

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

MONOGRAFIA TECNICO-CIENTIFICA

VOLUMEN I

NUMERO 2

CLINICA ECOSISTEMICA

SILVOAGROPECUARIA

FUNDAMENTOS Y METODOLOGIA

FRANCISCO MAYNES DEL R.
ROBERTO ARMIJO T.
JUAN GASTO G.



Noviembre 1975

SALTILLO, COAHUILA, MEXICO

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

	PAGINA
INTRODUCCION	72
ANTECEDENTES	75
Enfoque Agronomico	75
Enfoque agronomico estadistico	78
Enfoque ecologico silvoagropecuario	80
Enfoque medico	81

MONOGRAFIA TECNICO-CIENTIFICA

VOLUMEN 1 NUMERO 2

SILVOAGROPECUARIO	87
Teoria general de sistemas	89
El ecosistema silvoagropecuario	94
PLANTEAMIENTO METODOLOGICO CLINICO DEL ECOSISTEMA	101
CONCLUSIONES	134
RESUMEN	138
SUMMARY	123
BIBLIOGRAFIA	50
ANEXOS	128
FUNDAMENTOS Y METODOLOGIA	128

FRANCISCO MAYNEZ DEL R.
ROBERTO ARMIJO T.
JUAN M. GASTO C.

NOVIEMBRE, 1975
SALTILLO, COAHUILA, MEXICO

I N D I C E

	PAGINA
INTRODUCCION	72
ANTECEDENTES	75
Enfoque agronómico	75
Enfoque agronómico estadístico	79
Enfoque ecosistémico silvoagropecuario	80
Enfoque médico	84
Discusión de antecedentes	86
TEORIA GENERAL DE SISTEMAS Y EL ECOSISTEMA	
SILVOAGROPECUARIO	89
Teoría general de sistemas	89
El ecosistema silvoagropecuario	94
PLANTEAMIENTO METODOLOGICO CLINICO DEL ECOSISTEMA	101
CONCLUSIONES	126
RESUMEN	128
SUMMARY	129
BIBLIOGRAFIA	130
APENDICE	134
Símbolos empleados	135

Lo que vemos depende principalmente de lo que buscamos.

John Lubbock

Francisco Martínez del Río

Roberto Arriaga

Juan M. Castro

INTRODUCCION

Las ciencias naturales se han desarrollado poco a poco en la agricultura y el medio rural. En el siglo XIX, la agricultura se convirtió en una actividad científica y técnica. Este proceso se aceleró en el siglo XX, cuando la agricultura se convirtió en una actividad industrial y científica. Este proceso se aceleró en el siglo XX, cuando la agricultura se convirtió en una actividad industrial y científica.

Una de las primeras aplicaciones de la ciencia en la agricultura se dio en el siglo XIX, cuando se descubrió que el uso de fertilizantes químicos podía aumentar el rendimiento de los cultivos. Este descubrimiento marcó el inicio de la agricultura científica. En el siglo XX, la agricultura se convirtió en una actividad industrial y científica. Este proceso se aceleró en el siglo XX, cuando la agricultura se convirtió en una actividad industrial y científica.

Instituto Agrario, N.E. Justiticia Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA, CIAT, Campo Agrícola Experimental Delicias, Chihuahua.

Físico-Matemático, M.S. de Ciencias, Profesor de Física y Matemáticas, DIV. Agropecuaria, INIA.

Ingeniero Agrónomo, M.S. de P. U. Profesor de Ecología y de Manejo de Pastizales, DIV. Ciencia Animal, UAAAH.

CLINICA ECOSISTEMICA SILVOAGROPECUARIA.

FUNDAMENTOS Y METODOLOGIA

Francisco Máynez del R. *

Roberto Armijo T. **

Juan M. Gastó C. ***

I N T R O D U C C I O N

Las ciencias naturales se basan en no poca medida en la renuncia a diseñar de un solo golpe un "sistema de la naturaleza", su condescendencia a tratar con los pequeños problemas particulares y su paciencia infinita en someterlos a un análisis detallado.

Weyl, 1965

Unos de los primeros acontecimientos relevantes alcanzados por el hombre después de su aparición sobre la tierra, hace aproximadamente un millón de años fue la invención de la agricultura. Este acontecimiento, que ocurrió hace unos diez mil años, y a pesar del progreso logrado en este lapso, no ha sido posible situar a la ciencia silvoagropecuaria al nivel de la ciencia moderna (Thomson, 1970; Mangenot, 1963). La ciencia del agro se caracteriza, a menudo, por basarse preferentemente en su antigua tradición en lugar que en los principios básicos en que se fundamentan las ciencias (Einstein, 1940).

-
- * Ingeniero Agrónomo, M.C. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA, CIANE. Campo Agrícola Experimental Delicias, Chihuahua.
- ** Físico-Matemático, M.S. en Ciencias. Profesor de Física y Matemáticas. Div. Ingeniería. UAAAN.
- *** Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph. D. Profesor de Ecología y de Manejo de Pastizales. Div. Ciencia Animal. UAAAN.

Es necesario, además, reconocer que los sistemas silvo-agropecuarios se comportan normalmente más complejamente, que otros tipos de sistemas de los que se ocupa la ciencia y la técnica actual (Mayr, 1961). Esto no quiere decir, que los profesionales del agro deben quedarse estáticos ante la magnitud y complejidad de las ciencias silvoagropecuarias, porque mientras más complejo sea el problema se requiere de mayor esfuerzo y dedicación. En la resolución de problemas del agro es necesario pasar del empirismo inductivo al conocimiento basado en generalizaciones cuantificables que permitan, a través de la deducción, predecir cuantitativamente eventos particulares (Meringo, 1952; Stebbing, 1965; Rosenblueth, 1971).

Como se ha dicho anteriormente, el problema es de tal magnitud y complejidad que no permite hoy en día afirmar que existe una solución general cuantitativamente satisfactoria. El presente trabajo, por lo tanto, se refiere a algunos puntos de vista generales de la metodología para el estudio de problemas relacionados con ecosistemas silvoagropecuarios.

El objetivo principal del presente trabajo es contribuir en la búsqueda de una metodología clínica general aplicable a la solución de problemas silvoagropecuarios. Pretende, además, contribuir al desarrollo de una dialéctica que permita colocar a la ciencia silvoagropecuaria en un nivel que le permita utilizar una mayor proporción del acopio científico logrado por investigadores y profesionales de otras áreas, tales como: cibernética y algunas ramas de las matemáticas inherentes a este campo.

No es posible en la actualidad, resolver los problemas silvoagropecuarios con la dialéctica puramente empirista que ha sido tradicional desde hace tanto tiempo (Reichenbach, 1973). Es necesario, que se haga un mayor uso del racionalismo general en la formulación de hipótesis lo cual, unido a los valores empíricos alcanzados a través de la experimentación agrícola contribuya a la transformación de la dialéctica silvoagropecuaria

y a la resolución de problemas específicos.

Metodología clínica, en la acepción que se le ha dado en este trabajo, es la construcción de un procedimiento general que defina la secuencia y características de las etapas y pasos que se debe seguir en el estudio de ecosistemas, y de la transformación de su estado original a otro mas conveniente.

A N T E C E D E N T E S

*Medir lo que es medible y
tratar de hacer medible lo que to-
davía no lo es.*

Galileo

El esclarecimiento de los problemas del entendimiento y de los factores que intervienen en la productividad de un ecosistema silvoagropecuario ha sido abordado por diferentes autores, que caracterizan a las diversas escuelas de pensamiento. En este trabajo se analizan y discuten algunos estudios considerados básicos y representativos de cada una de las escuelas, donde se muestran diferentes enfoques.

Enfoque agronómico

Zaffanella y Gemesio (1969) publicaron un trabajo en el cual presentan un procedimiento con un enfoque agronómico para el ataque de problemas regionales de productividad silvoagropecuaria mediante análisis y síntesis ecológicas. En él, se presentan y discuten seis etapas fundamentales para la resolución de problemas silvoagropecuarios de productividad. Este trabajo, que representa uno de los primeros estudios globales, ordenados y sistemáticos sobre la metodología clínica de ecosistemas de producción, presenta algunos postulados y premisas fundamentales que deben ser considerados en cualquier estudio de esta naturaleza.

La primera etapa se denomina: corografía de la región estudiada. Esta etapa es meramente introductoria correspondiendo a aquella en la cual se hace una ficha y una reseña de las principales características de la región, con el fin de poder ubicarse en el área de estudio.

La segunda etapa es de confección del mapa de las unidades agroecológicas. Esta etapa, consiste fundamentalmente en

la realización de un inventario del contenido agronómico de la región. En base a ello se seleccionan los sectores que justifiquen el estudio de los problemas de productividad. Las unidades agroecológicas se definen en base al concepto de unidad clima-suelo, al que se considera como una síntesis del ambiente abiótico o ecotopo. Se presentan las siguientes situaciones típicas de unidades clima-suelo:

- Condiciones óptimas de clima y suelo.
- Condiciones óptimas de clima y limitantes de suelo.
- Condiciones limitantes de clima y óptimas de suelo.
- Condiciones limitantes de clima y suelo.

La determinación de las unidades agroecológicas es subjetiva, ya que, es por medio de informantes. Se considera como los más competentes a ingenieros agrónomos, gerentes de cooperativas agrícolas y a los agricultores desarrollados.

La tercera etapa consiste en la determinación de las prioridades de estudio de las unidades agroecológicas. En esta etapa, las unidades agroecológicas son analizadas y comparadas entre sí por un grupo de consultores que, además de tener un buen conocimiento de la región y de sus problemas, sean capaces de comprender los factores diferenciales que permitan calificar a las unidades.

La cuarta etapa consiste en el estudio del problema de la productividad mediante cultivos. Los autores consideran que una buena medida para cuantificar los problemas de productividad son los cultivos, que pasan a ser entidades ecoindicadoras y que reflejan si en la interacción ambiental existen condiciones limitantes de la productividad del recurso. El procedimiento que se utiliza en la primera fase de esta etapa consiste en seleccionar informantes competentes, tales como: agentes de extensión, gerentes de cooperativas agrícolas, técnicos de

estaciones experimentales y productores, a los cuales se les interroga sobre su opinión de los factores que pudieran ser limitativos del rendimiento. Los valores así obtenidos se registran en una planilla que, según los autores, tiene cierto orden y técnica, lo cual facilita posteriormente el análisis de la acción de los factores limitantes del rendimiento. Se dice, así mismo, que el subjetivismo de esta etapa, en parte podría ser neutralizado, al disponerse de varias fuentes de información, cuyos aportes permitiría obtener una sólo resultante.

Como segunda fase, se establece una matriz ecológica para el estudio de la interacción de los factores ambientales. Esta matriz ecológica corresponde a un cuadro ordenado, de manera que el primer factor encabeza la primera columna y primera fila y los factores sucesivos las siguientes columnas y filas. Para establecer la interacción entre los factores, se comienza con el primer factor de la primera columna y se analiza su relación con el factor de la segunda fila, tratando de establecer el tipo de relación que existe entre ellos, de acuerdo con las siguientes alternativas:

No se advierte relación alguna entre un factor y otro.

Un factor contribuye en forma directa, total o parcial, a la forma en que se manifiesta el otro factor.

La forma de manifestación de un factor es el resultado total o parcial de la acción de otro factor.

Una tercera fase, de esta cuarta etapa, es el estudio de diversos aspectos del problema de rendimiento en sí. Para esto se construye una matriz fenológica con los diversos efectos encontrados, y en la que se debe indicar las relaciones que se considere que existen entre los diversos aspectos del problema del rendimiento.

La quinta etapa se refiere a la síntesis del problema de productividad y estructura del problema. La pretensión de

esta etapa es llegar al conocimiento de las relaciones de causa-efecto de los factores que intervienen en la productividad, lo cual se hace por medio de concatenación de factores y siguiendo una diagramación. Una vez preparados todos los diagramas y los factores que tengan algún resultado total o parcial de la acción de otro factor, se ensamblan los diagramas por medio de factores ecológicos con acción directa sobre factores fenológicos, ó sobre las resultantes finales del problema.

La sexta y última etapa, es la de ataque al problema de productividad. El objetivo de esta etapa es la selección de estrategias más convenientes, para que en la medida que sea posible poder resolver el problema de la productividad. El procedimiento que se utiliza es por medio de la ecuación del índice de factibilidad (IF):

$$IF = \frac{ID_r}{I I_r} = \frac{\frac{SD_i}{n_D(DMP_i)}}{\frac{SI_i}{n_I(IMP_i)}}$$

donde:

IF es el índice de factibilidad.

ID_r es el índice de dificultad relativa para el estudio del factor.

SD_i valor, en puntos, de la suma de las dificultades estimadas para los factores relacionados o encadenados al factor en estudio, incluyendo en el puntaje al propio factor.

n_D número de factores relacionados o encadenados, al factor en estudio, y que ofrecen dificultades a resolver, incluyendo en ese número al propio factor.

DMP_i dificultad máxima posible, expresada en puntos, que un factor puede adquirir dentro de la escala de dificultad.

SI_i valor en puntos de la suma de importancia o trascendencia individuales de los factores relacionados o encadenados con el factor considerado, incluyendo, los puntos del propio factor.

n_i número de factores relacionados o encadenados con el factor de estudio que inciden directamente sobre aspectos del problema de rendimiento, incluyendo en ese número al propio factor.

IMP_i importancia o trascendencia máxima posible de un factor, expresada en puntos, dentro de la escala de estimación.

Aunque los autores consideran muy importante el cálculo del índice de factibilidad, no es el único estimador que se toma en cuenta a la hora de decidir la prioridad de estudio de un factor. El orden de prioridades puede también establecerse cuando un factor tenga el mayor valor en el conjunto. Ello significa que reuna la mayor puntuación debido a la incidencia de los factores que éste condiciona y que actúan directamente sobre el cultivo.

Enfoque agronómico-estadístico

Un enfoque más cuantitativo, pero con la misma dialéctica tradicional agronómica, es el de Gandarillas, Acevedo y García (1969), quienes presentan un estudio de la productividad. El procedimiento consiste en seleccionar simultáneamente un cierto número de sitios, tomando en cuenta dos criterios fundamentales. Uno de ellos es la importancia del cultivo y el otro, la elección de una amplia gama de suelos de riego. En cada uno de los sitios se situaron dos parcelas experimentales; una de las cuales correspondía al nivel normal de fertilización del agricultor, y el otro al óptimo supuesto.

En el estudio aludido se llevaron a cabo observaciones de factores permanentes de muy difícil transformación, tales como: profundidad del suelo, drenaje y densidad aparente del suelo, y de los factores controlables tales como: densidad de plantas, fertilidad nitrogenada, fecha de siembra y otras. Los resultados obtenidos se presentan en tres diferentes partes:

Resultados físicos experimentales.

Factores que afectan la productividad en las parcelas con el nivel normal.

Factores que afectan la productividad en el nivel óptimo supuesto.

El procedimiento utilizado por estos investigadores, para la dilucidación de los problemas de la productividad y de la interacción de múltiples factores que le regulan, es el de las régressiones múltiples.

El conjunto de factores representados en una expresión matemática de esta naturaleza permite predecir, el comportamiento del sistema, al evaluarse los factores la productividad en su estado actual. Es posible también predecir la productividad potencial del sistema, al simular valores diferentes para cada uno de los factores.

Los autores concluyen que el procedimiento, aplicado a la resolución de problemas de productividad, debe de atacar los factores controlables del cultivo que son los responsables, en una gran medida, del nivel de productividad.

