

Juan Gasto
UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

MONOGRAFIA TECNICO-CIENTIFICA

VOLUMEN 2

NUMERO 3

EL ECOSISTEMA
SILVOAGROPECUARIO
ENTIFICACION Y ATRIBUTOS

JUAN GASTO C.
ROBERTO NAVA C.
ROBERTO ARMIJO T.



MARZO, 1976
SALTILLO, COAHUILA, MEXICO

UNIVERSIDAD AUTONOMIA AGRARIA
ANTONIO NARRO

MONOGRAFIA TECNICO-CIENTIFICA

VOLUMEN 2

NUMERO 3

EL ECOSISTEMA
SILVOAGROPECUARIO
ENTIFICACION Y ATRIBUTOS

JUAN GASTO C.
ROBERTO NAVA C.
ROBERTO ARMIJO T.

MARZO, 1976
SALTILLO, COAHUILA, MEXICO

Los complejos no solo son sistemas de partes, procesos y fuerzas, o sea simples complejos dinámicos, sino también complejos de complejos, totalidades de partes que son a su vez igualmente totalidades naturales.

N. Harßmann, 1960

INDICE

	Página
INTRODUCCION	180
CONCEPTO	181
ESTADO DEL ECOSISTEMA	188
Definición	188
Variables de estado. Arquitectura	194
Ecotopo	197
Habitat. Construcciones de materia, energía e información	198
Autotrofocenosís	203
Heterotrofocenosís	205
Vectores de estado. Funcionamiento	208
CAMBIO DE ESTADO	219
Procesos	219
Ecocibernética	234
METODOLOGIA CLINICA	237
RESUMEN Y CONCLUSIONES	241
SUMMARY AND CONCLUSIONS	243
BIBLIOGRAFIA	245
APENDICE	248
Símbolos empleados	248

EL ECOSISTEMA SILVOAGROPECUARIO

ENTIFICACION Y ATRIBUTOS*

Juan Gastó C.*

Roberto Armijo T.**

Roberto Nava Coronel***

INTRODUCCION

La forma característica de pensar del hombre, es contemplar entidades en lugar de sistemas; desconectar sistemas, en lugar de relacionar sus partes; medir estímulos y respuestas de los sistemas en lugar de medir el comportamiento del sistema mismo.

BEER, 1972

Una de las mayores dificultades que encuentran los especialistas en ciencias silvoagropecuarias es definir y delimitar la unidad ecológica con la cual se trabaja. Ello es en sí un problema básico que debe ser resuelto con anterioridad al estudio detallista de cada uno de los elementos que componen esta unidad. El hombre, a pesar de tener una larga historia evolutiva como integrante de la biosfera, no ha logrado aún adquirir un conocimiento cabal del rol que le corresponde desempeñar en la naturaleza, ni del efecto que su acción produce sobre los recursos naturales.

Algunos naturalistas del siglo pasado comprendieron perfectamente que en la naturaleza se integran los elementos que componen los reinos mineral vegetal y animal formando una unidad mas compleja o ecosistema. El conocimiento científico de la época, no les permitió, sin embargo, continuar progresando hasta conocer mas a fondo esta unidad ecológica integradora. La tendencia general, en cambio, fue hacia la disección de esta unidad en fragmentos y componentes cada vez mas pequeños, con un enfoque merológico (Odum, 1972) donde los atributos de cada componente se alejan de las propiedades ecosistémicas cuando éstos actúan holocenóticamente.

El esfuerzo intelectual desplegado durante este lapso no ha sido perdido, sino que al contrario, ha entregado valiosa información, que conjugada a la luz de los conocimientos actuales en torno a la unidad ecológica.

- o Proyecto de investigación del Campo Experimental Noria de Guadalupe, Zacatecas, de la UAA"AN".
- * Ingeniero Agrónomo, Ph. D. Profr. de Ecología y Manejo de Pastizales. Div. de Ciencia Animal, Depto. de Recursos Naturales Renovables, UAA"AN".
- ** Físico-Matemático M.S., Profr. de Matemáticas. Div. de Ingeniería, Depto. de Matemáticas y Física, UAA"AN".
- *** Ing. Agrónomo, M.C. Profr. de Climatología e investigador en Ecología y Pastizales. Div. de Ciencia Animal, Depto. de Recursos Naturales Renovables UAA"AN".

fundamental, el ecosistema, puede contribuir a comprender e interpretar los principios que regulan su funcionamiento y arquitectura. Durante los últimos años, sin embargo, la tendencia general del estudio de la naturaleza ha tenido un enfoque integracionista holológico lo cual ha permitido utilizar el enorme acopio científico en la comprensión e interpretación de esta unidad natural.

Por tratarse de un tópico básico en el estudio y resolución de problemas del agro se ha comenzado este trabajo definiendo y describiendo lo que se entiende por ecosistema. La comprensión y solución de los problemas silvoagropecuarios se inicia con el conocimiento detallado e integral del ecosistema donde se considera a cada uno de los componentes como un elemento mas del complejo holocenósico.

CONCEPTO

El concepto de ecosistema es no sólo el centro de la ecología actual, sino que además, el concepto mas relevante en relación a los problemas ambientales del hombre.

E. Odum, 1972

La unidad ecológica básica es el ecosistema, el cual es el resultado de la integración e interdependencia ordenada de los elementos vivos y no vivos de la naturaleza. El desarrollo del concepto de ecosistema es un proceso largo y complejo, el cual, luego de pasar por todas las etapas de análisis de cada uno de los elementos integrantes del sistema se logró finalmente reunirlos en una sola unidad y en un sólo proceso de funcionamiento.

El término ecosistema fue originalmente propuesto por Tansley en 1935. Otros autores con anterioridad o posterioridad lograron desarrollar el mismo concepto de Tansley e incluso propusieron términos que involucran la misma idea. Según Evans (1956) y Fosberg (1963) en 1887 se propuso el

término microcosmo por Forbes, naturkomplex o complejo natural en 1926 por Markus, holocen, holozon o zon por Friederichs (1930), biosistema por Thienemann (1939), y biogeocenosis por Sukachev (1950), siendo el término de mayor aceptación en la actualidad el propuesto por Tansley.

El concepto de un sistema ecológico integrador de la materia viva con la inerte, a pesar de haberse propuesto desde hace casi un siglo ha sido de amplio uso y aceptación sólo a partir de los últimos años, aproximadamente desde la década de 1950. En la actualidad, no sólo se le emplea con frecuencia sino que constituye el concepto básico en el estudio e interpretación del funcionamiento de la naturaleza. Una población, o conjunto de organismos de una especie, o una comunidad, o grupo de poblaciones, no existen en la naturaleza como tales. Son sólo el producto del estudio de una unidad mas compleja que incluye, además, el medio donde se desarrollan.

Desde que se enunció la doctrina del holismo los conceptos parciales tales como clima, vegetación, suelo, ambiente y comunidad dejaron de tener el valor primitivo que se les asignaba con un criterio analítico. Para que expresen su valor real deben ser considerados con criterio sintetizador o de ecosistema (Fosberg, 1963). Los ecólogos tratan, a menudo, de evitar el estudio simplificado de las relaciones de causa-efecto, debido al sentido holocenósico que se le atribuye al ecosistema, tanto en lo que se refiere a su funcionamiento como a su estructura (West, 1964). Desde el punto de vista filosófico, la principal dificultad que emana del concepto de ecosistema es su holismo. El ecosistema es tan complejo que en la práctica se tiende a simplificarlo en exceso (Maelzer, 1965a).

El ecosistema ha sido estudiado desde varios puntos de vista, entre los que está el merológico, en el cual se estudia el ecosistema al 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 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.

Major (1951) ha resuelto el problema de interpretación del complejo ambiental en una base factorial. Las relaciones de la biocenosis con el complejo ambiental son:

$$b = f(cl, m, r, o, t)$$

donde b se refiere a cualquier propiedad cuantificable de la biocenosis; cl, clima; m, material generador; r, relieve; o, organismos y t, tiempo. La ecuación original de Major, similar a la de Jenny (1941) para problemas de formación del suelo se refiere sólo a vegetación y no a biocenosis. Puede interpretarse, sin embargo, como de aplicación válida tanto en la fitocenosis como en la zoocenosis.

El sistema ecológico o ecosistema es la unidad funcional y estructural de la naturaleza. Existen varias definiciones de ecosistema, que conceptualmente son similares. Una manera de definírsele puede ser la siguiente:

El ecosistema es un arreglo de componentes bióticos y abióticos, o un conjunto o colección de elementos que están conectados o relacionados de manera que actúan o constituyen una unidad o un todo. Conexión y relación en cualquier sistema dinámico significa transporte de materia, energía e información (Becht, 1974; Distefano et al., 1967; Odum, 1972; Maynez, Armijo y Gastó, 1975).

Puede ser de variados tamaños, desde muy pequeño, tal como ocurre con un tubo de ensayo, un acuario o de mayor tamaño como un cultivo, un campo con ganado, una represa, un bosque, e incluso los recursos ocupados por un país entero. Desde el punto de vista analítico-conceptual resulta, a menudo, conveniente trabajar con unidades pequeñas. El mínimo de tamaño debe ser tal que no destruya esta unidad compleja y, por lo tanto, que mantenga todos los elementos básicos que constituyen el sistema. Teóricamente se pueden considerar hasta unidades infinitamente pequeñas.

Cada unidad constituye un microecosistema, los cuales se pueden integrar en otros de tamaño cada vez mayor hasta formar el macroecosistema.

Se podría incluso considerar que todos los sistemas de un país funcionan en último término como un macroecosistema nacional. La unión de todos los sistemas del globo terrestre en funcionamiento simultáneo e interdependiente constituye la biósfera.

Ningún sistema ecológico es completamente independiente (Evans, 1956). Todos ellos reciben recursos y elementos del hábitat y de la biocenosis desde afuera y liberan otros. No es válido, por lo tanto, referirse a sistemas abiertos en oposición a sistemas cerrados pues los límites entre una unidad de microecosistema en relación a las vecinas no son nítidos y, por lo tanto, lo que le ocurre a uno afecta, en alguna forma a todos los demás. La biosfera del planeta tierra funciona integradamente.

Tansley en 1935 introdujo el término y concepto de ecosistema antropogénico indicando que los sistemas naturales, difieren de aquellos que se han desarrollado bajo el umbral del hombre. Los factores formativos esenciales son los mismos aunque la intensidad de aquellos modificables puede ser considerablemente alterada.

Desde un punto de vista conceptual y funcional resulta preferible considerar al hombre como un elemento ajeno al sistema, el cual dirige, modifica y planifica las acciones que se puedan ejercer sobre el sistema del cual espera alguna respuesta determinada.

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.

La unidad básica homogénea de la naturaleza está dada por el ecosistema origen (Figuras 1 y 2).

El ecosistema origen E_i^j está definido por:

$$p = p(\epsilon, \beta) \dots\dots\dots (1)$$

$$\beta = \beta(\epsilon, \Lambda) \dots\dots\dots (2)$$

$$\Lambda = \Lambda(\eta, \sigma); \sigma = \sigma(\eta) \dots\dots\dots (3)$$



Figura 1. Modelo a escala del ecosistema origen.

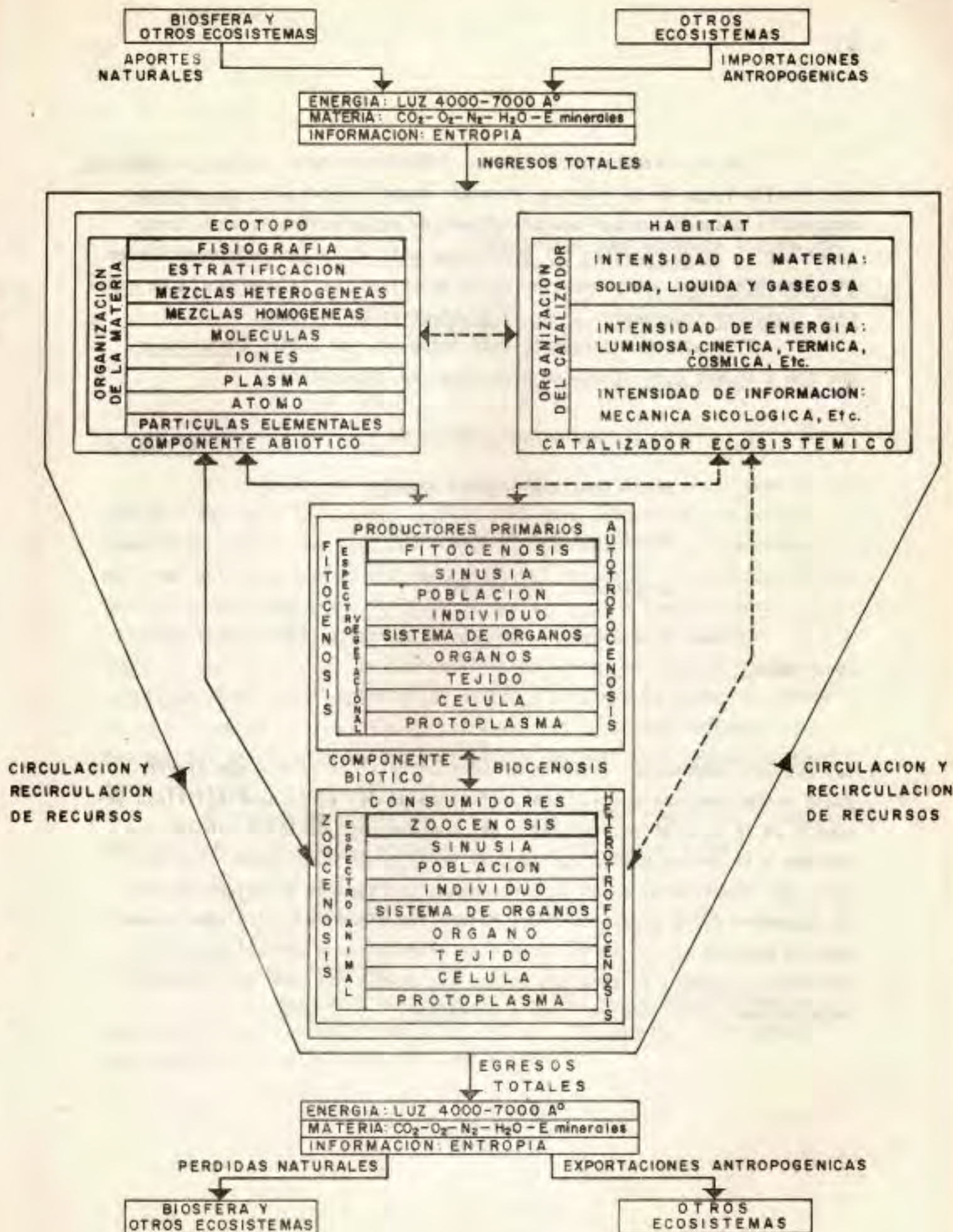


Figura 2. Modelo isomorfo del ecosistema origen.

Los ecosistemas naturales son frecuentemente el residuo o remanente que resulta luego de la cosecha, a menudo descontrolada, del ecosistema original. Luego de un período prolongado de explotación, la resultante puede ser la retrogradación del ecosistema natural y su transformación en estados inferiores que, a menudo, se caracterizan por la dominancia de especies invasoras indeseables y por la destrucción del ecotopo.

