
- Otros definen a las poblaciones como un grupo de organismos de la misma especie que ocupan un espacio determinado en un tiempo

particular y también refieren que una población puede estar subdividida en subpoblaciones, la que está constituida por organismos relacionados muy íntimamente, pudiendo existir mezcla y cruzamiento entre ellos.

En términos concretos, la definición presentada por TRESSIERRA y CULQUICHICÓN [1993] resume de buena forma las ideas generales de todas las definiciones estudiadas.

*La **población** como una unidad presenta ciertas características que le son propias y que no las comparte con los individuos que la constituyen, estas características reciben el nombre de atributos de grupo. Pero hay otras características que presenta la población como unidad y que las comparte con los individuos que la constituyen y que son los atributos biológicos.*

### 3.2.2. STOCK DE PECES

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

- Para CUSHING [1968], un stock de peces es aquél que tiene una única área de desove, a la cual los adultos regresan año tras año. LARKIN [1972] habla de "un stock de organismos con un acervo común de genes y que es suficientemente específica como para que pueda considerarse un sistema que se autoperpetúa y que puede ser manejado", mientras que IHSEN *et al.*, [1981] definen un stock como "un grupo intraespecífico de individuos que se aparean al azar con integridad temporal o espacial".
- Por otra parte, RICKER [1975] define un stock íctico como "la parte de una población de peces que se considera desde el punto de vista de su utilización ya sea actual o potencial".



- Tal vez, la definición más adecuada en el contexto de la evaluación de poblaciones de peces fue la que propuso GULLAND [1983], quien estableció que, para efectos de la ordenación pesquera, la definición de una "*unidad de stock*" es una cuestión operativa, es decir, que un grupo de organismos puede ser considerado como stock si se puede prescindir de las posibles diferencias dentro del grupo así como los intercambios con otros grupos pueden ser ignorados, sin que con ello resulten inválidas las conclusiones a que se llegue.
- SPARRE y VENEMA [1997], define stock a un subconjunto de una determinada especie que posee los mismos parámetros decrecimiento y mortalidad, que habita en un área geográfica particular.

A las definiciones mostradas anteriormente, se puede añadir que un requisito previo para identificar los stocks es saber distinguir las diferentes especies. La identificación puede ser problemática debido al gran número de especies diferentes, pero a menudo parecidas que se observan en las pesquerías. En el capítulo anterior se muestran las diferentes técnicas de identificación de especies ícticas.

### **3.3. VARIACIONES DE LAS PESQUERIAS**

Las poblaciones de peces marinos fluctúan mucho debido tanto a circunstancias climáticas como a los efectos de la pesca.

- Se ha visto que algunas poblaciones han fluctuado mucho a lo largo de los siglos ([CUSHING 1982]; [SOUTAR e ISAACS, 1969]), mientras otras muestran variaciones en el reclutamiento, apreciables en tan solo unos pocos años ([CUSHING 1982]; [KAWASAKI *et al.*, 1991]).
- Las circunstancias climáticas pueden producir cambios en las poblaciones de peces tanto a corto como a largo plazo. CUSHING [1975] estima que la relación entre el clima y la producción depende

de la proporción entre las larvas de peces y el alimento de que disponen, especialmente en aguas templadas donde los peces tienden a desovar en períodos fijos, mientras que el ciclo de producción de alimentos es variable.

En las pesquerías se ha observado la sustitución temporal de una especie por otra.

- En la parte occidental del Canal de la Mancha, durante los últimos años veinte y los treinta, la población de arenques disminuyó y vino a ser sustituida por la sardina [CUSHING, 1975]. No hay indicios de que estos cambios fueran debidos a la pesca, sino que más bien se asociaron con el alza de la temperatura marina, que condujo a la sustitución de unas especies propias de aguas más frías por unas especies de teleósteos e invertebrados propios de aguas más templadas [SOUTHWARD, 1963].
- En los años cincuenta, las poblaciones de sardinas disminuyeron frente a las costas de California y fueron sustituidas por las anchoas [AHLSTROM, 1966]. Tal disminución se atribuye al cambio de temperatura, pero vino reforzada por las actividades pesqueras ([BEVERTON, 1990]; [CUSHING, 1982]). Las escamas de pescado conservadas en sedimentos anaeróbicos frente a California ofrecen una huella cronológica de la abundancia de peces pelágicos, que muestran la fluctuación de la abundancia de las sardinas y anchoas a lo largo de centenares de años [SOUTAR e ISAACS, 1969].
- Un análisis del ecosistema peruano muestra que las poblaciones de anchoveta, bonito y aves guaneras disminuyeron entre los años 1960 y 1980, y la flota bolichera a partir de 1970. Sin embargo la disminución de la flota no fue suficiente para evitar la drástica disminución de dichas poblaciones. La merluza (*Merluccius gayi*), jurel y caballa se mantuvieron estables y la sardina y los lobos marinos aumentaron su población. Se señaló que la sobrepesca fue la

principal responsable del descenso de las poblaciones antes mencionadas. Por otro lado el jurel, merluza y caballa incrementaron sus poblaciones ya que sufrieron capturas limitadas y no son dependientes de la disponibilidad de anchoveta. El incremento del stock de sardina en cambio esta asociado a la disminución de stock de anchoveta, la que preda los huevos de sardina y además compite con ella por el alimento. [PAULY et al., 1989].

### **3.4. MODELAMIENTO Y METODOS**

Actualmente existen muchos modelos que pretenden explicar lo que acontece en un stock, entre los primeros que desarrollaron modelos se encuentra BARANOV [1918] quien utilizó tiempo continuo, luego DERZHAVIN [1922] utilizando tiempo discreto, y posteriormente el modelo sobre el análisis de cohortes de POPE [1972] que se basa en datos de edad.

Los dos grupos principales de modelos analizados por SPARRE y VENEMA [1997] son:

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

Entre la literatura dedicada al tema se pueden encontrar los siguientes modelos:

- El modelo de LOTKA-VOLTERRA es el más simple de interacciones de presa-predador. El modelo fue propuesto por primera vez en Italia Vito VOLTERRA [1925]. Cuyo objetivo era describir las variaciones observadas en las poblaciones de peces en el Mar Adriático. En USA Alfred LOTKA [1926] trabajó sobre el mismo sistema de ecuaciones, pero con el fin de describir una reacción química en la cual las concentraciones oscilan. Recientemente se ha intentado aplicar este juego de ecuaciones inclusive a modelación económica o turismo sostenible. Este modelo no es muy real. No considera la competencia entre presa y predador. Como consecuencia, la población presa puede crecer infinitamente sin límite del recurso. En los predadores su tasa de consumo es ilimitada. La tasa de consumo de la presa es proporcional a la densidad de la presa. Así, no es de extrañar que el comportamiento modelo es antinatural no mostrando la estabilidad asintótica. De cualquier forma existen modificaciones numerosas de este modelo para hacerlo más real.
- Según FRANQUESA [2000], en el curso de los años 50 aparecen a nivel teórico los modelos bioeconómicos que tratan de relacionar la reproducción de un recurso renovable, con su explotación motivada por fines económicos. Señala tres conclusiones que la Ciencia Económica ha podido alcanzar: en primer lugar un recurso que se reproduce a una tasa biológica por debajo de la tasa de crecimiento de capital tenderá a ser explotado hasta su agotamiento. En segundo lugar el interés económico determina un óptimo social por debajo de los máximos potenciales de la biomasa y por último en la explotación de los recursos pesqueros se tiende a presentar el problema de la sobrepesca.
- La Dinámica de Sistemas es una metodología usada para entender como los sistemas van cambiando con el tiempo. La manera en la cual los elementos o variables de un sistema van cambiando a medida que pasa el tiempo se denomina comportamiento del sistema.

En un ecosistema, el comportamiento está representado por las dinámicas de crecimiento y reducción de la población. Este comportamiento se debe a la influencia de la disponibilidad de alimentos, los depredadores y el medio ambiente, que son los elementos del sistema. [MARTIN, 2000].

- HALBOWER [1992] menciona que el modelo banco de peces puede ser utilizado para analizar diversas estrategias para la gestión de recursos renovables mediante la simulación. La cuestión central de la simulación subraya la necesidad de comprender el fenómeno de la tragedia de los recursos comunes tanto desde un punto de vista económico como ambiental. En términos simples, la tragedia de los recursos comunes es un fenómeno que aparece cuando los individuos, que comparten un recurso común limitado, intentan maximizar su parte de aprovechamiento individualizado del recurso hasta que el mismo se reduce e incluso se destruye.
- WHELAN [1995] construye un modelo de los bancos de peces en STELLA que se basa en un juego de simulación desarrollado por Dennis Meadows acerca del problema inherente al uso de los recursos naturales. La interacción entre la población de peces y las compañías pesqueras es sólo uno de los muchos sistemas que incluyen y afectan a estas entidades. Se pueden construir modelos para describir los efectos de los patrones climáticos, los predadores naturales de los peces, la economía local y muchos otros factores.

Puede decirse que la historia de la dinámica de poblaciones de peces es el desarrollo de ideas que han ido desenvolviéndose en el correr del tiempo obteniéndose fórmulas y modelos que han servido de base para desarrollar nuevos modelos como los presentados anteriormente. Finalmente lo que se busca es arribar a modelos que puedan aplicarse para evaluar a stocks de peces.

### **3.5. SOFTWARE: UTILIDAD, APLICACIONES Y USOS**

Dentro del estudio bibliográfico realizado para este trabajo cabe destacar algunos paquetes de software que han sido vitales a la hora de establecer la dirección de este trabajo.

- MECON es un paquete de software bio-económico sencillo para pesquerías. Su principal objetivo es ilustrar los dinamismos de los stocks de peces sujetos a la pesca por los agentes económicos. Se puede usar para estudiar los cambios producidos en el sistema pesquero debido a medidas técnicas o económicas impuestas por el usuario, tanto establecidas como condiciones iniciales o en determinados periodos del horizonte de la simulación (eventos). Se encuentra en el la dirección (<http://www.gemub.com/mecon>).
- MEFISTO es un paquete de software bio-económico para las pesquerías del Mediterráneo. Un primer objetivo de este modelo es reproducir las condiciones bio-económicas que ocurren en las pesquerías. El principal método de gestión es la limitación del esfuerzo. El modelo también incluye la estrategia usual de los pescadores de aumentar la eficiencia, de forma que aumenta la mortandad pesquera, mientras se mantiene el nivel de esfuerzo nominal. Esto se modeliza a través de una función que relaciona la eficiencia (o progreso tecnológico) con el capital invertido en la pesquería, y con el tiempo. Un segundo objetivo es simular las distintas estrategias de gestión alternativas. El modelo permite operar con medidas de gestión tanto técnicas como económicas y en la presencia de distintos tipos de eventos. También ofrece a los pescadores una nueva perspectiva del comportamiento del sistema, incluyendo su escala temporal. Se encuentra en la siguiente dirección (<http://www.gemub.com/mefisto/mefisto.zip>).
- Juego de Rol Bancos de Peces desarrollado por Dennis L. Meadows en la Universidad de New Hampshire. El juego se desarrolla para

ilustrar el uso efectivo y prudente de los recursos naturales. Aunque originalmente el juego se concibió para ejecutivos y gestores públicos, cualquiera se puede beneficiar de los conocimientos obtenidos en este juego. En este juego los equipos de jugadores gestionan sus propias compañías pesqueras. Al inicio del juego, cada compañía tiene la misma cantidad de dinero y de barcos de pesca. Cada compañía tiene los mismos costes de funcionamiento y la misma tecnología. Al principio de cada año simulado, los equipos toman decisiones acerca de comprar o vender barcos, pescar o no y donde pescar. El objetivo del juego para cada compañía es maximizar los beneficios. [WHELAN, 1995].

- STELLA (System Thinking Educational Learning Laboratory with Animation) es un programa de simulación por computadora que provee de un esqueleto y de una interfase gráfica fácil de entender, para observar la interacción cuantitativa de las variables dentro del sistema. La interfase gráfica se puede utilizar para describir y analizar sistemas complejos de física, química, biología y ciencias sociales. Sin embargo, los modeladores y los usuarios no se ven abrumados con la complejidad, porque los modelos de Stella se componen de sólo 4 elementos básicos: acumulador, flujo, convertidor y conector. [MARTIN, 2000].
- CLIMPROD [FRÉON *et al.*, 1993] es un programa FAO que combina variables ambientales con modelos de producción excedentaria. Requiere de series de datos anuales de captura y esfuerzo de la pesquería correspondiente a un stock único, y series de datos anuales (o estacionales) sobre las variables ambientales que se conozca que influyan en la abundancia o capturabilidad del stock. El conjunto de datos debería abarcar a lo menos un período de 12 años. Los resultados al ajustar el modelo apropiado al conjunto de datos, podría explicar cómo el medio ambiente y el esfuerzo de pesca han gobernado el rendimiento de la pesquería durante el período considerado. A través del programa es posible hacer predicciones,

basándose en estimaciones de esfuerzo y distintos factores ambientales para los próximos dos años.

- Existe una serie de paquetes de software que pueden ser utilizados en conjunto para la evaluación de stocks de peces. En forma particular, son especialmente útiles para este fin el programa "Evaluación de Stock de Peces Basado en las Tallas" o LFSA (Length-based Fish Stock Assessment), desarrollado por la FAO [SPARRE, 1987] y el paquete de programas COMPLEAT ELEFAN desarrollado por ICLARM [GAYANILO *et al.*, 1988]. Otros paquetes de evaluación de stocks de peces producidos por la FAO son: FISAT, ANACO, ANALEN, NAN-SIS, BEAM 1, 2, 3 y 4.

Los paquetes de software FAO se basan en modelos analíticos, por otro lado el software bio-económico y el juego de rol se construyeron sobre los modelos holísticos. Mención aparte el software Stella que sirve para simular Sistemas Dinámicos.

### **3.6. RESUMEN DEL ESTADO DEL ARTE.**

El manejo efectivo de las poblaciones de peces requiere la síntesis e interpretación de una gran cantidad de información. Los intentos para sintetizar los datos existentes en una forma interpretable, ha llegado al desarrollo de modelos diseñados para simular poblaciones de peces y evitar la tragedia de los recursos comunes.

Los puntos iniciales tratados son: las definiciones de población y stock de peces siendo un requisito previo para identificar un stock la identificación de la especie. Siguen las fluctuaciones del stock debido a sobrepesca, cambios climáticos y competencia entre especies. Luego los modelos que pueden aplicarse para stock de peces: presa-predador, bio-económicos, banco de peces y la Dinámica de Sistemas. Finalmente se presentan algunos paquetes de software para la evaluación de stock de peces.



A continuación, en el próximo capítulo se presentará el Sistema Experto Pesquero propuesto que tiene como uno de sus componentes al Modulo Stella. En este se muestra al modelo anchoveta, que fue construido empleando la metodología de Sistemas Dinámicos, teniendo como base el modelo banco de peces y con el software Stella es traducido a un programa de simulación por computadora.

## **CAPITULO IV**

### **SISTEMA EXPERTO PESQUERO**

Los antecedentes de sistemas expertos pesqueros, según Daoliang [2002], se encuentran en un Sistema de Tele-diagnosic que diagnóstica la enfermedad del pez, y que ha sido desarrollado por el Instituto Agrícola de Tecnología de la información, China Agricultural University, al detectar uno de los defectos era la comunicación directa a larga distancia entre los expertos y los usuarios, lo creo para ayudar a los usuarios a obtener la ayuda en línea cuando el sistema experto basado en Webs no puede responder la pregunta del acuicultor.

Según ZHANG [2002] al crear una base de conocimientos para la construcción de un sistema experto de diagnóstico de enfermedades de peces, en parte trata de reemplazar al veterinario especialista en peces, para ayudar a los acuicultores en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades de peces. Crea un dominio mediante hechos observados por acuicultores experimentados y los une con una base de conocimientos de patologías de peces.

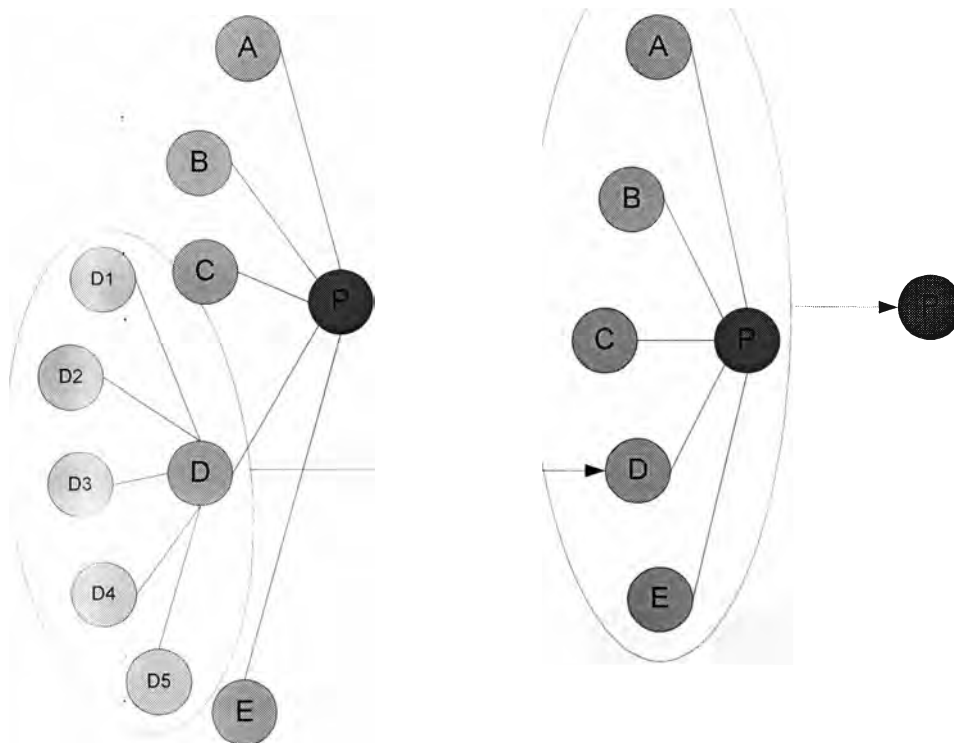
En nuestro país existe la necesidad de un sistema que permita identificar o reconocer las diferentes especies de peces, tan abundantes en el mar peruano. Con el inusitado impulso a la explotación de los recursos pesqueros, esta necesidad se hizo aún más sentida por lo que es necesario

preparar para los fines aludidos un sistema experto, el que con algunas rectificaciones, como consecuencia de su propio manejo y de las investigaciones posteriores, representa una valiosa herramienta de trabajo. En este sistema experto estarán comprendidas el mayor número de especies de peces de nuestro mar, no sólo aquellas de importancia comercial sino las que constituyen, por hoy, sólo recursos potenciales valorables o simplemente aquellas que desempeñan un determinado rol ecológico dentro de las cadenas alimenticias imperantes. Para el desarrollo del Sistema Experto se han empleado dos documentos de IMARPE: Clave para Identificar los Peces Marinos y el Catalogo Comentado de Peces marinos del Perú.

En la *Clave para Identificar los Peces Marinos de Perú* CHIRICHIGNO [1998] presenta 727 especies. Con el fin de agrupar los peces se presentan caracteres generales comunes. La clave se ha dividido en 5 secciones: Lampreas, Tiburones, Rayas, Chimeras y Peces óseos, lo cual permite un mejor ordenamiento ictiológico. Los peces que viven en la zona litoral, los pelágico costeros, los oceánicos, los demersales que habitan sobre la plataforma continental y algunos de la zona media y profunda de la misma, están comprendidos en este clave, pero aún especies de las divisiones meso y batipelágica y de los pisos arquibéntónico y batial, que serán incluidos posteriormente, lo que aumentará significativamente la composición ictiológica del mar del Perú.

El sistema experto desarrollado, nos sirve para identificar una especie de pez marino y además puede determinar la biomasa explotable. Para la representación de la información que se encuentra almacenada en la *Clave para Identificar los Peces Marinos del Perú*, en la cual se han utilizado diferentes formas de representación del conocimiento, entre las que se cuentan: árboles de decisión, redes semánticas y mapas mentales, para después traducirlo a un lenguaje de programación lógica y a un Shell.

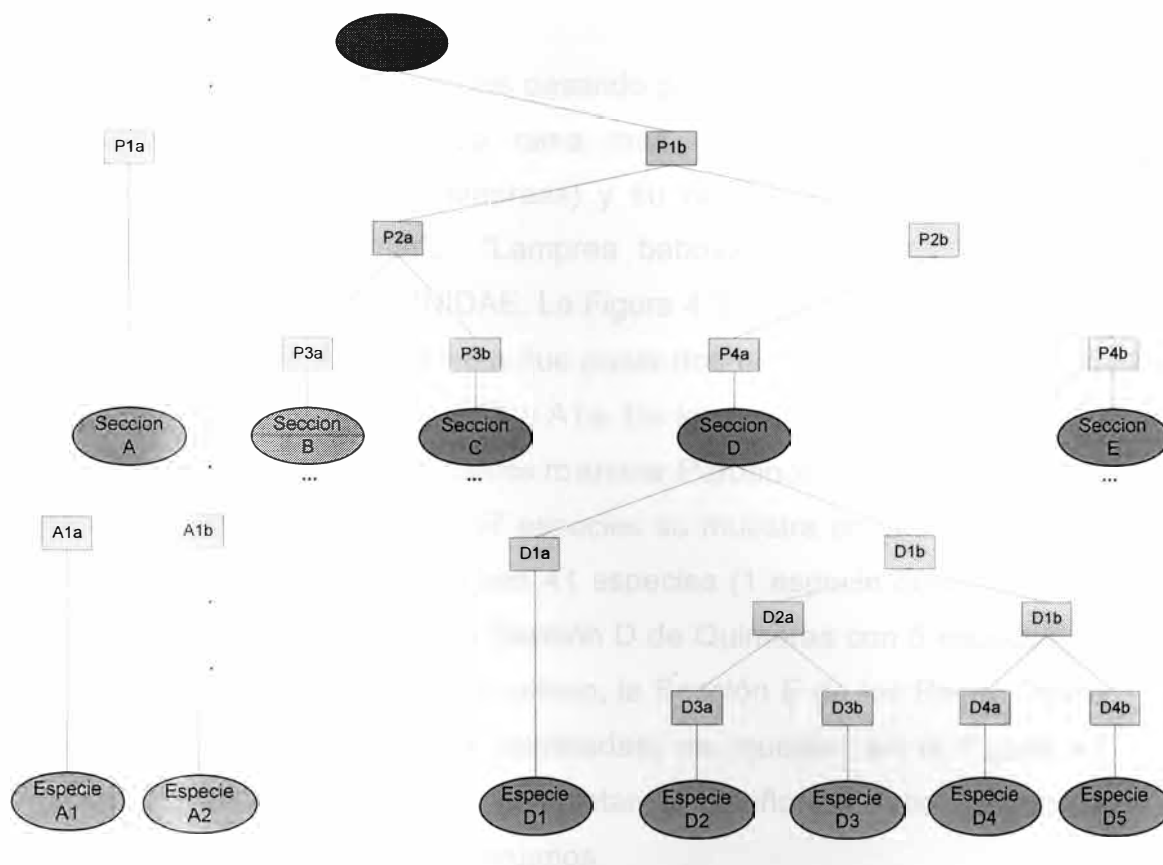
El modelo puede ser visto a través de tres niveles. En el nivel más alto los peces marinos, en el nivel medio las 5 secciones de peces y en el nivel más bajo 673 especies. La distribución por secciones es: A (Lampreas) 2 especies, B(Tiburones) 57 especies, C(Rayas) 41 especies, C(Quimeras) 5 especies y E(Peces Óseos) 583 especies. En la Figura 4.1 las fronteras de un bloque se parecen un tanto a una membrana celular o a los límites de un país: establecen identidad separada para el conjunto de dentro. De acuerdo al contexto, se prescindirá de la estructura interna del bloque, o bien se la tomará en consideración.



**Figura 4.1. Modelo de bloques de Peces Marinos Peruanos**

Una clave para la comprensión y la creación de Sistemas Expertos reside en el desarrollo y refinamiento constantes de los lenguajes encargados de describir los procesos de manipulación simbólica. La Figura 4.1 muestra que para crear programas inteligentes, es necesario construir una serie de niveles de bloques, a fin de ir hacia el nivel más bajo es necesario cumplir con requisitos en distintos niveles de un mismo. Estos están codificados de

la manera siguiente: **C15a**, de la cual **C** corresponde a la Sección Rayas, **15** es su número de carácter morfológico y **a** corresponde a su alternativa, todos estos datos han sido tomados de la **Clave para identificar los peces marinos Peruanos [Chirichigno, 1998]**. La Figura 4.2 muestra la raíz pez, el primer nivel "sección" y el segundo nivel "especie" con sus respectivos caracteres morfológicos codificados.