Enfoque ecosistémico silvoagropecuario

El trabajo de Gastó (1975) de metodología clínica trata el tema partiendo del supuesto que la unidad ecológica fundamental e indivisible es el ecosistema. En ciencias silvoagropecuarias, por lo tanto, no se deben estudiar fenómenos aislados

sino que considerarse y probar su acción holocenótica en el sistema (Thrall, Coombs y Davis, 1954). Tanto el título como el enfoque que se le ha dado, es diferente a lo que tradicionalmente se ha venido haciendo en agronomía en relación al tema. Se abre, en esta forma, un panorama más amplio que permite penetrar con mayor profundidad en los conceptos fundamentales de la metodología clínica de ecosistemas.

Vale la pena definir ciertos conceptos y términos involucrados en el estudio referido, para una mayor comprensión del planteamiento. El concepto de clínica es utilizado en su acepción médica, definiéndosele como el exámen y tratamiento de pacientes. El paciente puede ser el hombre u otras especies, pero en ciencias silvoagropecuarias, el paciente es el ecosistema. Se le califica como enfermo, cuando su arquitectura o funcionamiento no se ajustan a una situación normal o ideal.

La metodología clínica propuesta por Gastó (1975), se basa en cinco etapas fundamentales: exámen, diagnóstico, tratamiento, estrategia y comprobación.

El 'exámen' clínico del ecosistema se define como el estudio, observación y medición de signos con los cuales, después de su análisis, permite inferir sobre algunas características de arquitectura y funcionamiento del ecosistema. Los signos se definen como atributos que pueden ser percibidos por los sentidos, instrumentos o equipo de laboratorio y que se pueden diferenciar por sus características físicas. Los signos como tales no tienen ninguna interpretación per se y sólo la tienen cuando son transformados en síntomas, luego de ser sometidos a un proceso de análisis y comparación con otros signos o patrones idealizados. Síntoma, se define como un fenómeno o efecto propio de una enfermedad y es, por lo tanto, un indicador o señal de un fenómeno o causa que va a suceder o que está sucediendo.

Dentro del exámen clínico, como primer paso se llena una ficha donde se anotan los datos generales del paciente y se hace una reseña donde se registran aspectos generales de antecedentes sobre: fisiografía, clima, historia del uso del ecosistema, síntomas generales y otros.

El segundo paso, dentro del exámen clínico, es el que el autor denomina anamnesis y que corresponde al conjunto de antecedentes del paciente. La técnica o procedimiento a seguir en el proceso de anamnesis depende de la información y precisión que se desee alcanzar. En resumen, el objetivo de la anamnesis, es reunir la mayor cantidad de información y signos que permitan en un momento dado, proporcionar los antecedentes necesarios para efectuar el diagnóstico.

La segunda etapa dentro de la metodología clínica es el diagnóstico, que ha sido definido como el conjunto de signos que fijan el carácter peculiar de una enfermedad. Según el autor, al hacer un diagnóstico se sigue la secuencia que a continuación se indica. En su primera fase se efectúa un exámen completo, donde se incluye la reseña del paciente, su historia clínica y el análisis de la información proporcionada por la anamnesis. Luego, se evalúa la importancia relativa de los diversos signos y síntoma y se clasifican de acuerdo a su jerarquía. En seguida se hace un diagnóstico diferencial, en el que se comparan los síntomas del paciente con una lista de las enfermedades, eliminándose aquellas que no correspondan a los síntomas del paciente. Finalmente, se emite el fallo en el cual se indica a que enfermedad corresponde, o bien si permanece en la duda a la espera de mayor información.

Tres disciplinas inherentes en el diagnóstico clínico, propuestas por Ledley y Lusted (1959) y consideradas por Gastó (1975) son importantes porque modifican y amplían el concepto metodológico silvoagropecuario haciéndolo racionalmente más

completo. Estas disciplinas son: lógica simbólica, teoría de probabilidades y teoría de valores. Otro de los procedimientos de diagnóstico en el estudio de ecosistemas, según el autor, es el desarrollo de modelos de simulación.

Un paso intermedio entre el diagnóstico y el tratamiento es la prognosis pretratamiento, que ha sido definida, como la predicción del curso probable de una enfermedad. Corresponde por lo tanto, a la predicción que se le hace al paciente ecológico, luego de conocido el diagnóstico y antes de recomendar el tratamiento.

La tercera etapa es el tratamiento, y se define como el sistema o método que se emplea para curar un enfermo. El tratamiento debe llevar como meta una transformación del ecosistema, hasta alcanzar el grado normal u óptimo que se pretenda. Gastó y Gastó (1970) afirman al respecto, que cualquiera que sea el uso que se le dé al ecosistema, su óptimo debe cumplir tres requisitos fundamentales.

Conservación del recurso natural renovable.

Adaptación de la fitocenosis y la zoocenosis a las condiciones ambientales del recurso y habitat.

Obtención de un alto grado de productividad.

Prognosis postratamiento es la etapa intermedia entre el tratamiento y la estrategia y corresponde a la segunda predicción del curso probable de la enfermedad ecológica, luego de aplicado el tratamiento recomendado. Prognosis es la predicción de recuperación, si el ecosistema se trata de acuerdo con las recomendaciones especificadas en el tratamiento, indicándose la ruta o estado de salud que probablemente siga el sistema en su recuperación o mejoramiento hasta alcanzar su meta.

La cuarta etapa es la estrategia, que en su acepción original, ha sido definida como la ciencia y el arte de proyectar y dirigir la aplicación de algo, que en este caso corresponde al tratamiento recomendado. La estrategia debe ser resuelta primordialmente con un enfoque económico y sociológico, más bien que ecológico.

Comprobación es la quinta y última etapa del estudio clínico del ecosistema. Su objetivo es comprobar el resultado de las transformaciones efectuadas en el ecosistema, a través de la aplicación del tratamiento recomendado con las predicciones establecidas en la prognosis postratamiento. Se concluye que si los resultados de la comprobación no están acordes con las predicciones hechas, deben ser revisados, ya sea, el exámen, diagnóstico, tratamiento o la estrategia, hasta lograr determinar la causa del error.

Enfoque médico

Ledley y Lusted (1959) publicaron fundamentos de razonamiento para el diagnóstico médico. Este trabajo se basa en tres aspectos matemáticos para la resolución de problemas relacionados con el diagnóstico en medicina humana: lógica simbólica, teoría de probabilidades y teoría de valores.

Los autores consideran que hay tres aspectos relacionados con los conceptos lógicos inherentes al tema:

El acervo de conocimientos médicos.

Los signos y los síntomas presentados por el paciente.

El diagnóstico médico final.

En la primera etapa del proceso de análisis lógico, se revisan los símbolos asociados con el cálculo proposicional de lógica simbólica. Se realiza esta etapa, puesto que el lenguaje simbólico facilita la más precisa comunicación de los conceptos involucrados en el proceso lógico. Por medio del lenguaje simbólico los tres aspectos antes mencionados, y que son inherentes a los conceptos lógicos, pueden ser expresados en términos de

funciones booleanas. Una función booleana es aquella cuyos términos son expresiones lógicas.

Bajo el concepto anterior, se describe lo siguiente:

$$C(S(1), \dots, S(n), D(1), \dots, D(m))$$

que representa el conjunto de conocimientos médicos existentes. Los síntomas presentados por un paciente pueden ser expresados en una función booleana del tipo:

$G(S(1), \dots, S(n))$, similarmente el complejo de enfermedades se expresa por la función: $f(D(1), \dots, D(m))$.

Por lo tanto, el aspecto lógico del diagnóstico médico consiste en determinar la enfermedad f , tal que si el acervo del conocimiento acumulado C , es conocido, y si el paciente presenta síntomas G , tiene enfermedades f , expresado esto en el lenguaje simbólico, se escribe como:

$$C \longrightarrow (G \longrightarrow f)$$

y representa la fórmula fundamental del diagnóstico médico.

De acuerdo con estos autores, la necesidad de utilizar la teoría de probabilidades proviene de la incertidumbre de las relaciones de causa-efecto, dando lugar a que intervengan implícitamente en el diagnóstico. De esta manera, el problema del diagnóstico se puede enunciar como: cuál del complejo de enfermedades D , obtenido del diagnóstico de la función lógica f es más probable que tenga el paciente.

Los autores consideran que los aspectos probabilísticos del diagnóstico médico se deben evaluar a través de la probabilidad condicionada $P(G/f)$, para un paciente en particular.

La información bajo la cual se puede evaluar la función probabilística condicionada, es a través del acervo de conocimientos médicos. Los autores hacen notar que este acervo está dado en forma de probabilidades de tener los síntomas cuando el paciente tenga la enfermedad. Un problema fundamental del diagnóstico es conocer la probabilidad de tener una enfermedad f , dado que el paciente tiene ciertos síntomas G . Lo anterior se resuelve, utilizando la fórmula apriorística de Bayes:

$$P(G/f) = \frac{P(G \text{ } f)}{P(f)}$$

Una vez que el diagnóstico se ha establecido, el siguiente paso consiste en decidir el tratamiento a emplearse. Frecuentemente ésto resulta simple, puesto que lo único que se requiere es emplear las normas terapéuticas aceptadas o existentes para el diagnóstico en particular. La selección del tratamiento, sin embargo, puede requerir de un esfuerzo considerable en la evaluación y estimación de una situación complicada y conflictiva. Las consideraciones más frecuentes son de índole social, moral o económica. Para lo anterior, los autores consideran que la utilización de la esperanza matemática de la teoría de valores se aplica para resolver algunas decisiones de tratamiento.

Discusión de antecedentes

Los estudios relacionados con el análisis, el planteamiento, y la solución de problemas de sistemas ecológicos, presumiblemente enfermos, difieren fundamentalmente de acuerdo con el autor y circunstancia del estudio. Es por ello, que antes de resolver este problema y presentar el planteamiento de este trabajo, es necesario hacer una breve discusión de los estudios analizados en este acápite.

De los trabajos directamente relacionados con la resolución de problemas ecosistémicos, se ha llegado a la conclusión, que según el punto de vista de los autores, adolecen de ciertos enfoques y técnicas que la ciencia moderna ha puesto a disposición de la humanidad. En ciencia silvoagropecuaria se ha visto aún más limitada debido a lo complicado que resulta el conocimiento cuantitativamente exacto del ecosistema. Otra de las razones es el desconocimiento del avance que ha tenido la ciencia moderna en los últimos años, y de su posible incorporación a la resolución de los problemas del agro. El problema de la conservación de recursos naturales y de la productividad silvoagropecuaria no ha sido planteado desde un punto de vista ecosistémico, ni conjugado con el principio holocenótico.

Los ecosistemas, generalmente, tienen un comportamiento estocástico (Gastó, 1975, y Ledley y Lusted, 1956), lo cual significa, que se incluye la teoría de probabilidades y la teoría de valores como herramientas para el planteamiento metodológico del estudio del ecosistema.

El comportamiento de un ecosistema es tan complejo que es necesario estudiarlo como una caja negra a partir de sus elementos objetivos de juicio, que son el estímulo y la respuesta. Como consecuencia de esto se infiere su comportamiento, siguiendo el método conceptual de la caja negra en la forma descrita por Parin y Baievsky (1969).

En el planteamiento, estudio y resolución de los problemas complejos que se consideran en metodología clínica es necesario la utilización del lenguaje simbólico (Ledley y Lusted, 1959). La utilización del lenguaje común en la resolución de problemas de esta naturaleza conduce frecuentemente a errores que tienen su origen en la imprecisión y en sus dificultades de manipulación. La aplicación de los principios de la lógica a la resolución de los problemas silvoagropecuarios amplía y simplifica la capacidad resolutoria a problemas clínicos que de otra manera serían insolubles.

El objetivo principal del manejo y transformación de ecosistemas es provocar un cambio de estado dentro del dominio de su espacio de estado. De igual manera, la meta de la transformación ecosistémica debe de ir orientada hacia un estado final óptimo, el cual no ha sido definido en términos generales, excepto en trabajos tales como el de Bellman (1957). Esto es conocido como el principio de optimalidad de Bellman.

El comportamiento del ecosistema, que está definido en términos de arquitectura y estímulo, no puede ser cuantificado haciendo uso solamente de los antecedentes proporcionados en los trabajos analizados. Es necesario introducir el concepto de entropía (Margalef, 1974; Morowitz, 1968-1970; y Schrodinger, 1947), que en su concepción ecosistémica, es análogo a un arreglo topológico de los elementos (Caswell et al., 1972).

Los puntos de vista anteriores, adicionados a los de la teoría general de sistemas, son los que se proponen en este trabajo y constituyen los elementos básicos de la metodología clínica de ecosistemas silvoagropecuarios. Los planteamientos presentados por los autores citados, han sido de fundamental importancia para discernir sobre el criterio de estudio de sistemas ecológicos.

TEORIA GENERAL DE SISTEMAS Y EL ECOSISTEMA
SILVOAGROPECUARIO

*En escala de lo cósmico, sólo
lo fantástico tiene posibilidades
de ser verdadero.*

Teilhard de Chardin

Teoría general de sistemas

Uno de los conceptos básicos dentro de la teoría general de sistemas es el concepto mismo de sistema. Este término adquiere una gama completa de definiciones alternativas, de acuerdo con el uso y el campo de aplicación del concepto (Caswell et al., 1972; Gordon, 1969; Distefano, 1967). La idea central, sin embargo, es invariante en todas estas definiciones (Becht, 1974).

De acuerdo con el objetivo del presente trabajo se entiende por sistema: un arreglo de elementos o un conjunto de componentes, conectados o relacionados entre sí, de manera tal que actúan como una unidad. De la definición anterior, se considera como términos indefinidos e intuitivos los siguientes:

Conjunto

Elemento

Unidad

El término arreglo de elementos, está dado en el sentido de arreglo topológico (Caswell et al., 1972) y los términos conectados o relacionados están implicando líneas de acción o de fuerza y flujo mediante las cuales se transporta energía, materia e información entre los elementos o componentes del sistema (Ashby, 1963; Wiener, 1948).

La teoría general de sistemas está expresada a través de:

Principios

Métodos

Procedimientos

En ellos se basa el estudio del funcionamiento y el análisis de cualquier sistema. Por su carácter general, la teoría de sistemas utiliza una amplia dósis de diversas disciplinas y, en particular, de las matemáticas (Wiener, 1948).

Dentro de los principios más importantes de la teoría general de sistemas, está el principio holocenótico, que establece que cada uno de los factores o causas en un sistema tienen un efecto individual, pero el efecto simultáneo de todos ellos es diferente de los efectos de cada uno de ellos actuando separadamente (Smuts, 1926; Friederichs, 1927; Phillips, 1935; Detwyler, 1971).

El método utilizado en el análisis de sistemas complejos con efectos holocenóticos es el de la caja negra. Este método consiste en tratar al sistema como si fuese una caja hermética y de paredes no transparentes, tal que no se puede contemplar la estructura de su contenido. Dicha caja tiene conexiones de entrada y de salida. El operador puede estimular las conexiones de entrada con diferentes impulsos y observar la respuesta o señales que aparecen en las terminales de salida.

Sobre la base de conocer el estímulo de entrada y la respuesta de salida, el operador debe inferir respecto al contenido interno de la caja y establecer relaciones de comportamiento. En otras palabras, el método de la caja negra consiste en que con la sólo observación de los estímulos y respuestas, y sin penetrar en la estructura del sistema, se pueden formular conclusiones respecto al comportamiento de sus funciones o principios de operación (Parin y Baievsky, 1969). Para formular conclusiones respecto al comportamiento es necesario, por medio de

experimentos, establecer relaciones causativas dentro de todo su dominio, entre el estímulo y la respuesta.