El ecosistema origen E_i^j está integrado por cuatro componentes, que son a su vez ecosistemas en otro nivel de integración:

E_{S_i}	ecosistema silvoagropecuario
E_{A_i}	ecosistema ambiente incidente
E_{H_i}	ecosistema hombre organizado
E_{I_i}	ecosistemas incidentes

En base a lo anterior, el ecosistema origen E_i^j se puede considerar como:

$$E_i^j = \{ E_{S_i}, E_{H_i}, E_{A_i}, E_{I_i} \} \dots\dots\dots (4)$$

tal que los componentes estén conectados entre sí de manera que el conjunto actúe como una unidad. Los profesionales del agro, cuya actividad se centra en la naturaleza, requieren del conocimiento de los atributos que definen a la unidad básica con la cual trabajan, o ecosistema. Los atributos del ecosistema, en un instante dado, corresponde al estado en que se encuentra dicho ecosistema. La naturaleza dinámica de los ecosistemas implica cambios en los atributos que se expresan como variaciones, con respecto al tiempo, de cada uno de sus atributos, así como del conjunto todo lo cual corresponde al cambio de estado.

ESTADO DEL ECOSISTEMA

Los complejos menores sólo pueden mantenerse como miembros o elementos de los mayores cuando su asociación es mas vigorosa que la de los últimos. De otra suerte resultarían desgarrados por las fuerzas campales superiores de los complejos mayores.

N. Hartmann, 1960

Definición

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. El estado del sistema se define por sus componentes o arquitectura, y sus procesos o funcionamiento.

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

El estado de un sistema $E(t)$, según Patten (1971), con n componentes y variables de estado, se define por la siguiente ecuación:

$$E(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\} \dots\dots\dots (5)$$

donde cada variable de estado es una función del tiempo t .

Existe una correspondencia homomórfica entre los componentes topológicos $\sigma_i(n)$ y las variables de estado de manera que se puede establecer una relación del tipo siguiente:

$$\sigma_i(n) \rightarrow \{x_i\}$$

Los vectores de estado $\vec{f}_i$, pueden corresponder a funciones vectoriales de funcionamiento para un tipo y nivel de estímulo dado.

Los vectores de estado están dados por:

$$\vec{f}_i = (x_1, x_2, \dots, x_n); \text{ ó } \vec{f}_i = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \dots\dots\dots (6)$$

Los vectores de estado $\vec{f}_i$ a diferencia de un conjunto de variables de estado (x_i) tienen un orden definitivo en la enumeración de sus componentes. Las variables de estado pueden corresponder a cualquiera observable del ecosistema tales como textura, pendiente, potencial hídrico, densidad de plantas, etc. Algunas de estas variables afectan en mayor grado al vector y se les denomina pertinentes; las restantes corresponden a las impertinentes.

Si $E(t)$ es el estado o conjunto de vectores de estado de un sistema al tiempo t , lo que a su vez está dado por las variables de estado, entonces el estado futuro al tiempo $t+1$ 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:

$$\frac{\Delta x_i}{\Delta t} = \frac{x_i(t+\Delta t) - x_i(t)}{\Delta t} \dots\dots\dots (7)$$

En general es factible definir el estado E de un ecosistema en términos del triplete (ϵ, β, ρ) dado en las ecuaciones (1) ... (3):

$$\begin{aligned}\rho &= \rho(\varepsilon, \beta) \\ \beta &= \beta(\varepsilon, \Lambda) \\ \Lambda &= \Lambda(\eta, \sigma); \quad \sigma = \sigma(\eta)\end{aligned}$$

Estas ecuaciones generales determinan el estado de un sistema en términos de:
 su estímulo ε ,
 el comportamiento β , y
 su arquitectura Λ , determinada ésta a la vez, por
 su arreglo topológico σ , y
 el número y dimensión de los componentes η .

Cabe mencionarse que tanto ρ, β y Λ dependen implícitamente del tiempo y en su acepción más amplia representan procesos estocásticos (Figura 3).

En términos generales, se puede afirmar que los ecosistemas dependen en su comportamiento tanto de su arquitectura o anatomía y morfología y de su funcionamiento. El estado del sistema silvoagropecuario puede fluctuar dentro de márgenes muy amplios, pero su organización y manejo debe ser el resultado del estudio detenido de sus estado inicial y de su transformación, llevada a cabo con un criterio de optimización antropogénica (Maynez, Armijo y Gastó, 1975). El estado de cada uno de estos componentes del ecosistema origen, está definido por las mismas formas funcionales de las ecuaciones (1) ... (3); en otras palabras; E_{S_i} está definido por:

$$\rho_S = \rho_S(\varepsilon_S, \beta_S) \dots\dots\dots (8)$$

$$\beta_S = \beta_S(\varepsilon_S, \Lambda_S) \dots\dots\dots (9)$$

$$\Lambda_S = \Lambda_S(\eta_S, \sigma_S); \quad \sigma_S = \sigma_S(\eta_S) \dots\dots\dots (10)$$

y similarmente para E_{A_i} , E_{H_i} , y E_{I_i} .

Las conexiones de los componentes E_S , E_{H_i} , E_{A_i} , E_{I_i} están regidas por cierta forma funcional ϕ que relaciona el estímulo ε de cada componente con las respuestas (Figura 4), es decir:

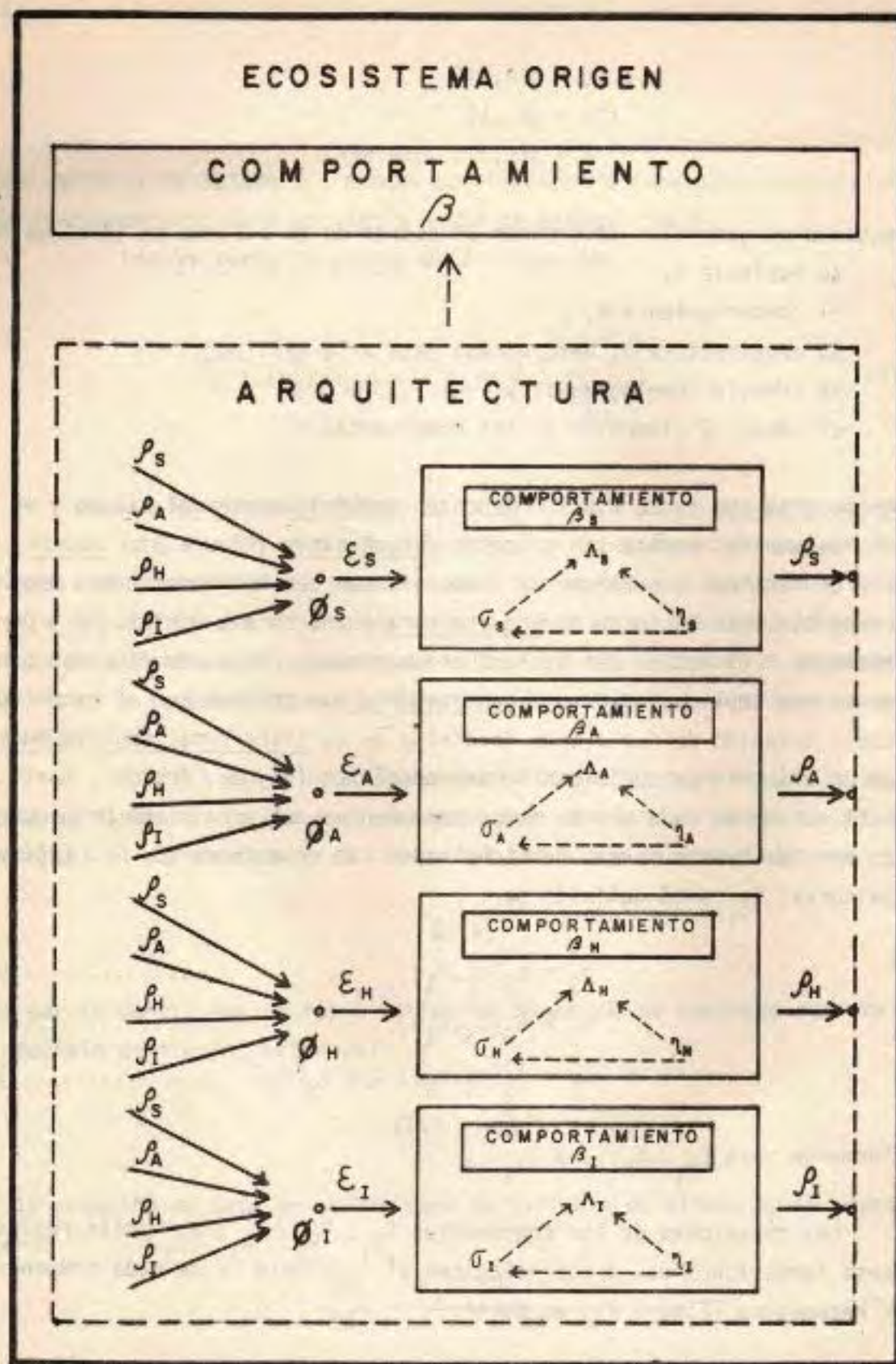


Figura 3. Representación gráfica del ecosistema origen, indicándose la relación estímulo-respuesta de sus componentes.

$$\epsilon_S = \phi_S(\rho_S, \rho_H, \rho_A, \rho_I) \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$\epsilon_H = \phi_H(\rho_S, \rho_H, \rho_A, \rho_I) \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\epsilon_A = \phi_A(\rho_S, \rho_H, \rho_A, \rho_I) \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\epsilon_I = \phi_I(\rho_S, \rho_H, \rho_A, \rho_I) \quad \dots\dots\dots (14)$$

Los factores ambientales pueden ser divididos en físicos y biológicos pero la división es de por sí arbitraria pues los organismos actúan sobre otros organismos en forma física (Billings, 1965). El ambiente incluye, por lo tanto, no sólo al ecotopo sino que también a todos los demás organismos de la misma especie, de otras especies del mismo nivel trófico y los de otros niveles, pues modifican tanto al hábitat como a los recursos. El ambiente, en su contexto ecosistémico, incluye al ecotopo original transformado por la biocenosis, es decir, la magnitud holocenósica del hábitat y del abiotopo sin considerar que parte de esta magnitud se origina en el ecotopo mismo, pero el resto, tiene su origen en la biocenosis.

El ambiente ha sido definido por Mason y Langenheim (1957) como el componente que resulta de la suma de aquellos fenómenos que integran un sistema de reacciones del organismo o que, en forma directa, le infringen un modo de vida en alguna etapa de su ciclo de acuerdo a sus requerimientos ontogénicos, o por cualquier otra condición del organismo que modifique sus requerimientos del medio. También ha sido definido por Hutchinson (1957) como cualquier propiedad fuera del organismo. Los componentes ambientales mas importantes son, según Andrewartha (1970), el tiempo en su acepción climática, los predadores, parásitos y enfermedades, los alimentos y otros recursos y los otros individuos de la misma especie.

Un fenómeno para que se le clasifique de ambiental debe ser de significación operacional para el organismo y debe, además, ser efectivo durante alguna etapa vital y en la secuencia ordenada de acuerdo a su ontogenia. De ello se desprende que el ambiente debe ser dirigido, regulado en el tiempo, ordenado y regulado en el espacio por el organismo mismo (Mason y Langenheim, 1957). La clasificación de los fenómenos ambientales debe reflejar los aspectos operacionales de las relaciones del fenómeno con el organismo. Algunos de los aspectos operacionales de mayor significación

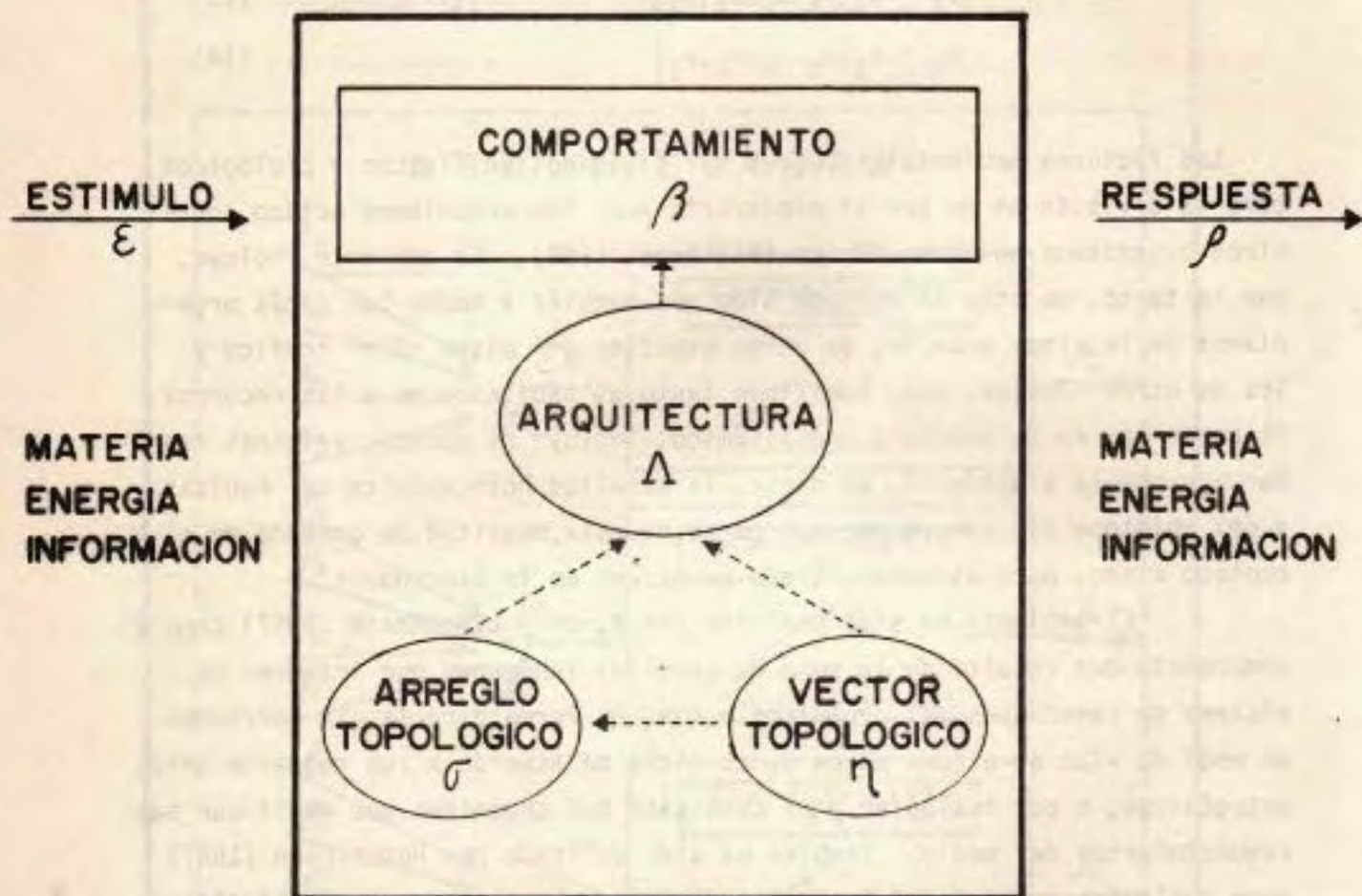


Figura 4. Modelo homomorfo del ecosistema origen y sus componentes homomórficos.

son la selección natural, las relaciones energéticas y el funcionamiento fisiológico del organismo.