**Figura 4.2. Árbol mostrando especies de secciones A y D.**

Es necesario señalar que los nodos rectangulares corresponden a características morfológicas, los cuales tienen sus respectivos niveles así por ejemplo los nodos:

**P1a** Boca sin mandíbulas, con un disco succionador a manera de ventosa, rodeado de barbos y con pequeñas placas

corneas a manera de dientes; sin aletas pectorales y pélvicas; ojos no visibles externamente.

**D3b** Margen de la 2da aleta dorsal anteriormente convexa, luego desciende haciéndose recta; cabeza 5,0 veces en la longitud hasta el origen superior de la caudal; ojo menos de 4,5 veces en la cabeza; filamento largo, 2 veces la longitud de la cabecera.

El objetivo es llegar a las especies pasando por cada uno de los niveles de características morfológicas. La rama más corta es Especie A1, que corresponde a la Sección A (Lampreas) y su nombre es *Myxine circifrons Garman*, "Lamprea de mar", "Lamprea babosa", "Whiteface hagfish" y pertenece a la Familia. MYXINIDAE. La Figura 4.2 muestra que para llegar a identificar la Especie A1, se tienen que pasar dos niveles que corresponden a los caracteres morfológicos PA1 y A1a. De igual manera se ha procedido a identificar 673 especies de peces marinos Peruanos. La Sección B que corresponde a tiburones tienen 57 especies se muestra en la Figura 4.4, la Sección C de las Rayas cuenta con 41 especies (1 especie duplicada) que se muestran en la Figura 4.5. La Sección D de Quimeras con 5 especies es mostrada en la Figura 4.2. Y, por último, la Sección E de los Peces Óseos con 583 especies (14 especies duplicadas) se muestra en la Figura A1 (Anexo). Todas estas secciones completan el diseño del Árbol binario de identificación de peces marinos peruanos.

El Sistema Experto para el sector pesca consta de 4 Módulos:

**MODULO PROGRAMACIÓN CLIPS.** El objetivo es identificar la especie marina peruana, conociendo sus caracteres morfológicos. Se parte desde la raíz y mediante preguntas el sistema avanza al siguiente nivel, concluyendo al llegar a reconocer la especie. Es importante señalar que este sistema aprende nuevas características morfológicas y nuevas especies. Se emplean las Figuras 4.2, 4.4, 4.5 y Figura A1.

**MODULO PROGRAMACIÓN LOGICA.** Se usan los árboles de las Figuras 4.2, 4.4, 4.5 y Figura A1, para codificarlos en Swi-Prolog y Visual-Prolog para obtener un programa que recorra cada una de las ramas, mostrando los caracteres morfológicos codificados y, al final la especie. Es necesario conocer el código de la especie o su nombre científico, y el sistema muestra el recorrido desde la raíz.

**MODULO BASE DE DATOS.** Se emplea la información del *Catálogo comentado de los Peces marinos del Perú*, que contiene 1070 especies [CHIRICHIGNO, 2001]. Se ha diseñado un modelo Entidad-Relación para el registro de especies ícticas.

**MODULO STELLA.** Muestra la interacción entre la población de peces y la Empresas Pesqueras. Conforme la población de peces disminuye, sus barcos de pesca comienzan a generar ganancias cada vez más pequeñas. La reacción natural a esto es aumentar su flota pesquera para intentar mantener las mismas ganancias netas. Incluso si se han dado cuenta del peligro de sobrepesca en la zona, no existen garantías acerca de que sus competidores también perciban el mismo hecho. Los beneficios individuales a corto plazo motivan a muchas empresas pesqueras, con escasa preocupación de los recursos que explotan. En la medida en que esto es así, las empresas sobreexplotarán el recurso y lo destruirán o disminuirán de forma significativa.

## PECES MARINOS PERUANOS

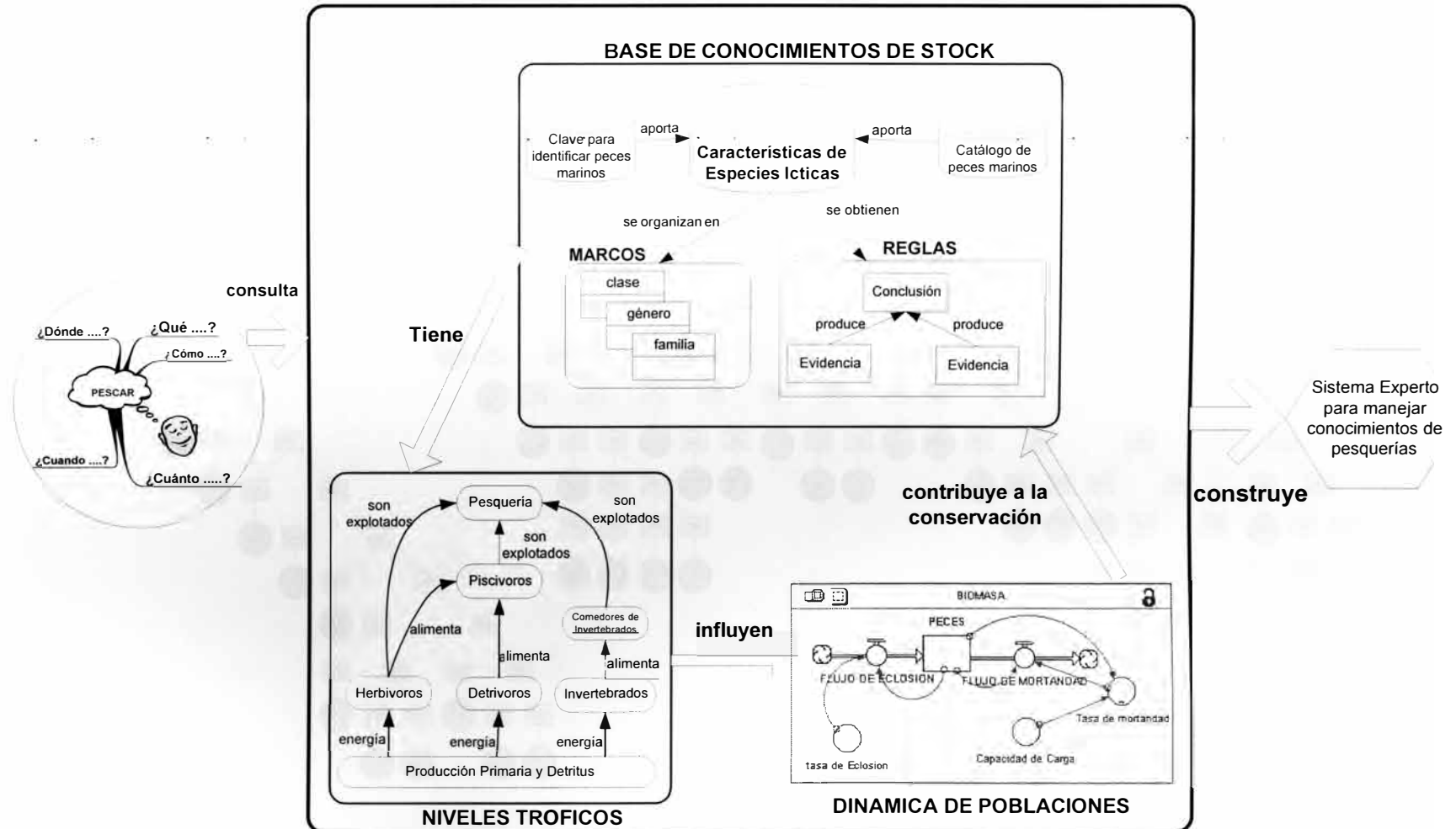
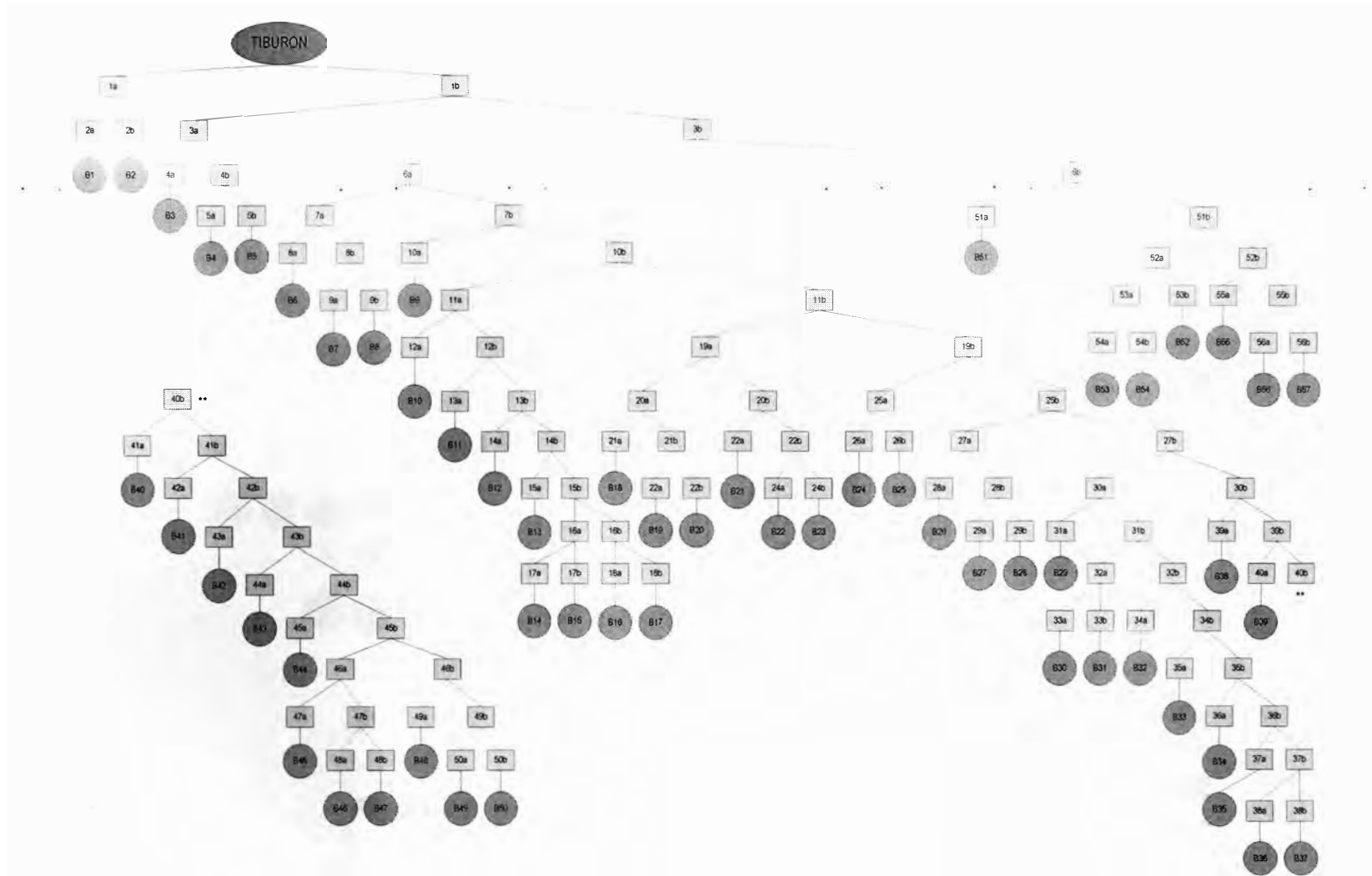
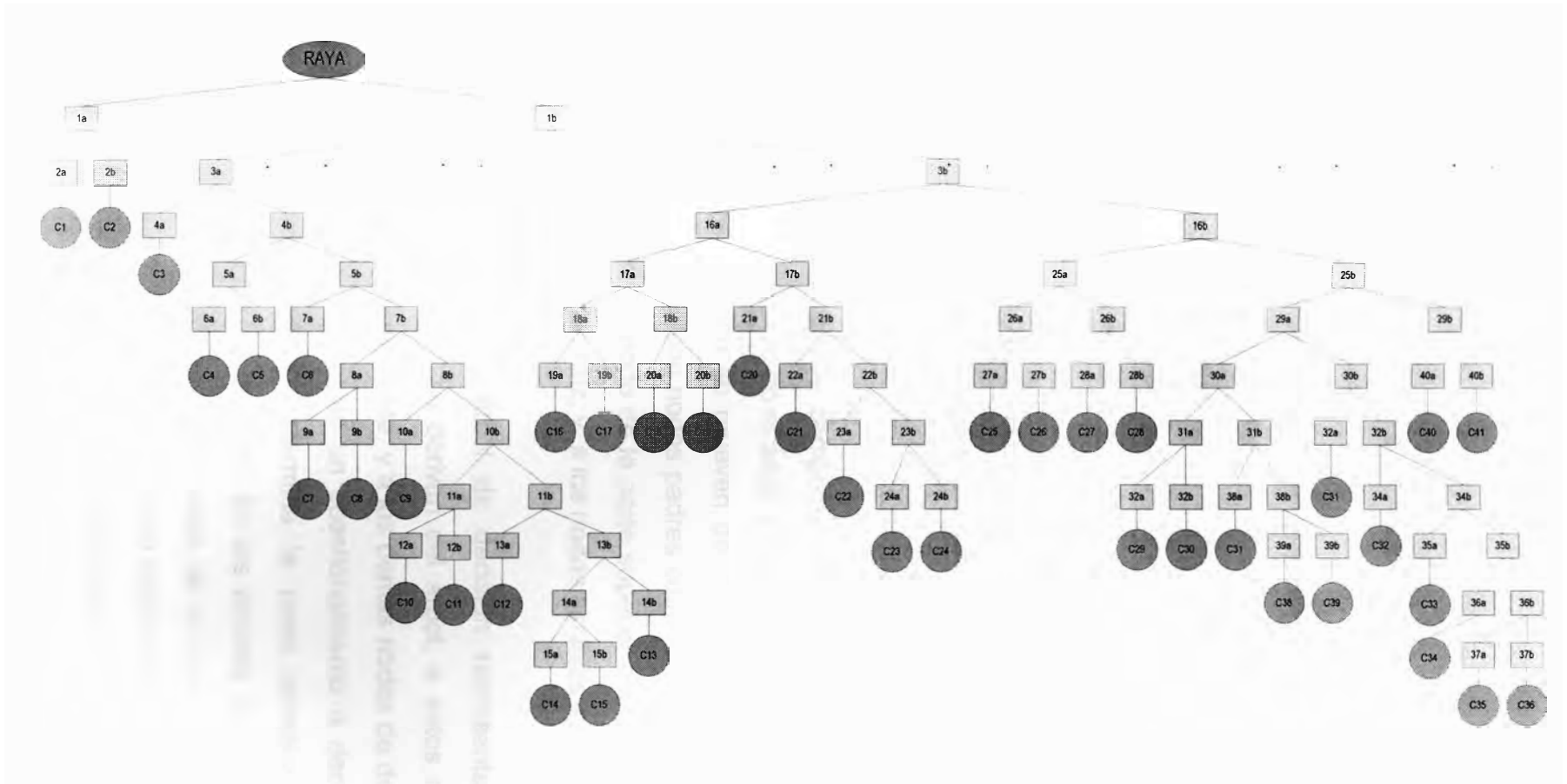


Figura 4.3. Modelo de Peces Marinos Peruanos





**Figura 4.4. Árbol binario mostrando la Sección B de los Tiburones**



**Figura 4.5. Árbol mostrando la Sección C de las Rayas**

#### **4.1. MODULO CLIPS**

El Modulo muestra la manera en que se puede emular el paradigma de la representación del conocimiento empleando CLIPS, el cual expresa la forma en que se pueden representar los árboles de decisión. Una característica útil de los árboles de decisión es que pueden realizar un autoaprendizaje. Si la suposición es errónea, puede llamarse a un procedimiento para pedir al usuario una nueva pregunta de clasificación correcta y las respuestas a las opciones "si" y "no". Deben crearse dinámicamente nuevos nodos y hojas y añadirse al árbol. Con la herramienta CLIPS para sistemas expertos, pueden construirse automáticamente nuevas reglas mientras el programa aprende nuevo conocimiento.

Un árbol de decisión se compone de nodos y ramas, los nodos representan ubicaciones en el árbol y las ramas conectan nodos padre con nodos hijo cuando se mueven de la parte superior a la base y conectan nodos hijos con nodos padres cuando se mueven de la base a la parte superior; al nodo de la parte superior del árbol, que no tiene padre, se le llama nodo raíz; y, a los nodos sin hijos se les llama hojas.

Los nodos hoja de un árbol de decisión representan todas las soluciones posibles que se derivan del árbol, a estos nodos se les denomina nodos de respuesta, y a los demás nodos de decisión. Cada nodo de decisión representa un cuestionamiento o decisión que, al preguntarse o decidirse, determina la rama apropiada que debe seguirse en el árbol de decisión. En los árboles de decisión simples esta pregunta podría tener respuestas de si o no como ¿Es un Pez Marino Peruano?, la rama izquierda del nodo representa la ruta que se seguiría si la respuesta es si y la rama derecha del nodo representaría la ruta si la respuesta es no.

#### 4.1.1. ÁRBOLES DE DECISIÓN QUE APRENDEN

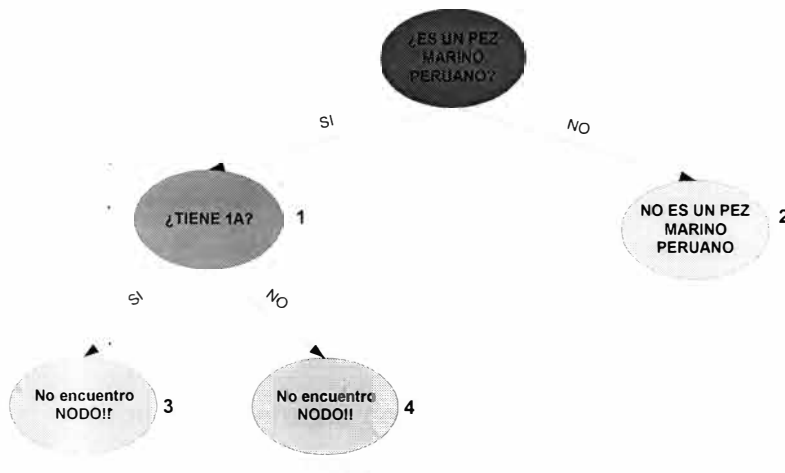
En ocasiones es útil agregar conocimiento nuevo a un árbol de decisión a medida que se aprende. Una vez que el árbol de decisión alcanza una respuesta, pregunta si la respuesta es correcta y, si es así, entonces no se hace nada más; pero si la respuesta es incorrecta, se modifica para ajustarse a la respuesta correcta. El nodo de respuesta se reemplaza con un nodo de decisión que contiene una pregunta que diferenciará entre la respuesta anterior que estaba en el nodo y la respuesta que no se dedujo correctamente.

#### 4.1.2. ARBOL DECISIÓN DE PECES MARINOS PERUANOS

Teniendo esta información de la Clave para identificar peces marinos peruanos construimos los árboles de las Figuras 4.2, 4.4, y Figura A1, podemos iniciar con el programa en Clip adaptado de GUIARRATANO, [2001].

- ◆ Colocamos primero como raíz o cabeza de todo, la pregunta de tipo decisión “**¿ES UN PEZ MARINO PERUANO?**”, lo cual nos generará dos tipos de decisiones las cuales son (**si** o **no**) Ahora:
  - ✓ Si le damos respuesta (**si**) nos llevara al nodo 1, que es un nodo también de tipo decisión, el cual es “**¿Tiene 1A?**”
  - ✓ Si le damos (**no**) nos llevara a un nodo de tipo respuesta la cual será “**NO ES UN PEZ MARINO PERUANO**”.
- ◆ Para el nodo 1 que como decíamos es de tipo decisión también, obviamente se originara los tipos de decisión (**si** o **no**), en este caso si le decimos “**si** o **no**” nos llevara a los nodos 3 y 4 respectivamente los cuales nos darán como resultado “**No encuentro Nodo!!**”.

- ◆ La razón por la cual colocamos **“No encuentro Nodo!!”** es porque la estructura del archivo original no es la misma de la del trabajo que realizaremos, además esos datos serán alimentados y aprendidos por el CLIPS mediante la forma de preguntar que le daremos, lo cual más adelante será mostrado explícitamente.



**Figura 4.6. Árbol de decisión de peces marinos peruanos**

### ARCHIVO DE TEXTO (peces.txt) INICIAL

```

(nodo (nombre raiz)(tipo decision)
  (pregunta "¿Es un Pez Marino Peruano?")
  (nodo-si nodo1)(nodo-no nodo2))
(nodo (nombre nodo1)(tipo decision)
  (pregunta "¿Tiene 1A?")
  (nodo-si nodo3)(nodo-no nodo4))
(nodo (nombre nodo2)(tipo respuesta)(respuesta "No es un pez marino
peruano"))
(nodo (nombre nodo3)(tipo respuesta)(respuesta "No encuentro NODO"))
(nodo (nombre nodo4)(tipo respuesta)(respuesta "No encuentro NODO"))

```

- ◆ Ahora lo alimentaremos con los datos de nuestros nodos para lograr hacer el árbol mostrado anteriormente; esto es lo que inicialmente nos mostrará al preguntarle:

```

CLIPS>(run)
¿Es un Pez Marino Peruano?(si o no)si
¿Tiene 1?(si o no)si
Deduzco que es No encuentro nodo!!
¿Estoy en lo correcto? (si o no) si
¿Intentar otra vez? (si o no) no

```

Alimentaremos el primer nodo de la siguiente manera: (Cada vez que vayamos alimentando o enseñándole a CLIPS el código ira creciendo, generándose nuevos nodos llamados gen1, gen2, gen3, etc.)

- ◆ Cuando nos pregunta si estamos en lo correcto, le respondemos que no, esto hará que nos pida el nuevo nodo y su correspondiente pregunta, esto se hace desplazando un nodo a otro, y para comodidad le damos el mismo nodo que tiene como texto “**no encuentro NODO!!**”, éste se colocará al lado derecho de la pregunta que haremos, el anterior “**no encuentro NODO**” se colocará en el lado inferior de la pregunta, la cual es “Seccion\_A, desea continuar” eso es lo que pasa interiormente, cada pregunta genera dos posibles respuestas, que en este caso son: si digo (**si**), me muestra “**no encuentro NODO!!**”; si digo (**no**) me muestra “**no encuentro NODO!!**”.
- ◆ Ahora lo que alimentamos fue el nodo con el texto “**Seccion\_A**”, así lo haremos para cada nodo hasta llegar a nuestro objetivo.

```

CLIPS> (run)
¿Es un Pez Marino Peruano? (si o no) si
¿Tiene 1A? (si o no) si
Deduzco que es No encuentro NODO
¿Estoy en lo correcto? (si o no) no
¿Cual es el NUEVO NODO? "No encuentro NODO"
Cuál pregunta cuando se responde si distinguirá
  un No encuentro NODO de No encuentro NODO? Seccion_A
Ahora puedo deducir No encuentro NODO
¿Intentar otra vez? (si o no) si
¿Es un Pez Marino Peruano? (si o no) si
¿Tiene 1A? (si o no) si
Seccion_A (si o no) si
Deduzco que es No encuentro NODO
¿Estoy en lo correcto? (si o no) si
¿Intentar otra vez? (si o no) no

```

Archivo de texto (peces.txt) después de aprender, según la Figura 4.7.

```
(nodo (nombre raiz) (tipo decision) (pregunta "¿Es un Pez Marino Peruano?")
  (nodo-si nodo1) (nodo-no nodo2) (respuesta nil))
(nodo (nombre nodo1) (tipo decision) (pregunta "¿Tiene 1A?")
  (nodo-si nodo3) (nodo-no nodo4) (respuesta nil))
(nodo (nombre nodo2) (tipo respuesta) (pregunta nil)
  (nodo-si nil) (nodo-no nil) (respuesta "No es un pez marino peruano"))
(nodo (nombre nodo4) (tipo respuesta) (pregunta nil)
  (nodo-si nil) (nodo-no nil) (respuesta "No encuentro NODO"))
(nodo (nombre nodo3) (tipo decision) (pregunta "Seccion_A")
  (nodo-si gen1) (nodo-no gen2) (respuesta "No encuentro NODO"))
(nodo (nombre gen1) (tipo respuesta) (pregunta nil)
  (nodo-si nil) (nodo-no nil) (respuesta "No encuentro NODO"))
(nodo (nombre gen2) (tipo respuesta) (pregunta nil)
  (nodo-si nil) (nodo-no nil) (respuesta "No encuentro NODO"))
```

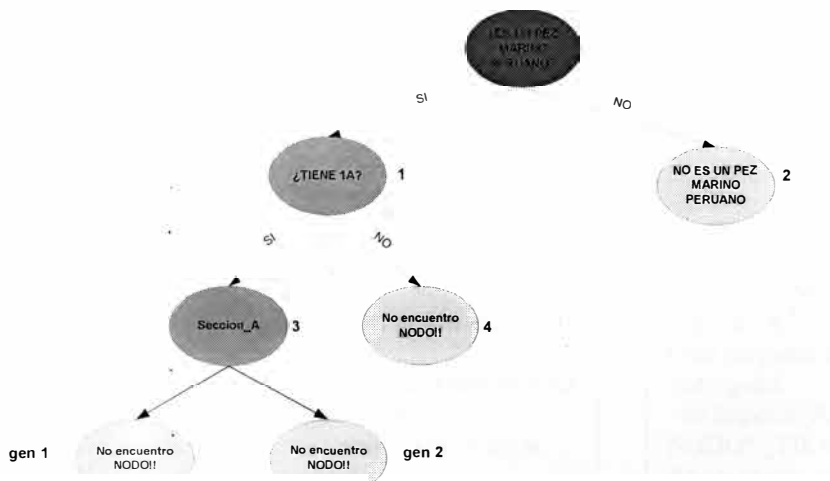


Figura 4.7. Árbol de decisión para identificar Peces marinos peruanos aprendiendo

Seguimos Alimentando desde CLIPS:

- ◆ Ahora como vemos ya nos muestra el nodo “**Seccion\_A**”, eso nos indica que se ha alimentado a un nuevo nodo y que el programa ya empezó a aprender.
- ◆ Cuando le indicamos que queremos seguir por **Seccion\_A**, nos muestra que no encuentra nodo; ahí es donde nos preguntará si está en lo correcto y si deseamos seguir alimentando el programa, le decimos que no.