Estos experimentos deben ser tantos como sea necesario, para reducir al mínimo la variabilidad de su comportamiento. La variabilidad de un sistema está regida por la ley de Ashby de la variedad necesaria, la cual da las condiciones necesarias y suficientes para establecer el límite inferior en el número de acciones requeridas para definir el sistema (Hare, 1967).

Otro método utilizado en el estudio de sistemas es el de la simulación a través de algoritmos. Se entiende por algoritmo una prescripción exacta sobre la realización de un orden determinado de un cierto sistema de acciones u operaciones que conducen a la solución de un problema (Parin y Baievsky, 1969).

En el caso más simple, el algoritmo puede escribirse como una fórmula, por ejemplo, $N(t) = N(0)e^{\psi t}$, que describe el algoritmo para el crecimiento poblacional $N(t)$ en base al número inicial de la población $N(0)$ y su tasa de crecimiento ψ . Los algoritmos deben ser universales, o sea que sus reglas se puedan aplicar a una gama muy amplia de problemas del mismo tipo, dentro de su dominio de definición.

El procedimiento más generalizado, más no el único, en la resolución de algoritmos está dado por técnicas basadas en el uso de máquinas computadoras, que no son otra cosa que una herramienta de trabajo que la ciencia y la tecnología moderna han empleado para resolver cálculos complicados.

Los diversos tipos de máquinas computadoras se pueden clasificar en: analógicas, digitales e híbridas. Las analógicas sirven para propósitos especiales definidos, es decir, se limitan a realizar un algoritmo, resolviendo el cálculo por medio de la analogía y medición (Dimitry y Mott, 1956). Este tipo de máquina representa normalmente, un modelo homomorfo del objeto por investigar y permite estudiar sus signos dentro de los límites impuestos por la analogía. Se entiende por modelo homomorfo al que emula la operación de una parte de un sistema complejo (Parin y Baievsky, 1969).

Las máquinas computadoras digitales permiten construir modelos para resolver operaciones matemáticas complicadas transformando los procesos continuos en discretos. El algoritmo que corresponde al comportamiento de un sistema dado puede ser evaluado con gran rapidez y exactitud por este tipo de máquinas. Así mismo, facultan el manejo de gran cantidad de información lo que permite lograr una aproximación más realista a los modelos de sistemas complejos. Las máquinas híbridas no son otra cosa que una conjugación entre las analógicas y las digitales, lo cual, permite mayor versatilidad operacional y de cálculo.

Una de las ciencias de mayor incidencia en la teoría general de sistemas son las matemáticas con sus diversas ramas o disciplinas. Dentro de estas disciplinas se puede citar prominentemente a la lógica simbólica, álgebra booleana, teoría de probabilidades, álgebra moderna, teoría topológica y técnicas de optimización (Becht, 1974).

La lógica trata del estudio y análisis de métodos de razonamiento o argumentación. La lógica simbólica es una rama de la lógica que hace uso extenso de un lenguaje simbólico (Whitesitt, 1972; Lightstone, 1964 y Russell, 1971).

La teoría de probabilidades permite estimar cuantitativamente los fenómenos que acontecen en los sistemas no determinísticos o estocásticos, es decir, en los casos en que el comportamiento del estímulo con relación a la respuesta guardan una relación probabilística o el estímulo en sí es una función aleatoria (Papoulis, 1965). Igualmente, la teoría de probabilidades forma parte preponderante de la teoría de la información.

La teoría de la información, es la teoría de la transmisión de señales por canales de comunicación; y se ha orientado a la estimación cuantitativa del grado de orden o información, tanto en el interior de los sistemas como en el medio exterior (Shannon y Weaver, 1949).

Una medida del grado de desorden en un sistema está dada por la entropía. El concepto de entropía proviene de la segunda ley de termodinámica. El enunciado de esta ley estipula

que en un sistema aislado, al producirse un cambio de estado, la entropía del sistema se incrementa (Zemansky, 1957). La entropía (S) se puede expresar como:

$$S = k \log_{10} \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_n!} \dots (1)$$

en la cual N representa el número de estados posibles de un sistema y N_i representa el i-avo estado, el cual, está formado por una partícula del i-avo tipo (Brillouin, 1956). Se ha demostrado que la entropía, expresada a través de la ecuación anterior, en un sistema sometido a un cambio de estado ΔS , se reduce a (Baer, 1953 y Watt, 1968):

$$\Delta S = - \sum p_i \log_2 p_i; \text{ con } p_i = \frac{N_i}{N} \dots (2)$$

La cual representa el valor negativo de la medida de información (H) dada por:

$$H = - \sum p_i \log_2 p_i \dots (3)$$

utilizada en la teoría de la información. De lo anterior, se puede concluir que la información y entropía son medidas opuestas, relacionadas por:

$$H = - \Delta S \dots (4)$$

Así como la segunda ley de la termodinámica incide en la formulación y descripción cuantitativa de un sistema, la primera ley debe estar implícita en esta formulación. La primera ley de termodinámica estipula que la energía de un sistema aislado

no puede destruirse, pudiéndose transformar en otro tipo de energía, ya sea, calor, energía mecánica y energía en forma de materia viva o inerte (Halliday y Resnick, 1970).

El ecosistema silvoagropecuario

Existen varias definiciones de ecosistema, que conceptualmente son similares. Un ecosistema es un arreglo de componentes bióticos y abióticos, conectados o relacionados de tal manera que actúan como una unidad o un todo.

El ecosistema ha sido estudiado desde varios puntos de vista, entre los que está el merológico, en el cual se estudia el ecosistema a partir de sus partes para tratar de integrarlo en un todo (Odum, 1972). El otro punto de vista es el holológico u holístico, en el cual el ecosistema se trata como una caja negra y se infiere sobre sus componentes y arreglo topológico y se determina su comportamiento en base a la relación entre los estímulos y las respuestas.

El método holístico es posiblemente el que ofrece el punto de vista más apropiado para el análisis de los problemas ecosistémicos. La conveniencia de su aplicación en base al uso de herramientas tan útiles y formales tales como la teoría matemática, cibernética, procesamiento electrónico de datos y otras, permite considerar las posibles consecuencias de las combinaciones de los elementos y arreglos de un sistema.

El análisis de sistemas, de modelos de simulación y el uso de computadoras electrónicas permite el estudio predictivo de la respuesta conociéndose el estímulo, los elementos y el arreglo topológico del sistema. Ahora bien, para estudiar el ecosistema desde el punto de vista holístico es necesario tener en claro el concepto de caja negra así como determinar su comportamiento.

Para tratar de objetivizar lo anterior se presentan

algunos ejemplos comunes en ciencias silvoagropecuarias. Si se tiene un suelo de buena calidad sembrado con maíz y se le aplica un estímulo consistente en agua, nitrógeno, insecticidas, luz solar y otros, se tiene como respuesta una producción determinada de maíz. ¿Con estos datos, se podría inferir sobre el contenido de la caja negra? ¡Claro que no! porque no es posible predecir el contenido de la caja negra por deducción a través de enumeración simple (Figura 1).

Colyer y Pholeman (1972) llevaron a cabo una serie de experimentos por un término de ocho años para analizar la respuesta del tabaco a los fertilizantes encontrándose los resultados que se indican en la figura 2. En este ejemplo, se observa que al aplicar un estímulo ϵ_{100} se obtiene una respuesta ρ_{2000} , al aplicar un estímulo ϵ_{200} la respuesta es ρ_{2500} , con un estímulo ϵ_{300} la respuesta es de ρ_{2400} . En este segundo ejemplo se puede ver que al aplicarse un estímulo en diferentes intensidades y en repetidas ocasiones, permite determinar la función que define el comportamiento de la caja negra. Estos investigadores, como resultado de una serie de experimentos, determinaron la variabilidad del sistema. El problema que debe resolverse en una etapa siguiente es el de la inmensa variedad de estados inherentes al sistema. Esto se puede reducir a un número en donde los métodos de búsqueda pueden someterse al procesamiento en base al principio de la maximización de la entropía por la vía de la división dicotómica, que permite reducir sustancialmente la excesiva variabilidad (Parin y Baievsky, 1969).

El investigador silvoagropecuario en el proceso de estudio del sistema confronta cuatro problemas principales:

- Determinar entradas y salidas del sistema.
- Poner de manifiesto los flujos de información a través de experimentos sucesivos, con el objetivo de reducir la variabilidad de las respuestas del sistema.
- Romper el código de la información estableciendo las

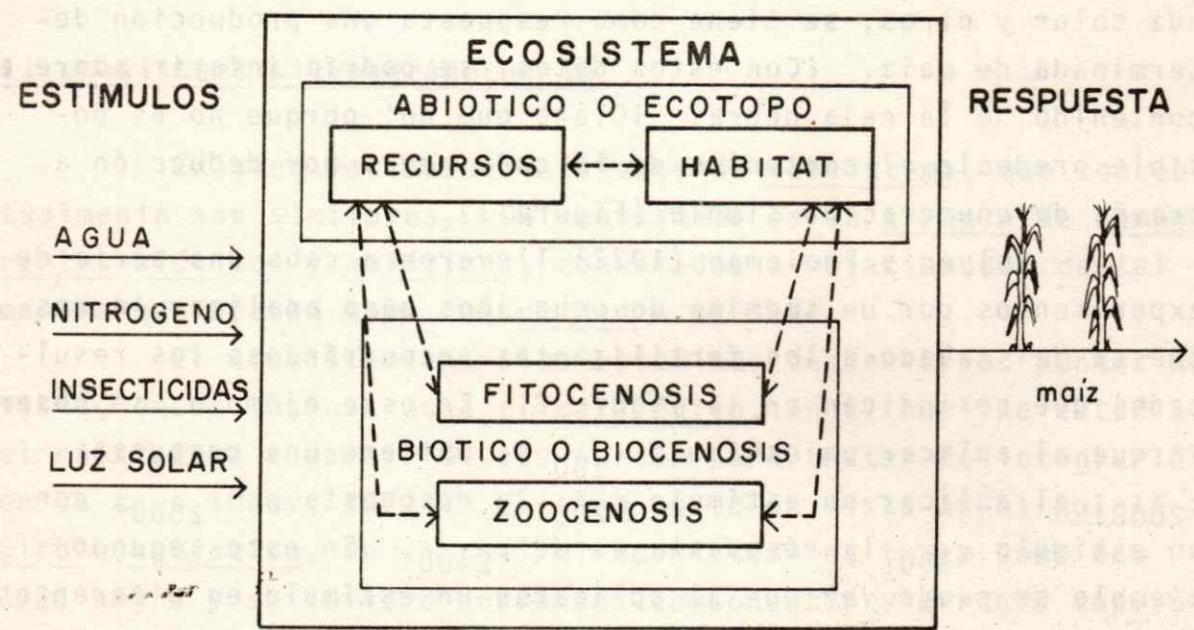


Figura 1. El ecosistema silvoagropecuario como un ejemplo de caja negra.

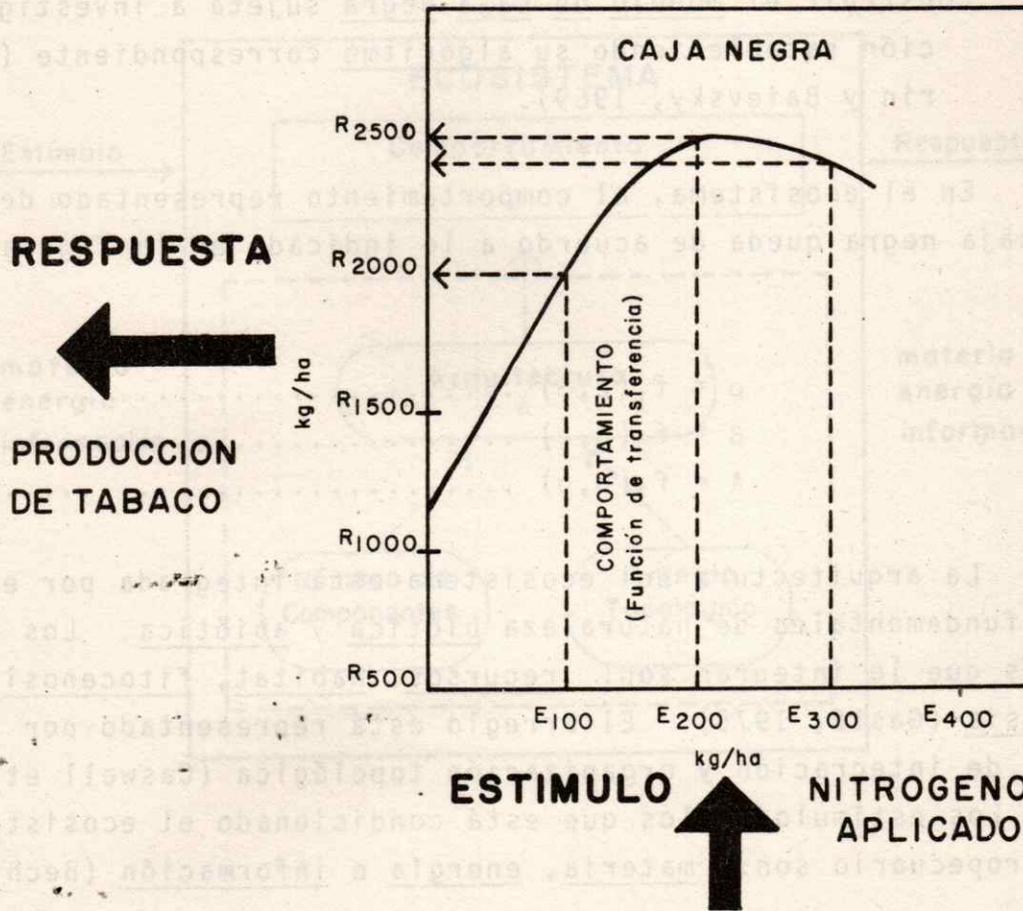


Figura 2. Representación gráfica de la función del comportamiento de una caja negra correspondiente a una arquitectura de tabaco sometida a un estímulo dentro de un dominio de 0 a 400 kg/ha y su respuesta respectiva en términos de productividad neta (Colyer y Pholeman, 1972).

relaciones dicotómicas necesarias y las reglas de asignación de entrada y de salida o función de transferencia.

Construir el modelo de caja negra sujeta a investigación estableciendo su algoritmo correspondiente (Parin y Baievsky, 1969).

En el ecosistema, el comportamiento representado dentro de la caja negra queda de acuerdo a lo indicado en la figura 3, donde:

$$\rho = f_1(\epsilon, \beta) \dots\dots\dots(5)^*$$

$$\beta = f_2(\Lambda, \epsilon) \dots\dots\dots(6)$$

$$\Lambda = f_3(\eta, \sigma) \dots\dots\dots(7)$$

La arquitectura del ecosistema está integrada por elementos fundamentales de naturaleza biótica y abiótica. Los componentes que lo integran son: recursos, habitat, fitocenosis y zoocenosis (Gaštó, 1975). El arreglo está representado por los niveles de integración y organización topológica (Caswell et al., 1972). Los estímulos a los que está condicionado el ecosistema silvoagropecuario son: materia, energía e información (Becht, 1972).