El ambiente que rodea a un organismo es mucho mas que el habitat o el ecotopo. Un componente del ambiente es cualquier propiedad, fuera de las propias del organismo, que tiene una influencia directa cuantificable en la fecundidad, longevidad, tasa de desarrollo o posición espacial de un organismo (Maelzer, 1965b). El ambiente, según Maelzer(1965b), incluye cinco categorías de factores: recursos, tensión mecánica, tiempo en su sentido climático, número de especies y predadores, parásitos y patógenos. Ambiente, según Browning (1963), es cualquier cosa que sea usada en una forma u otra por un organismo y por tanto, que influencie sus posibilidades de reproducirse o de sobrevivir.

Variables de estado

El conjunto ordenado de variables de estado de un ecosistema constituye la arquitectura, que consta de cuatro subconjuntos de componentes isomórficos fundamentales:

Ecotopo o recursos abióticos

Habitat o ambiente físico

Autotrofocenos o comunidad de fotosintetizadores

Heterotrofocenos o comunidad de consumidores.

Ningún ecosistema es absolutamente independiente de los demás y su funcionamiento y estructura están regulados por la tasa de aportes y pérdidas de elementos desde o hacia el ambiente circundante, los ecosistemas vecinos, o el hombre organizado. El cambio de estado de los componentes del sistema ocurre a través del intercambio de estímulos. Los estímulos e a los que está condicionado el ecosistema origen son (Becht, 1974):

Materia

Energía, e

Información

El ordenamiento de las variables o arreglo del ecosistema esta representado por los niveles de integración y por la organización topológica (Caswell et al., 1972). Simbólicamente se puede representar como:

$$\sigma(n)$$

donde: σ representa el arreglo topológico
 n el tamaño de las variables de estado que le integran.

Odum (1972) considera que existen seis componentes y seis procesos. Los componentes corresponden aproximadamente a lo que se ha denominado, en el presente trabajo, variables de estado y los procesos a los vectores de estado o funcionamiento. Esta subdivisión, a pesar de ser arbitraria, tiene la ventaja, según el autor, de distinguir entre estructura y funcionamiento. Entre los componentes de la estructura considera a los siguientes:

Sustancias inorgánicas, tales como C, N, CO₂ y H₂O

Compuestos orgánicos, tales como carbohidratos, proteínas y lípidos

Autótrofos o productores primarios, donde se incluye a las plantas fotosintetizadoras.

Heterótrofos macroconsumidores, principalmente a animales que ingieren a otros y a partículas de materia orgánica.

Heterótrofos microconsumidores o saprofitos, principalmente bacterias, hongos que descomponen compuestos orgánicos complejos y absorben algunos productos de la descomposición, liberando a otros.

La respuesta p del ecosistema corresponde a la antítesis de los estímulos y como tal debe ser también: materia, energía e información.

Un sistema ecológico está integrado por organismos y ambiente y se caracteriza por tener un número considerable de propiedades y atributos, algunas de las cuales no merecen, bajo algunas circunstancias, ser estudiadas.

Cualquier propiedad pertinente que se seleccione entre las mínimas necesarias para la descripción del sistema puede denominársele observable. El complejo de observables puede denominársele estado del sistema (Maelzer, 1965b). En el caso que los observables cuantificados correspondan a las variables y a los estados y cambios de estado, el sistema se puede representar numéricamente en funciones algebraicas (Harre, 1960), de manera que permitan describir a los vectores de estado del sistema.

Los factores integrantes del complejo ambiental, de acuerdo con Billings (1952) pueden agruparse en cinco categorías principales: climáticos, edáficos, geográficos, píricos y bióticos. Los factores climáticos incluyen radiación, temperatura, agua y gases atmosféricos. Entre los factores edáficos considera al material generador y al suelo. Los geográficos son de naturaleza mas amplia e incluyen la gravedad, diastrofismo, erosión, depositación y topografía. El factor pírico incluye solamente al fuego, a través de sus efectos climáticos, edáficos y bióticos. Finalmente, entre los factores bióticos considera a otras plantas, animales y al hombre mismo.

La integración de la biocenosis con el medio abiótico constituye el ecosistema, y la integración de los ecosistemas del globo forma la biosfera. El concepto de ecosistema involucra, por lo tanto la existencia de una estructura o arquitectura integrada por elementos de naturaleza biótica y abiótica y de un funcionamiento ordenado de esta unidad. La acción que se ejerce sobre el ecosistema, por períodos cortos o largos de tiempo, se traduce en una reacción que termina por modificar la arquitectura y funcionamiento. Ello es la dinámica del ecosistema, que corresponde ser estudiada en la parte correspondiente a las sucesiones ecológicas o singenética.

Por definición de arquitectura se tiene que:

$$\Lambda = \Lambda(\sigma, n), \text{ con} \\ \Lambda(\sigma, n) = \{\sigma(n)\}_n \quad \dots\dots\dots (15)$$

El conjunto $\{\sigma(n)\}_n$ que contiene n elementos, se particiona en dos subconjuntos mutuamente excluyentes, tales que:

$$\{\sigma(n)\}_n = \{\sigma_R(n)\}_K + \{\sigma_V(n)\}_{n-K} \dots\dots\dots (16)$$

El primer conjunto $\{\sigma_R(n)\}_K$ representa el conjunto de elementos topológicos reales que constituyen la arquitectura Λ , y el segundo conjunto, $\{\sigma_V(n)\}_{n-K}$ representa el conjunto de elementos virtuales de Λ . Puesto que los elementos que integran los dos subconjuntos pertenecen a clases diferentes, la unión de estos subconjuntos se puede reagrupar como:

$$\{\sigma_R(n)\}_K + \{\sigma_V(n)\}_{n-K} = \{(\sigma_R, \sigma_V)\}_n$$

pudiéndose escribir la ecuación (15) como:

$$\Lambda(\sigma, n) = \{(\sigma_R, \sigma_V)\}_n \dots\dots\dots (17)$$

Los componentes reales $\{\sigma_R(n)\}_K$ se pueden a su vez subdividir en tres subconjuntos, a saber:

$$\{\sigma_R\} = \{\sigma_A\} + \{\sigma_B\} + \{\sigma_E\} \dots\dots\dots (18)$$

representando el conjunto de variables de estado del ecotopo, autotrofo-
cenosis y heterotrofocenosis, respectivamente.

El conjunto virtual $\{\sigma_V(n)\}_{n-K}$ representa el conjunto de variables de estado que actúan por presencia sobre las otras, sin intervenir de una manera directa, es decir, se comporta como catalizadores del ecosistema.

Ecotopo

El ecotopo es el conjunto de elementos inorgánicos, organizados en diversos niveles de integración abiótico Los niveles generales de integración de la materia son los siguientes:

atomo
plasma

ion
 molécula
 materia homogénea
 mezcla de materias homogéneas diferentes
 estratificación de las mezclas
 fisiografía de las estratas

Los niveles anteriores de integración de la materia en sus cuatro estados fundamentales representan ordenamientos topológicos con diversos grados de entropía. Las consideraciones energéticas de estos niveles de integración, expresadas a través de las funciones de entropía generan la consideración del contenido de información del ecotopo.

En general, cualquier descripción de las variables de estado del ecotopo, deben indicar niveles de:

materia
 energía
 información

Los elementos del ecotopo de mayor incidencia en el ecosistema son los siguientes: CO_2 , O_2 , N, H_2O , nutrientes sedimentarios y energía luminosa. Debe destacarse que por la característica dinámica del ecosistema, el transporte de materia, energía e información se efectúa, generalmente, en estados líquidos, gaseosos, de plasma, y a través de ondas. El transporte de elementos sólidos complejos, en la dinámica del ecosistema, se lleva a cabo en forma menos generalizada. Un ejemplo de esto es la erosión, deslizamiento de laderas y otras formas de movimiento de partículas complejas cuyo transporte ocurre por conductos líquidos o gaseosos.

Habitat. Constricciones de materia, energía e información

El habitat es el conjunto de variables de estado eminentemente pasivas que actúan por presencia en los vectores de estado. Lo anterior significa que el habitat es el catalizador de los procesos de funcionamiento del ecosistema. Se le considera como tal pues no interviene en forma activa.

Los elementos principales del habitat son los siguientes:

Materia
 potencial hídrico

concentración iónica
 densidad de partículas
 resistencia de partículas

Energía

nivel termico
 presión barométrica
 intensidad de sonido
 energía cinética atmosférica
 energía cinética de cuerpos sólidos
 fuerza de gravedad
 intensidad luminosa

Información

tensión psicológica
 tensión mecánica

El organismo no utiliza como ecotopo a ninguno de ellos pero, sus límites de tolerancia ambiental no le permite vivir en un hábitat determinado, cuando el nivel de cualquiera de ellos es demasiado elevado o bajo. Por no constituirse en una parte integrante del organismo o no ser incorporados como componentes de sus estructuras no se le considera como ecotopo sino que como hábitat.

A manera de ejemplo y para distinguir entre hábitat y ecotopo, puede citarse al contenido de humedad y al potencial hídrico. El primero de ellos actúa directamente incorporándose dentro de la biocenosis y del ecotopo. El potencial hídrico, en cambio, actúa solo como catalizador, es decir, no se incorpora en el sistema, si no que establece límites que deben corresponder a los límites de tolerancia de los organismos y procesos del ecosistema. Independientemente de la cantidad de agua que exista, en un momento dado en un sistema, la presencia o ausencia de un organismo está dada por la relación entre el potencial hídrico del medio y la capacidad de tolerancia del organismo a ese potencial.

La cantidad de energía térmica y luminica debe distinguirse, en igual forma, de sus características del hábitat que sean intensidad térmica

o temperatura e intensidad luminosa. Estas últimas dos variables de estado deben corresponder a los límites de tolerancia de los organismos y procesos, el organismo, sin embargo, no utiliza para vivir a la temperatura ni a la intensidad luminica pero debe estar capacitado para tolerarles.

El macrohabitat es el medio general donde se desarrolla el ecosistema el cual depende del macroclima y del sustrato original del lugar, además de considerar la acción recíproca de la biocenosis sobre el medio y de éste sobre la biocenosis. El resultado de esta acción, reacción y coacción es el desarrollo del microhabitat, el que a menudo es muy diferente del macrohabitat general de la región. Los organismos se adaptan al microhabitat donde viven independientemente del macrohabitat general de la zona, el que frecuentemente sobrepasa sus límites de tolerancia.

La alteración del ecosistema puede llegar a niveles tales que concluya por modificar el microhabitat particular, hasta niveles en que sus características se aproximen en exceso o en defecto al macrohabitat y lo hagan así intolerable para el organismo, la población, la sinusia o la biocenosis original del lugar. Se tiene así que, organismos adaptados a ecosistemas bien manejados, desaparecen al ser mal manejados. Ello, generalmente se interpreta como una inadaptación al biotopo, habitat general o macrohabitat ignorándose y no aprovechándose su capacidad adaptativa a los microhabitats favorables que pueden generarse en ese medio.

El habitat, es el ambiente donde el organismo vive y no se considera por lo tanto si el recurso o elemento es utilizado o no por el organismo. Es la intensidad de los factores o recurso donde el organismo vive no incluyendo, por lo tanto, la tasa de extracción o de aporte del elemento.

El habitat de un organismo en un ecosistema lo constituye primordialmente: la intensidad luminosa, la concentración iónica, velocidad del viento, el potencial hídrico, el nivel térmico o temperatura, la gravedad, la presión barométrica y la intensidad de sonido. El recurso es la cantidad de agua, de energía luminosa o de nutrientes inorgánicos que el organismo utiliza, independientemente del nivel en que se encuentren. Se puede modificar el habitat sin modificar el recurso y viceversa.

A menudo se confunde el medio donde la comunidad vive o biotopo con el de la especie o individuo, que es realmente el habitat (Udvardy, 1959 y Maelzer, 1965a). La especie y el organismo tienen un habitat propio

pero no tienen biotopo. La comunidad, en cambio, se alberga en el biotopo (Udvardy, 1959). El medio general que rodea a un organismo cuantificado a través de las mediciones con instrumentos meteorológicos generales es diferente del habitat de la interfase del organismo con su medio, siendo esto lo que corresponde al microhabitat.

El clima en su acepción mas amplia y cuantificado en la magnitud de acción sobre los organismos es equivalente al habitat y microhabitat. Con mayor precisión se le denomina a menudo microclima. Este término tiene además otra acepción en relación a un área protegida por condiciones fisiográficas, cercanía a grandes masas de agua, protección del viento, posición en la ladera u otra por lo cual se habla de regiones con microclimas particulares. No es ésta la acepción que se desea darle en este trabajo, pues esa acepción corresponde realmente al mesoclima o clima local donde los influencias de los recursos naturales sobre el clima general o macroclima se expresa en toda su intensidad. El macroclima es el clima general de una zona, el cual no se modifica apreciablemente por la acción de condiciones locales o de los organismos.

El clima o microclima que rodea al organismo incluye también a su acción en el medio edáfico. La temperatura del suelo a diversas profundidades, el potencial hídrico edáfico en el cual el organismo vive o la intensidad luminosa en la estrata vegetal donde se desarrolla son sólo algunas de las manifestaciones climáticas del habitat edáfico.

Los recursos se consideran a menudo sinónimo de suelo o sustrato edáfico. Ello es sólo una interpretación restringida del término, lo cual además puede conducir a errores si también se le introducen los elementos edafoclimáticos. A través del suelo, los organismos reciben recursos tales como algunos nutrientes y parte del agua. Sin embargo, la energía solar la obtiene del sustrato aéreo y la mayor parte del carbono, hidrógeno y oxígeno que utilizan en la confección de sus tejidos proviene del aire.

Los recursos disponibles para el organismo al nivel macro, generalmente, varían en magnitud en relación a las disponibilidades al nivel del organismo. La acción del organismo sobre el medio lo modifica en tal grado que hace que una distinta cantidad de elementos existan al nivel

microambiental que al macroambiental.

Conviene distinguir en sistemas silvoagropecuarios cuando lo que se persigue es modificar el habitat, de las circunstancias en que se pretende modificar los recursos que recibe el organismo. La aplicación de fertilizantes se hace con el objeto de incrementar la cantidad de recursos disponibles para el organismo, en cambio, la aplicación de enmiendas se hace con el objetivo próximo o inmediato de modificar el microhabitat. El objetivo último o mediato es frecuentemente la liberación de otros nutrientes que contribuyan al mayor desarrollo del cultivo.

Es frecuente observar que habitat se confunde con el lugar geográfico donde el organismo se desarrolla. El lugar es indicativo de donde vive o está ubicado pero no es indicativo ni de la calidad del ambiente donde vive o habitat y microhabitat ni de la cantidad o calidad de los recursos que extrae del medio.

El ecotopo consta de recursos propios que son utilizados por los organismos en la construcción de sus estructuras, como así mismo, constituyen parte del ambiente que les rodea o habitat, que representa la densidad o concentración de éstos.