- ◆ Luego le decimos cual es el nuevo nodo, pero a diferencia del ejemplo anterior colocamos **“Especie A1”** (¿Por qué?).
- ◆ Le colocamos **“Especie A1”** porque como lo explicamos anteriormente el nodo que ingresamos se coloca la lado inferior de la pregunta que formularemos es decir, nos la mostrará cuando le digamos (**si**), el nodo que ha sido reemplazado el cual es **“No encuentro NODO”** se colocará al lado derecho el cual nos mostrará cuando le digamos (**no**). Esto es lógico ya que si nos pregunta **“¿Tiene A1a?”**, le respondemos (**no**), entonces nos dirá que **“no encuentra NODO”** porque sólo reconoce a A1a como hijo de **Seccion\_A**, por lo pronto.

```
CLIPS> (run)
¿Es un Pez Marino Peruano? (si o no) si
¿Tiene 1A? (si o no) si
Deduzco que es No encuentro NODO
¿Estoy en lo correcto? (si o no) no
¿Cual es el NUEVO NODO? "No
encuentro NODO"
Cuál pregunta cuando se responde si
distinguirá
  un No encuentro NODO de No encuentro
NODO? Seccion_A
Ahora puedo deducir No encuentro NODO
¿Intentar otra vez? (si o no) si
¿Es un Pez Marino Peruano? (si o no) si
¿Tiene 1A? (si o no) si
Seccion_A (si o no) si
Deduzco que es No encuentro NODO
¿Estoy en lo correcto? (si o no) si
¿Intentar otra vez? (si o no) no
```

```
CLIPS> (reset)
CLIPS> (run)
¿Es un Pez Marino Peruano? (si o no)
si
¿Tiene 1A? (si o no) si
Seccion_A (si o no) si
Deduzco que es No encuentro NODO
¿Estoy en lo correcto? (si o no) no
¿Cual es el NUEVO NODO?
Especie_A1
Cuál pregunta cuando se responde si
distinguirá
  un Especie_A1 de No encuentro
NODO? ¿TIENE A1a?
Ahora puedo deducir Especie_A1
¿Intentar otra vez? (si o no) si
¿Es un Pez Marino Peruano? (si o no)
si
¿Tiene 1A? (si o no) si
Seccion_A (si o no) si
¿TIENE A1a? (si o no) no
Deduzco que es No encuentro NODO
¿Estoy en lo correcto? (si o no) no
¿Cual es el NUEVO NODO?
Especie_A2
¿Intentar otra vez? (si o no) no
```



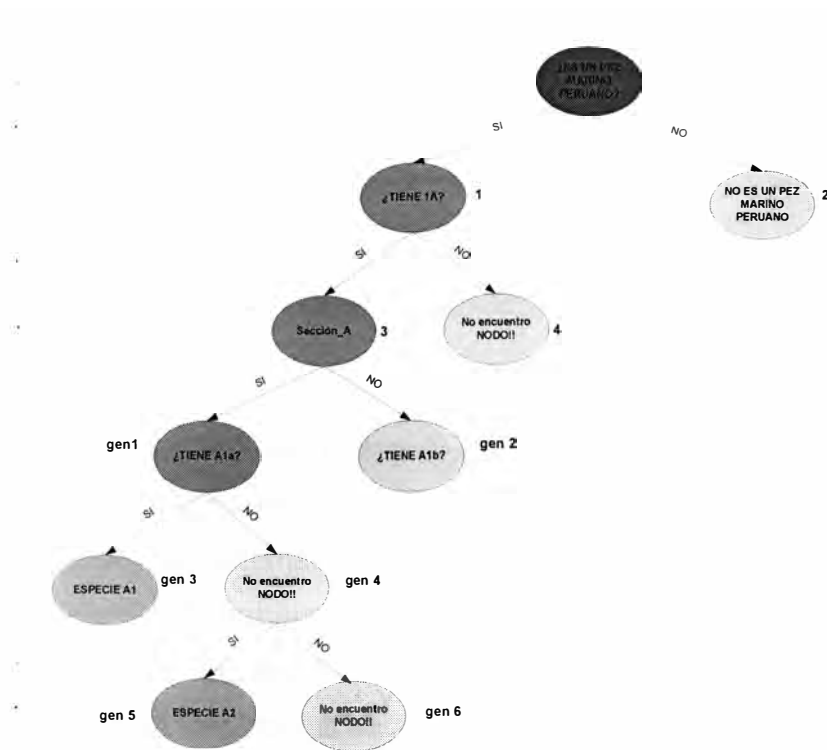


Figura 4.8. Arbol de decisión para identificar dos especies de Peces marinos peruanos

Archivo de texto (peces.txt) después de aprender, según la Figura 4.8

- (nodo (nombre **raiz**) (tipo decision) (pregunta "¿Es un Pez Marino Peruano?") (nodo-si nodo1) (nodo-no nodo2) (respuesta nil))
- (nodo (nombre **nodo1**) (tipo decision) (pregunta "¿Tiene 1A?") (nodo-si nodo3) (nodo-no nodo4) (respuesta nil))
- (nodo (nombre **nodo2**) (tipo respuesta) (pregunta nil) (nodo-si nil) (nodo-no nil) (respuesta "No es un pez marino peruano"))
- (nodo (nombre **nodo4**) (tipo respuesta) (pregunta nil) (nodo-si nil) (nodo-no nil) (respuesta "No encuentro NODO"))
- (nodo (nombre **nodo3**) (tipo decision) (pregunta "Seccion\_A") (nodo-si gen1) (nodo-no gen2) (respuesta "No encuentro NODO"))
- (nodo (nombre **gen2**) (tipo respuesta) (pregunta nil) (nodo-si nil) (nodo-no nil) (respuesta "No encuentro NODO"))
- (nodo (nombre **gen1**) (tipo decision) (pregunta "¿TIENE A1a?") (nodo-si gen3) (nodo-no gen4) (respuesta "No encuentro NODO"))
- (nodo (nombre **gen3**) (tipo respuesta) (pregunta nil) (nodo-si nil) (nodo-no nil) (respuesta Especie\_A1))
- (nodo (nombre **gen4**) (tipo decision) (pregunta "¿TIENE A1b?") (nodo-si gen5) (nodo-no gen6) (respuesta "No encuentro NODO"))
- (nodo (nombre **gen5**) (tipo respuesta) (pregunta nil) (nodo-si nil) (nodo-no nil) (respuesta Especie\_A2))
- (nodo (nombre **gen6**) (tipo respuesta) (pregunta nil) (nodo-si nil) (nodo-no nil) (respuesta "No encuentro NODO"))

## 6.2. MODULO PROGRAMACIÓN LOGICA

El presente Modulo del Sistema Experto está desarrollado en las Máquinas Prolog: SWI-Prolog y Visual-Prolog. El trabajo consiste en hacer posible que el programa responda de acuerdo a las consultas que se le haga.

### 6.2.1. SWI-PROLOG

El modulo a desarrollado, es acerca de una Clase llamada "PECES", la cual contiene 5 secciones y cada sección agrupa un determinado número de especies, además tanto las secciones como las especies tienen propiedades. El trabajo es hacer que se relacionen las secciones con su respectivas especies, para que estas últimas hereden las propiedades de sus respectivas secciones.

#### 1) BASE DE HECHOS

Para lograr su codificación en SWI-Prolog ingresaremos las siguientes hechos:

- Primero declararemos el vínculo de las características morfológicas P1a y P1b con la raíz PEZ.

```
subclase_de(p1a,pez).
subclase_de(p1b,pez).
```

- De la misma manera vamos descendiendo en la red semántica y conectamos P1a y P1b con sus correspondientes nodos, hasta llegar a las secciones A, B, C, D y E.

```
subclase_de(seccionA,p1a).
subclase_de(p2a,p1b).
subclase_de(p2b,p1b).
subclase_de(p3a,p2a).
subclase_de(p3b,p2a).
subclase_de(p4a,p2b).
subclase_de(p4b,p2b).
subclase_de(seccionB,p3a).
subclase_de(seccionC,p3b).
subclase_de(seccionD,p4a).
subclase_de(seccionE,p4b).
```

- Ampliamos las características morfológicas hasta su conexión con las respectivas secciones

## SECCION A

subclase\_de(a1a,seccionA).  
subclase\_de(a1b,seccionA).

## SECCION D

subclase\_de(d1a,seccionD).  
subclase\_de(d1b,seccionD).  
subclase\_de(d2a,d1b).  
subclase\_de(d2b,d1b).  
subclase\_de(d3a,d2a).  
subclase\_de(d3b,d2a).  
subclase\_de(d4a,d2b).  
subclase\_de(d4b,d2b).

- Ahora declararemos las instancias de clase u objetos a los cuales corresponden las especies ícticas marinas peruanas, conectados con su característica morfológica.

## SECCIÓN A:

instancia\_de(a1,a1a).  
instancia\_de(a2,a1b).

## SECCIÓN D:

instancia\_de(d1,d1a).  
instancia\_de(d2,d3a).  
instancia\_de(d3,d3b).  
instancia\_de(d4,d4a).  
instancia\_de(d5,d4b).

## 2) REGLAS

En SWI-Prolog el programador tiene que definir objetos y relaciones, luego define reglas para que las relaciones sean verdaderas. Son estas reglas las bases del programa las que explicaré a continuación, basado en la estructura del árbol (Ver Figura 4.2) mostrado de la siguiente forma:

### REGLA 1:

*es(Clase,Obj):-instancia\_de(Obj,Clase).*  
*es(Clase,Obj):-instancia\_de(Obj,Clasep),*  
*descendientes(Clasep,Clase).*

Esta regla nos servirá para determinar las últimas hojas del árbol y también, para visualizar el camino desde la raíz hasta esta

última hoja. Funciona, primero verificando si un objeto determinado es la instancia de una clase inmediata; si queremos la instancia de un nodo que no es inmediato a ésta entonces tendremos que llamar a una función dentro de la misma regla, esta función será la de descendientes. Esto se ejecutará de dos formas de acuerdo al dato que le estemos pidiendo al computador.

Ejemplos:

- Quiero visualizar todas las instancias del Peces marinos peruanos.

**es(pez,X).**

**Rpta.: X=a1, X=a2, X=d1,  
X=d2, X=d3, X=d4, X=d5.**

- Quiero todas las clases de las cuales desciende la instancia a1.

**es(X,a1).**

**Rpta.: X=a1a, X=seccionA, X=p1a, X=pez.**

## **REGLA 2:**

***descendientes(C1,C2):-subclase\_de(C1,C2).***

***descendientes(C1,C2):-subclase\_de(C1,C3),***

***descendientes(C3,C2);es(C2,C1).***

Esta regla servirá para determinar todos los descendientes desde cualquier nodo hasta el final. Primero, determinamos de que subclase proviene, si queremos una búsqueda en profundidad volvemos recursiva la función para que se siga originando el recorrido; es decir, volvemos a llamar a la función **descendientes()**.

Ejemplo:

- X son los descendientes de p1a. Visualizará las subclases a las cuales pertenece d3a.

**descendientes(X, p1a).**

**Rpta.: X=seccionA, X=a1a, X=a1b, X=a1, X=a2.**

**REGLA 3:**

***ancestros(C2,C1):- subclase\_de(C1,C2).***

***ancestros(C2,C1):-subclase\_de(C1,C3),***

***ancestros(C2,C3);es(C2,C1).***

Esta regla va a trabajar de forma contraria a la anterior, va a determinar todos los ancestros de los cuales ha descendido el nodo determinado. Al igual que el anterior verifica de que subclase proviene determinado nodo, y si queremos un recorrido hasta la raíz volvemos a llamar a la función **ancestros()**.

Ejemplo:

- X son los ancestros de d3a. Me visualizará todos los ancestros de la instancia.

***ancestros(X,d3a).***

**Rpta.: X=d2a, X=d1b, X=seccionD, X=p4a, X=p2b, X=p1b,**

**X=pez.**

**REGLA 4:**

***hermano(A1,A2):- subclase\_de(A1,Z),***

***subclase\_de(A2,Z),A1\=A2.***

Esta regla va a determinar el hermano del nodo que estemos ingresando. Recordemos que este es un árbol binario así que cada nodo va a tener un único hermano a excepción de las instancias.

Ejemplo:

- X es el hermano de p1b. Me visualizará el nodo p1a que sería el hermano de esta subclase.

***hermano(X, p1b).***

**Rpta.: X=p1a.**

**REGLA 5:**

***hijosm(C2,C1):-declaracion(N),nl,es(C1,C2).***

Es básicamente la regla 1, trabaja de la misma forma; es decir, visualiza las instancias de PEZ o de cualquier nodo, y los ancestros de las mismas.

Ejemplo:

- X son todos los hijos menores de la seccionD. Visualizará todas las instancias de esta subclase.

**hijosm(X,seccionD).**

**Rpta.: X=d1, X=d2, X=d3, X=d4, X=d5.**

### **REGLA 6:**

***hijosb(C2,C1):-descendientes(C2,C1),not(es(C1,C2)).***

Esta función nos va a permitir visualizar todos los hijos desde la raíz hasta el nodo específico sin reconocer a las instancias; toma en cuenta sólo las subclases.

Ejemplo:

- X son las subclases de seccionD. Visualizará sólo las subclases descendientes de esta subclase sin tomar en cuenta las instancias.

**hijosb(X, seccionD).**

**Rpta.: X=d1a, X=d1b, X=d2a, X=d2b, X=d3a, X=d3b, X=d4a, X=d4b.**

### **REGLA 7:**

***estan\_entre(C1,C3,C2):-descendientes(C3,C1),hijos(C2,C3);  
descendientes(C1,C3),hijos(C3,C2).***

Esta función va a visualizar el recorrido desde cualquier nodo así sea instancia hasta otra nodo del mismo lado. Nos muestra los nodos entre nodos pero en profundidad. Para hacer un recorrido a lo ancho se necesitará aplicar la regla dos veces.

Ejemplo:

X está entre especie1 y el nodo raíz PEZ. Visualizará los nodos comprendidos entre estas subclases.

**estan entre(a1,X,pez).**

**Rpta.: X=a1a, X=seccionA, X=p1a.**

### **REGLA 8:**

Existen una serie de clases que forman parte de la seccionE, y que son llamadas **fam**, son propias de la seccionE, así que genera unas nuevas cláusulas llamadas familias.

Ejemplo:

**Mostrar todas las familias de la seccionE.**

familia(X,\_).

Rpta.: X = fam1 ; X = fam2 ; X = fam3 ; X = fam4 ; X = fam5 ;

X = fam6 ; X = fam7 ; X = fam8 ; X = fam9 ; X = fam10 ;

### **REGLA 9:**

Al igual que existen una serie de familias que son propias de la seccione, existe también una serie de géneros llamados gen que es una clase.

Ejemplo:

Mostrar los géneros de la seccione.

**generos(X,\_).**

**Rpta.: X = gen1 ;**

### **REGLA 10:**

Se analizaron todas las especies y se encontró nombres repetidos, para evitar la duplicidad se implementó esta regla. Lo que se hace ahora es cambiar una serie de instancias, que son las siguientes: c15 por c8, e563 por e14, e63 por e31, e65 por e33, e66 por e34, e268 por e265, e271 por e266, e326 por e280, e327 por e279, e328 por e255, e561 por e347, e559 por e367, e560 por e348, e207 por e201.

El problema sería que al pedir los ancestros de cada una de las nuevas instancias, como van a existir dos con el mismo nombre lo que va a hacer el programa es intercalar los ancestros de cada uno de ellos, entonces para diferenciarlos haremos lo siguiente: c15 por c8\_1, e563 por e14\_1, e63 por e31\_1, e65 por e33\_1, e66 por e34\_1, e268 por e265\_1, e271 por e266\_1, e326 por e280\_1, e327 por e279\_1, e328 por e255\_1, e561 por e347\_1, e559 por e367\_1, e560 por e348\_1, e207 por e201\_1. De esta forma se van a poder diferenciar.

### 6.2.2. VISUAL PROLOG

Visual Prolog, no es un programa donde damos sólo damos una secuencia de instrucciones, sino que exige un conjunto de hechos y reglas que nos permiten tener conclusiones mediante los PREDICATES (es la forma general que tomaran los hechos en los clauses), CLAUSES (argumentos o hechos y sobre los cuales la relación actúa), GOAL (éstas vienen a ser las preguntas que haremos de acuerdo a las reglas establecidas en los clauses). En esta ocasión tomando sólo en cuenta una parte del programa realizado se dará una explicación breve de las reglas.

#### Primera Regla:

*raiz\_de(X,Y):-instancia\_de(Y,X).*

*raiz\_de(X,Y):-instancia\_de(Y,Z),subc(Z,X).*

Esta regla es muy completa ya que nos servirá para muchos tipos de preguntas que queramos realizar. Nos muestra de forma ascendente todos los antecesores de un determinado dato que le damos, de la forma siguiente:

Ejemplo:

Deseo determinar los antecesores de la instancia a2.

*raiz\_de(X,a2).*



Además, también nos muestra sólo la instancia perteneciente a un nodo dado cualquiera, de la siguiente manera:

Ejemplo:

Deseo determinar sólo las instancias del nodo **a1a**.

**raiz\_de(a1a,X).**

### **Segunda Regla:**

**subc(A,B):-condicion\_de(A,B).**

**subc(A,B):-condicion\_de(A,C),subc(C,B);raiz\_de(B,A).**

Esta regla hace posible que podamos listar todos los descendientes de una determinada variable incluyendo las instancias. Mediante el llamado de la función que nos muestra sólo las instancias, las cual veremos más adelante, se mostrará la forma de preguntar para que nos indique lo que realmente buscamos.

Ejemplo:

Deseo que muestre los hijos o descendientes del Peces.

**subc(X,seccionA).**

### **Tercera Regla:**

**hermanos(A,B):-condicion\_de(A,C),condicion\_de(B,C),A<>B,**

**write(A),write(" es hermano de "),write(B),nl.**

Esta regla nos permite conocer cuál es el hermano de cierto nodo dado en la pregunta. Al decir hermanos deducimos que tienen el mismo padre o un mismo nodo los origina; además, podemos decir que en cierto modo tienen mucho en común, por eso lo llamamos "nodo hermano". Cuando preguntamos lo podemos hacer de la siguiente manera:

Ejemplo:

Cuando queremos conocer cuales el hermano de a1a.

**hermanos(a1a,Y).**

**Cuarta Regla:**

**$des\_asc(C1, C3, C2) :- subc(C3, C1), subc(C2, C3);$   
 $subc(C1, C3), subc(C3, C2).$**

Esta regla nos mostrará el camino de forma ascendente o descendente, según la forma en que le preguntemos.

Ejemplo:

- Si queremos conocer el camino desde Pez a una instancia a1, lo haremos de la siguiente manera:

**$des\_asc(pez, X, a1).$**

- Si queremos conocer el camino desde la instancia e93 al Pez, lo haremos de la siguiente manera:

**$des\_asc(A1, X, pez).$**

En la Figura 4.2 se podrá entender mucho mejor como funciona el programa realizado, pero, teniendo en cuenta que se ha usado sólo la Sección A.

**6.3. MODULO BASE DE DATOS.**

Base de datos es una colección de datos organizada para dar servicio eficiente a muchas aplicaciones, al centralizar los datos y minimizar aquellos que son redundantes. En vez de ubicar los datos en archivos separados para cada aplicación, los datos son almacenados físicamente para aparecer a los usuarios como si estuvieran depositados en una sola ubicación.

Muchas de las técnicas que se han desarrollado para la gestión de base de datos son aplicables a la gestión de base de conocimientos. El progreso en el diseño de los sistemas de base de conocimiento se esta beneficiando enormemente de una integración de conceptos y técnicas que han evolucionado en las disciplinas de bases de datos, lógica formal y trabajo con sistemas expertos. Se han desarrollado técnicas de bases de

datos para acomodar el acceso de multiusuarios a volúmenes grandes de hechos sencillos con formato uniforme. Las lógicas formales permiten expresarse y razonar con declaraciones más generales, así como con hechos sencillos. El trabajo con sistemas expertos ha proporcionado técnicas para tratar con el conocimiento incierto.

Un sistema de información eficaz proporciona a los usuarios información oportuna, precisa e importante. Esta información se almacena en archivos de computadora. Cuando los archivos están adecuadamente ordenados y mantenidos, los usuarios pueden acceder y recuperar fácilmente información que requieren. Un *Sistema de Administración de Bases de Datos* (SABD) es el software que permite que una institución centralice sus datos, los administre eficientemente y proporcione acceso a los datos almacenados mediante programas de aplicación. Se requiere mucho más para el desarrollo de sistemas de bases de datos que seleccionar un modelo de datos. La base de datos es una disciplina organizacional, un método, más que una herramienta o una tecnología. Requiere de cambio conceptual y organizacional.

Con la información tomada del **Catálogo de peces marinos peruanos** [CHIRICHIGNO, 2001] almacenada en una base de datos, los usuarios pueden acceder a la información que necesitan de los peces marinos peruanos; y, a su vez, actualizar la información. Para crear la Base de datos se procedió a diseñar las tablas en Microsoft Access, teniendo en cuenta el modelo de la Figura 4.10 donde se muestra el modelo entidad-relación y posteriormente se procedió a crear una interfaz de usuario en PowerBuilder.