El concepto de estado y cambio de estado de un ecosistema es importante porque en un momento dado es útil para conocer las condiciones específicas en las que se encuentra el sistema observable y las transformaciones del mismo por unidad de tiempo. Estado de un sistema es el modo o condición de existir. En ciencias de sistemas, el estado usual está dado en una definición operacional en términos de variables de estado. En otras palabras, el estado de un sistema es la condición de las variables, de estado, estando definidas por sus partes componentes,

* Tanto ρ, ϵ, β son funciones implícitas del tiempo. Se supondrá ésto a través de todo este trabajo.

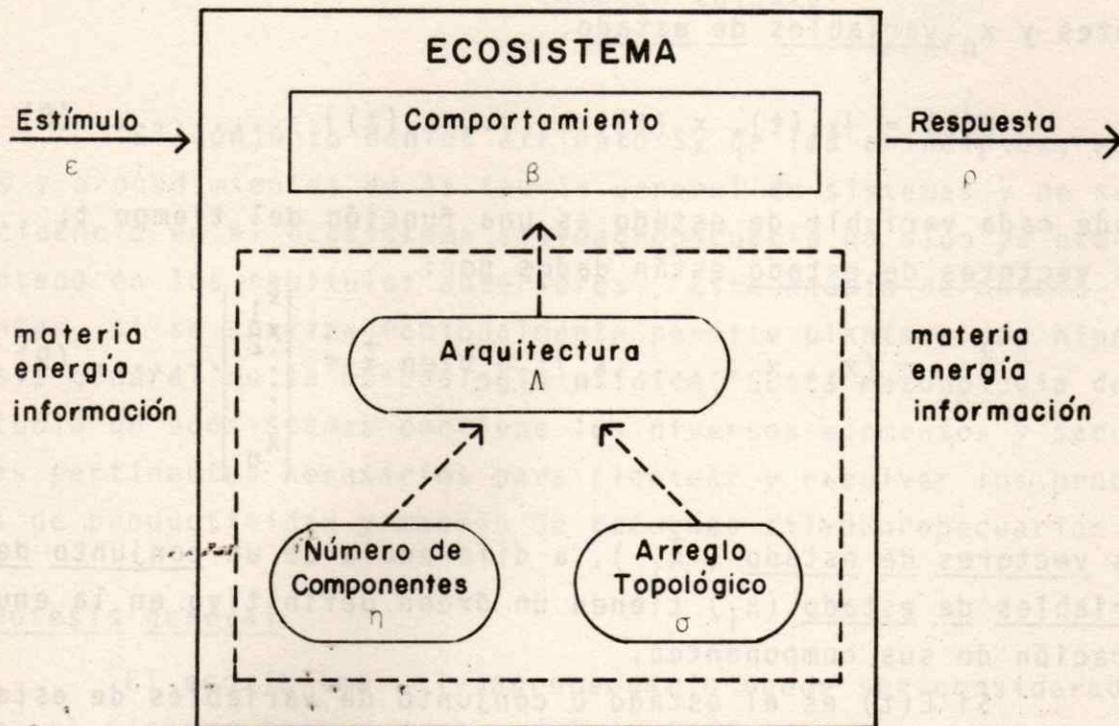


Figura 3. Representación esquematizada de los factores que condicionan al comportamiento ecosistémico.

o atributos observables o agrupamiento arbitrario de partes (Patten, 1971).

Cambio de estado. Según Patten (1971) la siguiente ecuación representa el estado de un sistema $E(t)$ con n componentes y x_n variables de estado.

$$E(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\} \dots \dots \dots (8)$$

donde cada variable de estado es una función del tiempo t ; los vectores de estado están dados por:

$$\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n); \text{ o bien } \vec{x} = \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{vmatrix} \dots \dots \dots (9)$$

Los vectores de estado (\vec{x}_i), a diferencia de un conjunto de variables de estado (x_i) tienen un orden definitivo en la enumeración de sus componentes.

Si $E(t)$ es el estado o conjunto de variables de estado de un sistema al tiempo t , entonces el estado futuro por unidad de tiempo puede ser representado como:

$$E(t + 1)$$

Si por lo menos, una de las n variables de estado ha cambiado durante este intervalo de tiempo entonces:

$$E(t) \neq E(t + 1)$$

y la ecuación de tasa de cambio para la variable de estado x_i se expresa como:

$$\frac{\Delta x_i}{\Delta t} = \frac{x_i(t + \Delta t) - x_i(t)}{\Delta t} \dots \dots \dots (10)$$

PLANTEAMIENTO METODOLOGICO CLINICO DEL ECOSISTEMA

*El que duda y no investiga
no sólo se torna infeliz, sino
también injusto*

Pascal

El conjunto de los atributos y de los principios, métodos y procedimientos de la teoría general de sistemas y de su incidencia en el ecosistema silvoagropecuario ha sido ya presentado en los capítulos anteriores. Este acopio de antecedentes, si se analiza racionalmente permite plantear una hipótesis general de la metodología clínica. Esta metodología de estudio de ecosistemas contiene los diversos elementos y secuencias pertinentes necesarios para plantear y resolver los problemas de productividad y manejo de recursos silvoagropecuarios.

Hipótesis general

El ecosistema, silvoagropecuario puede ser considerado como el sistema origen dentro del conjunto de sistemas generalizados, a cualquier nivel de entropía y, por lo tanto, sujeto a la descripción, formulación y análisis de la teoría de sistemas. Los principios, métodos y procedimientos de la teoría general de sistemas son aplicables al estudio integral del ecosistema silvoagropecuario.

La metodología clínica propuesta consta de cuatro etapas fundamentales:

Diagnóstico

Tratamiento

Estrategia y

Comprobación

Diagnóstico

La etapa de diagnóstico comprende tres procesos fundamentales:

Examen

Ordenamiento de la información y

Valoración de la información.

Para estar en condiciones de hacer un diagnóstico acertado es necesario que se cumplan los siguientes requisitos:

Que se cuente con un volumen definido de información pertinente y específica para el ecosistema en estudio.

Que se conozcan las unidades homomórficas que regulan el comportamiento del ecosistema silvoagropecuario.

Examen

El examen del ecosistema se inicia con observaciones y mediciones que permitan luego de realizar un diagnóstico preliminar concretizar y especificar el plan de examen. Este plan debe estar regido por el criterio que se haya previamente definido por la selección de la alternativa óptima de ecosistema.

El ecosistema puede estar en estado óptimo o diferente del óptimo. Existen varios criterios para definir el ecosistema óptimo que varían de acuerdo a las circunstancias y necesidades que prevalezcan. Para ello debe tomarse en cuenta tanto las unidades de paisaje, como la organización socioeconómica y la infraestructura.

Se definen los siguientes términos:

CM = costo de mantención de la arquitectura (número de componentes y ordenamiento topológico).

CA = costo ecológico de almacenamiento del cambio positivo del estado.

CC = costo ecológico de cosecha.

CD = costo de destrucción de la arquitectura original.

CR = costo de remoción de los restos de la arquitectura original

CP = costo de preparación del biotopo para construir la nueva arquitectura.

CE = costo de estímulo.

Además, se define a α por:

$$\alpha = (CM + CA + CC) + (CD + CR + CP + CEA) + (CE) \dots\dots\dots (11)$$

Los términos agrupados dentro del primer parentesis corresponden a el costo de operación de la arquitectura (COA)

$$COA = CM + CA + CC$$

igualmente, los términos dentro de la segunda expresión corresponden a el costo de transformación de la arquitectura (CT)

$$CT = CD + CR + CP + CEA$$

utilizando los términos anteriores α se escribe como:

$$\alpha = COA + CT + CE$$

si se define como el costo total de operación del sistema (CO) a la suma de:

$$CO = COA + CE, \text{ pudiéndose escribir } \alpha \text{ como:}$$

$$\alpha = CO + CT \dots\dots\dots (12)$$

El producto ecológico bruto dado por κ se utiliza en el cálculo del producto ecológico neto (ϕ) de la siguiente manera (Cuadro 1):

$$\phi = \kappa - \alpha \dots\dots\dots (13)$$

Un ecosistema puede estar en un momento dado en un estado E_i y suponiéndose que existe un estado óptimo del ecosistema E_0 , ya definido. Se puede definir una operación funcional (τ) de manera tal que el estado E_i del ecosistema pueda ser transformado a E_0 .

Expresado simbólicamente queda:

$$E_i \xrightarrow{\tau} E_0 \text{ con } \tau \text{ dado por:}$$

$$\tau(E_i) = a_0 \alpha^{\kappa} + a_1 \kappa + a_2 \max \kappa + a_3 \max \alpha + a_4 \max \omega(\alpha, \kappa) + a_5 \min \kappa + a_6 \min \alpha + a_7 \min \omega(\alpha, \kappa) \dots\dots\dots (14)$$

para a_K ; $K = 0, \dots, 7$; $a_K \in \{0, 1\}$ $\omega(\alpha, \kappa)$ cualquier relación entre α, κ .

La ecuación (14) debe estar sujeta a:

Criterio de transformación, y

$$|N(E_i) - N(E_0)| = f \rightarrow 0 \text{ cuando } E_0 \text{ es fijo.}$$

Lo anterior debe de asegurar que la enfermedad f tiende a desaparecer conforme E_i se aproxima al estado óptimo E_0 , puesto que:

$$C \rightarrow (G \rightarrow f) \dots\dots\dots (15)$$

Cuadro 1. Algunos criterios para definir el ecosistema óptimo *

Criterio *	Parámetro	Valor			
		Máximo	Mínimo	Cualquiera	Definido
Costo ecológico α	Estímulo (CE) y arquitectura (COA + CT)				**
Producto ecológico bruto κ	Respuesta (κ)			**	
Diferencia ϕ	$\kappa - \alpha$	**			
Relaciones	$\frac{\text{Estímulo (CE)}}{\text{Respuesta } (\kappa)}$			**	

* Definir en cada caso el criterio a seguir en la determinación del óptimo.

** En este ejemplo se seleccionan máxima utilidad neta ϕ , valor definido del costo, teniendo κ cualquier valor.

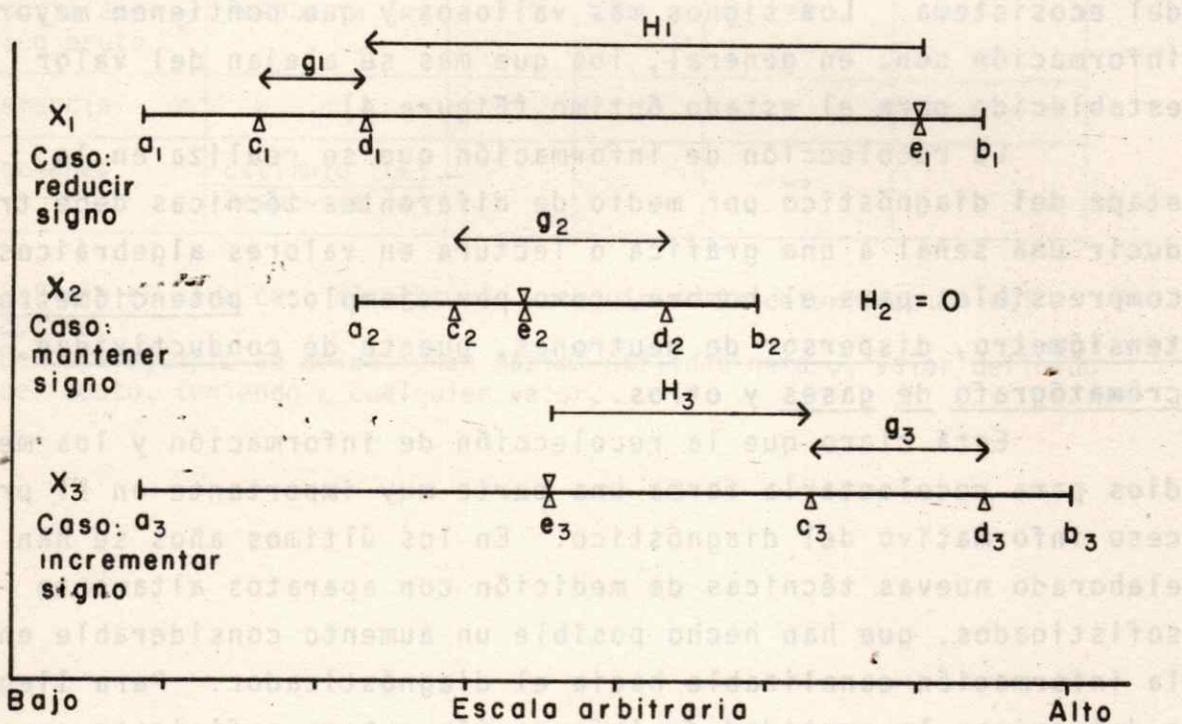
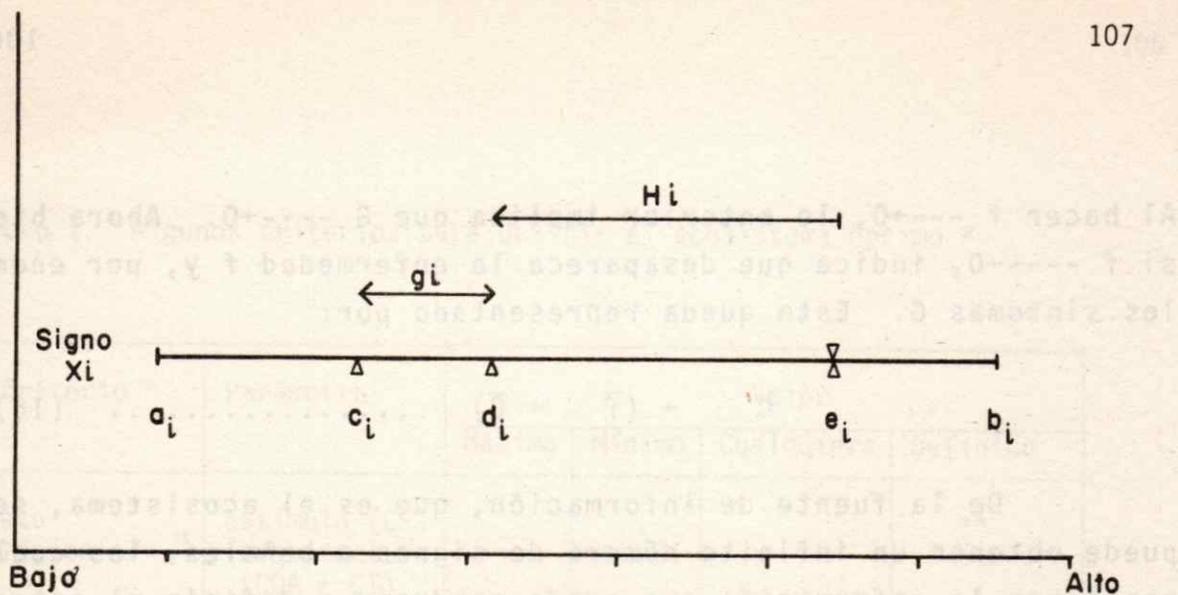
Al hacer $f \rightarrow 0$, lo anterior implica que $G \rightarrow 0$. Ahora bien, si $f \rightarrow 0$, indica que desaparece la enfermedad f y, por ende, los síntomas G . Esto queda representado por:

$$C \rightarrow (\bar{f} \rightarrow \bar{G}) \dots\dots\dots (16)$$

De la fuente de información, que es el ecosistema, se puede obtener un infinito número de signos o señales, los cuales contienen la información que puede conducir a definir el estado del ecosistema. Los signos más valiosos y que contienen mayor información son, en general, los que mas se alejan del valor establecido para el estado óptimo (Figura 4).