Uno de los aspectos relacionados con la arquitectura y funcionamiento del ecosistema, que no ha recibido un adecuado tratamiento es lo que Maelzer (1965b) denomina tensión mecánica. Ninguna propiedad puede ser considerada, según ese autor, como el azar ya que influyen la posición espacial del organismo y por lo tanto pueden en forma directa o indirecta aumentar o disminuir las probabilidades del organismo de sobrevivir y multiplicarse. Las telas de araña que atrapan insectos, canales y lagunas donde algunos animales se ahogan, torres y postes de electricidad y teléfonos donde algunos animales chocan y mueren, barro a la orilla de las represas donde los animales se inmovilizan y ahogan, alambradas donde el animal se puede lastimar son sólo algunos de los varios ejemplos que pueden agruparse bajo la denominación general de tensión mecánica, aunque corrientemente se les denomina azar. También se incluye en esta denominación a aquellos animales que accidentalmente matan o dañan a otros mientras caminan o deambulan en un campo de pastoreo. La tensión mecánica se divide en dos categorías: obstructora y conductora (Maelzer, 1965b).

Una colisión es según ese autor la tendencia de un cuerpo de compartir el mismo espacio-tiempo o una porción del que está siendo ocupado por otro objeto u organismo. Ahora bien, si dos organismos o un objeto y un organismo chocan, al menos uno de ellos debe tener momentum. Si una oveja choca contra una alambrada o cae desde una pendiente pronunciada, un organismo se daña por una roca al caer, tanto la roca como la cerca pueden ser clasificados como tensores mecánicos. Otros ejemplos presentados por el mismo autor incluyen los peces embancados en las orillas de un río, un huevo de un pato que rueda pendiente abajo desde un nido, un microorganismo atrapado por una gota de agua, un animal que caiga a un hoyo, son todos ejemplos de tensiones obstruccionistas, al igual que el agua, la rivera y la pendiente.

Los organismos, disponen de reflejos que les permiten minimizar sus probabilidades de colisión y de daño mecánico ocasionándoles fracturas o dislocaciones; sólo en el caso que la tensión sobrepase valores definidos de la resistencia del tejido del organismo puede ocurrir daño. Los reflejos del organismo actúan constantemente manteniendo la tensión mecánica dentro de los límites de tolerancia fisiológico-anatómico (Ashby, 1960).

Debido a los reflejos, los animales son raramente dañados por colisiones, ríos, lagos, pantanos, precipicios o algún otro tensor mecánico y su distribución está frecuentemente limitada por esos tensores ambientales, que deben ser denominados obstrucciones.

La otra categoría de tensores mecánicos corresponde a la de conductores. Entre ellos, Maelzer menciona algunos ejemplos tales como: aves que transportan accidentalmente microorganismos, ovejas que transportan semillas, diséminulas que flotan en ríos, océanos y viento.

Autotrofocenosís

La biocenosis es el componente vivo del sistema y está integrado por la totalidad de los organismos organizados e integrados en una comunidad, que consta de dos partes fundamentales. Una de ellas está constituida

por organismos fotosintetizadores o vegetales con clorofila que se conoce como fitocenosis o comunidad vegetal. En sentido estricto no corresponden a este componente todos los vegetales, pues aquellos que no fotosintetizan o que no se comportan como productores primarios o autotrofos, corresponden a otra categoría.

La comunidad de organismos autotrofos es el resultado de la integración de organismos fotosintetizadores en los diversos niveles de integración u organización de la materia en seres vivos. Los diversos niveles del espectro va desde:

Protoplasma
Célula
Tejido
Órgano
Sistema de órganos
Organismos
Población
Sínusia
Autotrofocenosis

En pro de la precisión terminológica se ha empleado el término de autotrofocenosis en el caso de las trofocenosis productoras primarias, ya sea que se trate de microproductores o de macroproductores, ya que existe algunos vegetales que no tienen clorofila o no realizan el proceso de fotosíntesis, por lo cual se comportan como consumidores ya sea en forma sóspro-fita como parasitaria o alguna otra.

Corrientemente a la autotrofocenosis se le denomina fitocenosis, aunque en sentido estricto no corresponde a tal, pues el conjunto organizado de vegetales incluye tanto a organismos autotrofos como heterotrofos. El agrupamiento de los organismos del sistema, con el objeto de elaborar modelos homomórficos hace mas aconsejable la clasificación en autotrofocenosis que en fitocenosis, pues la primera es operacional y la segunda es anatomo-morfológica.

El organismo individual, organismo o individuo no puede vivir aislado en un ambiente, pues no tiene algunas de las propiedades necesarias para su sobrevivencia, las que se presentan en las poblaciones. La tasa de natalidad, mortalidad, crecimiento y otras son atributos de las poblaciones que les permiten adaptarse y perpetuarse a un ambiente determinado. A medida que los organismos mueren pueden ir siendo reemplazados por otros, en forma tal que la población se mantenga en la trofocenosís correspondiente. Las poblaciones de forma vital similar se agrupan en unidades mayores donde se conjugan los organismos que, además ocupan nichos similares, se denominan sinusias. Ocasionalmente se afirma que sinusia es para los vegetales lo que nicho es para los animales. Este no puede ser el caso por cuanto uno se refiere a función y el otro a forma vital. Con el objeto de evitar vaguedades o duplicidades innecesarias, en el presente trabajo se utiliza sinusia con la acepción de forma vital que, además, agrupa a organismos con nichos similares. El nivel de integración superior al de las sinusias vegetales fotosintetizadoras, es el de la autotrofocenosís.

La comunidad vegetal de productores o autotrofocenosís tiene, en cada ecosistema, una estructura individual, poblacional y sinusial característica además de su composición florística propia. Ello es el resultado del proceso de adaptación al ecosistema en su conjunto, donde se integran el abiotopo, el habitat, la autotrofocenosís y la heterotrofocenosís. La acción directa del usuario de este recurso, el hombre, modifica holocenoticamente la arquitectura y funcionamiento del ecosistema y con ello se altera su productividad y estabilidad.

Heterotrofocenosís

La comunidad de organismos heterotrofos es el resultado de la integración de organismos consumidores en los diversos niveles de integración u organización de la materia en seres vivos. Los niveles del espectro heterotrófico corresponden a:

Protoplasma
Célula
Tejido
Organo
Sistema de organos
Población
Sinusia
Heterotrofocenosia

Los consumidores o heterotrofos pueden agruparse en diversas formas, de acuerdo al objetivo que se persiga. Pragmáticamente pueden clasificarse de acuerdo al reino a que pertenezcan en: animales y vegetales.

Los vegetales heterotrofos corresponden principalmente a plantas parásitas y a vegetales detritófagos desprovistos de clorofila, tales como los hongos.

De acuerdo al tamaño del consumidor, y a la forma de digestión, ya sea interna o externa, los heterotrofos pueden clasificarse en: macroconsumidores y microconsumidor.

Los macroconsumidores corresponden a organismos de digestión interna, en tanto que los microconsumidores se caracterizan por tener digestión externa. Los microconsumidores son, a menudo, referidas como descompositores.

La heterotrofocenosia depende de la autotrofocenosia para su sustentación, pues de ella deriva su alimento. La acción de la fauna sobre los vegetales altera considerablemente su funcionamiento y arquitectura, lo que puede finalmente conducir a un mejoramiento o deterioro de la biocenosis. La alteración de la acción de los organismos heterotróficos sobre la fitocenosis es, a menudo, el mecanismo que regula, la arquitectura, el funcionamiento y la dinámica del ecosistema.

La zoocenosis o comunidad animal está integrada por los consumidores o heterotrofos. La mayor proporción de los consumidores son animales, y de allí deriva su nombre, aunque en sentido estricto incluye también a los vegetales que se comportan como heterotrofos.

Vectores de estado del ecosistema. Funcionamiento.

El funcionamiento es el comportamiento de un estímulo del tipo i y con una magnitud determinada al interactuar con el conjunto de variables de estado topológicas, produciendo una respuesta de un valor dado (Cañas y Gastó, 1975).

La función β representa, en cambio, la función de comportamiento de un estímulo del tipo e_i en todo su dominio, a través de una ruta r_i , al interactuar con el arreglo topológico $\sigma_i(n)$ o arquitectura Λ del sistema (Figura 5).

El comportamiento puede ser definido, en forma alternativa, como:

el conjunto de pares ordenados (e_i, p_i) tales que satisfacen una condición para el dominio del tipo de estímulo e_i .

En su acepción ecosistémica, el funcionamiento es la operación de conectar cuantitativamente al ecosistema a través del intercambio de materia, energía e información.

Entre los procesos de funcionamiento del ecosistema debe considerarse a los siguientes:

Adición de estímulos

Transformación de estímulos

Ingestión ecosistémica

Translocación de estímulos

Asimilación de estímulos

Almacenamiento de estímulos

Respuesta

Cosecha

Los recursos son constantemente aportados al ecosistema desde afuera, ya sea desde el universo, especialmente el sol y la luna o desde las capas contiguas e interiores de la corteza terrestre en forma de materia, energía o información. Sin este aporte de recursos el sistema deja

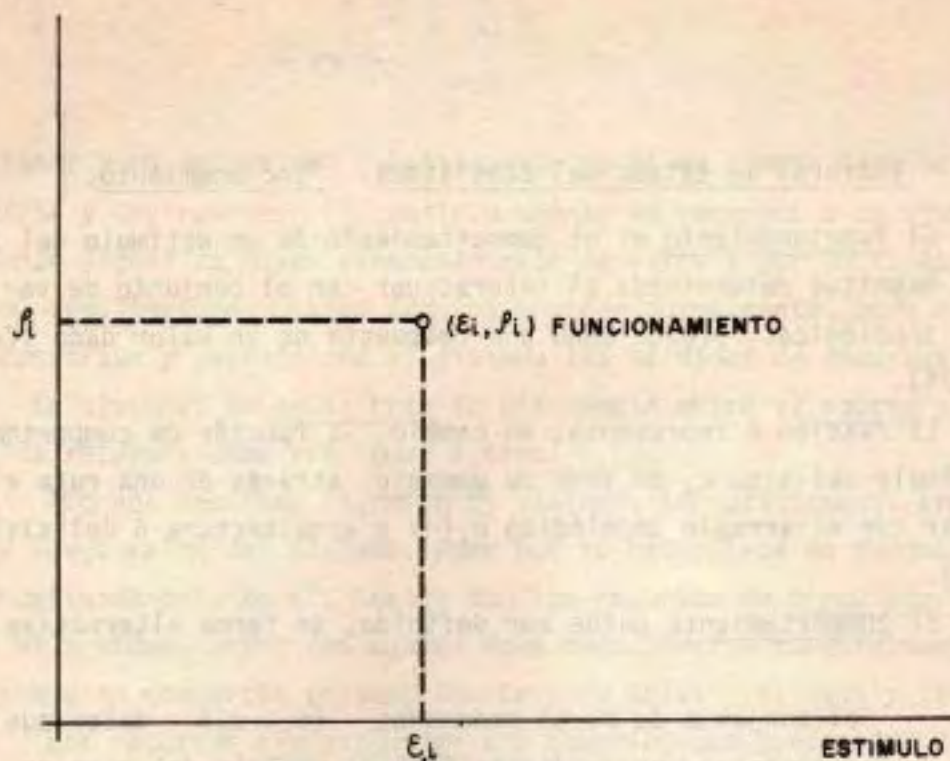
de funcionar y en un período relativamente corto de tiempo termina por paralizarse y destruirse. El continuo aporte de recursos a un sistema en un comienzo significa mayor almacenamiento de ellos y por lo tanto un cambio en su arquitectura. Estos cambios ocurren normalmente, pero a medida que se construye y perfecciona el sistema las pérdidas de recursos también varían. En sistemas en equilibrio la diferencia entre el aporte y la pérdida de recursos debe ser igual a cero.

Algunos recursos ingresan al sistema, son utilizados, producen su efecto y luego salen del sistema, pues por su naturaleza no pueden permanecer indefinidamente en él. Estos son los recursos no circulatorios o de paso en el sistema, entre los cuales debe manejarse especialmente a dos de ellos que se comportan principalmente como tales: el agua y la energía.

Los recursos circulatorios son aquellos que pueden ser utilizados y reutilizados en repetidas ocasiones dentro el sistema, el cual puede seguir funcionando sin el aporte adicional desde afuera. Entre los nutrientes se encuentran el carbono, hidrógeno y oxígeno que obtienen del agua y anhídrido carbónico. Ellos, junto con el nitrógeno, fósforo y azufre constituyen las proteínas que forman el protoplasma. Además de ellos, son esenciales para el desarrollo y crecimiento de los vegetales: calcio, magnesio, potasio, hierro, manganeso, molibdeno, cobre, boro, zinc, cloro, cobalto, vanadio y sílice. La proporción del elemento nutritivo que recircula es muy variable, de acuerdo a las características el sistema y al manejo de él. Las pérdidas pueden ser variables debido a la erosión, o transporte de elementos fuera del territorio operacional del sistema, lixiviación hacia capas mas profundas o fuera del él donde no se ejerce la acción del sistema y por lo tanto no pueden ser recirculados. La formación de sustancias gaseosas que, a través del movimiento convectivo de masas de aire o difusivo debido a diferentes concentraciones del elemento, se alejan del sistema, y la fijación en forma de sustancias complejas inaprovechables, son sólo algunos de los ejemplos de las pérdidas de elementos inorgánicos del sistema.

Al alcanzarse un estado de equilibrio en un sistema, los aportes de nutrientes inorgánicos deben ser iguales a las pérdidas. Como aporte debe considerarse cualquier adición al sistema que pueda ser utilizada por

RESPUESTA



RESPUESTA

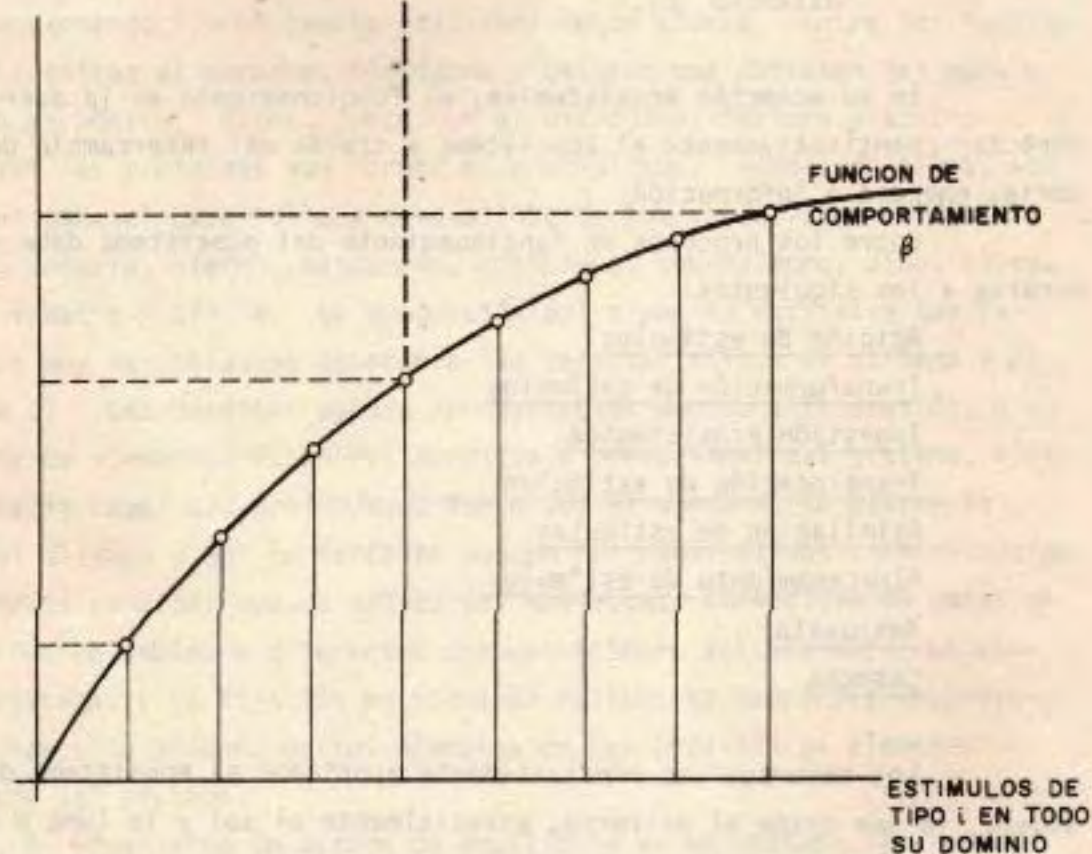
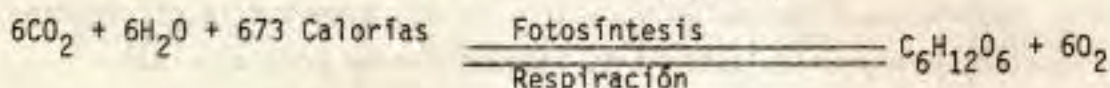


Figura 5. Representación esquemática del funcionamiento ecosistémico (grafico superior) y de la función de comportamiento (grafico inferior).