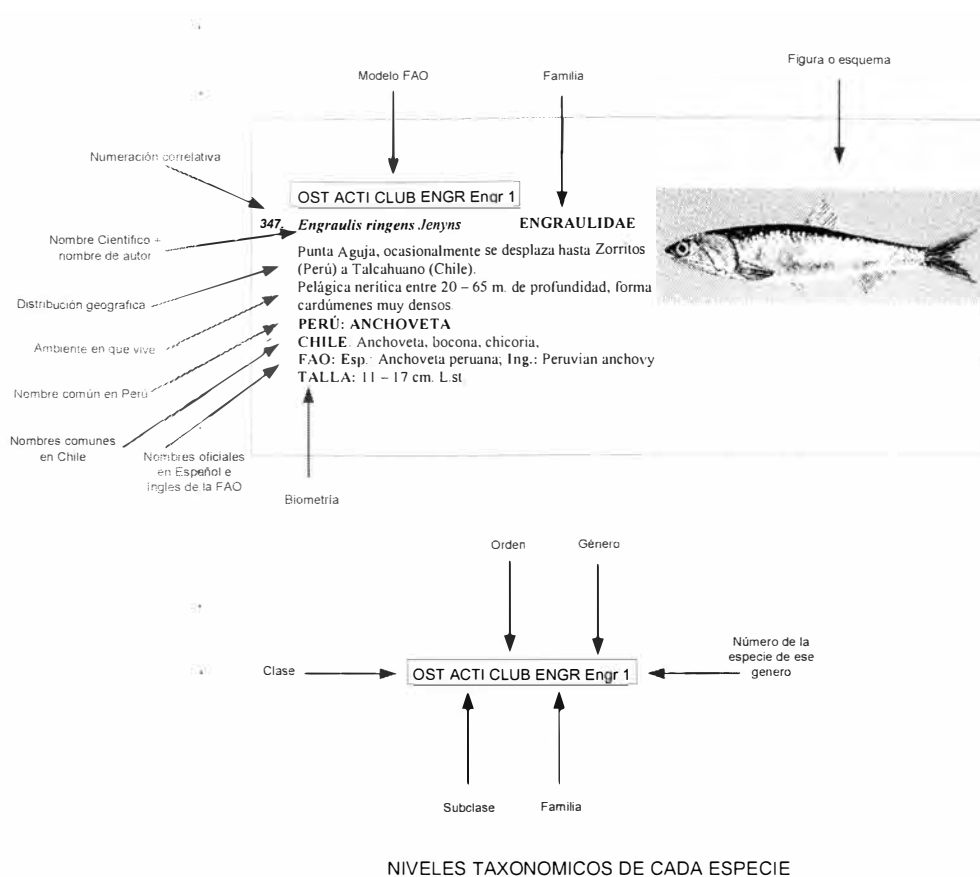


Figura 4.9. Detalle de un Registro de Pez Marino Peruano

A nivel mundial existe una Base de Datos de Peces, que según FROESE [2004] creador de esta base de datos relacional FishBase, que registra 28700 Especies, 204,900 Nombres comunes, 37,400 Imágenes, para la identificación de los peces; con relativamente pocas y simples interacciones, FishBase puede guiar al usuario a una corta lista de especies posibles con las ilustraciones, las características morfológicas, y apuntes a las referencias bibliográficas pertinentes. Como muchas guías de campo, usa los pictogramas para permitir una comparación visual rápida del espécimen a identificar con dibujos generales de los principales grupos de peces.

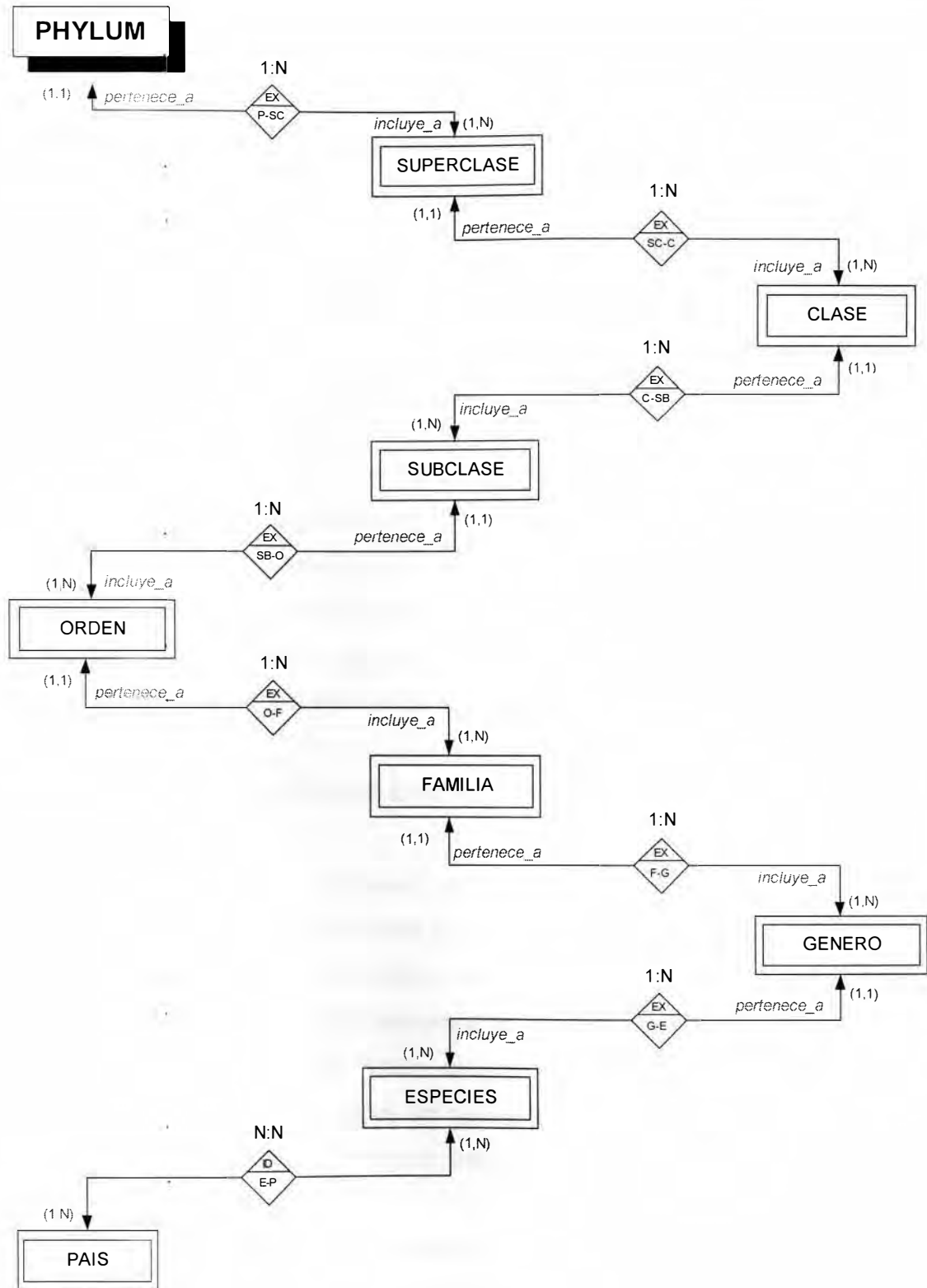


Figura 4.10. DIAGRAMA ENTIDAD-RELACION

#### 4.4. MODULO STELLA

Este Modulo utiliza la dinámica de sistemas, los diagramas de Forrester y el software Stella. El Modulo del sistema dinámico pesquero fue dividido en tres subsistemas. Primero se construyó de forma separada y se observó el comportamiento de cada subsistema. Posteriormente, se combino los tres modelos para generar el modulo.

Los valores numéricos utilizados en este Modulo fueron elegidos para mantener la consistencia y no afectan al comportamiento cualitativo del modelo. Puede ser útil considerar que tales valores representan miles de unidades. Los flujos de eclosión y de mortandad se han ajustado a valores altos de manera que se pueda observar la dinámica de población de peces durante el periodo de simulación. Aunque los valores de estos flujos no son realistas, son consistentes con el resto de variables, no afectando el comportamiento cualitativo del modelo.

##### 4.4.1. MODELIZACION DE LA POBLACION DE PECES.

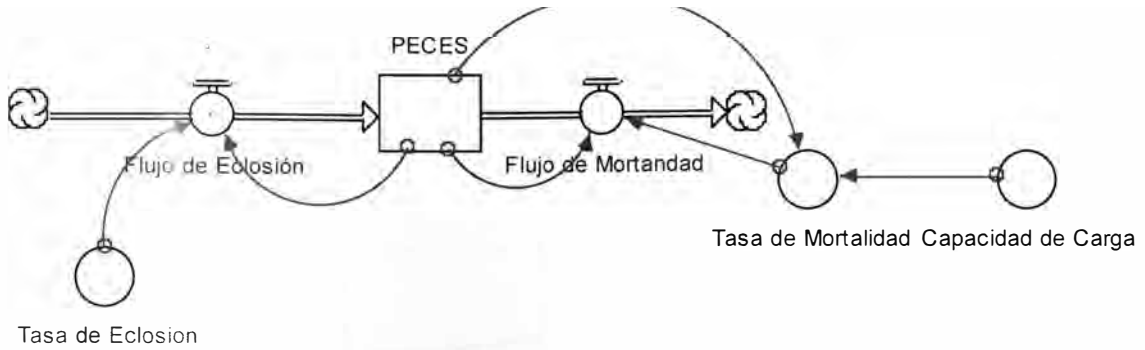
La población de peces es un sistema caracterizado por un crecimiento exponencial. En ausencia de industria pesquera, los peces eclosionan, hasta la madurez, ponen huevos y mueren. El tamaño poblacional permanece de forma natural en equilibrio dinámico con su valor máximo sostenible. Si la población disminuye por razones no naturales, la misma vuelve a su valor de equilibrio exhibiendo un crecimiento de tipo exponencial.

El primer paso en la construcción del modelo es identificar los niveles presentes en el sistema. En el caso del subsistema de la población de peces, el único nivel presente es el tamaño poblacional, denominado *PECES*. Una vez identificado el nivel, se debe reconocer los flujos que los afectan. *Flujo de eclosión* y

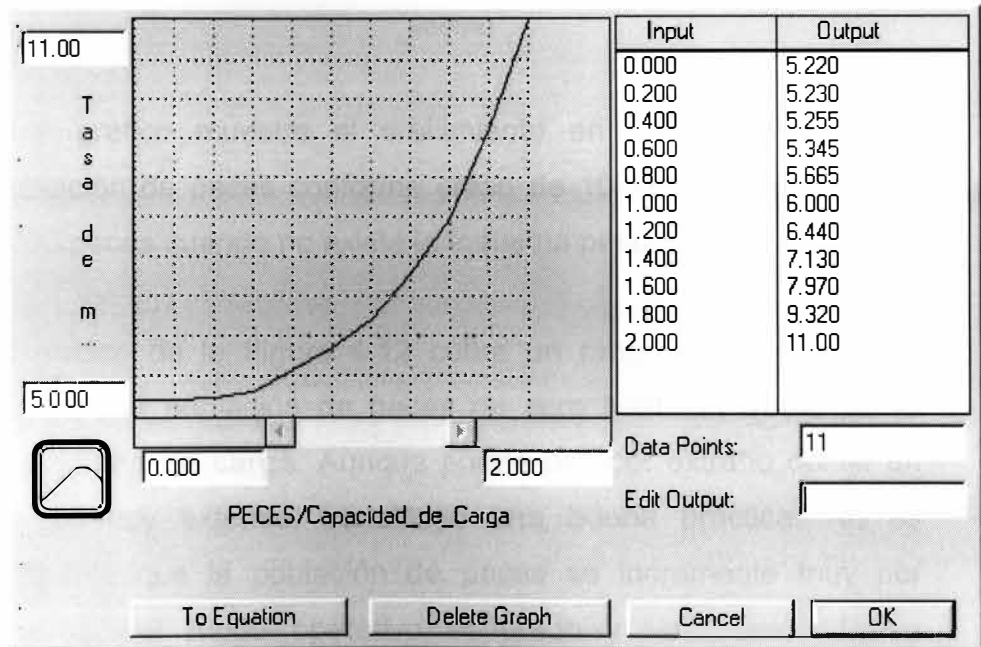
*flujo de mortandad* son los dos flujos que inciden en el tamaño poblacional de los peces. El *flujo de eclosión* es proporcional a *PECES*. Por ejemplo si un pez hembra da lugar a 12 alevinos cada año. Esto significa que si el 50% de la población de peces es hembra, seis nuevos peces eclosionan cada año por cada pez vivo. En otras palabras, el número de peces que eclosionan anualmente por cada miembro de la población de peces, o *Tasa de eclosión* es seis.

El *Flujo de mortandad* no es proporcional al tamaño de la población. La fracción de la población de peces que muere cada año depende del grado de saturación de peces. La *Tasa de mortalidad* aumenta conforme lo hace dicho grado de saturación. Cuando la población de Peces es menor que la *Capacidad de carga* de la zona, la *Tasa de mortalidad* es menor que la *Tasa de eclosión*, de modo que la población aumenta. Conforme la población aumenta y se aproxima a la *Capacidad de carga*, la *Tasa de mortalidad* aumenta y se aproxima al valor de la tasa de eclosión. Cuando la población alcanza la *Capacidad de carga*, la población entra en equilibrio dinámico. Si la población de peces aumenta por encima de la *Capacidad de carga*, la *Tasa de mortalidad* es mayor que la *Tasa de eclosión* y *PECES* disminuye hasta alcanzar su valor de equilibrio. La *Tasa de mortalidad* en este modelo será una función de la fracción existente entre la población de peces, *PECES* y la *Capacidad de carga*.

**CONSTRUCCION DEL MODELO.**



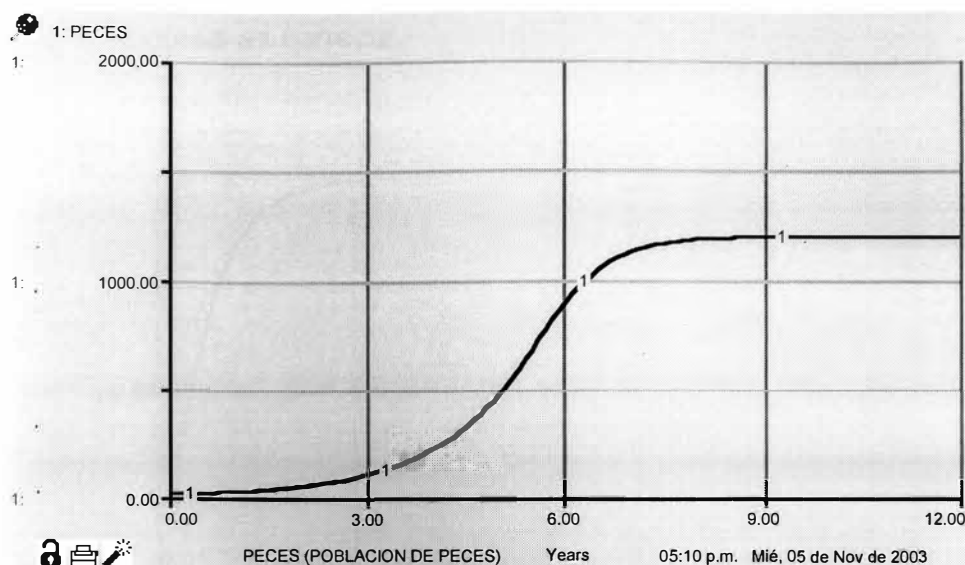
**Figura 4.11. Diagramas Forrester en STELLA 6.01**



**Figura 4.12. Gráfico de la Tasa de Mortalidad**

La Figura anterior muestra el gráfico que define la relación entre Tasa de mortalidad y el factor de saturación de peces ( $PECES/Capacidad\ de\ Carga$ ).



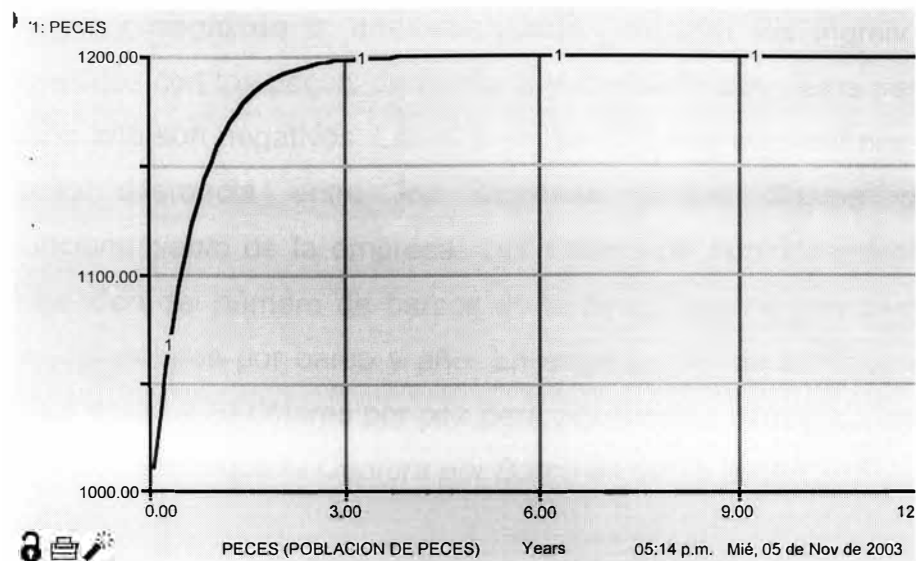


**Figura 4.13. Comportamiento de la Población de peces a lo largo del tiempo**

Este gráfico muestra el crecimiento en forma de S de la población de peces conforme crece de 10 al límite máximo de 1200 peces cuando no existe la industria pesquera.

El gráfico de la Figura 4.12 cubre un rango que se extiende desde una población de peces de cero hasta el **doble de la capacidad de carga**. Aunque puede parecer extraño definir un rango muy extenso, constituye una buena práctica. No es probable que la población de peces se incremente muy por encima del rango operativo esperado y verificar si dichas hipótesis siguen siendo válidas. En este modelo asumimos que la Tasa de mortalidad aumenta rápidamente conforme el número de peces se incrementa por encima de la capacidad de carga. Utilizando STELLA podemos realizar una simulación para comprobar esta hipótesis. Se introduce 1000 peces extra en la zona, el flujo de mortandad aumentará bruscamente y reconducirá rápidamente a la población a su valor de equilibrio

de capacidad máxima. Este comportamiento tiene sentido, por lo que la hipótesis es correcta.



**Figura 4.14. Población de peces al introducir peces extra**

El gráfico muestra el crecimiento de la población de peces al introducir 1000 peces extra en la zona. Se ha completado el modelo de la población de peces tal y como se comporta en ausencia de una industria pesquera.

#### 4.4.2. MODELIZACION DEL SUBSISTEMA BARCOS

Para simplificar, este modelo combinará todas las empresas pesqueras en una sola compañía suma de todas ellas. También se han realizado algunas suposiciones acerca de la estrategia de compra de barcos de las compañías pesqueras.

Cada año la compañía captura peces y reinvierte el 20% de sus *Ganancias Anuales* en comprar más *BARCOS* a 300 dólares cada uno. El *Flujo de Construcción de Barcos* es el número de barcos que la empresa puede construir con el porcentaje indicado de *Ganancias Anuales* reinvertido en dicha

construcción. La empresa empezará con 10 *BARCOS* y aumentará su flota mientras las *ganancias anuales* sean positivas. Si la *Captura por barco* es baja, los *Costes de Funcionamiento* de la empresa pueden exceder los ingresos obtenidos con los peces, de modo que los beneficios netos para dicho año son negativos. Las *Ganancias Anuales* se determinan como diferencia entre los *Ingresos* y los *Costes de Funcionamiento* de la empresa. Los *Costes de Funcionamiento* dependen del número de barcos de la flota. Suponen un coste de 250 dólares por barco y año. La empresa vende la *Captura Total Anual* a 20 dólares por pez para generar los Ingresos. Este modelo asume que la *Captura por Barco* es de 15 peces.

Dos bucles de retroalimentación afectan al nivel de *BARCOS*. La relación entre *BARCOS* e *Ingresos* genera el primer bucle: pescar con más barcos conduce a una mayor *Captura Total Anual* que a su vez supone mayores *Ingresos* y mayores *Ganancias Anuales*. El aumento de las *Ganancias Anuales* supone un aumento en la cantidad de dinero reinvertida en la compra de más barcos. Este es un bucle de retroalimentación positiva.

La relación entre el número de *BARCOS* y los *Costes de Funcionamiento* genera el segundo bucle de retroalimentación. El aumento del número de *BARCOS* incrementa los *Costes de Funcionamiento*, lo que supone la reducción de las *Ganancias Anuales*. Esta reducción de beneficios conduce a una reducción de la cantidad de dinero reinvertida en la compra de nuevos barcos. Este es un bucle de retroalimentación negativa.

### CONSTRUCCIÓN DEL MODELO BARCOS

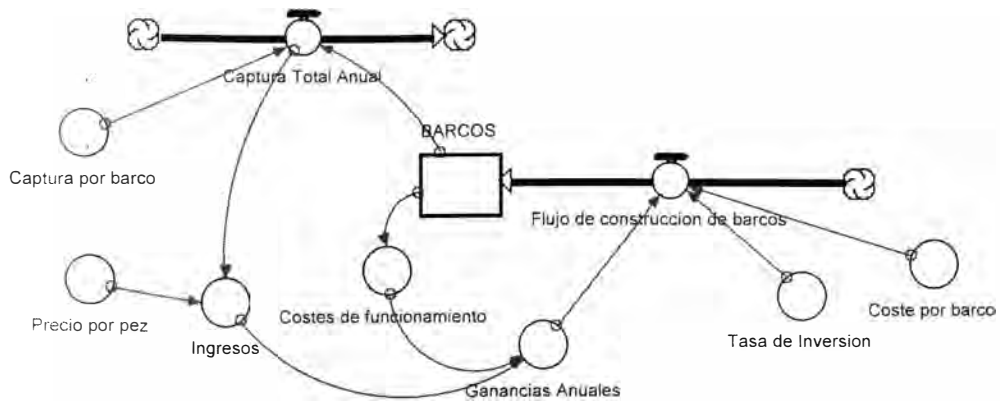


Figura 4.15. Diagrama de Forrester en STELLA del Subsistema Barcos

Este diagrama de STELLA muestra el modelo utilizado para representar el subsistema Barcos.

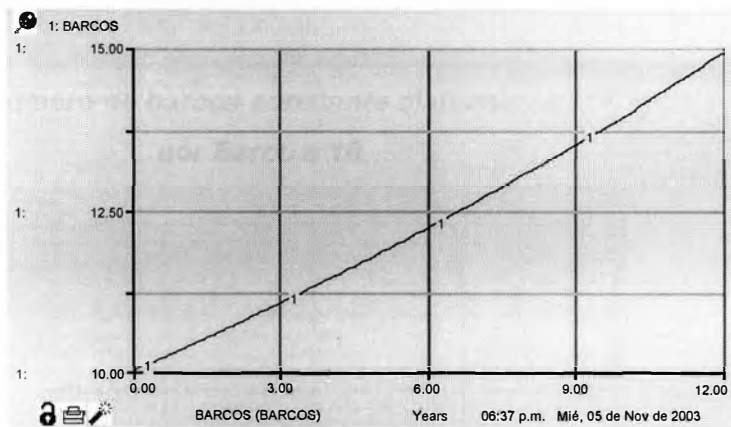


Figura 4.16. Simulación del modelo mostrando el crecimiento del número de barcos

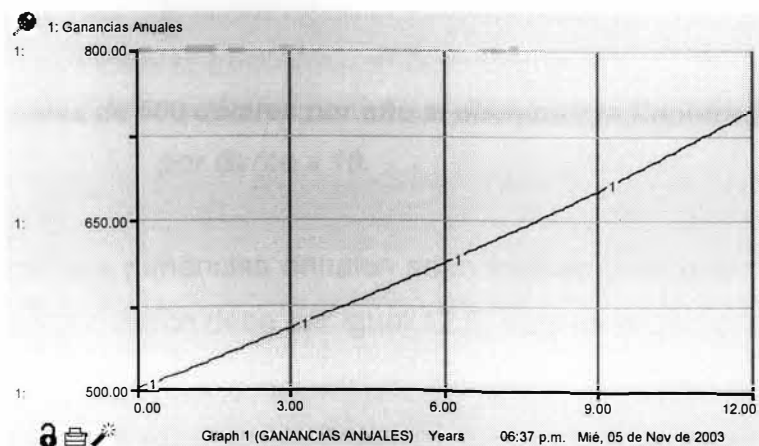
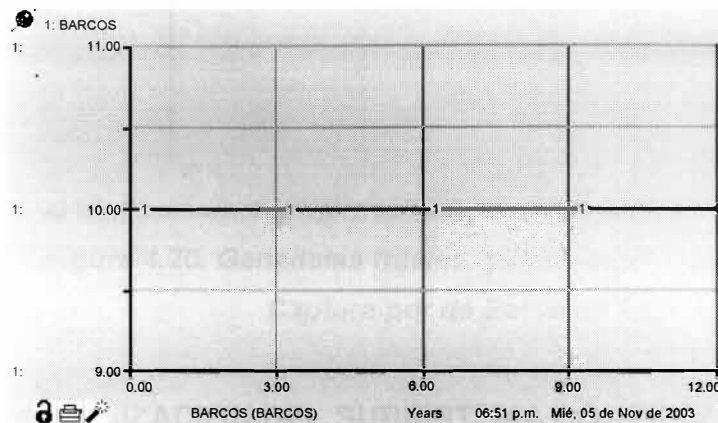
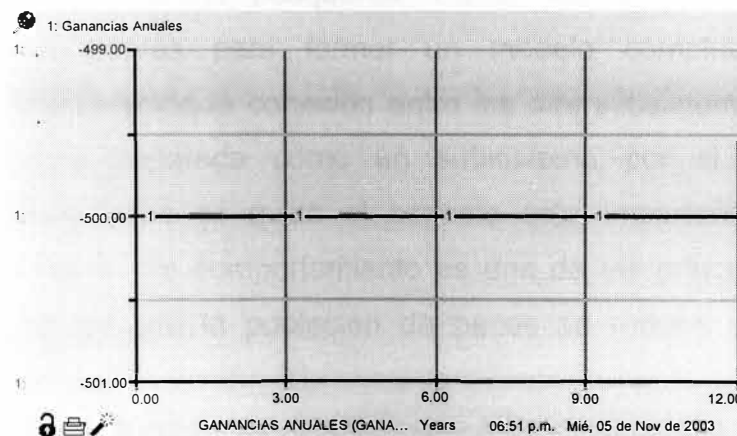


Figura 4.17. Crecimiento de las ganancias anuales

Al simular el modelo del Subsistema barcos los gráficos que muestran los resultados de *BARCOS* y *GANANCIAS ANUALES*, tienen la misma forma de crecimiento. No siempre ocurre lo mismo ya que al cambiar la *Captura por Barco* a 10, ocurren pérdidas en lugar de ganancias y el número de barcos se mantiene en 10.