La recolección de información que se realiza en la etapa del diagnóstico por medio de diferentes técnicas debe traducir una señal a una gráfica o lectura en valores algebraicos comprensibles para el hombre, como por ejemplo: potenciómetro, tensiómetro, dispersor de neutrones, punte de conductividad, cromatógrafo de gases y otros.

Está claro que la recolección de información y los medios para recolectarla forma una parte muy importante en el proceso informativo del diagnóstico. En los últimos años se han elaborado nuevas técnicas de medición con aparatos altamente sofisticados, que han hecho posible un aumento considerable en la información canalizable hacia el diagnosticador. Para llegar a determinar la cantidad de información que es suficiente para estar en condiciones de hacer un diagnóstico acertado, es necesario determinar en términos probabilísticos la cantidad de información contenida en cada signo de cada una de las posibles alternativas óptimas y elegir a aquellos que presenten valores mayores (Figura 5). El flujo de información entre el ecosistema y el profesional o diagnosticador debe circunscribirse al esquema indicado en la figura 6.



- a_i = límite inferior del dominio del signo i
- b_i = límite superior del dominio del signo i
- c_i = límite inferior del dominio del óptimo para el signo i
- d_i = límite superior del dominio del óptimo para el signo i
- e_i = valor actual del signo i
- g_i = dominio de definición del óptimo para el signo i
- H_i = valor de la información para el signo i
- X_i = signo i

Figura 4. Valor de la información de cada signo medido como la desviación o norma entre su valor actual y el del óptimo. La figura superior es una explicación general y la inferior, un ejemplo.

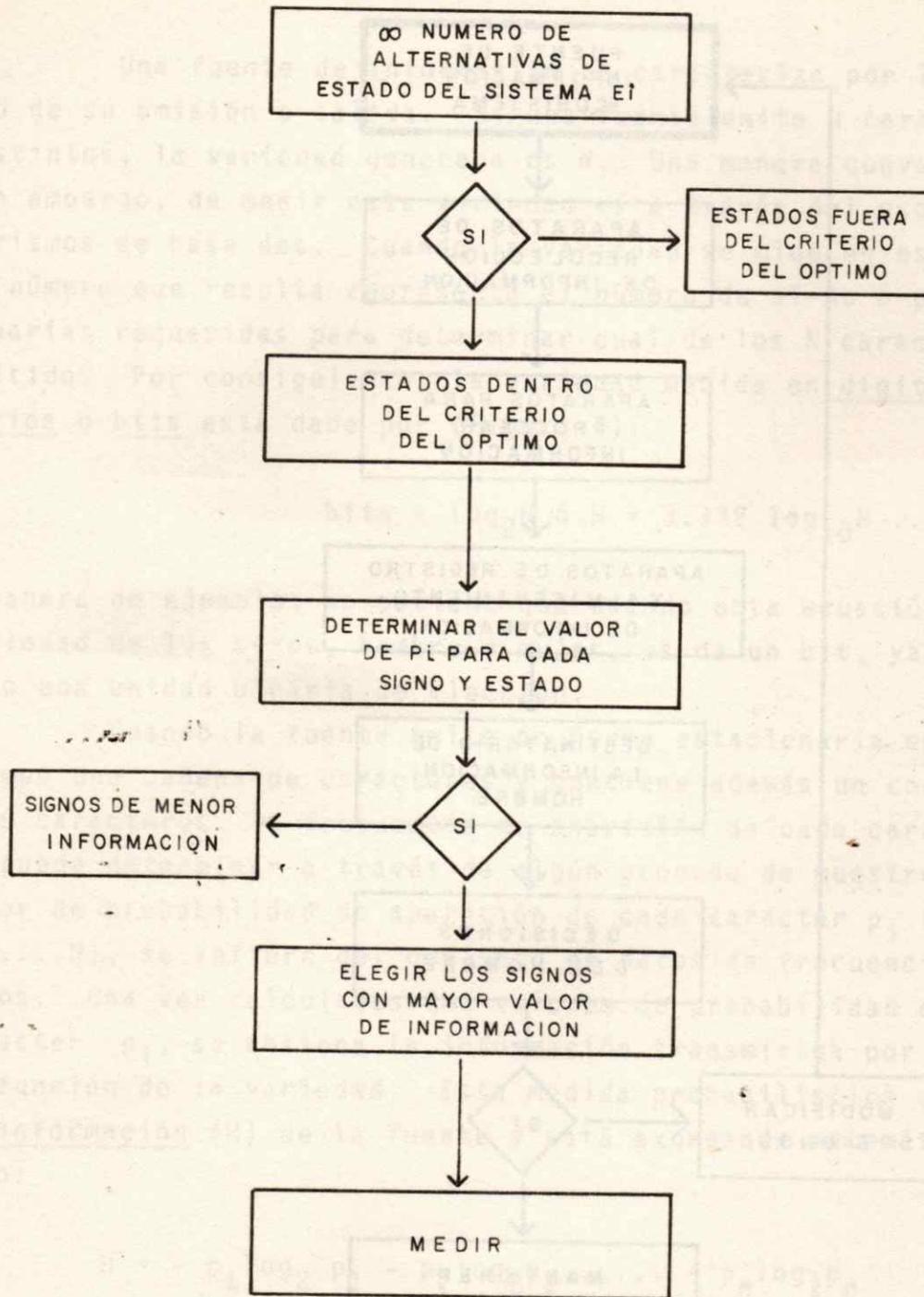


Figura 5. Fases del algoritmo de toma de signos.

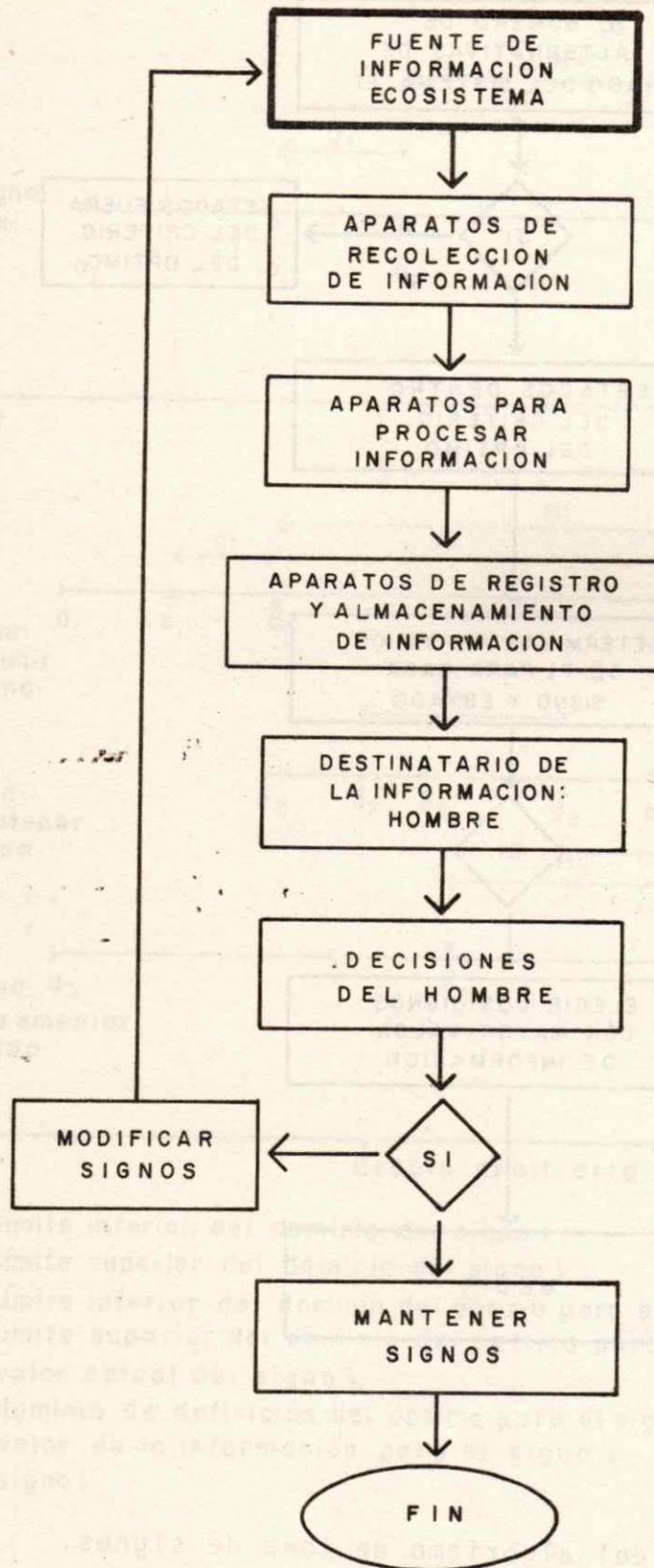


Figura 6. Diagrama del flujo de la información entre el ecosistema y el hombre.

Una fuente de información se caracteriza por la variedad de su emisión o salida. Si una fuente emite N caracteres distintos, la variedad generada es N . Una manera conveniente, sin embargo, de medir esta variedad es a través del uso de logaritmos de base dos. Cuando la variedad se mide en esta forma, el número que resulta representa el número de si-no o preguntas binarias requeridas para determinar cual de los N caracteres fue emitido. Por consiguiente, la variedad medida en digitos binarios o bits está dada por (Figura 7):

$$\text{bits} = \log_2 N \text{ ó } H = 3.322 \log_{10} N \dots\dots (17)$$

A manera de ejemplo, se obtiene que usando esta ecuación, la variedad de los sexos, hombre o mujer, es de un bit, ya que hay sólo una unidad binaria de elección.

Quando la fuente emite en forma estacionaria en el tiempo una cadena de caracteres y contiene además un conjunto N de caracteres, la frecuencia de aparición de cada caracter se puede determinar a través de algún proceso de muestreo. El valor de probabilidad de aparición de cada caracter p_i ($i = 1, \dots\dots, N$), se infiere del conjunto de datos de frecuencia recavados. Una vez calculados los valores de probabilidad de cada carácter p_i , se obtiene la información transmitida por la fuente en función de la variedad. Esta medida probabilística es llamada la información (H) de la fuente y está expresada matemáticamente como:

$$H = - p_1 \log_2 p_1 - p_2 \log_2 p_2, \dots\dots, - p_n \log_2 p_n \quad \text{ó}$$

$$H = - \sum p_i \log_2 p_i \dots\dots\dots (3)$$

El signo negativo en cada término de la ecuación anterior (3), se utiliza para que la expresión resultante sea positiva; puesto

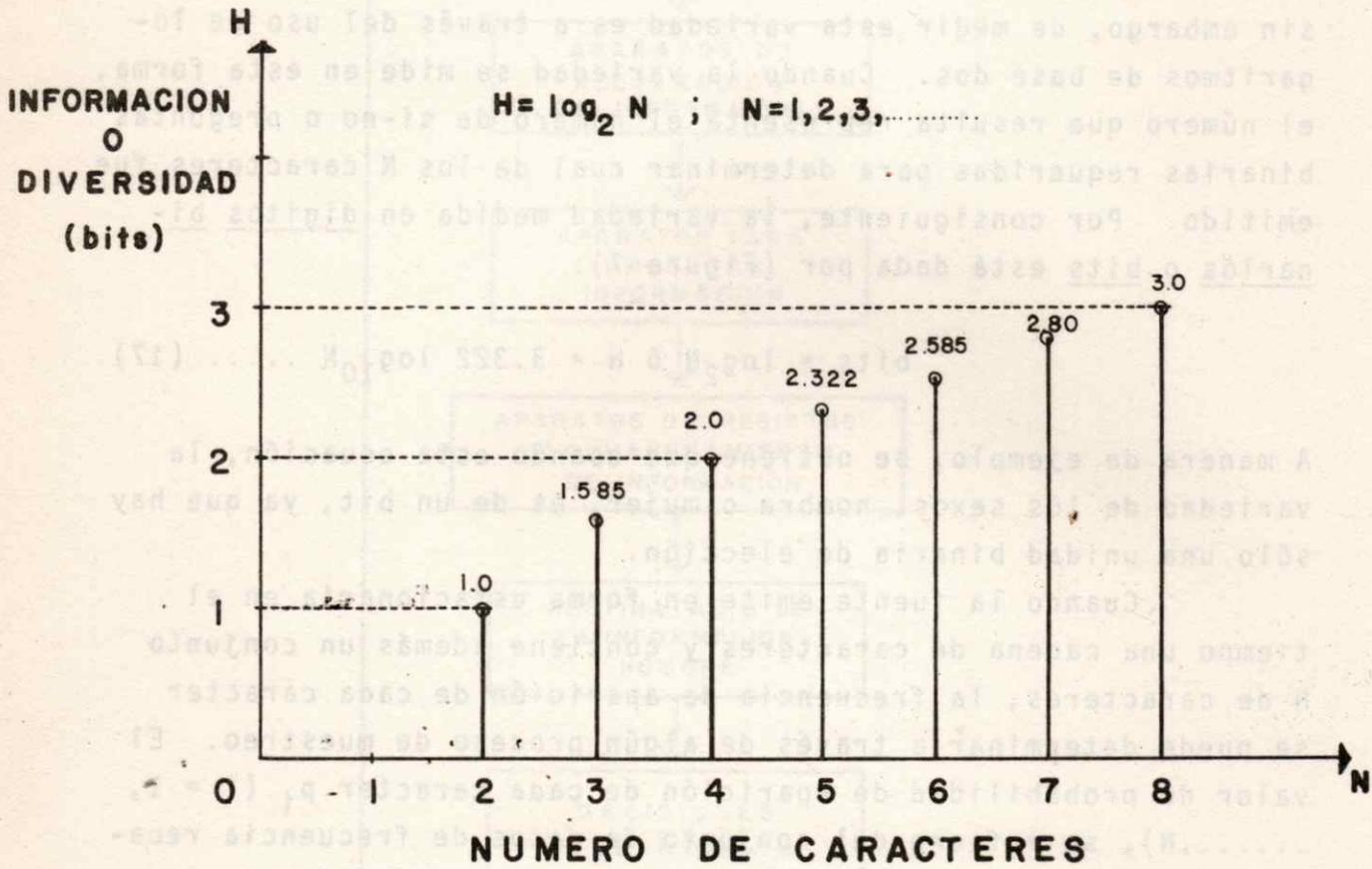


Figura 7. Gráfica de la función de la diversidad o información.

que el $\log_2 p_i$ siempre es negativo debido a que $p_i \in (0,1)$, o sea que p_i está entre cero y uno.