El proceso de síntesis del agua con anhídrido carbónico en presencia de energía solar es realizado por la molécula de clorofila, $C_{55}H_{72}O_5N_4$ Mg.

Clorofila: $C_{55}H_{72}O_5N_4$ Mg.



La oxidación de la glucosa resulta en la liberación de la misma cantidad de energía fotosintetizada proveniente de la luz solar. Si el producto final es grasa o proteína, la cantidad liberada en el proceso de combustión varía de acuerdo a la energía incorporada en el proceso de fotosíntesis y etapas metabólicas siguientes.

La única forma de atar energía luminosa en productos orgánicos consumibles por el hombre y otros animales herbívoros es a través del proceso de fotosíntesis. Otras formas de sintetizar son de importancia muy reducida, tal como ocurre con la quimosíntesis. El proceso interno de la planta es de naturaleza más compleja, pero no corresponde ser analizado en el presente trabajo. En otras etapas se llega a la producción de sustancias más complejas que son utilizadas en la formación del tejido del vegetal o bien almacenado como productos de reserva. El déficit o exceso de cualquiera de los elementos necesarios en el proceso metabólico hace que los organismos alteren su funcionamiento.

El agua interviene en el ecosistema desarrollando funciones específicas tanto dentro de los organismos como fuera de ellos. Dentro de la planta es un constituyente del protoplasma, actúa como reactivo químico en el proceso de fotosíntesis y en reacciones hidrolíticas. Es además un solvente de gases y sales minerales nutritivas, interviene en el flujo de ellas y mantiene la turgidez de las plantas. En el ecosistema, además de sus funciones fisiológicas dentro de los vegetales y animales es un regulador homeostático de la temperatura, un solvente de nutrientes minerales.

modifica el biotopo y habitat, libera nutrientes para las plantas, e interviene en el proceso de descomposición de la materia orgánica.

El manejo adecuado de ecosistemas silvoagropecuarios puede conducir hacia la reducción de las pérdidas de algunos recursos esenciales del medio, mejorar la circulación y recirculación, aumentar la eficiencia de utilización, y lograr en esta forma incrementar la productividad.

Los nutrientes minerales circulan en una alta proporción, pero algunos de ellos pasan por el ecosistema y no logran recircular, ya sea debido a su naturaleza propia o al manejo de la unidad silvoagropecuaria. El proceso de circulación y recirculación de elementos a través del medio biótico y abiótico recibe el nombre el ciclo biogeoquímico. Un porcentaje pequeño de algunos elementos se pierde en forma natural fuera del ecosistema a través del aire o del agua, o bien son fijados en forma inaprovechable o en las capas edáficas mas profundas.

La relación entre los recursos y el medio se ejerce a través de dos influencias diferentes, según Maeizer (1965b). La primera relación ocurre cuando el organismo es el recurso para un proceso específico ya sea de naturaleza bioquímica o de asimilación. Además, cuando el recurso influencia el comportamiento de la reproducción o en la incorporación de materiales en sus nichos o cualquier otra estructura que de una manera u otra influencia su abundancia. El segundo tipo de relación ocurre cuando el recurso estimula el movimiento del organismo hacia la aceptación de ellos mismos por los demás.

Para tratar de objetivizar el concepto ecosistémico de proceso 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 6).

Colyer y Pholeman (1972) llevaron a cabo una serie de experimentos por un término de ocho años para analizar la respuesta del tabaco a

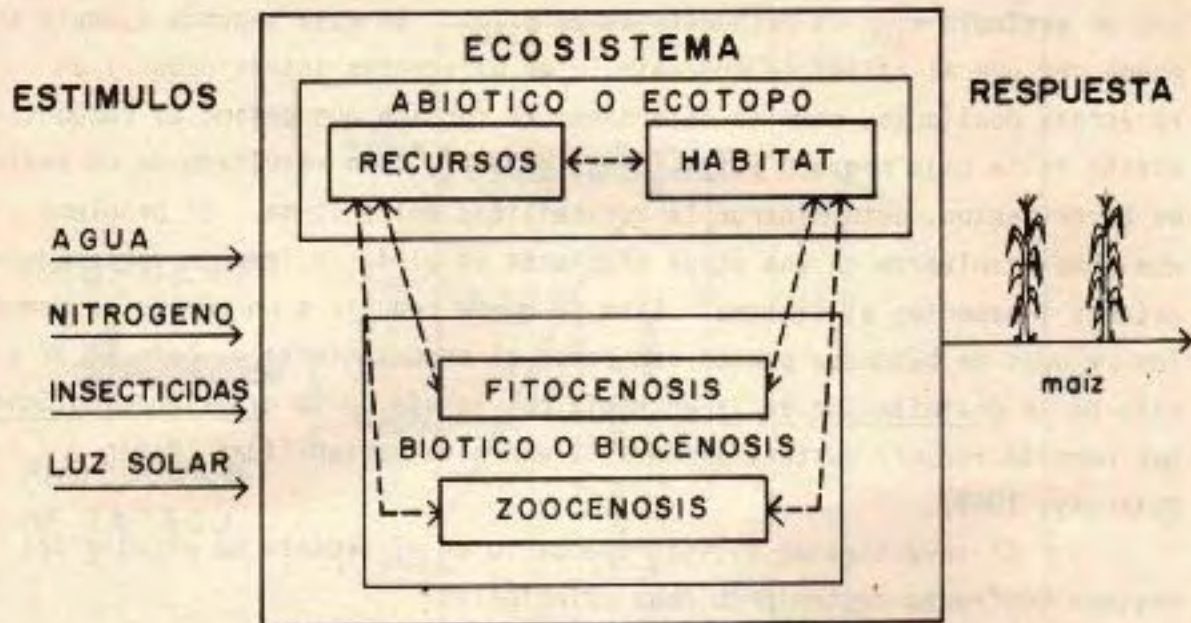


Figura 6. El ecosistema silvoagropecuario como un ejemplo de caja negra.

los fertilizantes encontrándose los resultados que se indican en la figura 7. En este ejemplo, se observa que al aplicar un estímulo ϵ_{100} se obtiene una respuesta p_{2000} , aplicar un estímulo ϵ_{200} la respuesta es p_{2500} , con un estímulo ϵ_{300} la respuesta es de p_{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 un 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 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).

Un conjunto de variables de estado x_i , ordenadas en cierta forma y satisfaciendo ciertos requerimiento constituyen un vector. Este vector o enéada representa el argumento de una función vectorial cuyas variables son las variables de estado.

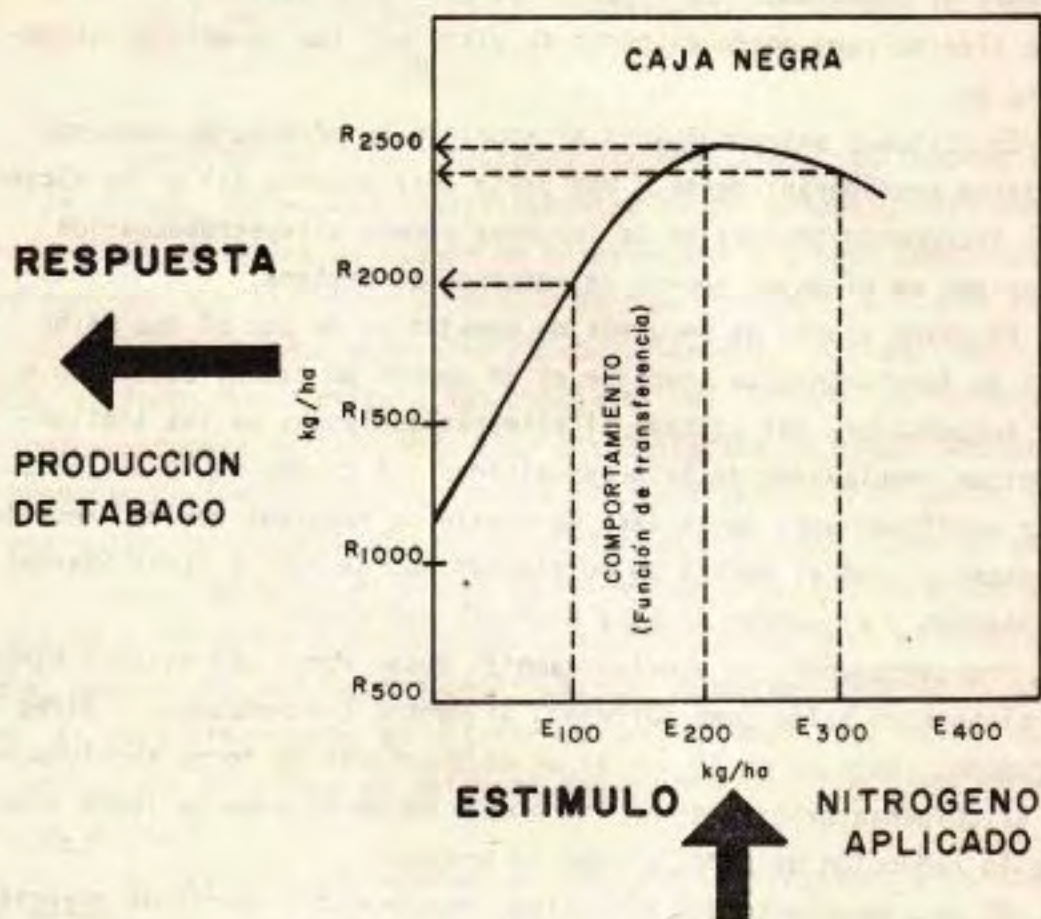


Figura 7. Representación gráfica de la función del comportamiento de una caja negra correspondiente a una arquitectura de tabaco sometido a un estímulo dentro de un dominio de 0 a 400 kg/ha y su respuesta respectiva en términos de productividad neta (Colyer y Pholeman, 1972).

los organismos, y como pérdida a cualquier sustracción del sistema por erosión, fijación, lixiviación o cualquier otro medio que signifique un transporte del recurso fuera del sistema o que lo transforme en inaprovechable para el organismo. La fijación de aniones y cationes no es de por sí una pérdida pero desde el punto de vista del funcionamiento microcósmico, lo es.

En sistemas antropogénicos el aporte y la pérdida de recursos puede variarse considerablemente. Una parte considerable del éxito alcanzado en el incremento productivo de los ecosistemas silvoagropecuarios tiene su origen en el mayor aporte de recursos a sistema.

El mayor aporte de recursos no constituye de por sí una mayor eficiencia de funcionamiento sino que es un cambio de tamaño ecológico o capacidad sustentadora del sistema al eliminarle algunas de las limitantes ecotópicas reguladoras de la productividad. A través de la historia dos de las modificaciones en la tasa de aporte de recursos que han recibido atención especial son el aporte de nutrientes inorgánicos o fertilizantes para las plantas y el aporte de agua a través del riego.

Frecuentemente, se aportan también desde fuera del sistema otros recursos elaborados tales como forrajes, alimentos concentrados, y otros para el ganado. Esto no es de por sí un mejoramiento en forma absoluta, sino que es compensatorio, pues el incremento de un sistema se logra a expensas de la reducción de otro, el que lo produce.

El funcionamiento del ecosistema requiere del aporte de energía luminosa. El agua es un recurso fundamental del ecosistema, pues interviene en la formación de carbohidratos, aminoácidos, proteínas y protoplasma. En la primera etapa se logra la formación de carbohidratos a través del proceso de fotosíntesis. La unión del anhídrido carbónico con agua en presencia de los integrantes de la autotrofocenosis resulta en la formación inicial de glucosa, que tiene integrada en sus moléculas un equivalente a 673 Calorías por mol.

La figura 8 representa un modelo homomórfico de funcionamiento del ecosistema. En este modelo, para obtener una respuesta dada, es posible utilizar dos estrategias diferentes:

- hacer variar la función de arquitectura Λ , o
- hacer variar los estímulos ϵ .

Luego de realizado el examen del ecosistema, se conocen las variables de estado, pudiéndose clasificarse en dos subconjuntos; uno de ellos contiene las variables de estado de arquitectura o signos endógenos y el otro contiene las variables de estado de funcionamiento o signos exógenos.

Las funciones generales de comportamiento, de cada nodo, corresponden en forma homomórfica a las funciones que definen las relaciones de estímulo-respuesta de cada nodo. La determinación de estas funciones es el producto de investigaciones anteriores, aplicables a un amplio dominio de estímulos, en cuyos límites está contenido el ecosistema en estudio.

Las funciones generales de comportamiento, unidas a las variables de estado pertinentes e incorporadas específicamente para el modelo en estudio, generan la funciones específicas del comportamiento de la arquitectura. Es factible, además establecer un dominio amplio de variables de arquitectura con el objeto de calcular posteriormente, funciones generales de arquitectura.

No basta con determinar el conjunto de funciones específicas de arquitectura de cada nodo del modelo; es necesario, además, formular el algoritmo de funcionamiento de los nodos del ecosistema al actuar como una unidad.

El algoritmo de funcionamiento del ecosistema al integrarse con las funciones específicas de comportamiento de los nodos, de la arquitectura, generan la función general de la arquitectura (Λ). Esta función general tiene un carácter eminentemente conceptual y por lo tanto no es posible calcularse en forma analíticamente. Las funciones que no son manejables analíticamente deben ser planteadas en forma de modelos simulados.