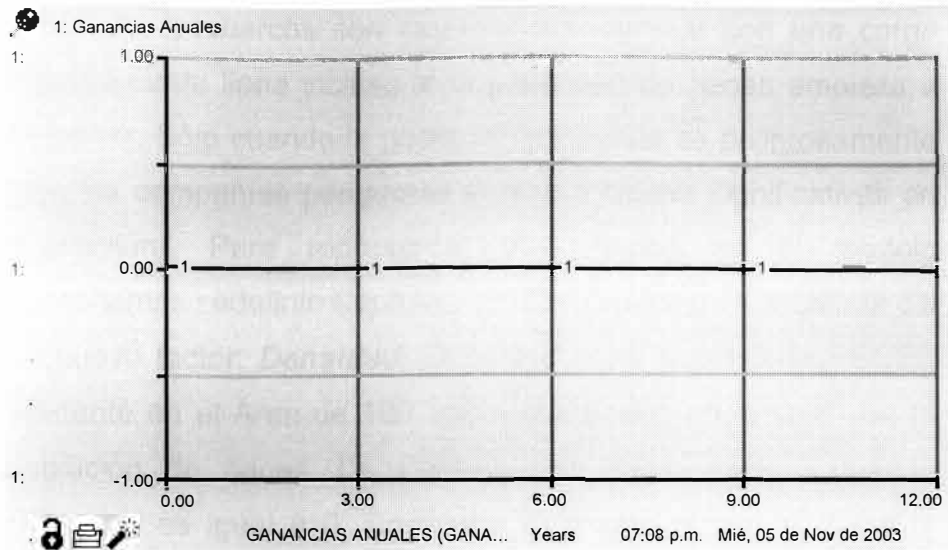


**Figura 4.18. Número de barcos constante al disminuir la Captura por Barco a 10.**



**Figura 4.19. Pérdidas de 500 dólares por año al disminuir la Captura por Barco a 10.**

Para lograr que ganancias anuales sean iguales a cero el valor de *Captura por Barco* debe ser igual 12.5, esto se muestra en la Figura 4.20.



**Figura 4.20. Ganancias totales iguales a cero con un valor de Captura por de Barco de 12.5**

#### 4.4.3. MODELIZACION DEL SUBSISTEMA CONEXIÓN.

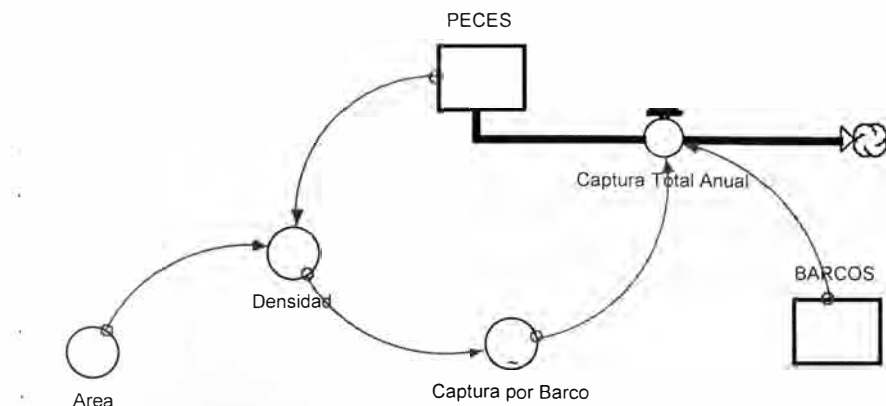
Hasta ahora se ha modelizado tanto la población de peces como las compañías pesqueras. Es el momento de unir ambos subsistemas para formar un modelo completo. Para ello analizaremos la conexión entre los dos subsistemas previos de forma separada como un subsistema por si mismo. Este Subsistema es quizá el aspecto más importante de todo el sistema. Su comportamiento es una de las principales razones por las que la población de peces se reduce a lo largo del tiempo.

El modelo de este subsistema contiene algunos de los elementos que ya se han incluido en los modelos de los peces y barcos. El subsistema de conexión contiene vínculos entre los niveles de PECES Y BARCOS. La principal característica de este subsistema es el **retraso** existente entre *BARCOS* y *Captura por Barco*. Los modernos barcos pesqueros tienen sistemas de seguimiento por sonar y otros equipos de alta tecnología para ayudar a encontrar y capturar los peces. Como

resultado, los barcos son capaces de regresar con una carga prácticamente llena incluso si la población de peces empieza a disminuir. Sólo cuando la población de peces es peligrosamente baja las compañías pesqueras detectan caídas significativas en la captura. Para representar este hecho en el modelo necesitamos redefinir *Captura por Barco* para que dependa de un nuevo factor: **Densidad**. *Densidad* es el número de PECES existente en el Área de 100 millas cuadradas en la cual vive la población de peces. La *Captura por Barco* será 0 cuando *Densidad* es igual a 0. Conforme *Densidad* aumenta, *Captura por Barco* se incrementará de forma pronunciada hasta un máximo de 25 peces por barco, cuando la población se encuentra en su máxima densidad.

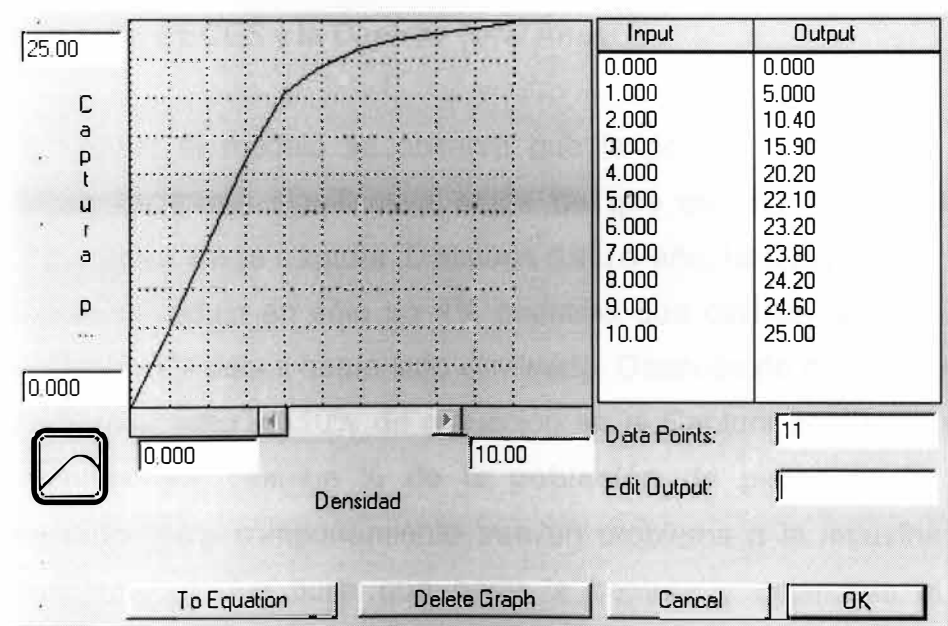
Este modelo introduce un nuevo flujo que afecta a la población de PECES. *Captura Total Anual*. Este flujo se definió ya en el subsistema anterior, pero no estaba conectado. En este modelo, y en modelo final, se conecta *Captura Total Anual* a PECES como un flujo de salida. En este modelo, se ajusta el nivel inicial de PECES= 1000 (peces) y BARCOS= 10 (barcos).

Existe un bucle de retroalimentación en este subsistema. Un incremento inicial en la *Captura Total Anual* aumenta la tasa de reducción de la población de PECES. Como resultado, la *Densidad* de peces es menor de lo que había sido y por lo tanto la *Captura por Barco* también es menor. Finalmente la *Captura Total Anual* disminuye. Este es el bucle de retroalimentación negativo.



**Figura 4.21. Diagrama de Forrester del Subsistema Conexión**

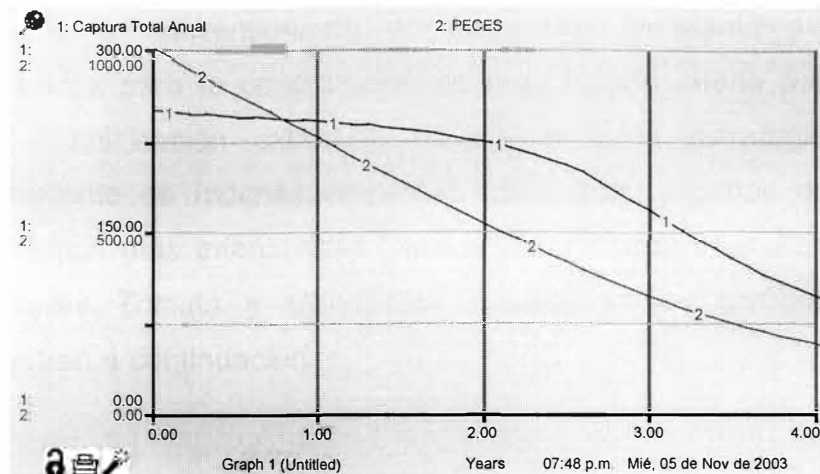
Este diagrama de STELLA modificado muestra los bucles de retroalimentación que conectan los subsistemas PECES y BARCOS.



**Figura 4.22. Gráfico de Captura por Barco.**

Esta Figura muestra el gráfico que se debe introducir en el modelo STELLA para definir la relación existente entre *Captura por Barco* y *Densidad* de Peces.





**Figura 4.23. Gráfico del comportamiento del Subsistema Conexión**

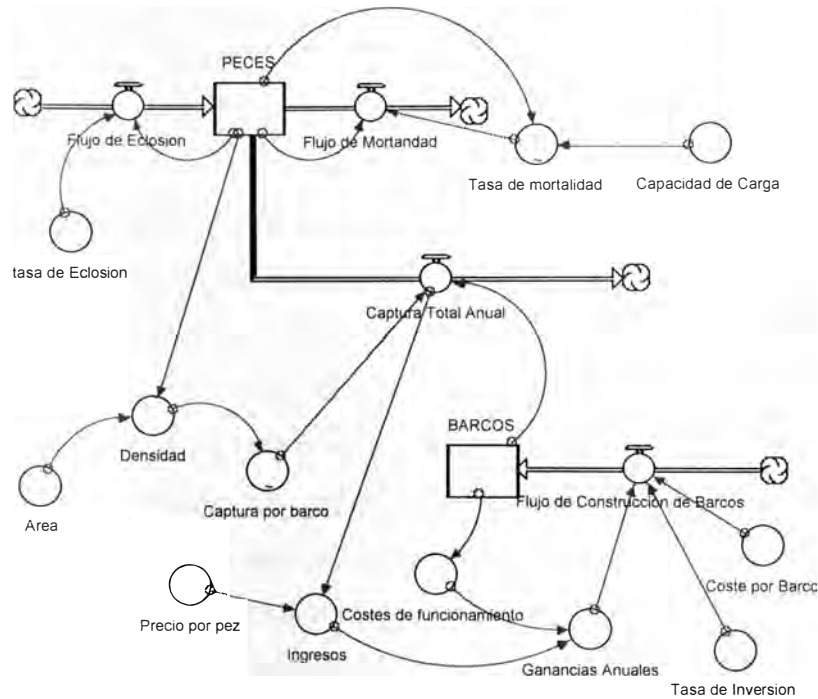
Esta Figura muestra el comportamiento del subsistema conexión. El gráfico muestra el retraso existente entre la población *PECES* y la *Captura Total Anual*.

Al simular el modelo se observa que la población de peces decae de forma significativa antes de que detecten cambios importantes en la captura. Después de un año, la Captura por Barco se redujo en sólo un 4% mientras que casi un  $\frac{1}{4}$  de la población de peces había sido eliminado. Después de dos años, se aprecia sólo un 10% de reducción en la Captura por Barco, mientras que casi un  $\frac{1}{2}$  de la población de peces se ha perdido. Este comportamiento trae un problema a la industria pesquera ya que tiene que parar la captura y dejar que el recurso se recupere.

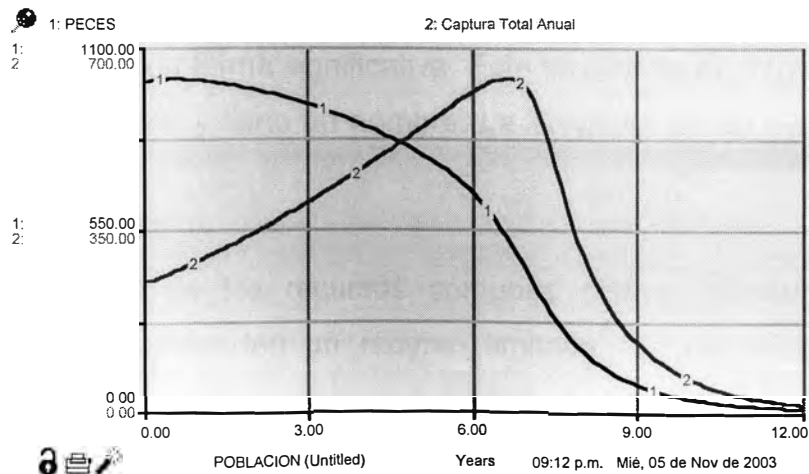
#### 4.4.4. COMBINACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS

Se completa el modelo del sistema uniendo los Subsistemas *PECES*, *BARCOS* y *CONEXIÓN*. Hay que tener en cuenta que en el modelo que se ha construido, las ganancias del año anterior determinan el flujo el Flujo de Construcción de Barcos.

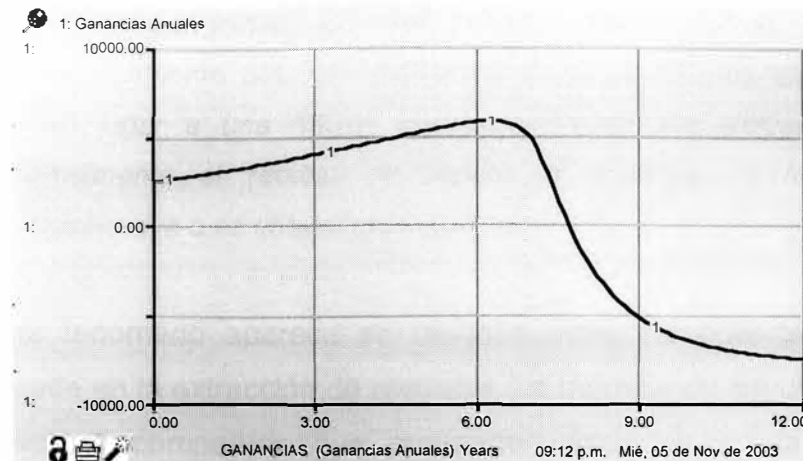
Aunque la reinversión de un porcentaje constante de las ganancias para la construcción de más barcos pueda parecer una simplificación excesiva, es similar a la estrategia de crecimiento de muchas empresas pesqueras. Algunos de los elementos más interesantes para analizar pueden ser *PECES*, *Capturas Totales* y *Ganancias Anuales* cuyos gráficos se muestran a continuación.



**Figura 4.24. Diagrama en STELLA del Sistema Dinámico Pesquero**



**Figura 4.25. Gráfico del comportamiento de la población de PECES y su Captura Total Anual**



**Figura 4.26. Gráfico que muestra las Ganancias Anuales**

#### 4.4.5. TRAGEDIA DE LOS RECURSOS COMUNES

Conforme la población de peces disminuye, sus barcos de pesca comienzan a generar ganancias cada vez más pequeñas. La reacción natural a esto es aumentar su flota pesquera para intentar mantener la misma ganancia neta. Incluso si se ha dado cuenta del peligro de sobrepesca en la zona, no existen garantías acerca de que sus competidores también perciban el mismo hecho. Los beneficios individuales a corto plazo motivan a muchas empresas pesqueras, con escasa preocupación de los recursos que explotan. En la medida en que esto es así, las empresas sobreexplotarán el recurso y lo destruirán o disminuirán de forma significativa. Este fenómeno es muy común en la vida real y tiene un nombre: La Tragedia de los Recursos Comunes.

La tragedia de los recursos comunes ocurre cuando varios individuos comparten un recurso limitado. Se describe como sigue:

*“Los individuos utilizan un recurso comúnmente disponible pero limitada sobre las bases exclusivas de las necesidades*

*individuales. Inicialmente son recompensados por tal uso; posteriormente obtienen beneficios decrecientes, los cuales dan lugar a una mayor intensificación de sus esfuerzos. Finalmente el recurso se reduce o erosiona de forma significativa o es enteramente agotado.”*

Este fenómeno aparece en muchos otros campos, tal como sucede en la extracción de recursos. La tragedia de los comunes afecta a compañías que comparten acciones en la bolsa, departamentos que compiten por los fondos presupuestarios, negocios que compiten por un pequeño número de clientes especializados y muchos otros sistemas.

El mar ha sido una fuente de riqueza durante siglos. Durante dichos siglos, los pescadores han estado en una constante batalla con el mar para obtener su propia supervivencia. No obstante durante el siglo pasado el hombre ha tomado ventaja en esta batalla. A través de la utilización de tecnologías avanzadas de captura, el hombre ha sido capaz de robarle al mar una cantidad de peces cada vez mayor. Como resultado, existen muchas Empresas pesqueras que han sido totalmente destruidas o que están cerca de su destrucción a causa del exceso de capturas. La superior inteligencia humana ha destruido los recursos naturales que podrían haber permanecido explotables por cientos de generaciones.

La interacción entre la población de peces y la Empresas Pesqueras es sólo uno de los muchos sistemas que incluyen y afectan a estas entidades. Se pueden construir modelos para describir los efectos de los patrones climáticos, los predadores naturales de los peces, la economía local y muchos otros factores. Es importante darse cuenta de que el modelo creado

en esta Tesis no puede ser utilizado para analizar el comportamiento de esos otros sistemas. El modelo trata un problema específico: los efectos de la industria pesquera sobre lo que de otro modo sería una población pesquera estable. Utilizado para este propósito el modelo describe de forma bastante precisa el comportamiento real de sistemas similares de la vida real.

La siguiente cita ilustra el resultado de la sobreexplotación, en la vida real, de una población de peces.

*“En la actualidad, menos del 5% del alimento humano en todo el mundo proviene de ecosistemas acuáticos, y la mayor parte de él es de origen animal. El porcentaje es mayor en Japón, el sudeste asiático y Norteamérica, donde hay lagos, estuarios y ríos productivos. Las cosechas de peces obtenidas del mar han permanecido aproximadamente iguales por varios años en todo el mundo, con declinaciones en algunas regiones que han sido sobreexplotadas o contaminadas. Un caso espectacular es el de la flota pesquera del Perú y la pesca de la anchoveta en las frías aguas del Pacífico, que en esa región recibe abundantes aportes de nutrientes debido a la corriente de Humboldt, que fluye paralela a la costa en Chile y Perú, generando en sus costas el desierto natural de Atacama, el más seco del mundo. Como el rendimiento inicial era tan alto, todos se volcaron a la pesca, al punto de limitar el mantenimiento de la población de anchovetas. En pocos años, los peces adultos resultaron cada vez más raros en las redes, y los juveniles no tenían suficiente tiempo de crecer. La sobreexplotación pesquera llevó al colapso de la flota peruana, otrora la más próspera de América Latina, y el colapso de la economía de sus pueblos pesqueros. Ecología.” [ODUM, Ecología, 1998]*

#### **4.4.6. MODELO ANCHOVETA.**

El propósito del modelo de simulación es aportar una comprensión de los incentivos económicos y de las realidades ambientales desde la perspectiva de un administrador de una empresa pesquera. Desde este punto de vista, el objetivo del modelo es que los actores involucrados entiendan cómo el sistema puede conducir a pescadores racionales hasta el extremo de eliminar su propio suministro de pesca. Ello ayuda a aprender sobre los bucles de retroalimentación que controlan el comportamiento del sistema, así como una comprensión más profunda fruto del hecho de vivir la experiencia de pasar desde grandes beneficios iniciales al súbito colapso y destrucción de la industria pesquera nacional.

Comenzando con la fase de simulación del Modelo Anchoveta y continuando con la fase de simulación por computador, los usuarios asumen el papel de científicos. Su trabajo es sugerir y modelizar los bucles de retroalimentación presentes en el sistema. El objetivo aquí es ir más allá de una comprensión superficial las razones que causan la tragedia de los recursos comunes.

Una vez que los usuarios desarrollen en STELLA el Modelo Anchoveta pueden asumir el papel de Ministro de la Producción y Viceministro de Pesquería. En esta parte, los usuarios conducen análisis de políticas en el sistema cambiando su estructura para acomodarla a diversas políticas reguladoras. Su responsabilidad y objetivo es formular una política reguladora que permita sostener una industria pesquera nacional próspera, a la vez que se tienen en cuenta los obstáculos políticos, prácticos y económicos de las distintas opciones y políticas. Esta política puede ser reforzada con simulación por computador así

como con argumentos escritos que sustenten el tipo de política elegida y las razones por las cuales otras posibles políticas que han sido elegidas.

La cuestión central de la simulación subraya la necesidad de comprender y practicar una gestión de los recursos renovables. Desde una perspectiva sistémica, esto requiere comprender el fenómeno de la tragedia de los recursos comunes tanto desde un punto de vista económico como ambiental. En términos simples, la tragedia de los recursos comunes es un fenómeno que parece cuando los individuos, que comparten un recurso común limitado, intentan maximizar su aparte aprovechamiento individualizado del recurso hasta el mínimo se reduce e incluso se destruye.

Comprender los mecanismos de la tragedia de los recursos comunes requiere conocer las interacciones existentes entre las características económicas y ambientales del sistema. Un análisis ambiental puede incluir la dinámica poblacional, la capacidad de carga y la tasa máxima de explotación sostenible, que ayuden a explicar que los aparentemente ilimitados recursos naturales de la tierra son verdaderamente limitados. Un análisis económico puede mostrar como el uso colectivo de un recurso renovable da a los individuos un incentivo para maximizar sus propios beneficios a corto plazo más que favorecer una visión amplia que intente maximizar los beneficios de todos, incluido los de uno mismo. La combinación de los análisis económico y ambiental muestra cómo los pescadores no pueden ver al principio los efectos de sus acciones sobre el sistema. Sólo pueden ver estos efectos después de que la destrucción es completa.

Así los usuarios del Modelo Anchoqueta llevan a cabo experimentos de simulación por computador para investigar la efectividad de un conjunto de políticas reguladoras. Las políticas pueden variar desde la imposición de tasas de limitación del número de barcos. Los resultados muestran la efectividad de cada política. En cualquier caso, cada usuario puede descubrir, por si mismo, las soluciones al efecto tragedia de los recursos comunes.