Por considerarse de gran importancia el concepto contenido en la ecuación (3) se da un ejemplo sencillo de su utilización: Si una fuente emite caracteres con una distribución probabilística $p(x)$ dada por:

$p(A) = 0.4$; $p(B) = 0.3$; $p(C) = 0.2$; $p(D) = 0.1$; la probabilidad de emisión de la fuente es:

$$H = -(0.4 \log_2 0.4 + 0.3 \log_2 0.3 + 0.2 \log_2 0.2 + 0.1 \log_2 0.1)$$

Puesto que $\log_2 X = 3.322 \log_{10} X$, se puede evaluar los logaritmos binarios, resultando al hacerlo, la siguiente expresión:

$$H = -3.322(0.4 \times 0.3979 + 0.3 \times 0.5229 + 0.2 \times 0.6990 + 0.1 \times 1.000)$$

$$H = 1.846 \text{ bits}$$

Se demuestra que la función información H de la ecuación (3) adquiere su máximo valor cuando todas las probabilidades p_i son iguales (Shannon, 1949), reduciéndose esta ecuación a la función de diversidad, $\log_2 N$ al satisfacer esta condición. Simbólicamente se puede expresar como:

$$\text{dado } H = - \sum p_i \log_2 p_i$$

se tiene que:

$$\text{máximo } H = \text{máximo } (- \sum p_i \log_2 p_i)$$

$$\text{máximo } H = \log_2 N;$$

si y solo si:

$$p_1 = p_2 = p_3, \dots, = p_n$$

Lo anterior se ilustra a través del ejemplo citado, utilizando los cuatro caracteres A, B, C y D, excepto que ahora su función de distribución será constante; en otras palabras:

$$p(A) = p(B) = p(C) = p(D) = 1/4$$

por lo tanto

$$\begin{aligned} \text{máximo } H &= - (1/4 \log_2 1/4 + 1/4 \log_2 1/4 + 1/4 \log_2 1/4 + \\ &\quad 1/4 \log_2 1/4) \\ &= - \log_2 1/4 \\ &= - (\log_2 1 - \log_2 4) \end{aligned}$$

$$\text{máximo } H = 2 \text{ bits,}$$

lo que es igual a:

$$\log_2 4$$

que representa el valor de la diversidad para $n = 4$.

La información de la fuente es una medida estadística de lo que pudiese llamarse la información del caracter ($h(p_i)$). Puesto que la fuente emite estos caracteres con ciertas probabilidades (p_i), la información de dicha fuente está dada por la suma ponderada o valor medio expresado como:

$$H = - \sum p_i h_i = - \sum p_i \log_2 p_i$$

Se puede observar que la información del caracter $h(p_i) = -\log_2 p_i$ se incrementa conforme la rareza del caracter en la emisión (Figura 8).

Resulta interesante notar que la función dada por:

$$F(p) = - p \log_2 p$$

que representa el comportamiento de la información de emisión

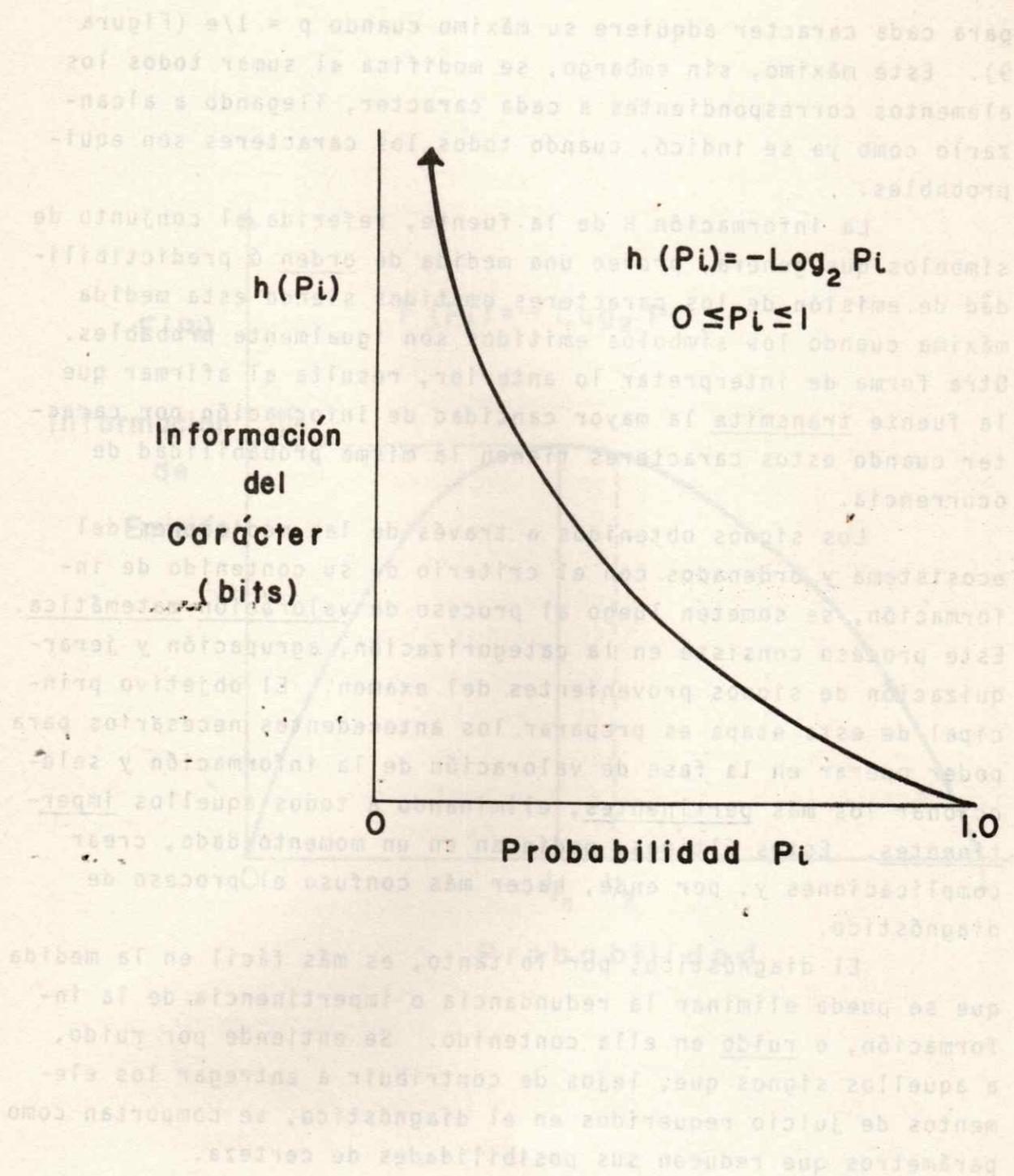


Figura 8. Gráfica de la información del carácter.

para cada caracter adquiere su máximo cuando $p = 1/e$ (Figura 9). Este máximo, sin embargo, se modifica al sumar todos los elementos correspondientes a cada caracter, llegando a alcanzarlo como ya se indicó, cuando todos los caracteres son equiprobables.

La información H de la fuente, referida al conjunto de símbolos que genera, provee una medida de orden ó predictibilidad de emisión de los caracteres emitidos siendo esta medida máxima cuando los símbolos emitidos son igualmente probables. Otra forma de interpretar lo anterior, resulta al afirmar que la fuente transmite la mayor cantidad de información por caracter cuando estos caracteres tienen la misma probabilidad de ocurrencia.

Los signos obtenidos a través de las mediciones del ecosistema y ordenados con el criterio de su contenido de información, se someten luego al proceso de valoración matemática. Este proceso consiste en la categorización, agrupación y jerarquización de signos provenientes del examen. El objetivo principal de esta etapa es preparar los antecedentes necesarios para poder operar en la fase de valoración de la información y seleccionar los más pertinentes, eliminando a todos aquellos impertinentes. Estos últimos, pudieran en un momento dado, crear complicaciones y, por ende, hacer más confuso el proceso de diagnóstico.

El diagnóstico, por lo tanto, es más fácil en la medida que se pueda eliminar la redundancia o impertinencia de la información, o ruido en ella contenido. Se entiende por ruido, a aquellos signos que, lejos de contribuir a entregar los elementos de juicio requeridos en el diagnóstico, se comportan como parámetros que reducen sus posibilidades de certeza.

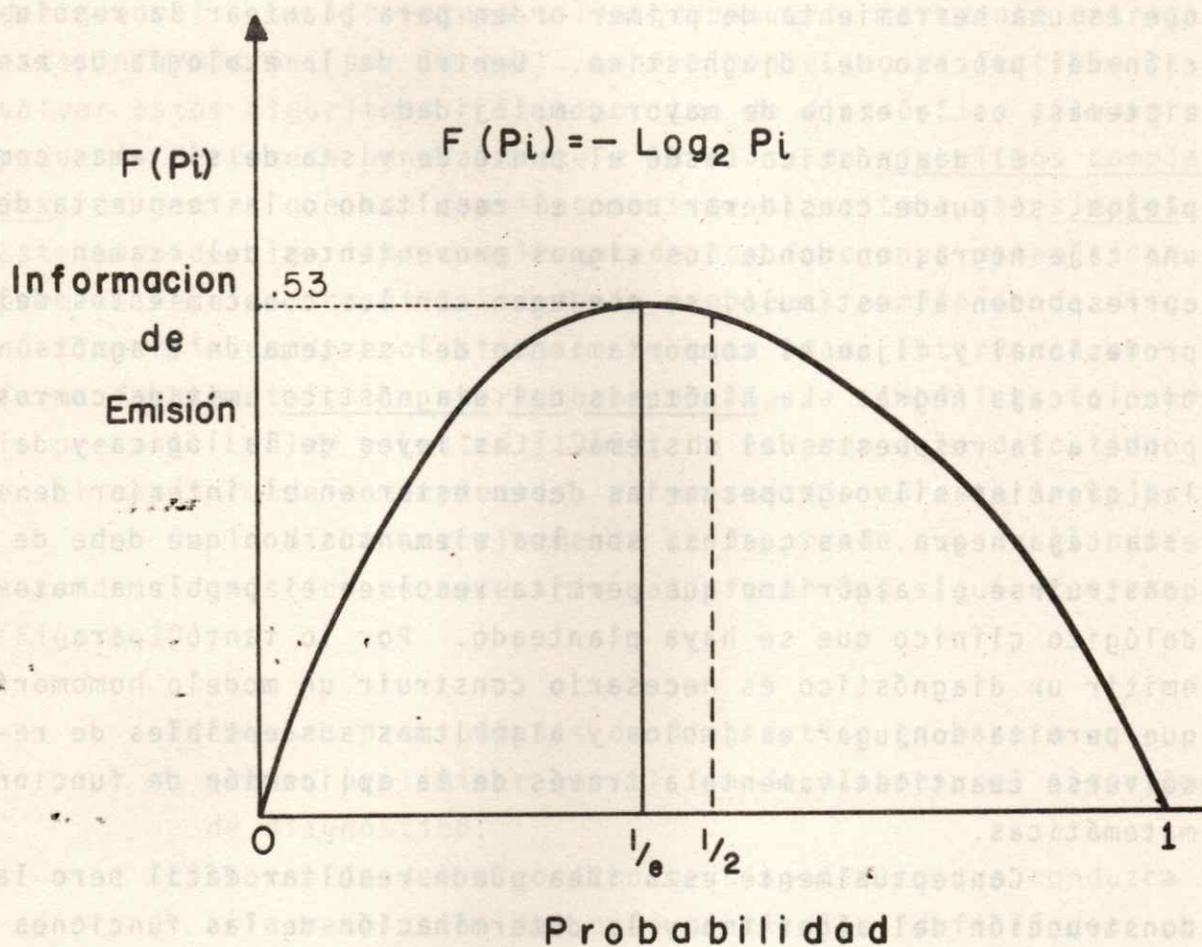


Figura 9. Gráfica de la entropía de emisión de cada carácter. Se observa que $F(p_i) = p_i \log_2 p_i$ no corresponde al máximo de $\sum F(p_i)$ puesto que esta última lo alcanza cuando: $p_1 = p_2 = p_3, \dots, = p_n$.

Valoración de la información

La valoración de la información proveniente del examen clínico, luego de ordenada, es la etapa final del diagnóstico. Se le ha dado mucha importancia al concepto de caja negra puesto que es una herramienta de primer orden para plantear la resolución del proceso del diagnóstico. Dentro de la ecología de ecosistemas, es la etapa de mayor complejidad.

El diagnóstico desde el punto de vista de sistemas complejos, se puede considerar como el resultado o la respuesta de una caja negra, en donde los signos provenientes del examen corresponden al estímulo, se conjugan con los conocimientos del profesional y fijan el comportamiento del sistema de diagnóstico o caja negra. La hipótesis del diagnóstico emitida corresponde a la respuesta del sistema. Las leyes de la lógica y de las ciencias silvoagropecuarias deben estar en el interior de esta caja negra, las cuales, son los elementos con que debe de construirse el algoritmo que permita resolver el problema metodológico clínico que se haya planteado. Por lo tanto, para emitir un diagnóstico es necesario construir un modelo homomorfo que permita conjugar estímulos y algoritmos susceptibles de resolverse cuantitativamente a través de la aplicación de funciones matemáticas.

Conceptualmente esta idea puede resultar fácil pero la construcción del algoritmo y la determinación de las funciones matemáticas que definan las reglas de asignación, para cada decisión dicotómica, entre el estímulo y la respuesta es, a menudo, de la máxima dificultad.

Una de las mayores dificultades del proceso de diagnosticar emana de la necesidad de contar con la definición cuantitativa de las funciones que permitan resolver las múltiples decisiones dicotómicas que se plantean en cualquier algoritmo de

diagnóstico. Estas funciones, provienen en una gran mayoría de planteamientos generales elaborados con el método inductivo. En su cálculo interviene la unificación de un número variable pero, a menudo, numeroso de resultados experimentales parciales y locales, que deben ser conjugados en una sola función de validez general. La literatura silvoagropecuaria raramente entrega esta información, por lo cual, generalmente, no es factible resolver estos algoritmos. El algoritmo de diagnóstico silvoagropecuario pertenece generalmente a la clase de algoritmos complejos, es decir, que son combinaciones de algoritmos mas simples. Este tipo de algoritmo complementado con funciones matemáticas, permite resolver cuantitativamente problemas complejos de diagnóstico clínico de ecosistemas. En esta etapa interviene en forma fundamental, las operaciones de lógica simbólica, tal como lo presenta Ledley y Lusted (1959), de acuerdo a lo discutido en el capítulo de antecedentes, ya presentado en este trabajo.

De lo dicho anteriormente se desprende que en el proceso de diagnóstico es necesario satisfacer las siguientes etapas (Figura 10).

Hacer una prehipótesis de diagnóstico en base a un examen preliminar con el fin de elaborar el algoritmo de diagnóstico.

Elaboración del algoritmo de diagnóstico que conduzca a la resolución del caso particular, definiéndose objetivamente cada una de las decisiones dicotómicas que intervengan en el proceso.

Seleccionar los signos que definen el estado del sistema y que, por lo tanto, se requieren medir en el proceso del examen.

Definir las funciones matemáticas que regulen las operaciones del algoritmo obteniéndose del conocimiento general C, ó en caso contrario, calculándose.