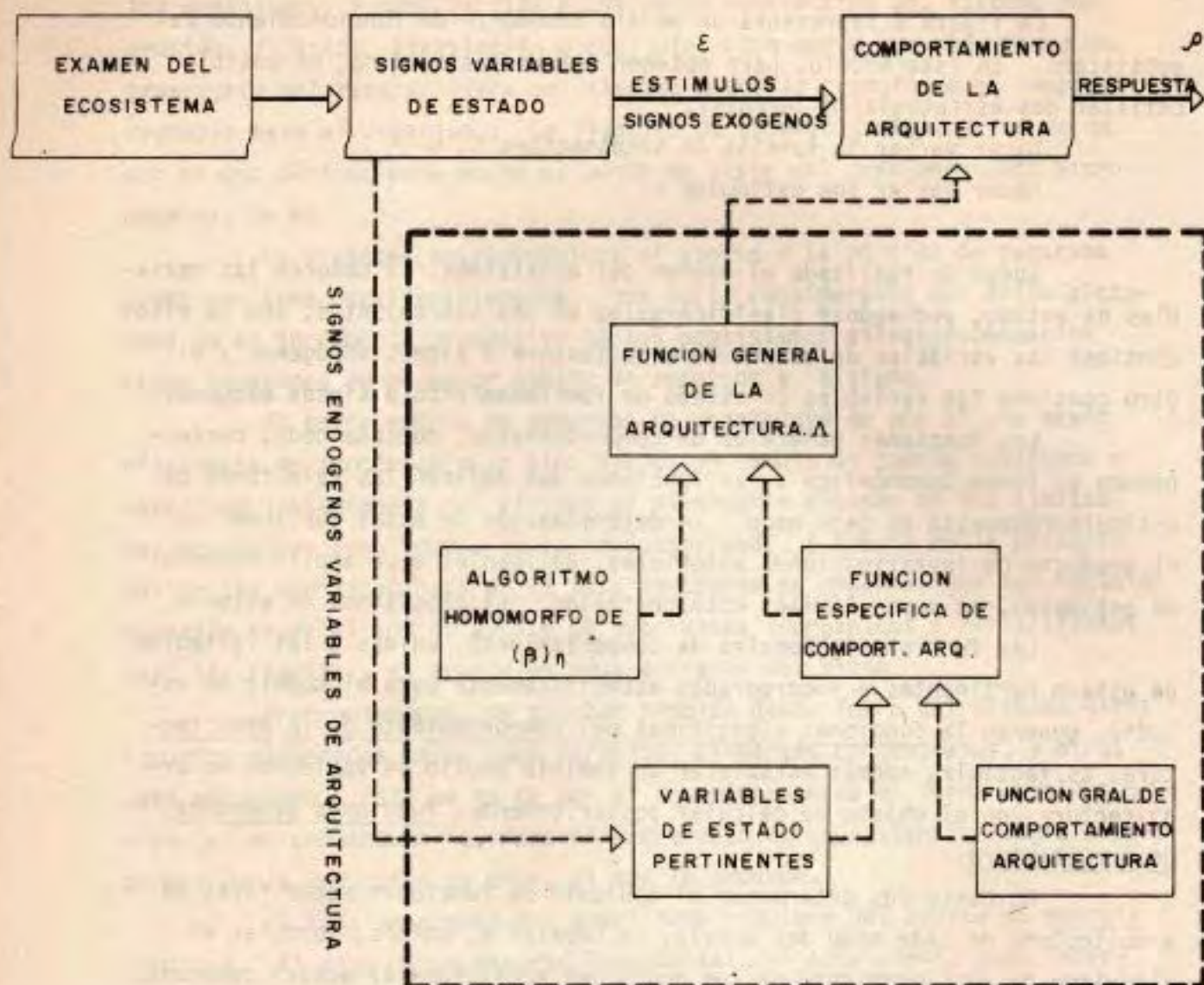


Figura 8. Modelo homomorfo de funcionamiento del ecosistema.

La función general de arquitectura se manifiesta en su correspondiente forma homomorfica al aplicarse los estímulos y producir su respuesta. El conjunto de pares ordenados de estímulos con su respectivas respuestas, (ϵ_i, ρ_i) , generan la función general de comportamiento del modelo del ecosistema.

En la práctica, es posible calcular empíricamente la función general de comportamiento de un ecosistema dado, considerado como una caja negra, al hacer variar los estímulos dentro de los dominios naturales accesibles. Sin embargo, la resolución de problemas generales de productividad de los ecosistemas silvoagropecuarios, para regiones y condiciones muy amplias, no puede ser resuelto en esta forma dado que el trabajo requerido sobrepasaría los límites de factibilidad y las respuestas serían aplicables a situaciones restringidas. Es por ello, que el empirismo es aplicable solamente a la fase de validación de los modelos planteados homomorficamente y resueltos en forma de modelos de simulación.

CAMBIO DE ESTADO

Se puede deducir, de la teoría cibernética general, que cualquier sistema que puede adoptar diferentes estados permanece automáticamente o adopta después de un tiempo el estado más estable.

R. Margalef, 1960

Procesos

Cambio de estado, de un ecosistema es la modificación de cualquiera de las variables de estado. Para que el cambio de estado ocurra es necesario la aplicación de un operador funcional (Armijo, Nava, Gastó, 1976).

En el proceso de planificación de la transformación del ecosistema origen E_i^j en uno óptimo E_o^j deben considerarse como alternativas la modificación de:

- los estímulos ϵ
- el arreglo topológico σ, δ
- el número y dimensiones de los componentes η .

Para lograr lo anterior es necesario modificar σ, η y ϵ de los componentes $E_{S_i}, E_{A_i}, E_{H_i}, E_{I_i}$, aplicándole a cada uno de ellos un transformador ecosistémico, de manera que permita a todo el ecosistema origen, alcanzar el estado óptimo (E_o^j). Simbólicamente se tendría:

$$E_i^j \xrightarrow{\pi_{io}^l} E_o^j \implies \{E_{S_i}, E_{H_i}, E_{I_i}\} \xrightarrow{oi} \{E_{S_K}, E_{A_K}, E_{H_K}, E_{I_K}\} \quad (19)$$

de donde π_{io} es el operador ecosistémico que permite efectuar el cambio de estado a través de una ruta l . Lo anterior, son embargo, no necesariamente implica que se tenga que transformar a cada uno de los ecosistemas componentes en óptimos; por lo que se ha denotado por $E_{S_K}, E_{A_K}, E_{H_K}, E_{I_K}$. Los estados transformados de cada uno de estos no corresponden necesariamente a su estado óptimo, aunque en conjunto lo son.

Una operación funcional es una transformación que se lleva a cabo en un espacio cuyos elementos son funciones (Kolmogorov, 1970). Conceptualmente, los ecosistemas están definidos dentro de un espacio de estado, en el cual cada estado es en sí una función que depende del estímulo, del comportamiento y de la respuesta en un tiempo dado. En forma análoga al concepto anterior, se puede definir una operación funcional ecosistémica a través de un operador función π_{ik}^{λ} que permita efectuar un cambio de estado, desde un estado E_i^j inicial a un estado E_k^j final a través de una ruta λ . Estas operaciones funcionales ecosistémicas dependen de los estímulos endógenos y exógenos incidentes en el ecosistema.

En general se tiene que si $E_i^j(t_1)$ es el estado inicial del sistema y $E_k^j(t_k)$ el estado final, el cambio de estado de $E_i^j \rightarrow E_k^j$ requiere de la aplicación de un operador funcional π_{ik}^{λ} definido para la ruta λ . La ruta de transformación λ se define como el conjunto de estrategias e_m utilizadas en la transformación.

En vista de que los estímulos corresponden a la adición de materia, energía e información al sistema involucran, por lo tanto, la aplicación de un trabajo. La dependencia del operador funcional π_{ik}^{λ} con los estímulos, implica la existencia de una función w_{ij} que mide la cantidad de trabajo requerido para lograr la transformación. El término trabajo se utiliza bajo la acepción de energía generalizada, incluyendo a la energía aplicada como tal al ecosistema y a la materia cuantificada en términos de energía requerida para su transformación y aplicación. Este trabajo se puede cuantificar en unidades de energía empleadas en la transformación ecosistémica, pudiéndose expresar en joules, ergios, calorías o en cualquier otra unidad energética (Pimentel et al., 1973).

La transformación de un estado de ecosistema en otro es en sí un proceso probabilístico, lo cual implica considerar la probabilidad de efectuar el cambio. Lo anterior motiva la siguiente definición:

Sea P_{ij} la probabilidad de llegar de un estado E_i a un estado E_j a través de una ruta λ , con la aplicación de un operador funcional π_{ij}^{λ} . esta probabilidad estadística está dada por:

$$P_{ij} = P(\Delta E_{ij}; \pi_{ij}^{\ell}) = \frac{N(E_j)}{N(E_k)} \quad \text{para } \pi_{ij}^{\ell}, \text{ con } \dots\dots\dots (20)$$

ΔE_{ij} representando el cambio de estado producida con π_{ij}^{ℓ}
 $N(E_j)$ es el número de casos en el cual se llega al estado j , a través de la aplicación de π_{ij}^{ℓ} , y
 $N(E_k)$ es el número de casos que se llega a un estado k cualquiera, incluyendo al estado j meta.

En general, el operador ecosistémico π_{ij}^{ℓ} que permita transformar de $E_i \rightarrow E_j$, está dado por una relación R_e tal que:

$$\pi_{ij}^{\ell} = R_e(w_{ij}; t_{ij}; P_{ij}^P) \dots\dots\dots (21)$$

w_{ij} trabajo requerido para transformar el ecosistema desde el estado i al j .
 t_{ij} tiempo para efectuar la transformación del estado i al j .
 P_{ij} probabilidad de efectuar la transformación desde el estado i al j .
 R relación entre w_{ij} y P_{ij} al seguir una ruta ℓ y pasar del estado i al j (Armijo, Nava y Gastó, 1976).

Una operador funcional es, por lo tanto, el estímulo que debe aplicarse a un ecosistema en un estado E_i para transformarse en un estado E_j , en un tiempo t_{ij} , con cierta probabilidad P_{ij} de éxito de transformación y con cierto trabajo w_{ij} .

El concepto de operador funcional permite trabajar con mayor claridad cambios de estado ecosistémicos. La aplicación de π involucra necesariamente la utilización de cierta cantidad de energía con el fin de cambiar $\sigma(n)$. Una parte de la energía empleada se disipa, luego de ser utilizada para cambiar el arreglo topológico $\sigma(n)$. El arreglo topológico afecta el comportamiento β del ecosistema. Otra parte de esta energía puede ser almacenada en el sistema, siendo susceptible a liberarse posteriormente.

De la energía empleada en el cambio del arreglo topológico $\sigma(\eta)$, una parte puede ser retenida en el ecosistema, implicando un cambio en su comportamiento del ecosistema. Sin embargo, un cambio en el comportamiento no necesariamente implica un cambio en el contenido de energía interna del ecosistema, requiriendo lo anterior la aplicación de un operador funcional.

Cambio de estado del ecosistema significa modificar las variables de estado, en cuanto a alterar, por lo tanto, las funciones de los vectores de estado o comportamiento de:

- adición de estímulos
- ingestión de estímulos
- asimilación de estímulos
- transformación de estímulos
- translocación de estímulos
- almacenamiento de estímulos
- cosecha

La genesis del cambio de arquitectura radica en los estímulos que luego de pasar por el ecosistema, con un comportamiento β definido, no son retirados de este y concluyen por transformarse en un cambio de arquitectura ΔA que se adiciona a la arquitectura original A . En cada unidad de tiempo el proceso de adición e ingestión de estímulos se repite de manera que se va adicionando nuevas unidades de los estímulos transformados $+\Delta A$, que debe ser igual o mayor que cero.

El cambio positivo de arquitectura $(+\Delta A)$ se adiciona a la arquitectura original $(A + \Delta A)$ con lo cual las variables de estado se modifican, provandose un cambio en la función de arquitectura (A^*) y por ende en el comportamiento general $(\beta(t))$ del sistema. Los intervalos de tiempo son arbitrarios, pudiendose trabajar con unidades infinitesimales o siglos (Figura 9).

En un instante dado (δt) el comportamiento de la ecosistema depende de la arquitectura que exista en ese instante, pero al instante siguiente existira una nueva función de arquitectura y por consiguiente, un nuevo comportamiento $B(t+\delta t)$.

Simultáneamente, a la adición positiva de arquitectura, existe una substracción que puede originarse en dos procesos diferentes:

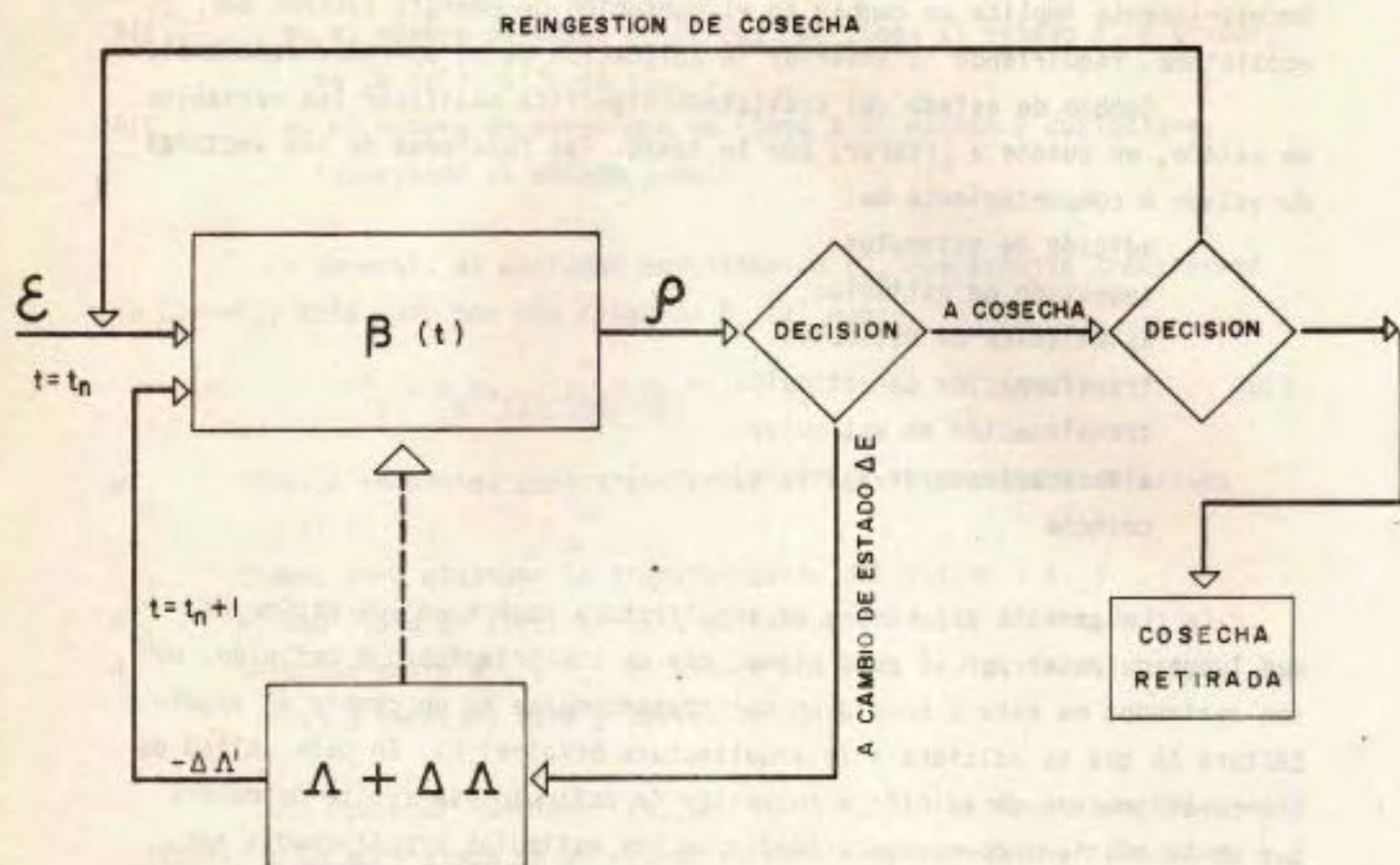


Figura 9. Esquema conceptual del proceso de cambio de estado del eco-sistema.

proceso natural de respiración o costo de mantención de la arquitectura.

proceso de cosecha.