Una de las políticas reguladoras más interesantes se relaciona con la imposición de restricciones a las tecnologías pesqueras. Los usuarios pueden explorar los efectos de tales límites sobre la sostenibilidad de la industria pesquera nacional así como ahondar en cuestiones relativas a los efectos de las innovaciones tecnológicas. Otra de las políticas reguladoras incluye la imposición de tasas sobre la construcción de barcos de pesca (bolicheras) durante ciertos periodos, regulaciones y límites sobre la construcción de barcos, regulaciones sobre los precios de mercado de la pesca, y regulaciones gubernamentales sobre los precios de la pesca. Por supuesto los usuarios deben siempre considerar las consecuencias políticas de las decisiones reguladoras así como el grado en que es factible llevar a cabo esas regulaciones.

Además de explorar tales políticas con simulación por computador, el Modelo Anchoqueta aporta muchas oportunidades para la exploración distinta al modelo. Una de las áreas más interesantes para explorar es la relación legal existente entre las consecuencias económicas y ambientales de la reducción de recursos renovables. ¿Cómo se diseña una entidad reguladora controlada por el estado? ¿Qué efectos podrían tener los planes reguladores propuestos sobre la libertad individual y los



derechos de propiedad? ¿Podría la asignación de derechos de propiedad sobre porciones del mar acabar con la tragedia de los comunes?

## **SUPUESTOS DEL MODELO**

El Modelo Anchoveta contiene dos supuestos:

1. Existe sólo una única pesquería (anchoveta) dentro de este modelo. Todas las embarcaciones pescan en mar abierto y los costes de funcionamiento se calculan de acuerdo con ello.
2. El modelo suma todas las empresas pesqueras en una única flota pesquera. El propósito de esto es que los usuarios lleven a cabo un estudio global de toda la industria a través de la suma de las distintas flotas pesqueras.

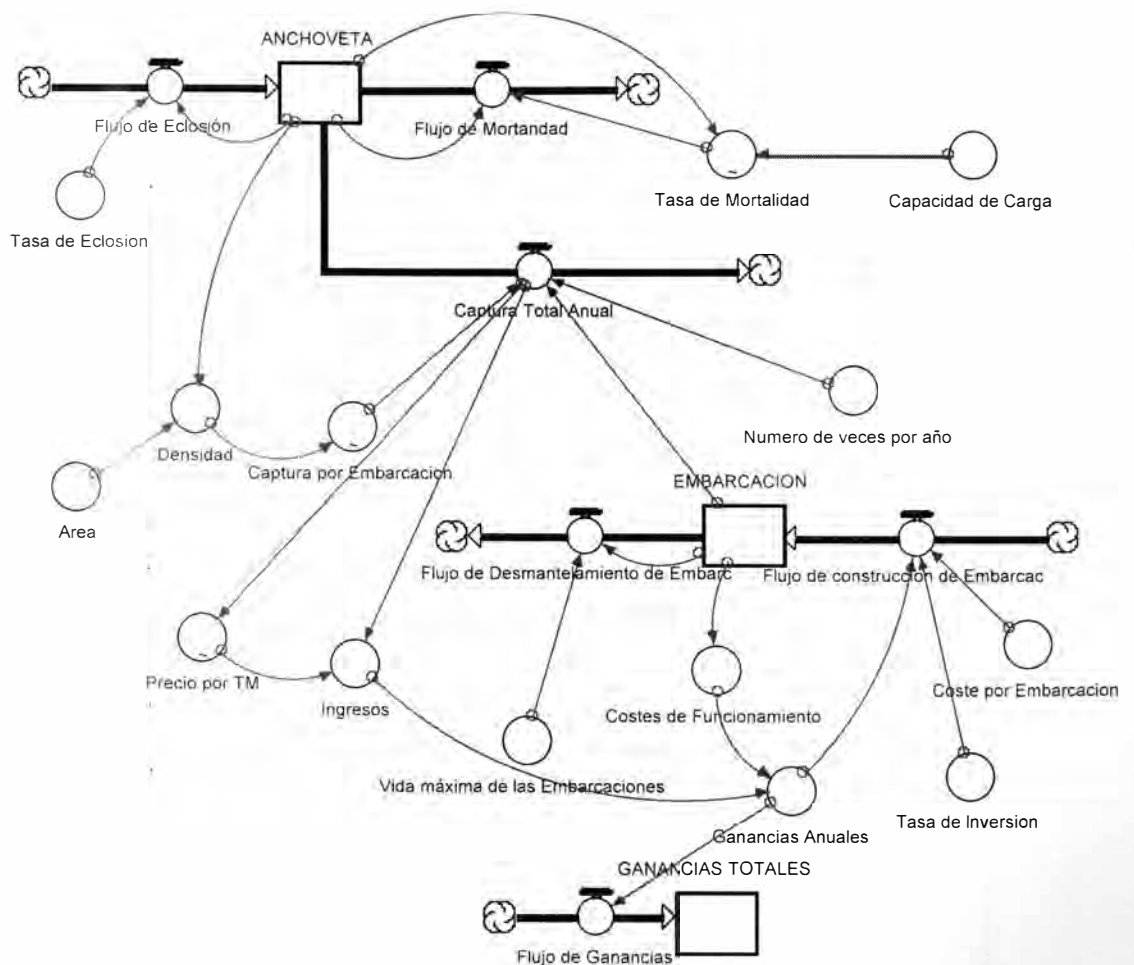
Ambos supuestos reducen la complejidad y redundancia presentes dentro de la simulación con STELLA.

## **DESCRIPCIÓN DEL MODELO**

La Figura 4.27 muestra el resultado final de combinar los Subsistemas de Embarcaciones y la población de Anchovetas. Las embarcaciones conducen al agotamiento del stock de anchovetas. Conforme la captura total aumenta, los ingresos totales aumentan puesto que se vende más harina de pescado.

Los beneficios aumentan conforme lo hacen los ingresos. Al decidir si comprar o no una embarcación, una empresa pesquera observa sus beneficios e invierte cierta fracción de los mismos en nuevas embarcaciones, aumentando así el número total de

ellos. Esto da lugar a un bucle positivo puesto que un aumento en el número de embarcaciones conduce a un aumento en la captura total anual, lo que lleva a más ingresos, más beneficios y más embarcaciones, aumentando así el número total de los mismos.



**Figura 4.27. Diagrama de Forrester en STELLA con la estructura del Modelo Anchoveta.**

La única fuerza que contrarresta este bucle positivo es el bucle negativo formado por los barcos, costes, beneficios y nuevas embarcaciones. Conforme el número de embarcaciones aumenta, los costes de funcionamiento de los mismos aumentan, lo que disminuye los beneficios y por tanto las nuevas

embarcaciones. Este bucle negativo es mucho menos dominante que el positivo al principio de la simulación, cuando los ingresos son muy elevados.

### ANALISIS DE POLÍTICAS

El Modelo Anchoqueta se puede usar para verificar el impacto de distintas políticas reguladoras sobre la población de anchovetas y la economía pesquera nacional.

#### 1) SIN POLÍTICAS REGULADORAS

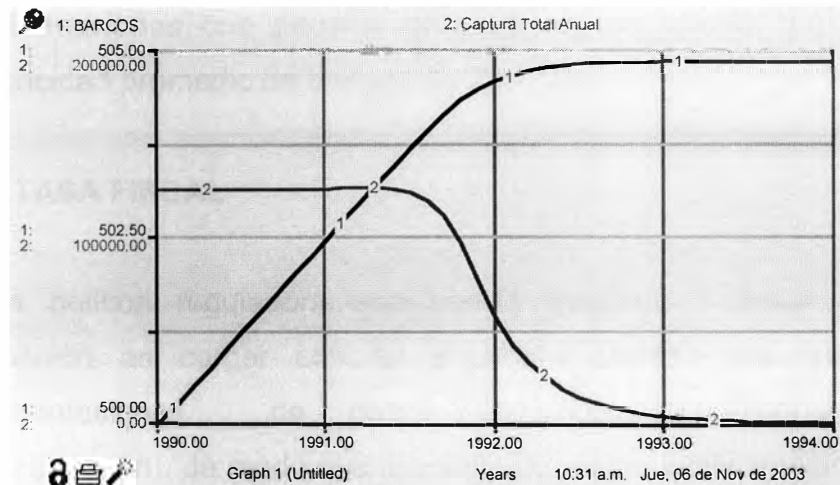


Figura 4.28. Gráfico del número de embarcaciones y captura total anual

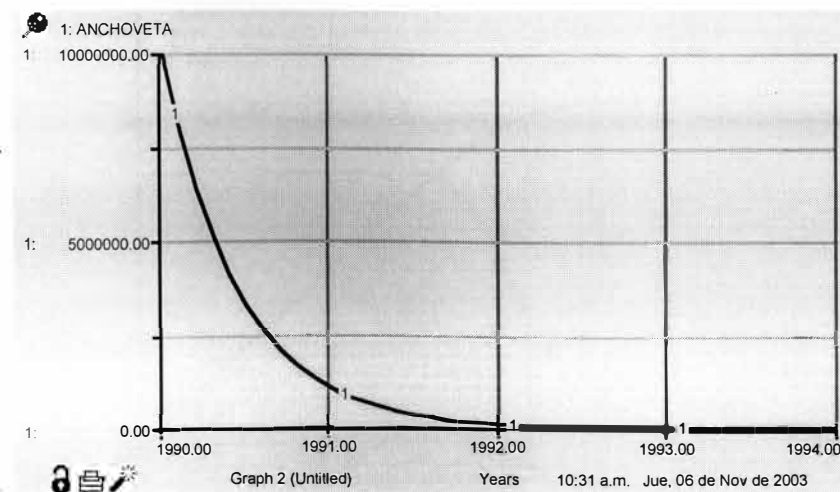
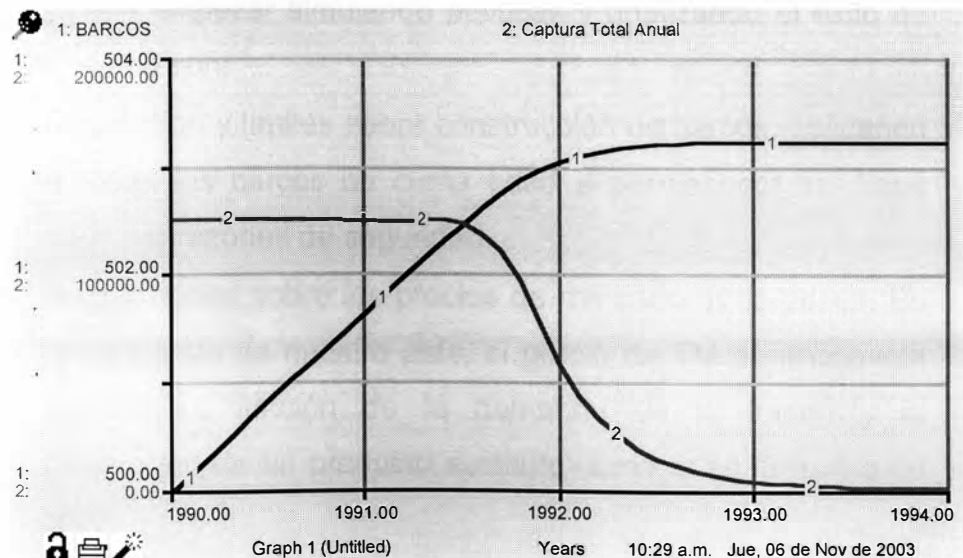


Figura 4.29. Gráfico del comportamiento de la población de anchovetas.

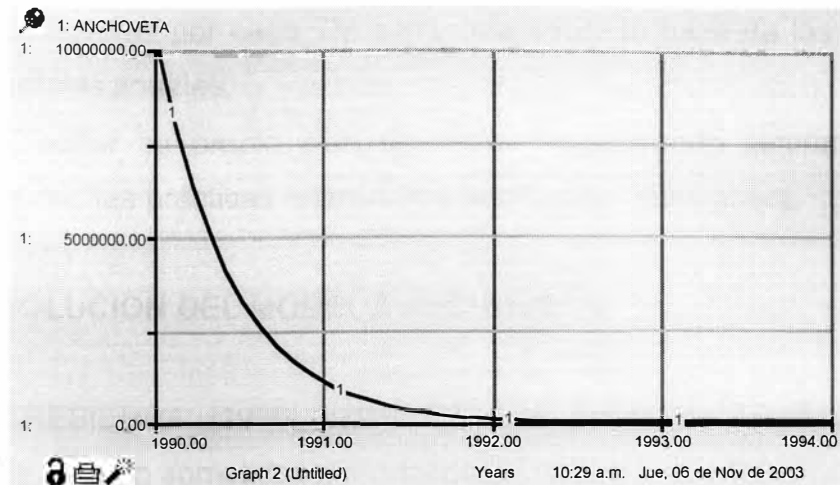
El modelo está actualmente ajustado para simular la situación reguladora existente dentro la industria pesquera en 1990. Al simular el Sistema Anchoqueta y observar el comportamiento del numero de embarcaciones, captura anual población de anchovetas en los gráficos mostrados en las Figuras 4.28 y 4.29. Se nota claramente, que dejar el sistema tal como está es una situación inaceptable. La población de anchovetas es diezmada en dos años, la industria pesquera desaparece. El numero se embarcaciones en el modelo es de 500, sin embargo se tiene conocimiento que a la fecha están registradas 598 embarcaciones con permiso para pescar anchoqueta con una capacidad promedio de bodega de 235 TM.

## 2) TASA FISCAL

Una política reguladora que podría ayudarle a evitar esta situación es cargar con un impuesto elevado los nuevas embarcaciones de pesca (digamos \$2'000,000 por embarcación), de modo que aumente su precio y disminuyan las compras.



**Figura 4.30. Gráfico que muestra las embarcaciones con impuesto y la captura total anual**



**Figura 4.31. Grafico del comportamiento de la población de anchovetas con política de impuesto.**

Esta política no tiene éxito, ya que la población es diezmada en 2 años, igual al comportamiento sin la política de impuesto elevado a las embarcaciones nuevas.

### VENTAJAS DEL MODELO

El modelo Anchoveta puede ser utilizado para analizar diversas estrategias para la gestión de los recursos pesqueros del país. Se puede empezar simulando políticas y analizando el éxito de estas como son:

- ◆ Regulación y límites sobre construcción de barcos, obligando a todos los barcos de cierta edad a permanecer en dique seco por razones de seguridad.
- ◆ Regulaciones sobre los precios de mercado de la pesca. En la economía de nuestro país, el precio de TM de anchoveta cambia en función de la demanda de la harina y la producción de un producto sustituto como lo es la harina de soya.

- ◆ Diseño de un impuesto ecológico que gravará a las empresas pesqueras por cada TM capturada sobre la base de las TM totales anuales.
- ◆ Diseñar su propio plan regulador incorporando algunas o todas las prácticas reguladoras analizadas hasta ahora.

#### **4.4.7. EVOLUCION DEL MODELO ANCHOVETA**

Según TRESIERRA [1995] indica que los peces de larga vida raramente estarán sometidos a mortalidades superiores a 0.2 y por el contrario, cuando el ciclo vital de las cohortes que componen el stock no explotado o poco explotado es corto, se debe pensar que la mortalidad natural es alta; esto se observa en la familia engraulidae. Existen métodos para calcular la tasa instantánea de mortalidad natural (M), estos tratan de conocer la relación que existe entre el parámetro M y otros parámetros que puedan tener influencia en la magnitud de la mortalidad. Pauly determinó una ecuación de regresión múltiple entre los parámetros de crecimiento, los factores ambientales y la mortalidad natural, proponiendo la siguiente fórmula para valores de  $L^\infty$ :

$$\text{Log (M)}=0.0066 - 0.279 \log(L^\infty)+ 0.6543 \log(K)+ 0.463 \log(T)$$

Donde:

$L^\infty$  : es la longitud asintótica total en cm.

K : es el coeficiente de crecimiento.

T : es la temperatura media anual del mar grados Celcius.

El valor de la temperatura que es el promedio de los valores durante el año de la zona donde el stock vive. Se sugiere corregir los estimados de M para peces que forman cardúmenes multiplicando el valor obtenido por 0.8. Se indica que si los peces son pequeños el valor de M aumenta, si los peces crecen rápido M es alto y si el ambiente es más cálido M también se incrementará.

## MODELO ANCHOVETA 2

Teniendo en cuenta otros factores como talla y peso de la anchoveta capturada, se crea un modelo denominado anchoveta-2, el cuál se obtiene el siguiente diagrama de Forrester.

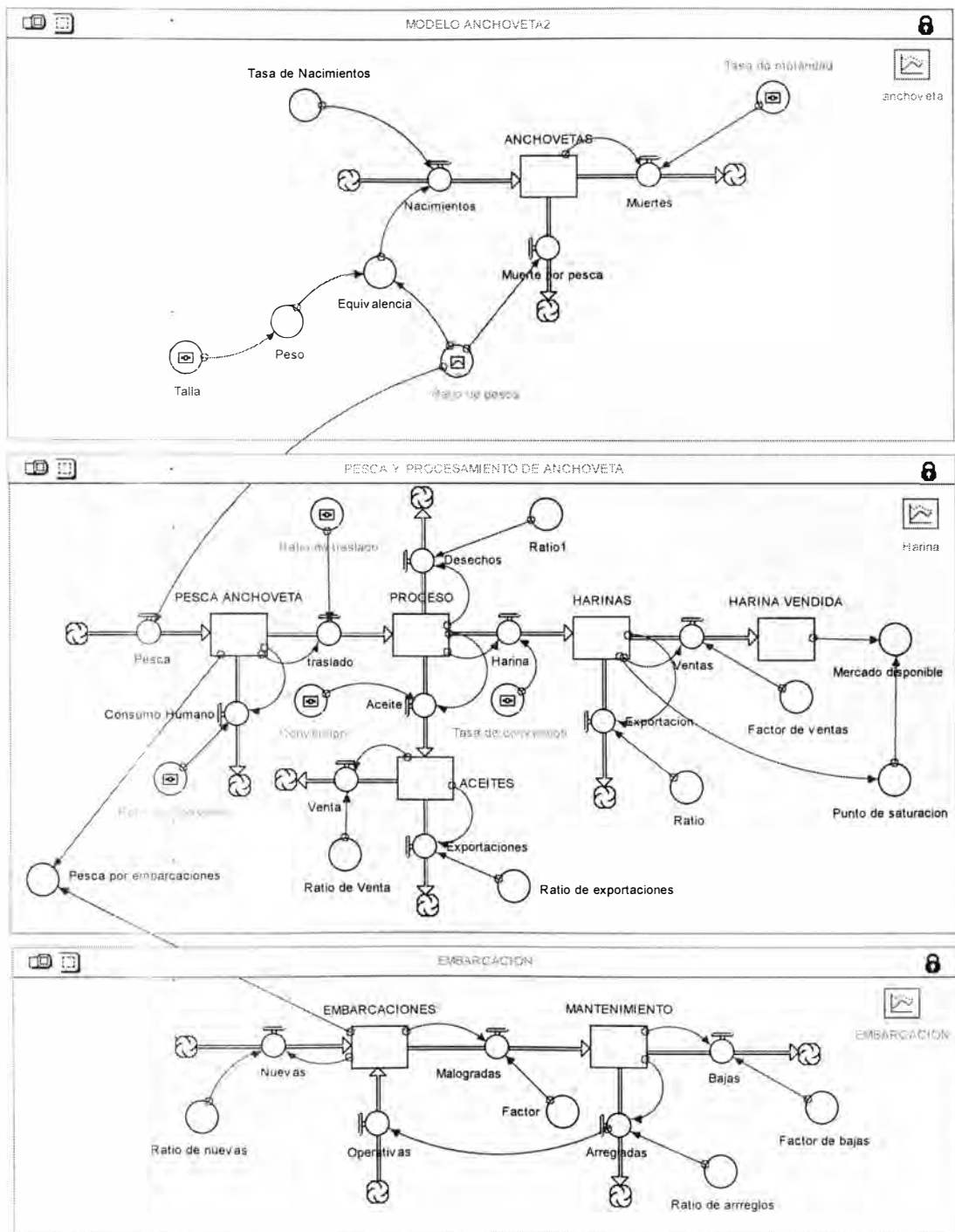


Figura 4.32. Diagrama de Forrester del modelo Anchoveta-2.

El diagrama de Forrester de la Figura 4.32 constituye un modelo de la población de anchoveta en un sistema que incluye niveles de procesamiento y embarcaciones.

Las ecuaciones correspondientes al nivel de población de anchovetas son las siguientes:

$$\text{Nacimientos} = \text{Equivalencia} * \text{Tasa\_de\_Nacimientos}$$

$$\text{Muerte\_por\_pesca} = \text{Ratio\_de\_pesca}$$

$$\text{Muertes} = \text{ANCHOVETAS} * \text{Tasa\_de\_mortandad}$$

$$\text{Equivalencia} = (1000000/\text{Peso}) * \text{Ratio\_de\_pesca}$$

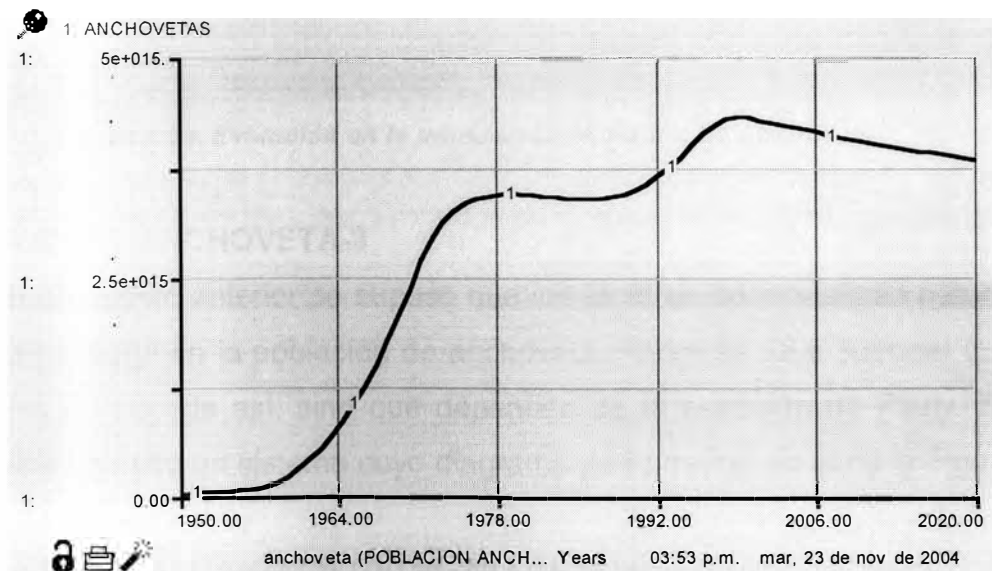
$$\text{Peso} = \text{Talla} * 2.275$$

$$\text{Talla} = 12$$

$$\text{Tasa de mortandad} = 0.01$$

$$\text{Tasa de Nacimientos} = 0.8$$

$$\text{Ratio\_de\_pesca} = \text{Datos de captura de 1950-1999.}$$

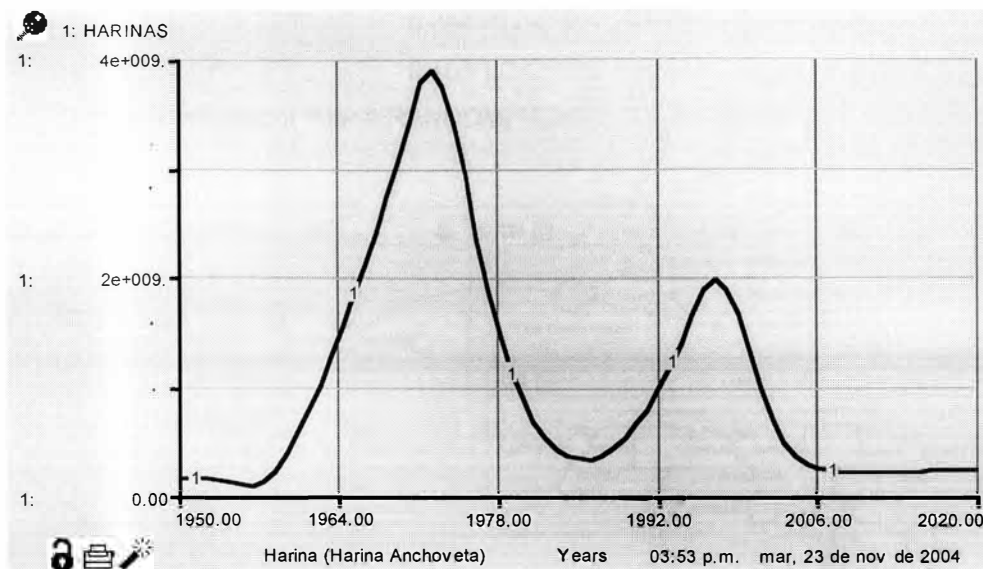


**Figura 4.33. Crecimiento de la Población de la especie del modelo Anchoveta-2.**

Si se simula el modelo se obtiene el resultado de la Figura 4.33, en la que se observa como la población de anchoveta crece con un crecimiento en S hasta antes del año 1978, para luego estabilizarse hasta 1990 y luego volver a tener un pequeño crecimiento en S hasta el año 2000, luego se presenta una caída.