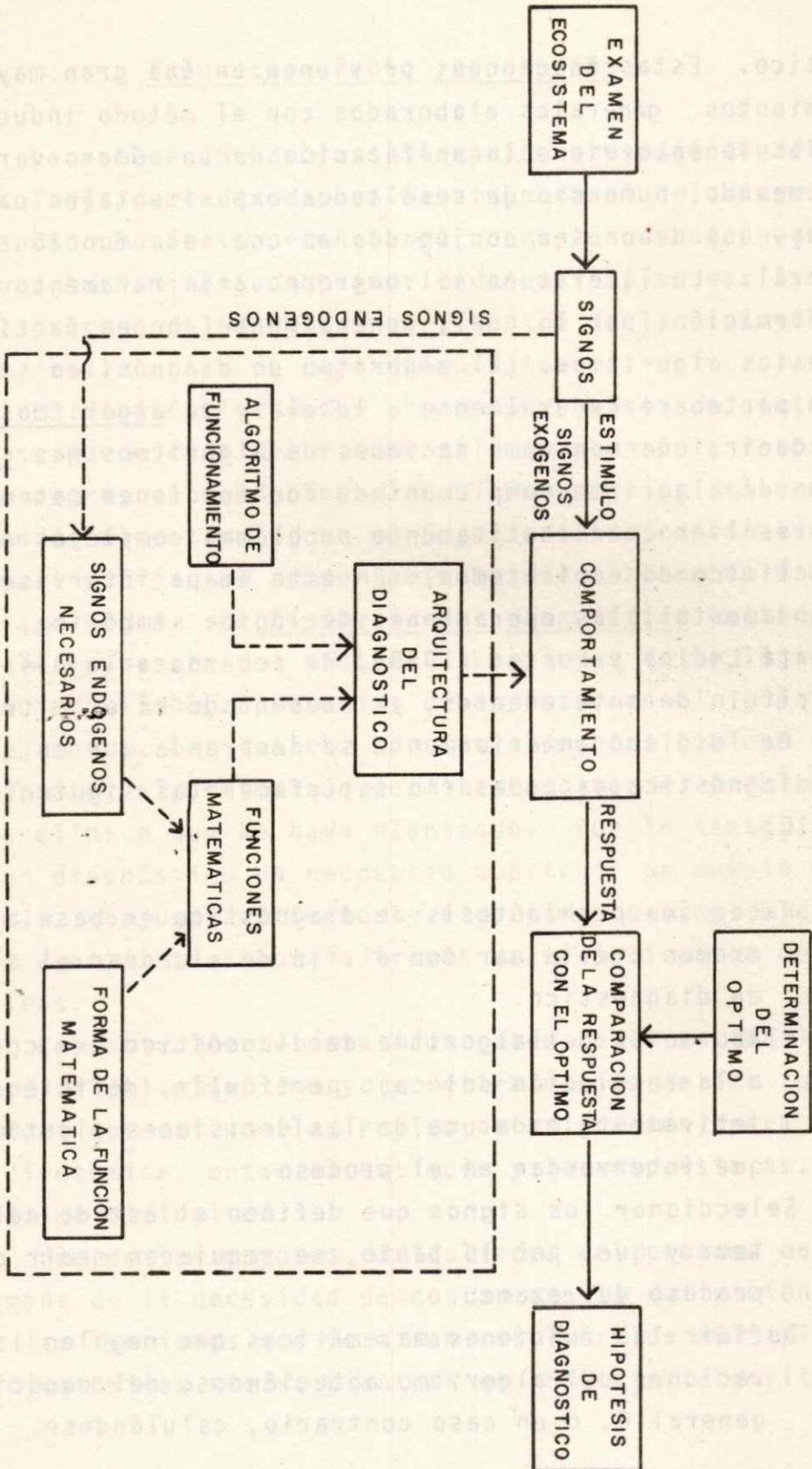


Figura 10. Esquema del proceso de diagnóstico como una caja negra en el cual se incluyen las condiciones para plantearlo y resolverlo, distinguiéndose entre signos exógenos o de funcionamiento y endógenos o de arquitectura.

Aplicar los signos-estímulos al algoritmo con sus funciones cuantificadas, lo cual produce como respuesta la hipótesis de diagnóstico, luego de su comparación con el óptimo.

Una vez establecido el óptimo y recabada la respuesta en el algoritmo de diagnóstico se requiere establecer una comparación entre estos dos estados. En el caso de sistemas complejos como el silvoagropecuario, esta comparación generalmente no resulta trivial.

Existen varias técnicas para establecer comparaciones entre estados de un sistema que han sido planteadas y utilizadas en la ciencia (Parin y Baievsky, 1969). La técnica de intervalo de fase (Bijovsky, 1952) considera la representación geométrica de los estado de norma y patología en la forma de un conjunto de puntos en un espacio de fase. El espacio de fase es aquel que tiene como ejes algunos parámetros del sistema en estudio. El estado instantáneo de cada organismo está definido por un punto en el espacio de fase. En el caso de no existir discrepancia entre los estados comparados o sistema sano, se forma un conjunto de puntos característico que se distingue de los otros conjuntos que representan diversas formas típicas de discrepancia o enfermedad.

El diagnóstico, bajo esta técnica, consiste en determinar la pertenencia de un punto característico del estado del sistema, a un cierto conjunto cuya región corresponde a la forma nosológica concreta o su topología n-dimensional. Otra técnica utilizada en el proceso de diagnóstico consiste en la búsqueda y comparación entre los signos obtenidos del sistema bajo estudio y un grupo de signos correspondientes a enfermedades conocidas. Como resultado de esta búsqueda aparecen los casos de coincidencia. Cabe notar que para poder obtener resultados satisfactorios, la utilización de esta técnica se debe contar con un expediente de búsqueda considerable, dotado de múltiples

relaciones de causa-efecto. Así mismo, debido al volúmen de información en la búsqueda, se requiere de máquinas computadoras de gran capacidad para hacer efectiva su utilización. Esto se lograría con la creación de centrales de almacenamiento de datos o institutos de diagnóstico ecosistémico.

Las técnicas de coincidencias o analógicas, bajo las condiciones anteriores, pueden ser utilizadas como auxiliar para la determinación de frecuencias de aparición de signos en un grupo de sistemas bajo evaluación. Estas frecuencias, a la vez, pueden ser utilizadas como funciones probabilísticas, en el estudio y diagnóstico de otro sistema.

La utilización de la técnica de intervalo de fase y de la de coincidencia, en el proceso de diagnóstico ecosistémico, debe ser sometida a múltiples etapas de experimentación para poder probar su aplicabilidad y eficiencia. Se considera, sin embargo, que sin las herramientas matemáticas y tecnológicas actuales y una metodología adecuada, la ciencia silvoagropecuaria no arribará a una etapa de madurez (Margalef, 1974).

Algunos de los problemas silvoagropecuarios son de más fácil diagnóstico que otros, que por su naturaleza, son de muy difícil solución. Los primeros pueden presentar probabilidades de éxito que se aproximen a la unidad, es decir, que tiendan a determinísticos. Los otros, en cambio, deben ser planteados y resueltos de manera estocástica. A manera de ejemplo de diagnóstico del primer tipo, se podría mencionar el estudio de las probabilidades de éxito de un cultivo tropical intolerable a las bajas temperaturas, y su introducción a un ecosistema caracterizado por temperaturas extremadamente frías.

Cuando se trata de problemas complejos, de causas múltiples que provocan efectos múltiples, la resolución del diagnóstico es más difícil y las probabilidades de acertar son a la vez menores. Algunos problemas de diagnóstico, que reflejan situaciones ecosistémicas más bien simples, pueden ser resueltos

empleando técnicas estadísticas tales como regresiones simples o múltiples. Los problemas complejos deben ser plantados y resueltos como modelos de simulación, donde el problema global se fracciona en unidades más simples, susceptibles de resolverse, pero no en microalgoritmos, porque en el caso de plantearse merológicamente se cae en el problema del reduccionismo.

Cuando el número de signos registrados es muy grande la capacidad de manipulación de la mente humana se ve limitada, no siendo posible operar en esta forma. Es necesario, en este caso hacer uso de equipo de computación que permita almacenar, manipular la información y plantear probabilísticamente el algoritmo.

La solución del diagnóstico con algoritmos probabilísticos puede formularse como si se tratara de problemas relativos a la determinación de la probabilidad en función de los conjuntos individuales de enfermedades.

Tratamiento

Una vez emitido el diagnóstico y existiendo desviaciones con respecto al óptimo, es necesario la aplicación de un tratamiento (T) para corregir el estado del ecosistema. El tratamiento puede ser definido como el conjunto de procesos (T) necesarios para que el estado inicial del sistema tienda hacia el estado óptimo. Simbólicamente quedaría:

$$E_i \xrightarrow{T} E_o$$

Cabe aclarar que tanto el diagnóstico como el tratamiento están formulados con carácter de hipótesis y sujetos a comprobación. La validez del tratamiento está constreñida a la validez de la hipótesis de diagnóstico.

Las alternativas fundamentales de tratamiento deben de estar orientadas hacia:

- Modificación en los tipos o niveles de estímulos exógenos
- Modificación de los estímulos endógenos

Los fenómenos aleatorios de un ecosistema desempeñan un papel importante en la selección del tratamiento más adecuado. El criterio general para seleccionar este tratamiento está dado por el mayor valor esperado adscrito a cada alternativa probabilística de éxito de los tratamientos. La ecuación apriorística de Bayes, inherente en la teoría de valores, provee un concepto importante en el proceso de toma de decisiones.

Un ejemplo sencillo aclararía lo antes dicho. Supóngase que el diagnóstico indica, en términos de probabilidades, que un ecosistema tiene dos problemas que le impiden estar dentro del rango que se ha considerado óptimo:

P_1 = problema #1

P_2 = problema #2

en el cual la probabilidad de que sea P_1 es igual a 2/7 y la probabilidad de que se P_2 es igual a 5/7. Ahora bien, se tienen dos tratamientos posibles para esos dos problemas, el tratamiento T_1 y T_2 donde T_1 tiene una probabilidad de solucionar el problema de 90 % para P_1 y de 30 % para P_2 y T_2 tiene una probabilidad de 10 % para P_1 y de 100 % para P_2 . Aplicando la fórmula de Bayes de probabilidad condicionada quedaría:

$$p(T_1) = (90/100)(5/7) + (30/100)(2/7) = 51/70 = 0.728$$

$$p(T_2) = (10/100)(5/7) + (100/100)(2/7) = 25/70 = 0.357$$

Consecuentemente, el mejor tratamiento es T_1 porque tiene mayores probabilidades de éxito.

Estrategia

La estrategia es el conjunto de procedimientos circunscritos en el dominio del tratamiento y encaminados hacia el logro de un objetivo o meta. La teoría de valores utilizada en la determinación probabilística del tratamiento provee la formulación matemática y proporciona criterios que permiten la selección de la estrategia.

En la selección de la estrategia, además del criterio probabilístico, se debe considerar la optimalidad de los procesos y circunstancias de aplicación del tratamiento hacia la rehabilitación o estado óptimo del ecosistema. Para cada tratamiento existe una amplia gama de alternativas de aplicación, las cuales deben ser equivalentes, pero en la práctica pueden ocasionar costos económicos o crear dificultades pragmáticas de aplicación.

Comprobación

Corresponde a la etapa final del proceso clínico. Es la comparación entre el estado del sistema E_j y el estado óptimo E_0 , luego de la transformación del estado E_i al estado E_j y cuyo objetivo inicial era aproximarse a E_0 .

El resultado final puede ser $E_j = E_0$ en cuyo caso se comprobaría la validez del proceso clínico. La otra alternativa es que; $E_j \neq E_0$. En este caso denotaría algún error, que puede estar localizado en cualquiera de las etapas del proceso clínico. Vale decir: diagnóstico, tratamiento y estrategia. En este último caso debe repetirse nuevamente el proceso, tomando las provisiones del caso para corregir los elementos defectuosos (Figura 11).

La única comprobación final que valida al procedimiento clínico seguido se logra a través de la demostración experimental, donde se compara E_j con E_0 .

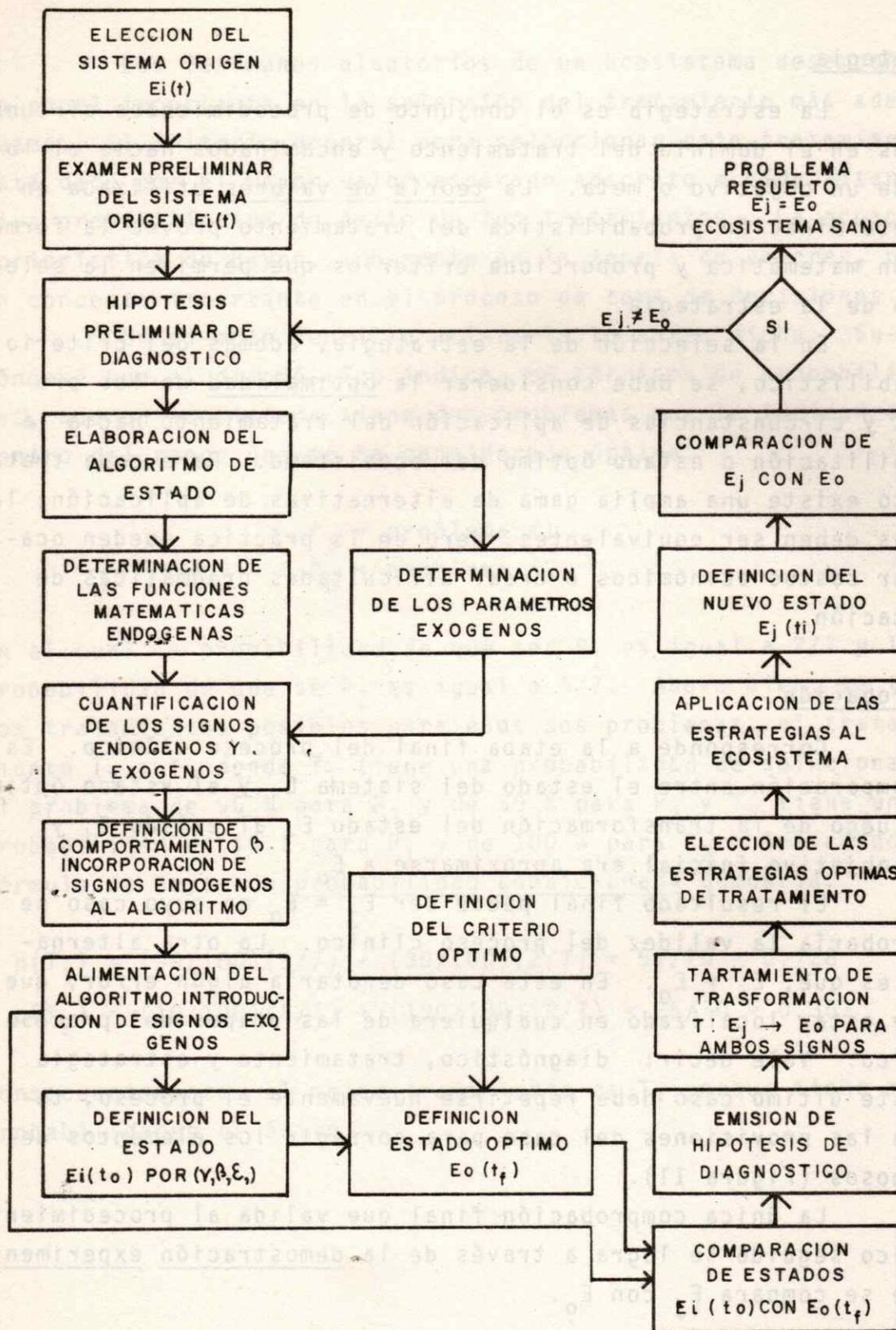


Figura 11. Algoritmo general de metodología clínica

CONCLUSIONES

A la hora de construir un sistema científico, los biólogos son quizá demasiado exigentes porque tienden a aceptar solamente leyes que son míticas de tan rigurosas. Las mismas leyes "físicas" tienen límites de validez.