Ambos procesos pueden operar simultáneamente, aunque el primer proceso siempre existe. La variación de la arquitectura es el resultado de la diferencia entre el proceso aditivo y el substractivo, simbólicamente:

$$\delta A = (\Delta A - \Delta A^-) \dots\dots\dots (22)$$

Esquemáticamente, el cambio de las funciones β a través del tiempo puede representarse tridimensionalmente como se indica en la figura 10. En ella aparecen las funciones de comportamiento $\beta(t + \delta t)$, correspondientes a las diversas funciones de arquitectura A , correspondientes a cada instante de tiempo.

El proceso natural de cambio del ecosistema, se denomina síngene-tica y se inicia en los primeros niveles de organización de la materia. Los cambios naturales del ecosistema están regidos por dos principios generales:

principio de la conservación de la energía y la
segunda ley de la termodinámica.

El principio de conservación de la energía establece en términos generales que la energía total del sistema en un proceso se conserva. La segunda ley de la termodinámica estipula que un proceso natural que se inicia en un estado de equilibrio y termina en otro estado se orienta en la dirección que provoca que la entropía del sistema, mas la del medio se incremente.

El ecosistema con su organización ecotópica y biocenótica se rige por las leyes físicas del universo, que tiende hacia un incremento del desorden o entropía.

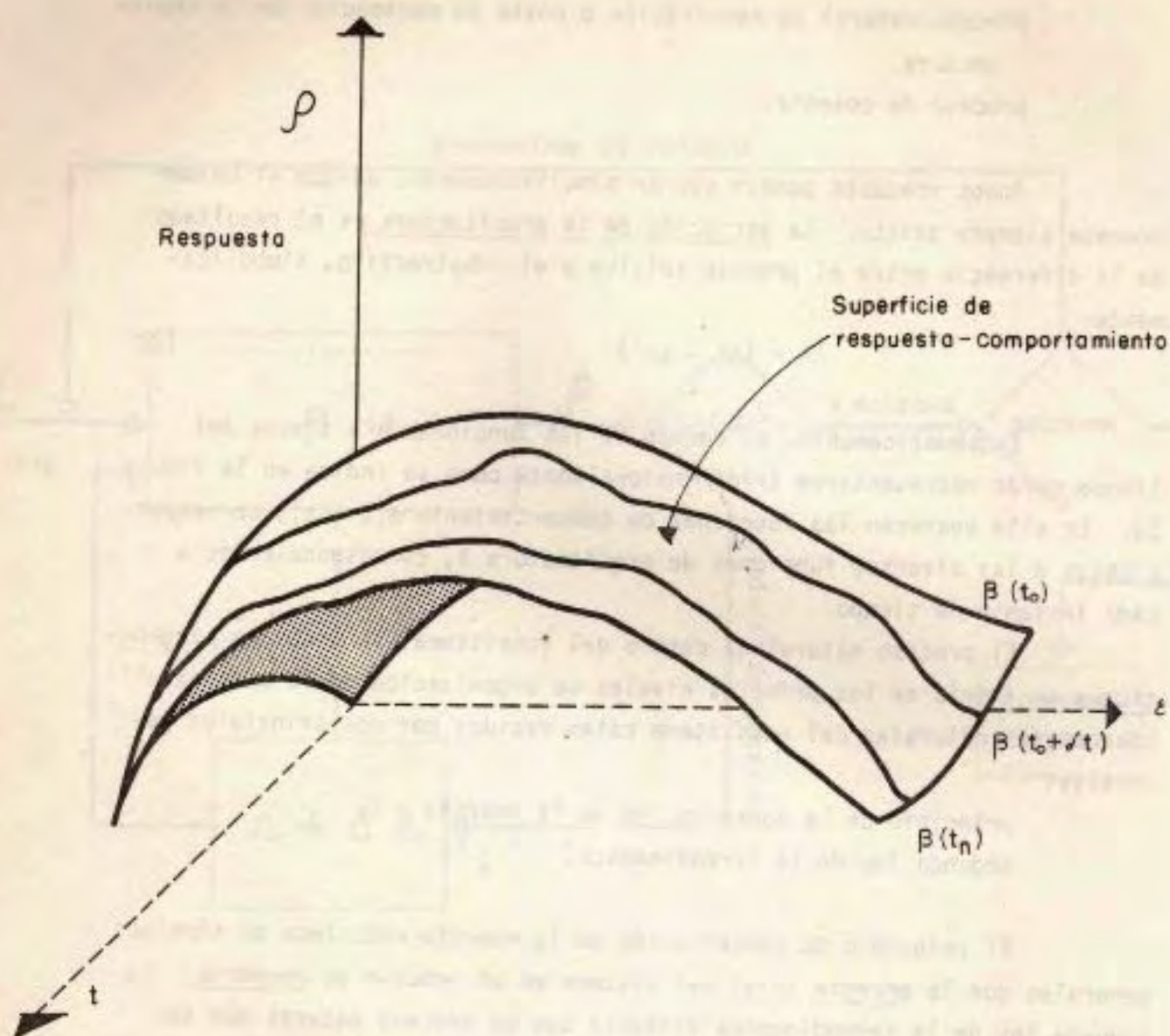


Figura 10. Representación esquemática del cambio de las funciones β en el tiempo, como consecuencia del cambio de Λ .

No puede existir desarrollo ecosistemico si no existiera en la naturaleza mecanismo antagonicos al del incremento de la entropia.

En el proceso singenético el nicho principal que permite reducir el contenido de entropia corresponde a la autotrofocenosís. Es en este componente, y específicamente en el proceso de fotosíntesis, donde se originan los mecanismos que concluyen por darle la tendencia organizativa al sistema ecológico.

Teóricamente para cada nivel de organización de entropia del sistema las funciones generales de comportamiento β y de funcionamiento son diferentes. A menudo los sistemas con un nivel mayor de organización tienen, también, un comportamiento que hace que la relación estímulo respuesta sea de mayor interés antropogénico.

La mayor organización del ecosistema representa un costo energético proporcionalmente mayor, que corresponde, en una alta proporción, a la disipación de energía contenida en los organismos vivos, que se pierde como respiración total del sistema (Figura 11).

Bajo esta denominación se incluye no sólo al proceso fisiológico de respiración, sino que también a la descomposición de la materia orgánica así como al costo de reemplazo y reparación de las estructuras deterioradas.

El proceso de sucesión se manifiesta en los ecosistemas cuando el valor de:

$$\delta\Delta \neq 0$$

cuando este valor es positivo se trata de sucesiones progresivas o progresiones, las cuales se caracterizan por su tendencia a disminuir el nivel de entropico del sistema. En caso contrario se trata de progresiones negativas o retrogradaciones.

En las etapas iniciales de la sucesión la productividad bruta ($+\Delta\Delta$) del sistema es generalmente mayor que el costo total de mantención de la arquitectura ($-\Delta\Delta$) con lo cual la diferencia es positiva ($\delta\Delta > 0$). Esta diferencia ($\delta\Delta$) aumenta gradualmente hasta una etapa intermedia en que alcanza su máximo, para luego comenzar a disminuir hasta alcanzar valores que fluctúan alrededor de cero. En forma natural, por razones termodinámicas,

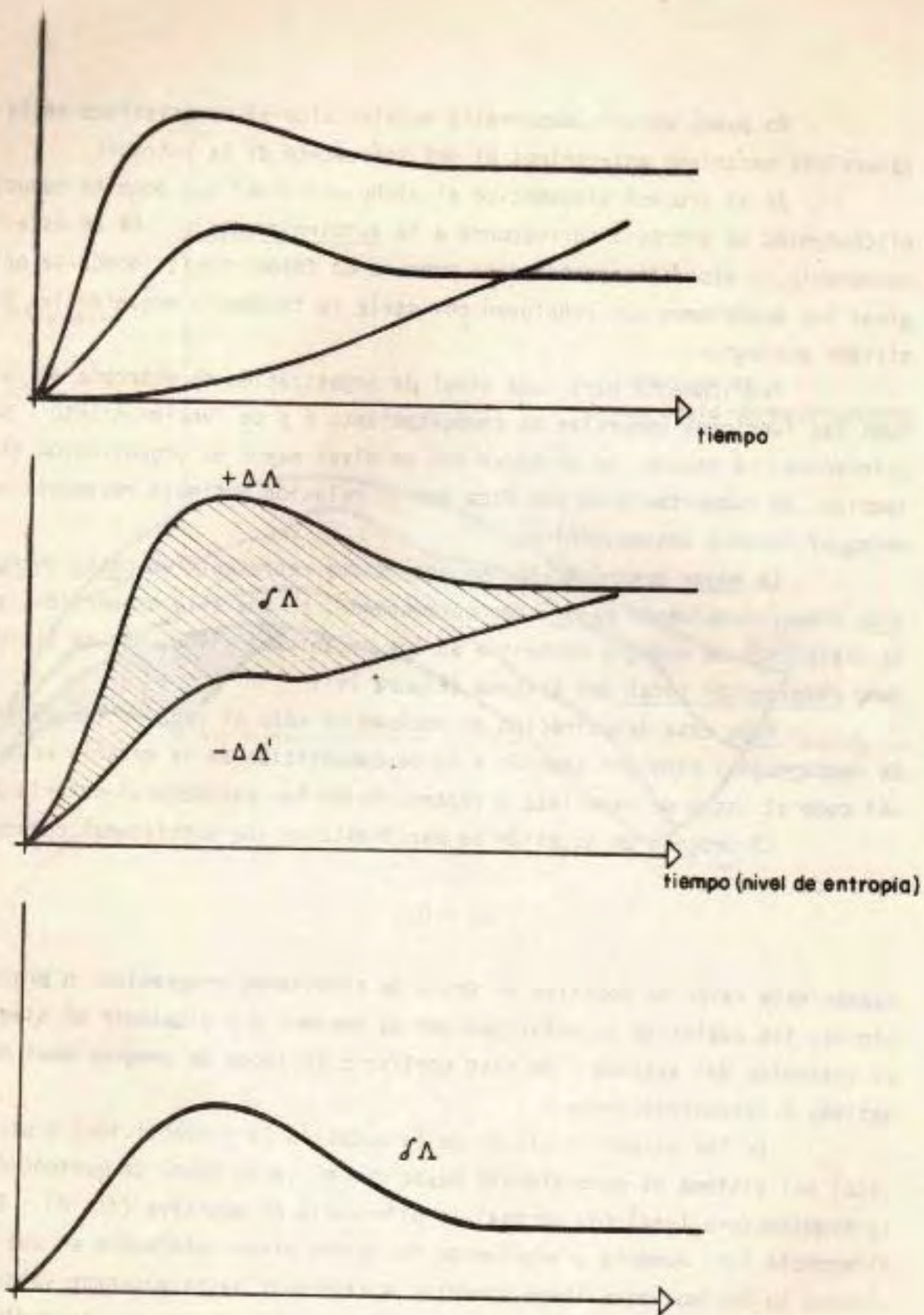


Figura 11. Tendencias sucesionales hipotéticas de la producción bruta ($+\Delta\Lambda$), respiración de la fitocenosis ($-\Delta\Lambda'$) y producción neta ($\delta\Lambda$), en etapas cereales diferentes (distintos niveles de entropía) (Kira y Shidei, 1967).

esta situación de equilibrio entre ingresos y egresos de energía se prolonga indefinidamente, y la cual se denomina climax.

El valor de mantención de la arquitectura ($-\Delta\Lambda$) se incrementa a través de la cosecha que no es otra cosa que la reducción del tamaño de la arquitectura. La suma de estos dos valores, costo de mantención y costo de cosecha, representan el costo total de operación del ecosistema. De igual manera, cuando este valor es menor, mayor o igual que el de la productividad bruta se generan procesos de progresión, retrogradación o de equilibrio, respectivamente.

En general se tiene que si:

$\delta\Lambda > 0$	progresión
$\delta\Lambda < 0$	retrogradación
$\delta\Lambda \approx 0$	climax

El ecosistema es un complejo de partes íntimamente relacionadas y que normalmente pueden estar en equilibrio entre ellas (Ellison, 1949). Como resultados de estas interrelaciones y debido a las reacciones de las plantas y animales con el medio, ocurren cambios ordenados, sin la pérdida de la integridad del complejo, denominados sucesiones primarias. Estos cambios son a menudo demasiado lentos como para ser manipulados en forma práctica con el manejo silvoagropecuário.

El aporte de estímulos desde fuera del ecosistema puede ser de máxima importancia en el manejo y mejoramiento de sistemas silvoagropecuarios. El recurso aportado al ecosistema natural puede ser el elemento limitante que impida su normal funcionamiento y limite su productividad. Aquellos recursos que se encuentran en equilibrio en el sistema deben tener un aporte igual a su pérdida o extracción.

$$\begin{array}{rcl} \text{Aporte de} & - & \text{Pérdida de} \\ \text{recursos} & & \text{recursos} \end{array} = 0$$

Los sistemas que se encuentran en alguna etapa seral distinta de cualquier tipo de climax tienen valores diferentes de cero y por lo tanto

no están en equilibrio. Si el valor de la diferencia es mayor o menor de cero es indicativo de la existencia de un proceso de sucesión progresiva o retrogresiva.

$$\text{Aporte de recursos} - \text{Pérdida de recursos} \neq 0$$

En sistemas silvoagropecuarios, de bosques, cultivos o ganaderos, la finalidad del manejo es exportar fuera del sistema productos animales o vegetales para ser utilizados por el hombre en otros lugares. Además, a menudo se recurre a importaciones de biomasa vegetal o animal con el objeto de elevar temporalmente el nivel de funcionamiento hasta alcanzar un mayor desarrollo. Los ecosistemas de cultivos exportan granos, tubérculos, raíces u hojas que son retiradas del ecosistema para ser consumidas o utilizadas por el hombre en otros lugares. Los sistemas de pastizales exportan tejido vegetal o son directamente utilizados por ganado, siendo entonces su producto de exportación el ganado mismo.

Algunos ecosistemas importan ganado de menor desarrollo o tamaño y luego de algún tiempo lo exportan. Algunos sistemas pecuarios importan alimento para el ganado, el cual una vez consumido es exportado fuera del sistema, luego de ser transformado en productos animales.