También en la Figura 4.33 se representa la evolución de la Producción de Harina de Anchoveta que muestra dos ciclos, en el primero alcanzando su máxima producción en el año 1972, para caer en 1985. En el segundo ciclo alcanza su máxima producción en 1998 y luego viene una caída en la producción de harina de pescado.



**Figura 4.34. Evolución en la producción de Harina de Anchoveta**

### MODELO ANCHOVETA-3

En el modelo anterior se supuso que los factores de mortalidad natural no influyen en la población de anchoveta. Ahora se va a suponer que esto no sucede así, sino que dependen de la ecuación de Pauly. Se tiene con ello un sistema cuyo diagrama de Forrester es el de la Figura 4.33.

$$\text{ANCHOVETA}(t) = \text{ANCHOVETA}(t - dt) + (\text{Nacimientos} - \text{Muerte\_por\_pesca} - \text{Muertes}) * dt$$

$$\text{INIT ANCHOVETA} = 200000000 + \text{Nacimientos}$$

$$\text{Nacimientos} = \text{Equivalencia} * \text{Tasa\_de\_Nacimientos}$$

$$\text{Muerte\_por\_pesca} = \text{Ratio\_de\_pesca}$$

$$\text{Muertes} = \text{ANCHOVETA} * \text{Tasa\_Muerte\_Natural}$$

$$\text{Capacidad\_de\_pesca} = \text{Ratio\_de\_pesca} / \text{Embarcaciones}$$

$$\text{Equivalencia} = (100000 / \text{Peso}) * \text{Ratio\_de\_pesca}$$

$$\text{Peso} = \text{Talla} * 2.275$$

$$\text{Talla} = 12$$

Tasa\_de\_Nacimientos = 0.8

Ratio\_de\_pesca = Datos de Captura de 1950-1999

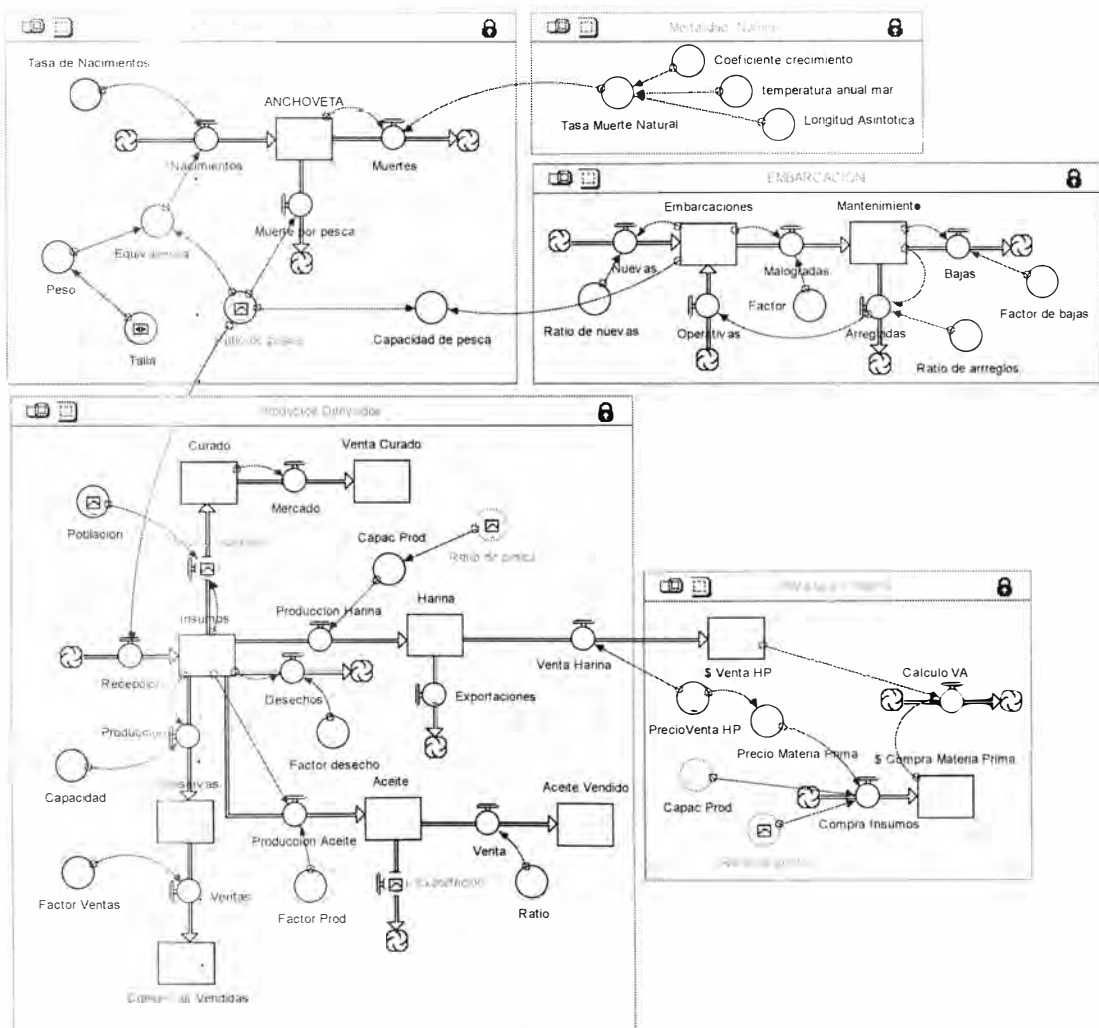
**Mortalidad Natural**

Coeficiente crecimiento = RANDOM(2,3)

Longitud\_Asintotica = RANDOM(12,20)

$$\text{Tasa_Muerte_Natural} = (-0.0066 - 0.279 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{Longitud\_Asintotica}) + 0.6543 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{Coeficiente\_crecimiento}) + 0.463 \cdot \text{LOG}_{10}(\text{temperatura\_anual\_mar})) / 1000$$

temperatura\_anual\_mar = RANDOM(15,21)



**Figura 4.35. Diagrama de Forrester del modelo Anchoqueta-3.**

#### **4.4.8. EVOLUCION DE DOS ESPECIES: MODELO VOLTERRA-1**

El modelo que se presenta, conocido como "Volterra-1", estudia la evolución de dos especies que se disputan un mismo alimento, con la suposición de que ese alimento es inagotable. La descripción de Volterra se basa en le siguiente razonamiento: con el alimento en cantidad suficiente para satisfacer completamente la voracidad de los individuos, una especie aislada tendrá un coeficiente de crecimiento positivo que se puede suponer constante, sin embargo si un mismo alimento debe ser compartido por dos especies, entonces el coeficiente de crecimiento será positivo pero deberá disminuir si el numero de individuos de cualquiera de las especies aumenta.

Considerando las siguientes variables:

N1, numero de individuos de la clase 1

N2, numero de individuos de la clase 2

TC1, tasa de crecimiento vegetativo de la clase 1

TC2, tasa de crecimiento vegetativo de la clase 2

E1, tasa máxima de crecimiento vegetativo de la clase 1

E2, tasa máxima de crecimiento vegetativo de la clase 2

CN1, crecimiento vegetativo de la clase 1

CN2, crecimiento vegetativo de la clase 2

FN1N2, función correctora de las tasas de crecimiento vegetativo

G1 y G2, parámetros de la función FN1N2

L1, necesidades alimenticias de la clase 1

L2, necesidades alimenticias de la clase 1

Las ecuaciones que define el modelo son las siguientes:

$$FNIN\ 2(t) = G1.N1(t) + G2.N2(t)$$

$$TC\ 1(t) = E1 - L1.FN\ 1.N\ 2(t)$$

$$TC\ 2(t) = E2 - L2.FN\ 1.N\ 2(t)$$

$$CN\ 1(t) = TC\ 1(t).N1(t)$$

$$CN\ 2(t) = TC\ 2(t).N\ 2(t)$$

$$\frac{dN\ 1(t)}{dt} = CN\ 1(t)$$

$$\frac{dN\ 2(t)}{dt} = CN\ 2(t)$$

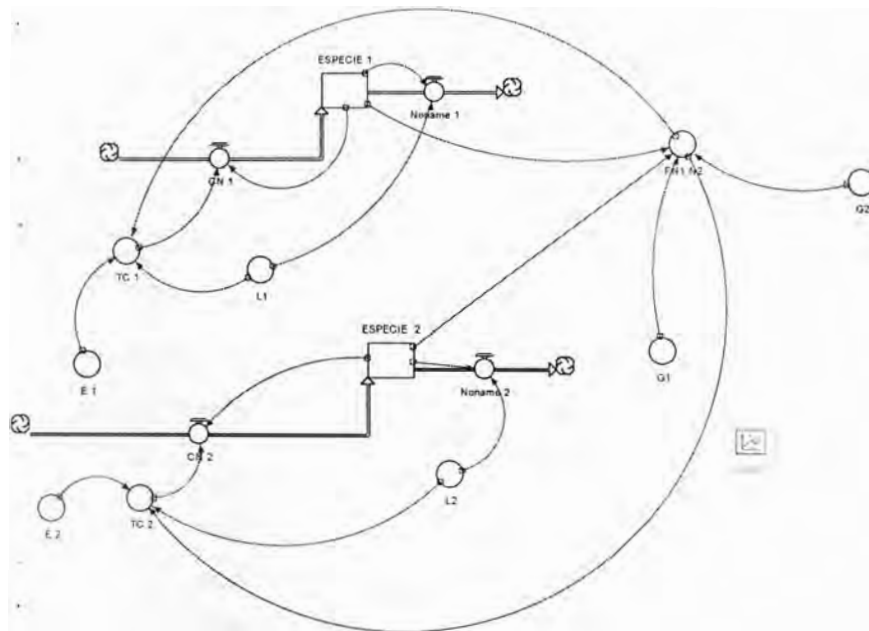


Figura 4.36. Diagrama de Forrester del modelo Volterra-1.

Las ecuaciones correspondientes a este modelo son:

$$ESPECIE\_1(t) = ESPECIE\_1(t - dt) + (CN\_1 - Noname\_1) * dt$$

$$INIT\ ESPECIE\_1 = 10$$

INFLOWS:

$$CN\_1 = ESPECIE\_1 * TC\_1$$

OUTFLOWS:

$$Noname\_1 = L1 * ESPECIE\_1$$

$$ESPECIE\_2(t) = ESPECIE\_2(t - dt) + (CN\_2 - Noname\_2) * dt$$

$$INIT\ ESPECIE\_2 = 10$$

INFLOWS:

$$\text{CN}_2 = \text{TC}_2 * \text{ESPECIE}_2$$

OUTFLOWS:

$$\text{Noname}_2 = \text{ESPECIE}_2 * \text{L2}$$

$$\text{E}_1 = 1$$

$$\text{E}_2 = 1.25$$

$$\text{FN1}_\text{N2} = \text{G1} * \text{ESPECIE}_1 + \text{ESPECIE}_2 * \text{G2}$$

$$\text{G1} = 0.1$$

$$\text{G2} = 0.2$$

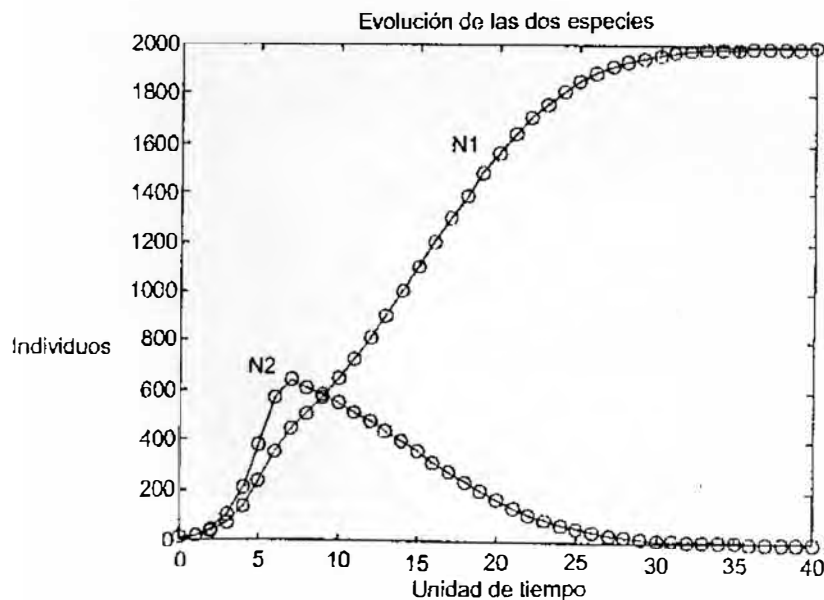
$$\text{L1} = 0.0050$$

$$\text{L2} = 0.0075$$

$$\text{TC}_1 = \text{E}_1 - \text{FN1}_\text{N2} * \text{L1}$$

$$\text{TC}_2 = \text{E}_2 - \text{L2} * \text{FN1}_\text{N2}$$

Comprobar que la especie 2, después de un crecimiento inicial superior al especie 1, tiende a desaparecer y que la especie 1 crece hasta un valor en el que se mantiene constante, al desaparecer la especie 2, como muestra la Figura 4.37. Observación: los valores de N1 y N2 deben ser enteros.



**Figura 4.37. Evolución de dos poblaciones del modelo Volterra-1.**

Después de correr el modelo en Stella 6.01, se obtiene la Figura 4.38, se genera un modelo parecido a la evolución de dos especies de la Figura 4.37.

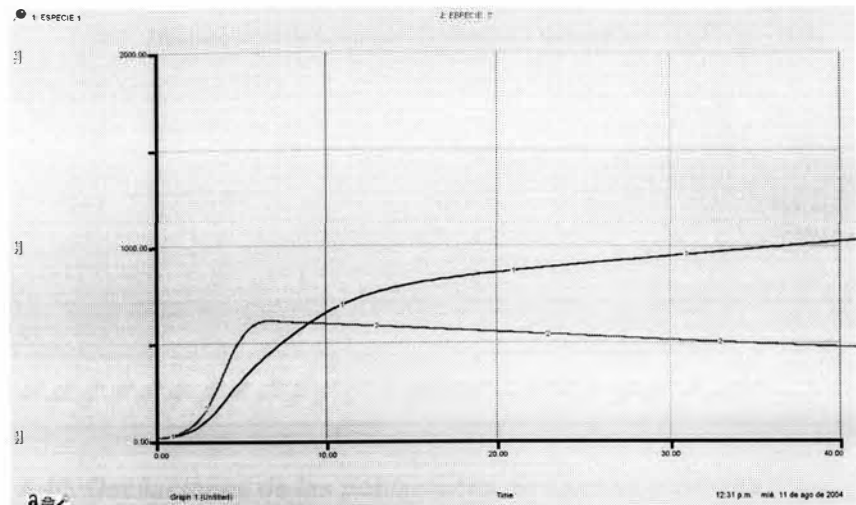


Figura 4.38. Simulación en Stella del modelo Volterra-1.

En cuanto a la evolución de la captura de las especies marinas peruanas se ha tomado los datos de los años comprendidos entre 1950 y 1999 de IMARPE de dos pares de especies anchoveta-sardina y sardina-caballa, se presenta a continuación.

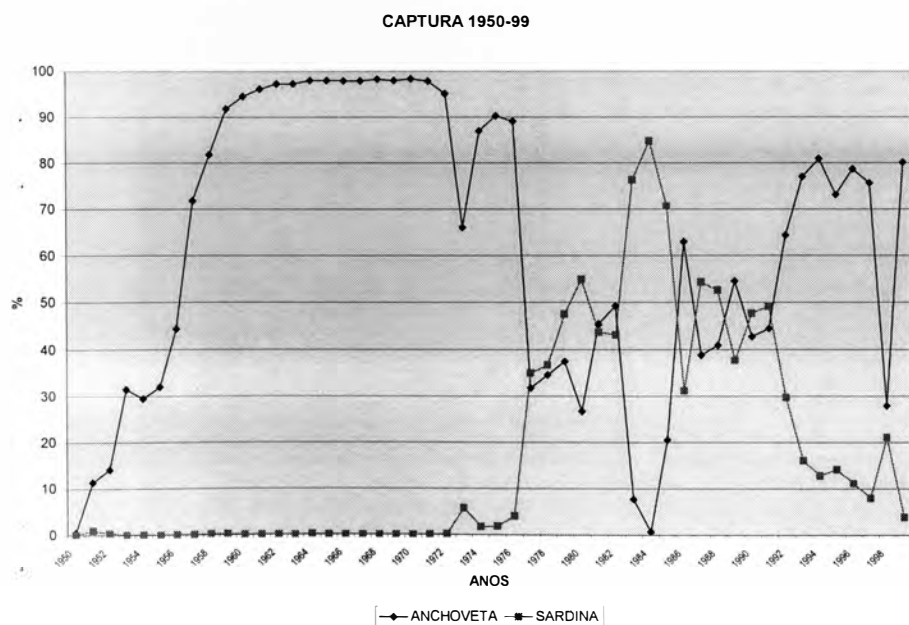


Figura 4.39. Evolución de la captura de las poblaciones de anchoveta y sardina.

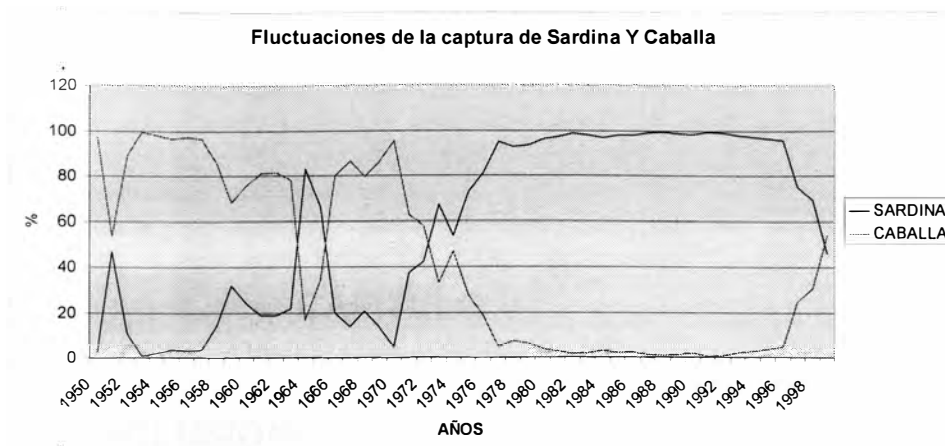


Figura 4.40. Oscilaciones de las poblaciones de sardina y caballa.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **CONCLUSIONES**

- El modelo del sistema dinámico pesquero ofrece la oportunidad de aprender acerca del dilema del agotamiento de los recursos naturales en el país.
- Los usuarios del Modelo Anchoqueta podrán llevar a cabo experimentos de simulación por computador para investigar la efectividad de un conjunto de políticas reguladoras que aplique el estado peruano.
- El conocimiento científico acumulado hasta la fecha debe volcarse en un modelo que permita predecir las fluctuaciones anuales de la biomasa de recursos pesqueros, además de poder ser utilizado para explorar los resultados de distintas alternativas de administración o manejo pesquero del país.
- Además del modelo del ecosistema del mar peruano se requiere un modelo que integre tanto la parte biológica, como los aspectos económicos. Este tipo de modelo será particularmente útil si se tiene como objetivo maximizar el rendimiento económico neto de la pesquería



peruana y requerirá un trabajo y colaboración más estrecha entre las entidades nacionales que se dedican a la investigación (IMARPE) y los que planifican la economía en el sector pesquero (Ministerio de la Producción, Ministerio de Economía y Finanzas).

- La innovación propuesta en este trabajo, resulta esencial para el progreso de la pesquería en nuestro país, al abrir nuevas posibilidades de ampliar los conocimientos, fomentar el crecimiento económico y capacitar a las personas, que utilizarán el sistema de software para la identificación de peces marinos, para participar activamente en la vida de sus comunidades.
- Las redes semánticas y el lenguaje de Inteligencia Artificial Prolog son aplicables para la clasificación de peces. Es factible realizar representaciones del conocimiento con facilidad construyendo redes semánticas a partir de lógica aplicables a la programación lógica.
- La *Clave para identificar los peces marinos del Perú* de IMARPE es una fuente organizada de conocimiento para crear Bases de Hechos. Asimismo el *Catálogo comentado de peces marinos del Perú* sirve para crear Bases de Datos.
- Las Técnicas de Inteligencia Artificial y la Pesquería muestran puntos importantes de convergencia que les permiten integrarse en un modelo del Sistema marino peruano.
- Al simular el modelo se observa que la población de peces decae de forma significativa antes de que detecten cambios importantes en la captura. Después de un año, la Captura por Barco se redujo en sólo un 4% mientras que casi un  $\frac{1}{4}$  de la población de peces había sido eliminado. Después de dos años, se aprecia sólo un 10% de reducción en la Captura

por Barco, mientras que casi un  $\frac{1}{2}$  de la población de peces se ha perdido. Este comportamiento trae un problema a la industria pesquera ya que tiene que parar la captura y dejar que el recurso se recupere.

- El modelo creado en esta Tesis no puede ser utilizado para analizar el comportamiento de otros sistemas. El modelo trata un problema específico: los efectos de la industria pesquera sobre lo que de otro modo sería una población pesquera estable. Utilizado para este propósito el modelo describe de forma bastante precisa el comportamiento real de sistemas similares de la vida real.

## RECOMENDACIONES

1. Diseñar un modelo podría tener no sólo valor predictivo sino también de diagnóstico, por lo que podría utilizarse también para explorar posibles interacciones. En este nivel el modelo identificará los componentes críticos del ecosistema (y sus funciones que la deciden) lo cual requiere estudios más detallados. En el futuro, éste modelo también proveería datos requeridos en un modelo económico.
2. Desarrollar un modelo de la evolución de dos especies que disputan un mismo alimento, o mostrar como la biomasa de la especie A podría afectar la biomasa de la especie B (para la costa peruana las especies A y B podrían ser anchoveta y sardina).
3. Realizar un muestreo que provea los datos para actualizar los datos existentes. Este incluirá datos de biomasa temporal y espacial, elementos biológicos del modelo, comportamiento de alimentación, tasas de exportación (captura), así como factores abióticos tales como viento y datos hidrográficos. Los datos deberán estandarizarse y analizarse en tiempo real a fin de proveer las entradas de datos requeridas en el modelo. Se pondrá especial atención a la colección de datos de composición, biomasa y producción de fitoplancton y zooplancton.
4. Aplicar la metodología empleada, para desarrollar con facilidad nuevas aplicaciones como la creación de Sistemas de identificación de minerales, Sistemas de clasificación e identificación de bacterias, Sistemas Taxonómicos de virus, Sistemas de identificación de

animales, Sistema de clasificación de algas, Sistema de identificación de zooplancton, etc.

5. Diseñar un propio plan regulador propio incorporando algunas o todas las prácticas reguladoras analizadas hasta ahora.
6. Modelar los cardúmenes de peces, aplicando las tres reglas de las aves de Craig Reynolds.
7. Empezar a construir el Sistema de Información Pesquero nacional, comenzando por recoger la información pertinente mostrada en este trabajo.
8. Considerar que la información incluida en este trabajo y los Bancos de Datos que posee IMARPE son suficientes para iniciar el modelaje del ecosistema del mar peruano.
9. Propiciar la formación de grupos de trabajos, bajo la dirección de IMARPE, conformados por científicos altamente especializados del país y del extranjero, cuyo participación en este ejercicio podrá ser canalizada en base a la cooperación técnica bilateral e internacional ya existentes u otros que podrán instituirse en el futuro.
10. Utilizar la auto-organización en sistemas complejos para obtener software que no pierda estabilidad al adaptarse a condiciones cambiantes.
11. Continuar los muestreos que proveen de datos para actualizar las series de datos disponibles. Esto incluye datos sobre cambios de la biomasa y las capturas, así como otros elementos biológicos (alimentación, plancton, etc.) y factores abióticos (vientos, datos hidrográficos, etc.). Sólo de esta forma se podrá ir completando y renovando el modelo planteado en esta tesis.