Margalef, 1971

Dada la naturaleza del trabajo, bajo un marco conceptual, se puede concluir que:

- a. Si existe una unidad silvoagropecuaria o ecosistema origen E_i , y
- b. Si la teoría general de sistemas es aplicable al ecosistema silvoagropecuario, y
- c. Si el estado del ecosistema está definido por estímulos (ϵ), respuesta (ρ) y comportamiento (β) dado por:

$$\rho = f_1(\epsilon, \beta)$$

$$\beta = f_2(\Lambda, \epsilon)$$

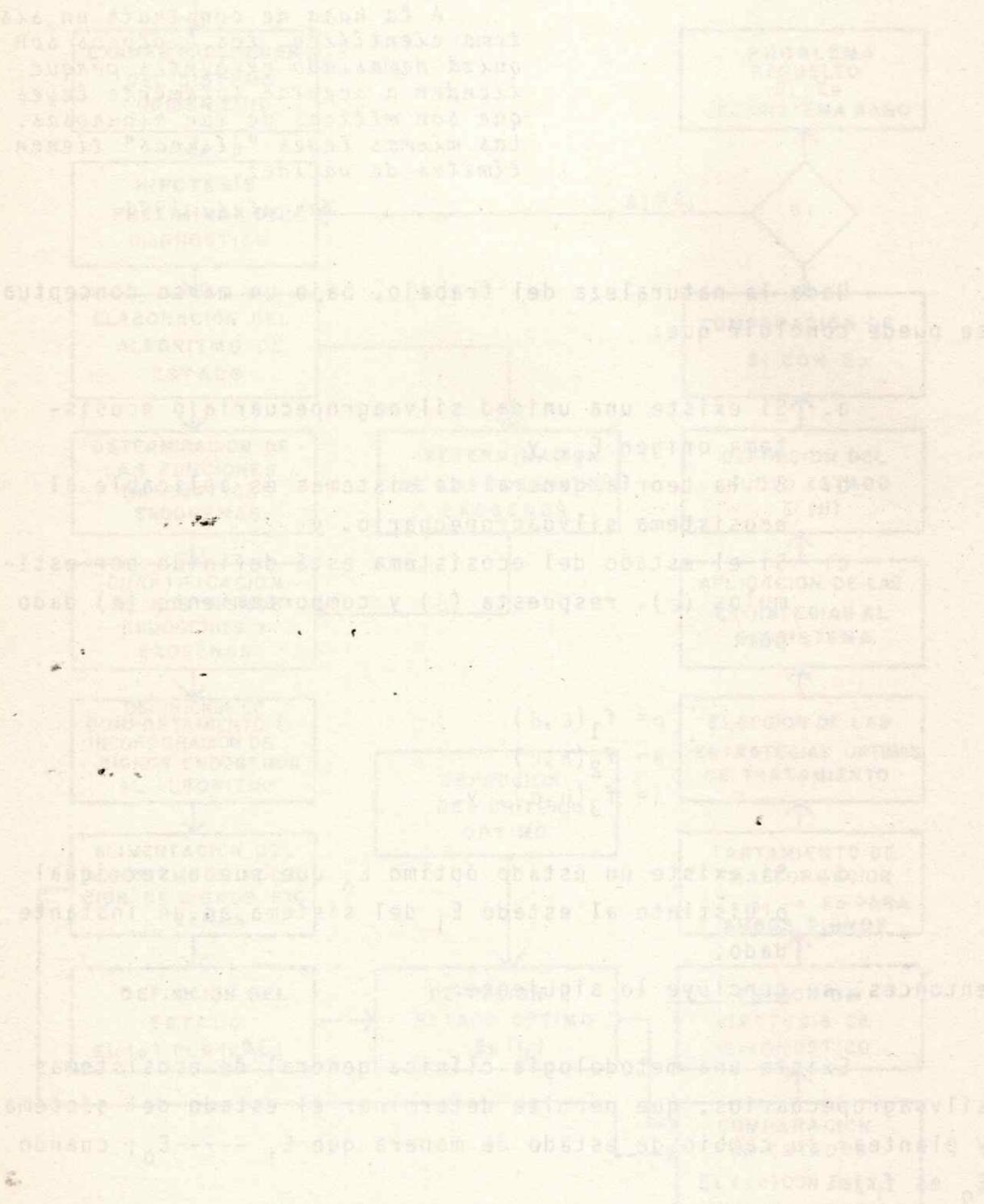
$$\Lambda = f_3(\eta, \sigma), \text{ y}$$

- d. Si existe un estado óptimo E_0 que puede ser igual o distinto al estado E_i del sistema en un instante dado;

entonces, se concluye lo siguiente:

Existe una metodología clínica general de ecosistemas silvoagropecuarios, que permite determinar el estado del sistema y plantear su cambio de estado de manera que $E_i \rightarrow E_0$; cuando E_0 es fijo.

Esta metodología consta de cuatro etapas fundamentales: diagnóstico, tratamiento, estrategia y comprobación.



RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es buscar los fundamentos de una metodología clínica general aplicable a la solución de problemas silvoagropecuarios y, además, contribuir al desarrollo de una dialéctica que permita colocar a la ciencia silvoagropecuaria en situación de utilizar una mayor proporción del acopio científico logrado en otras áreas.

El esclarecimiento de los problemas clínicos ecosistémicos se analizan en la primera parte de este trabajo, comparando diversos enfoques que representan diferentes escuelas de pensamiento.

El planteamiento metodológico presentado es el resultado de la integración de algunos conceptos contenidos en la literatura clínica ecosistémica, con los fundamentos de la teoría general de sistemas y disciplinas afines.

Dada la naturaleza del trabajo se puede concluir bajo un marco conceptual, y satisfaciendo las premisas establecidas, lo siguiente:

Existe una metodología clínica general de ecosistemas silvoagropecuarios que permite determinar el estado del sistema y plantear su cambio de estado de manera que $E_i \rightarrow E_0$; cuando E_0 es fijo.

Esta metodología consta de cuatro etapas fundamentales: diagnóstico, tratamiento, estrategia y comprobación.

S U M M A R Y

The main purpose of this study is the search of a clinical methodology general enough to solve agricultural ecosystemic problems. In addition, it strives to develop a dialectic directed toward the use of the scientific reservoir of knowledge susceptible to being applied in the area of natural resources.

Different schools of thought related to this subject are analyzed and compared. The proposed methodology comes about from integrating some concepts belonging to the clinical ecosystem literature with general system theory and its related subjects.

Due to the nature of this study and under a conceptual frame, it is possible to conclude (given that the premises are fully satisfied) that:

there is a general clinical methodology related to agricultural ecosystems which allows definition of the state of a system and the transformation towards the optimal state, i.e. $E_i \rightarrow E_0$, given E_0 is fixed. This methodology includes the following steps: diagnosis, treatment, strategy and validation.

B I B L I O G R A F I A

- Ashby, W.R. 1972. Systems and their informational measures. En: G.J. Klir (ed.) Trends in general systems theory. John Wiley-Interscience, N.Y.
- Baer, R.M. 1953. Some general remarks on information theory and entropy. Original no consultado, citado por Watt (1968).
- Becht, G. 1974. Systems theory, the key to holism and reductionism. BioScience 24: 569-579.
- Bellman, R. 1957. Dynamic programming. Princeton University Press, Princeton, N.J.
- Bijovsky, M.L. 1962. "Mietod fazavavo intervala v problemie diagnostiki". Original no consultado, citado por Parin y Baievsky (1969).
- Brillouin, L. 1956. Science and information theory. Academic Press, N.Y.
- Caswell, H., H.E. Koenig, J.A. Resh y Q.E. Ross. 1972. En: B.C. Patten (ed.) Systems analysis and simulation in ecology. Vol. 2. Academic Press, N.Y.
- Colyer, D. y G. Pholeman. 1971. Yield and quality burley tobacco to nitrogen and potasium. Agron.J.63: 857-860.
- Detwyler, T.R. 1971. Modern man and environment. En: T.R. Detwyler (ed.) Man's impact on environment. McGraw Hill. N.Y. : 2-9.
- Dimitry, D. y T. Mott. 1966. Introduction to fortran iv programming. Holt, Rinehardt and Winston. N.Y.
- Distefano, J.J., A.R. Stebberud y I.J. Williams. 1967. Feed back and control systems. Schaum Publishing Co. N.Y.
- Einstein, A. 1940. Considerations concerning the fundaments of theoretical physics. Science 91: 487-492.
- Friederichs, K. 1927. Grundsatzliches uber die Lebenseinheiten hoheren Ordnung und denokologischen Einheitsfaktor. Naturwissenschaften 15: 153-157 y 182-286.
- Gandarillas, M.J., E. Acevedo H. y R. García, L. 1969. Estudio de la productividad del maiz en la provincia de Santiago. Agr. Tec. 28: 7-15.

- Gastó, J.M. 1975. Ecología silvoagropecuaria. En prensa.
- Gastó C., J. y J. Gastó C. 1970. Uso de la tierra. El Campesino. Abril: 34-50. Santiago, Chile.
- Gastó C., J. y R. Cañas C. 1975. Modelo simulado de funcionamiento del ecosistema silvoagropecuaria. Univ. Auton. Agr. Antonio Narro. Monog. Cient.-Tecn. 1. Saltillo, Coah. Mex.
- Gordon, G. 1969. System simulation. I.B.M. corporation. N.Y. Scientific Center.
- Halliday, D. y R. Resnick. 1970. Fundamentals of physics. John Wiley & Sons, N.Y.
- Hare, V.C., Jr. 1967. Systems analysis: a diagnostic approach. Harcourt, Brace & World, N.Y.
- Ledley, R.S. y L.B. Lusted. 1959. Reasoning foundations of medical diagnosis. Science 130: 9-21.
- Lightstone, A.H. 1964. The axiomatic method: an introduction to mathematical logic. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, N.J.
- Margalef, R. 1974. Ecología. Omega, Barcelona.
- Mayr, E. 1961. Cause and effect in biology. Science 134: 1501-1506.
- Meringo, A. de,. 1952: Lógica y ética. Lumen. Lima, Perú.
- Morowitz, H.J. 1968. Energy flow in biology: biological organization as a problem in thermal physics. Academic Press, N.Y.
- Morowitz, H.J. 1970. Entropy for biologists: an introduction to thermodynamics. Academic Press, N.Y.
- Odum, E.P. 1972. Ecosystem theory in relation to man. En: Wiens, J.A. (ed.) Ecosystem structure and function. Oregon State University Press: 11-24.
- Papoulis, A. 1965. Probability, random variables and stochastic processes. McGraw-Hill. N.Y.
- Parin, V.V. y R.M. Baievsky. 1969. Introducción a la cibernética y a la computación médicas. Siglo XXI. México.

- Patten, B.C. 1971. A primer for ecological modeling and simulation with analog and digital computers. En: B.C. Patten (ed.). Systems analysis and simulation in ecology. Vol. 1. Academic Press, N.Y.
- Phillips, J. 1935. Succession, development, the climax and the complex organism: an analysis of concepts. III. Jour. Ecol. 23: 488-508.
- Reichenbach, A. 1973. Filosofía científica. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Rosenblueth, A. 1971. El método científico. Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados. Instituto Politécnico Nacional, S.E.P. México, D.F.
- Russell, B. 1971. Introduction to mathematical philosophy. Simon and Schuster. N.Y.
- Schrodinger, E., 1947. What is life? Cambridge Univ. Press. 1945. Espasa Calpe, Buenos Aires.
- Shannon, C.E. y W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press, Urbana.
- Smuts, J.C. 1926. Holism and evolution. Macmillan, N.Y.
- Stebbing, L.S. 1965. Introducción a la lógica. Breviarios del Fondo de Cultura Económica. México.
- Thomson, J.M. 1970. The ecological backlash. Nature versus man. Univ. Queensland Press. Queensland, Australia.
- Thrall, R.M., C.H. Coombs, R.L. Davis. 1954. Decision processes. Wiley. N.Y. : 22-23.
- Watt, K.E.F. 1968. Ecology and resource management. McGraw Hill. N.Y.
- Weyl, Hermann. 1965. Filosofía de las matemáticas y de la ciencia natural. UNAM. México.
- Whitesitt, J.E. 1972. Algebra booleana y sus aplicaciones. C.E.S.C.A. México, D.F.
- Wiener, N. 1948. Cybernetics. N.Y. Wiley.
- Wiener, N. 1969. The human use of human beings. Cybernetics and society. Avon Books. N.Y.

Zaffanella, M.J.R. y M. Gemesio. 1969. Ataque de problemas regionales de productividad agrícola mediante análisis y síntesis ecológicas. En: E.E. Reinaert. La investigación de fertilidad e suelos para la producción agrícola en la zona templada. IICA. Zona Sur. Montevideo. : 7-55.

Zemansky, M.W. 1957. Heat and thermodynamics. McGraw-Hill. Tokyo.

Simbolos, abreviaturas y siglas

A. Abstracción
 B. Base de datos
 C. Conjunto de datos
 D. Entidad correspondiente a la entidad
 E. Función booleana del conjunto de datos
 F. Forma y función booleana del conjunto de datos
 G. Número de individuos al tiempo t
 H. Número de individuos al tiempo t_0
 I. Tasa de cambio de la población
 J. Base del logaritmo natural
 K. Entropía
 L. Constante de proporcionalidad
 M. Información
 N. Número de estados posibles de un sistema
 O. Propiedad

A P E N D I C E

P. Estimulo al ecosistema
 Q. Respuesta del ecosistema
 R. Función del argumento
 S. Comportamiento del ecosistema
 T. Arquitectura del ecosistema
 U. Número de componentes del ecosistema
 V. Arreglo topológico de los componentes del ecosistema
 W. Estado de un sistema
 X. Variables de estado
 Y. Vectores de estado
 Z. Cambio de
 AA. Sumatoria de costos de operación de la arquitectura
 AB. de transformación y de estímulos
 AC. producto ecológico bruto
 AD. producto ecológico neto
 AE. relación arbitraria entre

Símbolos empleados

C	conjunto de conocimientos de causa-efecto establecidos
S	signo correspondiente a la enfermedad
D	enfermedad correspondiente al signo
G	función booleana del complejo de signos
f	función booleana del complejo de enfermedades
N(0)	número de individuos al tiempo cero
N(t)	número de individuos al tiempo t
ψ	tasa de cambio de la población
e	base del logaritmo natural igual a 2.718281
S	entropía
K	constante de proporcionalidad
H	información
N	número de estados posibles de un sistema
p_i	probabilidad que el sistema esté en el estado i
ϵ	estímulo al ecosistema
ρ	respuesta del ecosistema
$f_i(*)$	función del argumento*
β	comportamiento del ecosistema
Λ	arquitectura del ecosistema
η	numero de componentes del ecosistema
σ	arreglo topológico de los componentes del ecosistema
E	estado de un sistema
$\{x_n\}$	variables de estado
\vec{x}_i	vectores de estado
Δ	cambio de
α	sumatoria de costos de operación de la arquitectura, de transformación y de estímulos
κ	producto ecológico bruto
ϕ	producto ecológico neto
ω	relación arbitraria entre α y κ

E_i	i avo estado de un sistema en un instante dado
E_0	estado óptimo de un sistema
τ	transformador u operación funcional
ϵ	pertenece a
N	número de caracteres ó signos
p_i	probabilidad de cada caracter
$h(p_i)$	la función de la información del caracter y corresponde a $-\log_2 p_i$
T	tratamiento de corrección de estado del sistema
E_j	estado del sistema luego de aplicado el tratamiento
$N(E)$	norma del estado E
\longrightarrow	implicación lógica
\dashrightarrow	tiende a
$E_i \xrightarrow{\tau} E_0$	mapeo del estado E_i a E_0 a través de τ