## GLOSARIO

**Agente:** es todo aquello que puede considerarse que percibe su ambiente mediante sensores y que responde o actúa en tal ambiente por medio de efectores. Los agentes humanos tienen ojos, oídos y otros órganos que les sirven de sensores, así como manos, piernas, boca y otras partes de su cuerpo que le sirven de efectores. En el caso de los agentes robóticos, los sensores son sustituidos por cámaras y telémetros infrarrojos, y los efectores son reemplazados mediante motores. En el caso de un agente de software, sus percepciones y acciones vienen a ser las cadenas de bits codificados.

**Biomasa Poblacional:** es la fracción de la población que está expuesta a la extracción y es expresada en peso.

**Biomasa stock adulto:** es la cantidad total, en peso, de la porción adulta de una población de peces. También se conoce como SSB (Spawning Stock Biomass), biomasa del stock reproductor, biomasa en puesta o biomasa desovante

**Biomasa total:** es la cantidad total, en peso, de una población

**Biosfera:** es el término ampliamente usado para todos los ecosistemas del planeta, que funcionan juntos a una escala global.

**Comunidad:** se utiliza para designar un conglomerado biológico que incluye todas las poblaciones que viven en un área dada.

**Conocimiento Privado:** aquel que no está explícitamente formulado en ningún medio accesible, ni está normalmente disponible a partir de instrucción. Este conocimiento lo adquiere un experto, precisamente a través de su experiencia personal.

**Conocimiento Público:** conocimientos que están formulados explícitamente en algún medio (libros, revistas, manuales, bases de datos, etc.) o que se

pueden aprender recibiendo alguna instrucción. Este constituye una especie de “Conocimiento público”, porque, al menos en principio, esta disponible para quien lo desee.

**Dinámica de la población:** es el estudio de la abundancia de los stocks pesqueros, sus cambios con el paso del tiempo y las razones que motivan estos cambios.

**Encadenamiento** hacia atrás: implica el razonamiento en reversa desde una hipótesis, habrá de comprobarse una posible conclusión, a los hechos que la sustentan. Por ejemplo, si usted no ha mirado hacia fuera y alguien entra con los zapatos mojados y un paraguas, su hipótesis será que está lloviendo; para apoyarla podría preguntar a la persona si en verdad esta lloviendo, si la respuesta es sí, entonces la hipótesis es verdadera y se convierte en un hecho.

**Encadenamiento** hacia delante: es el razonamiento desde los hechos hacia las conclusiones que resultan de ellos. Por ejemplo, si usted ve que está lloviendo antes de salir de casa (el hecho), entonces debe llevar un paraguas (la conclusión).

**Estructuras Genéricas:** son estructuras relativamente simples que se presentan recurrentemente en muchas situaciones diversas. Por ejemplo los modelos de una cuenta bancaria y una población de venados tienen la misma estructura básica.

**Evaluación:** acción y resultado de estudiar la situación de un recurso aplicando un método homologado de la ciencia pesquera. La evaluación se puede hacer con distintos métodos según sean los datos básicos de que se disponga y según sea el grado de desarrollo de paciencia pesquera en momento dado. Generalmente, se aplican herramientas de naturaleza matemática y estadística para facilitar la comprensión cuantitativa del stock.

**Heurística:** cualquier técnica que permita mejorar el desempeño de caso promedio en una tarea de resolución de problemas, aunque no necesariamente permita mejorar el desempeño del peor de los casos. Específicamente, en el área de los algoritmos de búsqueda, se refiere a una función mediante la cual se obtiene un estimado del costo de una solución.

**Homeorresis:** (del griego homeorhéin que significa mantenimiento del flujo) para describir la estabilidad evolutiva y ecológica en oposición a la homeostasis (del griego homaostasis que significa mantenimiento del estado estático), término ampliamente utilizado para describir la estabilidad fisiológica a nivel de organismo.

**Jerarquía:** se define como un arreglo en una serie graduada de compartimientos. Las jerarquías geográficas, biológicas o ecológicas se encuentran anidadas, ya que cada nivel esta formado por un grupo de niveles inferiores inmediatos, en contraste, las jerarquías militares (y otras organizaciones humanas jerárquicas en los gobiernos, en las empresas y en las universidades) son jerarquías no anidadas.

**Límites biológicos seguros:** son límites de seguridad biológica. Rango o conjunto de condiciones – tasa de mortalidad pesquera, y tamaño de stock reproductor- más allá de las cuales se corre el riesgo grave de que un recurso no pueda seguir renovándose suficientemente, con lo que incluso se puede producir en un futuro más o menos inmediato el colapso de la pesquería.

**Marcos:** un marco (en inglés “frame”) proporciona una representación estructurada de un objeto o clase de objetos, por ejemplo, un marco puede representar un “automóvil”, y otro una “clase” de automóviles.

**Metaconocimiento:** consiste en el conocimiento de estrategias sobre como utilizar el conocimiento sobre un dominio de aplicación. En el caso en que este metaconimiento esté representado por medio de unas reglas, estas se denominan meta-reglas: son reglas acerca de las reglas.

**Modelo:** es una representación simplificada y conceptual del funcionamiento del mundo real.

**Mortalidad natural (M):** es la tasa de mortalidad debida a causas diferentes a la propia pesca. Por ejemplo depredación por otras especies, canibalismo, enfermedades, contaminación, etc. Como es muy difícil de estimar, se calcula basándose en características generales del ciclo vital, como la longevidad de la especie, y se asume, en general, que es un valor constante para todas las edades.

**Mortalidad por pesca (F):** es una variable utilizada para medir el stock que muere por efectos de la pesca. Se puede utilizar referido la porcentaje de sobrevivientes anuales y se define en la escala logarítmica. Depende directamente de la intensidad de la pesca.

**Población:** es un conjunto de individuos de la misma especie que comparten caracteres ecológicos y genéticos. Los stocks, definidos a efectos de la evaluación y ordenación, no siempre coinciden con las poblaciones.

**Población:** originalmente acuñado para denotar un grupo de personas, se amplía para incluir grupos de individuos de cualquier especie que viven en algún área dada. En singular, una población es un grupo de organismos de la misma especie que se reproducen entre sí libremente; en plural, las poblaciones pueden incluir grupos de organismos de diferentes especies que están vinculados por un origen común o un hábitat común.

**Realimentación Negativa:** si el aumento de una variable provoca de posteriormente haya una disminución en esa misma variable. Las realimentaciones negativas llevan al equilibrio o estabilizan los sistemas, lo que produce un comportamiento asintótico o bien oscilante.

**Realimentación Positiva:** si el aumento de una variable, después de un retraso, provoca un nuevo aumento de esa misma variable. Las realimentaciones positivas se hallan cuando hay un refuerzo o amplificación en el sistema, que provoca un comportamiento exponencial.

**Realimentación:** es un proceso por el cual una señal viaja a través de una cadena de relaciones causales hasta relacionarse consigo misma.

**Reclutamiento:** es la generación de individuos de una población nacidos una temporada de puesta dad, y que se incorporará a la pesquería una vez alcanzado su tamaño determinado. El termino clase anual tiene el mismo significado. Cada generación presente en el es una clase anual, que se denomina de acuerdo a su edad o año de nacimiento. Por ejemplo, grupo 0 es la generación de individuos nacidos en el año. Grupo I será conjunto de individuos de I año de edad y así sucesivamente hasta llegar a la clase más vieja en la población. De la misma manera, la clase anual de 1987 se refiere al conjunto de ejemplares nacidos en dicho año.



**Stock Reproductor:** son peces sexualmente maduros de la población y capaces de reproducirse.

**Stock:** es un conjunto de individuos de una especie que es explotada por la pesca, y que constituye una unidad de gestión, sin intercambio importante con otros stocks de la misma especie.

## BIBLIOGRAFIA

**AHLSTROM, E.H.** Distribution and abundance of sardine and anchovy larvae in the California current region of California and Baja California, 1951–64: a summary. Special Scientific Report of the US Fish and Wildlife Service. 1966.

**ALBIN S. y CHOUNDHARI M.** Estructuras Genéricas: Retroalimentación positiva de primer orden. Massachusetts Institute of Technology. 2000.

**ALM, G.** Connection between maturity size and age in fishes. Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm. 1959.

**BARANANOV, F.** Bases Biológicas de la pesquería. Nauch. Issled. IKHTIOLOGICHESKII. Inst. Izv. 1918.

**BER, K. M.** History of fishing in Russia and the adjacent seas. Uch. Zap. Acad. NauK. 2. N° 4. 1854.

**BEVERTON, R.J.H** Small pelagic fish and the threat of fishing; are they endangered? Journal of Fish Biology 37 (Supplement A). 1990.

**BOIKO, E. G.** Forecasting supplies and catches of azov zanders Trudy Vsesoyuznogo N. I. Inst. Morsk. Rybn, Khoz, Okeanogr. 1964.

**BUZAN TONNY y BUZAN BARRY.** El Libro de los mapas mentales. Ediciones Urano. Segunda edición. Barcelona. 1996.

**CASTILLO E, GUTIÉRREZ J, y HADI A.** Sistemas Expertos y Modelos de Redes Probabilísticas. Universidad de Cantabria, España. 1998.

**CAUGHLEY, G.** Analysis of vertebrate Population`s. Wiley.New-York. 1977

**CHECKLAND PETER.** Pensamiento de Sistemas, Práctica de Sistemas. Editorial Megabyte. México. 1993.

**CHIRICHIGNO NORMA.** Clave para Identificar los Peces Marinos del Perú. Informe 44. Imarpe. Callao. Perú. 1974.

**CHIRICHIGNO NORMA y CORNEJO MARTÍN.** Catálogo comentado de los peces marinos del Perú. Instituto del Mar del Perú. Callao, Perú. Publicación Especial. 2001.

**CHIRICHIGNO NORMA y VÉLEZ JUAN.** Clave para Identificar los Peces Marinos del Perú. Informe N° 44. Instituto del Mar del Perú. Callao, Perú. Publicación Especial. 1998.

**COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL.** Documento C1. (69ª Reunión, 26-28 Junio 2002, Manzanillo, México). Programa y Presupuesto para el Año Fiscal 2002.

**CONSTABLE A.J.** Ordenación de pesquerías mediante un enfoque ecosistémico: Hacia el logro de objetivos conservacionistas para los depredadores de las especies explotadas. CCAMLR SCIENCE, VOL. 8. Australian Antarctic División. Tasmania, Australia. 2001.

**COPPOLA, S.R., W. FISCHER, L. GARIBALDI, N. SCIALABBA and K.E. CARPENTER.** SPECIESDAB: Global species database for fishery purposes. User's manual. FAO Computerized Information Series (Fisheries) No. 9. FAO, Rome. 1994..

**CSIRKE, J.** Recruitment in the Peruvian anchovy and its dependence on the adult population. *Rapp. P.-v. Réun.* CIEM. 1980.

**CUSHING, D.H.** Climate and Fisheries. Academic press, London. 1982.

**CUSHING, D.H.** Fisheries biology: a study in population dynamics. Madison, University of Wisconsin Press. 1968.

**CUSHING, D.H.** Marine ecology and fisheries. Cambridge University Press, Cambridge. 1975.

**CUVIER, G.** (French original 1828) Historical portrait of the progress of ichthyology, from its origin to our own time. Translated by A.J. Simpson and edited by T.W. Pietsch. The Johns Hopkins University Press, Baltimore. 1995.

**DAOLIANG LI, TAO HU y ZETIAN FU.** T-Vet: An Tele-Diagnosis System for Fish Disease. China Agricultural University. Beijing. 2002.

**DERZHAVIN, A. N.** A biological outline of the Caspian sturgeon Baku. 1922.

**ESCHMEYER, W.N.** Catalog of fishes. Special Publication, California Academy of Sciences, San Francisco. 3 vols. 1998.

**EVERHART, W.H., and W.D. YOUNGS.** Principles of fishery science, 2<sup>nd</sup> edition. Cornell University Press, Ithaca, New York, USA. 1981.

**FERNÁNDEZ BALTASAR.** Sistemas de ayuda inteligente para entornos informáticos complejos. Universidad Complutense de Madrid. 1999.

**FERNANDEZ GREGORIO.** Representación del conocimiento en sistemas inteligentes. Universidad Politécnica de Madrid. 2001.

**FISCHER, W.** FAO species identification sheets for fishery purposes. Mediterranean and Black Sea (fishing area 37). FAO, Rome. pag. var. 1973.

**FISCHER, W.** The FAO species identification sheets programme: a common task for ichthyologists and fishery workers. *Rev. Trav. Pêches Marit.* 1976.

**FRANQUESA R, LLENONART J, OLIVER P, Y SANCHEZ-LIZASO J.** Un combustible y la Pesca. *Diario El País Cataluña del 19/12/2000.*

**FRANQUESA RAMÓN.** Modelos bioeconómicos y políticas de regulación pesquera. Una lección introductoria. Gabinete de Economía del Mar. Univ. Barcelona. 2000.

**FRANQUESA RAMÓN.** La comercialización del pescado frente a las nuevas tecnologías: El proyecto Interpeix de transacción on line. Gabinete de Economía del Mar. Universidad de Barcelona. 2002.

**FRÉON, P., C. MULLON AND G. PICHON.** CLIMPROD: Experimental interactive software for choosing and fitting surplus production models including environmental variables. *FAO Computerized Information Series (Fisheries)*, N° 5, Rome, 76 pp. (con programas en diskettes). 1993.

**FROESE R. y PAULY D.** FishBase. World Wide Web electronic publication. Disponible en (<http://www.fishbase.org>). 2004.

**FROESE, R.** Computer-aided approaches to identification. II. Numerical taxonomy. Fishbyte 1989.

**FROESE, R.** Moderne Methoden zur Bestimmung von Fischlarven. Universität Hamburg. Thèse de Doctorat. 1990.

**FROESE, R. y Ç. PAPASSISI.** The use of modern relational databases for identification of fish larvae. *J. Appl. Ichthyol* 1990.

**FROESE, R., I. ACHENBACH y C. PAPASSISI.** Computer-aided approaches to identification. III. (Conclusion). Modern databases. Fishbyte 1990.

**FROESE, R., W. Schöfer, A. Röpke y D. Schnack.** Computer-aided approaches to identification of aquatic organisms : the use of Expert Systems. Fishbyte. 1989.

**GAYANILO JR., F.C., M. SORIANO AND D. PAULY.** A draft guide to the COMPLEAT ELEFAN. *ICLARM Software Project* y 10 diskettes (5.25 inches, 360K). 1988.

**GAYANILO JR., F.C., P. SPARRE AND D. PAULY.** The FAO ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT) User's Guide. *FAO Computerized Information Series (Fisheries)*, N° 8, Rome. 1995.

**GIARRATANO JOSEPH y RILEY, GARY.** SISTEMAS EXPERTOS Principios y programación. 3ra. Ed. México. International Thomson. 2001.

**GOMEZ ANTONIO.** Inducción de Conocimiento con Incertidumbre en Bases de datos relacionales borrosas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 1998.

**GRAHAM, M.** Modern theory of exploiting a fishery and application to North Sea trawling. *J. Cons. CIEM*. 1935.

**GULLAND, J.A.** Fish stock assessment: a manual of basic methods. Chichester, U.K., Wiley Interscience, FAO/Wiley series on food and agriculture. 1983.

**GUTIÉRREZ ESTRADA, J.C.; DE PEDRO SANZ, E.; LÓPEZ LUQUE, R.; PULIDO CALVO.** Sedpa: Sistema experto de ayuda al diagnóstico de patologías en piscifactorías de anguilas. España. 1998.

**HALBOWER MATTHEW.** Renewable Resource Depletion (D-4263-2), System Dynamics in Education Project, System Dynamics Group, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology. 1992.

**HILDEBRAND, S..** A descriptive catalog of the shore fishes of Peru. Smith. Inst. U. S. Nat. Mus. Bull. 1946.

**HJORT, J.** Fluctuations in the great fisheries of northern Europe, viewed in the light of biological research. Rapp. P-V. Reun. Con. Perm Int. Explor. Mer. 1914.

**HOFSTADTER, DOUGLAS.** Gödel, Escher, Bach. Un Eterno y Grácil Bucle. Turquets Editores. Barcelona. España. 1992.

**HUMANN, P.** Reef fish identification, Florida, Caribbean, Bahamas. New World Publication, Jacksonville, Florida. 1994.

**JACKSON PETER.** Introduction to Expert Systems. Ed.England. Addison Weley Longman Limited. 1999.

**KAWASAKI T., TANAKA S., TOBA Y., TANIGUCHI A.** Long-term variability of pelagic fish populations and their environment. Pergamon Press, Oxford. 1991.

**KLEMM, E.B., S.A. Reed, F.M. POTTENGER, C. PORTER, T.W. SPEITEL..** HMSS The Living Ocean. Honolulu, HI: Grupo de Investigación y desarrollo de currículo, Universidad de Hawai. 1995.

**KOEPCKE, H-W.** Clave para identificar los peces comunes de la costa peruana. Direc. Pesquería y Cazà, Ministerio Agricultura. Ser. Divulg. Ci. 1951.

**LARKIN, P.A.** The stock concept and management of Pacific salmon. H.R. MacMillan lectures in fisheries. Vancouver, University of British Columbia Press, 1972.

**LAUDON KENNETH y LAUDON JANE.** Administración de los Sistemas de Información. Organización y Tecnología. Prentice Hall. México. Tercera Edición. 2000.

**LAUDON KENNETH y LAUDON JANE.** Sistemas de Información Gerencial. Organización y Tecnología de la Empresa Conectada en Red. Pearson Educación. México. Sexta Edición. 2002

**LEDEBEV, V. D:** Effect of fishing on the biological parameters of fish. Trudy Soveshch.po dinamke chislemosti ryb. (Trans. Of the conf. on the dynamics of fish Numbers) Izd. Akad. Nauk. SSSR. 1961.

**LEWIS, D., P. REINTHAL AND J. TRENDALL.** A guide to the fishes of Lake Malawi National Park. World Wildlife Fund, Gland, Switzerland. 1986.

**LIESKE, E. y R.A. MYERS.** Collins pocket guide. Coral reef fishes. Indo-Pacific & Caribbean including the Red Sea. Harper Collins Publishers, Italy. 1994.

**LOTKA, A. J.** Elements of physical biology. Baltimore: William & Wilkins Co. 1925.

**MACLEOD RAYMOND.** Sistemas de Información Gerencial. Prentice Hall Hispanoamérica. 7ª ed. México. 2000.

**MARTIN LESLIE.** Introducción a los Sistemas con realimentación. MIT. System Dynamics in Education Project. Octubre. 1997.

**MARTIN LESLIE.** El primer paso. Proyecto de Dinámica de Sistemas en Educación. Massachusetts Institute of Technology. 2000.

**MATURANA HUMBERTO y VARELA FRANCISCO.** El árbol del conocimiento. Madrid. Editorial Debate. 1996.

**MEADOWS DONELLA.** Lugares donde intervenir en un sistema (para aumentar el grado de efectividad). Publicado en Whole Herat. 1997.

**MENDO JAIME,** Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú. **GARCÍA CAMILO,** Universidad Nacional de Colombia. **DUARTE LUIS,** Universidad de Concepción, Chile. La Aplicación de Técnicas de Modelación para el Estudio de Ecosistemas Marinos Método Ecopath. 2001.

**MUNERA LUIS.** Principios de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos. Universidad ICESI. España. 2001.

**NELSON, J.S.** Fishes of the world. 3rd ed. John Wiley and Sons, New York. 1994.

**NIKOLSKII, G. V.** Fish Ecology. London. Acad. Press 1963.

**NILSSON NILS.** Inteligencia Artificial. Una nueva síntesis. Ed. McGraw-Hill. Madrid, España. 2001.

**ODUM EUGENE y SARMIENTO FAUSTO.** ECOLOGÍA. El puente entre la ciencia y sociedad. Editorial McGraw-Hill. México D.F. 1998.

**ODUM EUGENE.** Fundamentos de Ecología. Editorial Interamericana. México, D.F. 1985.

**PAULY D, MUCK P, MENDO J y T SUKAYAMA I.** The Peruvian Upwelling Ecosystem: Dynamics and Interactions. IMARPE, GTZ, ICLARM. Manila. Philippines. 1989.

**PC-PRO.** Edición Española. Barcelona. Número 17. 30 Septiembre 2001. La Ciencia del Software.

**PIETSCH, T.W. and D.B. GROBECKER.** Frogfishes of the world. Stanford University Press, Stanford, California. 1987.

**PIGNANI JUAN.** Sistemas Expertos. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario. Argentina. 2000.

**POPE, J. G.** An investigation of accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. Inst. Comm. Northwest Atl. Fish. Res. Bull. 1972.

**RANDALL, J.** Shore fishes of Hawaii. Natural World Press, Vida, Oregon. 1996.

**RICKER, W.E.** Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 1975.

**RUSSELL STUART y NORVIG PETER.** Inteligencia Artificial: Un enfoque moderno. Ed. Prentice Hall. México. 1996.

**RUSSELL, E.S.** Some theoretical considerations on the overfishing problem. J. cons. Perm. Int. explor. Mer. 1931.

**SEA CHALLENGER.** Fishwatcher's species checklist for Pacific Coast invertebrates and fishes. Sea Challengers Inc., Monterey. 1995.

**SENGE PETER.** Escuelas que Aprenden. Editorial Norma. Bogotá. Colombia. 2002.

**SENGE PETER.** La Danza del Cambio. Editorial Norma. Colombia. 2000.

**SMITH ROBERT, SMITH THOMAS.** Ecología. Editorial Pearson Educación. 4ta. Edición. Madrid. 2001.

**SMITH, C.L.** Fish watching: an outdoor guide to freshwater fishes. Cornell University Press, Ithaca. 1994.

**SMITH, M.M. Y P.C. HEEMSTRA,** Editors. Smith's sea fishes. Springer Verlag, Berlin. 1986.

**SMITH. P. J.** La diversidad genética de los recursos pesqueros marinos: posibles repercusiones de la pesca. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 344. Roma, FAO. 1996.

**SOUTAR, A., ISAACS, J.D.** History of fish populations inferred from fish scales in anaerobic sediments off California. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Report. 1969.

**SOUTWARD, A.J.** The distribution of some plankton animals in the English Channel and approaches. Journal of the Marine Biological Association of the UK. 1963.

**SPARRE, P. A.** A method for the estimation of growth, mortality and gear selection/recruitment parameters from length-frequency samples weighted by catch per effort. *ICLARM Conf. Proc.* 1987

**TRESIERRA A y CULQUICHICON Z.** Biología Pesquera. Concytec. Trujillo, Perú. 1993.

**TRESIERRA A, CULQUICHICON Z y VENEROS B.** Dinámica de poblaciones de Peces. Editorial Libertad. Trujillo, Perú. 1995.

**UDEC.** Simulador de Pesca basado en las Herramientas de la Inteligencia Artificial. Chile, 1999.

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO.** Escuela de Ciencias del Mar. Proyecto EFISAT. Chile, 2000. Disponible en <<http://www.ucv.cl/efisat>> [2002, julio 11].

**VÉLEZ, J.** Clave artificial para identificar los peces marinos comunes en la costa central del Perú. Boletín de Lima, 1980.

**VOLTERRA, V.** Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specoe animali conviventi. Mem. R. Accad. Naz. Dei Lincei. Ser. VI, vol. 2. 1926.

**WANG RUIMEI, FU ZETIAN and MU WEISONG.** Institute of agricultural Engineering. Beijing, China. 2000.

**WHELAN JOSEPH.** Construcción del Modelo de los Bancos de Peces y Agotamiento de los Recursos Naturales. Massachussetsts Institute of Technology. 1995.

**WINSTON PATRICK.** Inteligencia Artificial. Massachusetts Institute of Technology. Ed. Addison-Wesley Iberoamericana. E.U.A. 1994.

**ZHANG XIAOSHUAN, FU ZETIAN y WEN JIWEN.** Study on Construct of Knowledge Base in Fish Disease Diagnosis Expert System. Agricultural Engineering Institute. China. 2001.