Para que exista equilibrio en un ecosistema pratense, los aportes de recursos más las importaciones al sistema deben ser iguales a las pérdidas de recursos más las exportaciones.

$$\frac{\text{Aporte de recursos} + \text{Importaciones ecosistémicas}}{\text{Pérdida de recursos} + \text{Exportaciones ecosistémicas}} = 1$$

Frecuentemente, en sistemas pratenses o forestales de bajo potencial productivo no es posible suplementar antropogénicamente y en forma continuada el aporte natural de recursos al ecosistema. El mejoramiento del manejo ecosistémico, permite a menudo mejorar la eficiencia de utilización de los recursos disponibles, disminuir las pérdidas e incrementar la productividad y capacidad de exportación de productos silvoagropecuarios.

La cuantificación del aporte y pérdida de recursos puede ser una forma de evaluación del manejo de sistemas productivos, siempre que se mantengan constantes otros factores. La productividad del ecosistema se incrementa al aproximarse al óptimo la relación entre el suministro, las pérdidas y las necesidades de recursos.

La alteración de cualquiera de los cuatro componentes del ecosistema, ecotopo, habitat, autotrofocenos y heterotrofocenos modifica directa o indirectamente a todos los demás y por lo tanto conduce finalmente a un climax diferente. La figura 2, en que se presenta al ecosistema, indica que las relaciones entre los cuatro elementos principales del ecosistema son mutuas. Cualquier alteración en alguno de ellos modifica holocenótica y automáticamente a todos los demás hasta alcanzarse un nuevo equilibrio.

La adición de agua, por ejemplo, es en sí un incremento en el aporte de un estímulo, que modifica también al habitat, pues su capacidad térmica es diferente a la del suelo con lo cual cambia su temperatura y la del aire, que rodea al vegetal. Parte de la energía solar es utilizada en evaporar el agua, en lugar de elevar la temperatura. La acción de los organismos descompositores de la materia orgánica se acelera lo cual se traduce en una reducción del porcentaje de materia orgánica del suelo pero se incrementa la disponibilidad de nutrientes originalmente fijados en la materia orgánica. La mayor disponibilidad de agua, unido al mejoramiento del microhabitat, la liberación de nutrientes minerales originan un mayor crecimiento de las plantas y de sus raíces. Ello se traduce en una mayor intercepción de la luz solar por la planta y por consiguiente una reducción del albedo y de la intercepción edáfica de la luz solar lo cual hace que se tenga una menor temperatura y mayor humedad relativa en el área circundante a la fitocenosis. La velocidad del viento y el movimiento de masas de aire circundantes de la biocenosis también se reduce. Se crea entonces un microhabitat adecuado para el desarrollo de zoocenosis diferentes las cuales a su vez modifican la fitocenosis y ésta a su vez al ecotopo.

Se podría ir mas allá en la descripción de los cambios subsecuentes que ocurren en el ecosistema al modificar cualquiera de los

factores. Algunos factores ejercen mayor poder de control que otros, los cuales el hombre trata de modificar, con el objeto de obtener finalmente un mejor funcionamiento, mayor productividad y mejor canalización antropogénica.

La biocenosis natural donde existen diversas especies vegetales que producen tejido no utilizable por el hombre es a menudo modificada parcial o totalmente. En algunos casos es destruida como ha ocurrido en algunas regiones forestales donde los bosques han sido reemplazados por cultivos y el secano por riego. Bosques, praderas, matorrales y estepas han sido frecuentemente eliminados y reemplazados por cultivos de alimentos, pasturas o cultivos forestales. Los animales salvajes se han eliminado total o parcialmente o reemplazado por especies domésticas. Los suelos deficitarios de nutrientes y agua han sido mejorados con el aporte adicional de recursos. El microhabitat ha sido intensamente modificado para adaptarlo a la tolerancia de las especies domésticas. La flora y fauna original desaparecen parcial o totalmente para dar cabida a otras especies mejor adaptadas a las nuevas condiciones.

La totalidad de los factores del habitat pueden ser modificados por el hombre ya sea a través de su acción directa sobre el ecosistema o en forma indirecta. En forma directa, el hombre lo hace en invernaderos, laboratorios, cámaras de crecimiento y ensayos de campo. En la práctica, el ecosistema es también modificado por los agricultores, ganaderos y forestales.

El sólo hecho de arar la tierra significa de por sí innumerables cambios en el medio tales como destrucción de malezas y otros elementos de la vegetación existente, enterramiento y desentramiento de semillas e invertebrados, modificaciones en la porosidad del suelo, estructura, infiltración, mineralización de la materia orgánica y muchos otros cambios que terminan por transformar intensamente al sistema. La remoción de árboles y arbustos se traduce en cambios de la composición botánica de la fitocenosis remanente, aumento de las especies herbáceas, modificaciones en la temperatura del aire y del suelo, alteraciones en la intensidad luminosa, variaciones en la cantidad y distribución de la materia orgánica en el suelo, afecta la microflora y microfauna, altera la competencia e interferencia radical, y muchos otros cambios que directa o indirectamente terminan por transformar holocenóticamente al sistema.

Entre los factores controlables antropogénicamente en sistemas pecuarios se encuentran la carga animal, la especie, raza, clase, edad del ganado, la sal y el agua de bebida como elementos reguladores de la distribución del ganado, la cantidad de alimento disponible por cabeza y la suplementación alimentaria. La cantidad de pisoteo y la distribución de los animales en el potrero está afectada por el manejo mismo y los cercos. El pastoreo rotativo afecta a la pradera en distinta forma que el continuado. La cantidad y distribución de las deyecciones animales en el potrero, se modifican a través del manejo pecuario. La intensidad de utilización de especies vegetales de palatabilidad diferente varía al cambiar la especie animal que utiliza la pradera. En resumen, cualquier cambio que se le haga al manejo o estructura del sistema modifica holocenóticamente su funcionamiento y se traduce finalmente en un aumento o reducción de la productividad.

La cuantificación exacta del efecto de las alteraciones ambientales inducidas antropogénicamente son de resolución matemática extremadamente difícil (Cain, 1944), pero en la actualidad, son de posible solución.

El hombre es el rector de estos cambios. El hombre moderno se sitúa fuera del ecosistema y ejerce su acción y lo dirige con el objeto de obtener mayores beneficios al cosechar algún recurso o por el simple placer de destruir. Algunos de los cambios, sin embargo, son favorables, pero otros no lo son.

Las actividades del hombre consisten principalmente en la manipulación de ecosistemas. Con mayores conocimientos y comprensión esta intervención antropogénica puede ser menos destructiva reduciendo las pérdidas de materia o energía y aumentando la productividad de ellos, diversificando los ciclos de transferencia y substituyendo los organismos ecológicamente equivalentes por otros de mayor interés antropogénico (Fosberg, 1963).

El hombre es, en la naturaleza, un factor ecológico esencial y casi universal debiendo ser considerado al interpretar los ecosistemas actuales. Al interactuar con factores tales como el suelo y el clima, el hombre limita o estimula el crecimiento y variabilidad de las especies, crea nuevos ecotipos, los selecciona y determina en cada región el carácter y composición de la biocenosis. Incluso, las comunidades naturales están en alguna forma reguladas por el hombre (Mangenot, 1963).

El concepto moderno de manejo de ecosistemas involucra considerar al hombre como rector y beneficiario del manejo. Los profesionales silvo-agropecuarios deben determinar la capacidad de uso del ecotopo y decidir el uso que se le debe dar al ecosistema de acuerdo a las necesidades del hombre y a su capacidad productiva. El uso del recurso, de acuerdo al concepto de uso múltiple, que es mas amplio que lo que tradicionalmente se ha asignado incluye: cultivos vegetales, cultivos forrajeros, cultivos forestales, recreación, producción de agua, vida silvestre, ganadería y urbano-industrial-vial.

El análisis de los antecedentes presentados en los párrafos anteriores permite concluir que:

Dado que el ecosistema origen está integrado por cuatro componentes, es posible efectuar su transformación ($E_i \rightarrow E_k$) modificando cualquiera de ellos o al estímulo que se recibe del exterior.

El comportamiento (β) del ecosistema origen, puede modificarse al cambiar:

el arreglo topológico (σ), ó
las dimensiones (η) de sus componentes.

Ecocibernética

Los ecosistemas tienen mecanismos reguladores que limitan el número de organismos presentes, influyen en su fisiología y comportamiento, y controlan la calidad de movimiento y circulación de materia y energía. Los procesos de crecimiento, reproducción, mortalidad, migración y adaptación se encuentran entre los grupos más importantes mecanismos reguladores. En ausencia de tales mecanismos funcionando adecuadamente, ningún ecosistema puede continuar existiendo y mantener su identidad (Vans, 1956). La mayor productividad del ecosistema se obtiene cuando se logra la óptima combinación holocénica de los factores ambientales y bióticos, y esto es lo que se entiende por un buen manejo del sistema.

Cada organismo ocupa un nicho dentro del sistema, pero la función o nicho de éste puede variar de acuerdo a la etapa sucesional o al biotopo y habitat. El hombre primitivo, cuyo comportamiento sólo correspondía al de otro animal ocupaba un nicho diferente al del hombre moderno.

En la actualidad, el hombre es el rector o controlador del ecosistema, se sitúa fuera de él y a través de la aplicación de los operadores funcionales que le ofrece la tecnología moderna, puede modificar los factores claves que terminan por transformar en diversos grados el funcionamiento y arquitectura del sistema. Control es un proceso de transición, en un sistema sinámico complejo, de un estado a otro por vía de la actuación de sus variables (Berg, 1964).

Ecocibernética corresponde al diseño de ecosistemas a partir de componentes con propiedades conocidas e integrados en tal forma que sean susceptibles a ser controlados. Los ecosistemas naturales, en el estado que se encuentren, pueden ser identificados y descritos a través de la formulación matemática y de modelos homomórficos, de manera que su funcionamiento sea predecible, situación que corresponde al campo de la ecocibernética.

Cibernetica ha sido definida como la ciencia del control y comunicación en los animales y maquinas (Wiener, 1948). Una de las peculiaridades de esta ciencia es que no esta centrada en los componentes o variables de estado, si no que en el comportamiento de estos componentes, descritos en forma de vectores de estado. Por lo tanto, la cibernetica es esencialmente funcional y de comportamiento (Ashby, 1956).

Un sistema cibernetico es el conjunto formado por un sistema dinamico, sujeto a control y un sistema que lo ejerce (Parín y Baievsky, 1969). El sentido general de las acciones de todo sistema cibernetico radica en que siempre tiene efecto un intercambio de información entre el sistema que ejerce el control y el controlado. Además, ambos sistemas son accesibles a la información exterior, tales como efectos y perturbaciones.

La cibernetica tiene sus fundamentos propios que no se derivan de otras ramas de la ciencia. Originalmente nació como ciencia, estrechamente asociada a la física, pero intrínsecamente no depende necesariamente ni de la física ni de las propiedades de la materia. Escencialmente, la cibernetica tiene que ver con todas las formas de comportamiento siempre que sean regulares, o reproducibles, o determinado (Ashby, 1956).

El ecosistema es una unidad de naturaleza compleja donde se conjugan elementos bióticos y abióticos en forma de materia y energía, generando estructuras de niveles de complejidad muy diverso. El conjunto de todas estas estructuras organizado en forma de arreglos topológicos específicos, genera a su vez otro nivel de complejidad. Resulta muy difícil trabajar en sistemas complejos con las herramientas tradicionales y descriptivas utilizadas en la investigación de los recursos naturales renovables. La cibernetica proporciona un marco conceptual de trabajo en el planteamiento y resolución de sistemas complejos, que se comportan holocenoticamente, y que como tales no pueden ser resueltos mero lógicamente. Dentro de esta categoría se encuentra el ecosistema, y es precisamente debido a esta dificultad que la resolución integrada de los problemas silvoagropecuarios se ha retrasado en exceso.

No es posible, en la actualidad, continuar insistiendo en el planteamiento de los problemas del agro empleando técnicas sin poder resolutivo general para problemas de esta naturaleza. El moderado progreso de la investigación agrícola realizada durante los últimos años, se debe en una buena medida a la resistencia de las instituciones educativas y de investigación a dedicar una pequeña proporción de su esfuerzo a estudios ecociberneticos. Estos estudios permitirían integrar los resultados provenientes de investigaciones analíticas en planteamientos sintéticos tendientes a utilizar el gran acopio de información existente.

El término de ecocibernetica, empleado en este acápite, corresponde a un concepto que trata de integrar la cibernética como ciencia, a la resolución de problemas ecosistémicos.

METODOLOGIA CLINICA

*Todo lo que sucede presupone algo
de acuerdo con una regla.*

Kant

El planteamiento y resolución de los problemas silvoagropecuarios, no pueden ser considerados en la actualidad con una dialéctica puramente empirista, como ha sido tradicional (Reichanbach, 1973). Previo a pretender encontrar la solución a un problema es necesario entificar y definir los atributos de la unidad con que se trabaja, e incluirlos dentro de un contexto general de validez universal; contexto, que en su expresión mas general, corresponde al ecosistema.

El saber previo del investigador o de quien deba resolver un problema es un saber de la universal legalidad de los procesos naturales aún antes de todo descubrimiento de una determinada ley (Hartmann, 1960). La analogía de la experiencia es sólo una forma superficial de ver las cosas y el conjunto de analogías del saber no es mas que una expresión compactada de eventos epistemológicos de escasa validez cuando no pertenecen al conjunto de principios que definen la legalidad universal. En lo anterior reside una de las diferencias fundamentales entre ciencia y tecnica.

El raciocinio inductivo, según Hartmann (1960), tiene por base un elemento gnoseológico apriorístico que se supone tácitamente un elemento no justificable empíricamente pero que necesita justificarse. La experimentación es siempre un caso singular y aunque se repitan o varíen los experimentos no se pasa nunca de lo singular y por consiguiente lo mas allá que se puede alcanzar es la analogía de la experiencia. Sin embargo, al científico no le interesen los casos particulares considerados arbitrariamente en forma aislada, sino los principios generales de lo que sucede en casos iguales.

La única forma de resolver casos particulares es a través del estudio de series de eventos singulares a través de la experimentación y de con conjugación e interpretación en forma de procesos generales en forma

de raciocinios inductivos. El conjunto de estos raciocinios constituye el saber universal que permite, a través de la deducción, resolver casos particulares. Los problemas del agro, que deben ser resueltos, deben ser analizados dentro del complejo natural que le corresponde y que es el ecosistema. En caso contrario, al plantearse como unidad a otro complejo, y en el caso de tener éxito la resolución del problema la solución no es de utilidad silvoagropecuaria pues corresponde a un problema diferente del que se pretendía resolver.

El ecosistema origen representa la unidad de trabajo de los profesionales del agro y como tal es ahí donde debe centrarse su acción. Por ser un problema de naturaleza tan compleja, donde se incluyen cuatro componentes diversos y con fronteras difusas, no puede ser planteado ni resuelto individualmente, sino que en forma de sistemas. Los problemas de esta naturaleza deben ser resueltos en forma de estudios integrados, donde se conjugan conjuntos de investigadores que estudien módulos del sistema total, cuya integración permita resolver el sistema en estudio. Para planteamiento de los problemas silvoagropecuarios, se requiere por lo tanto, una metodología general que permita al investigador resolver los cuatro problemas principales del ecosistema:

1. Definir los tipos y niveles de estímulos que reciba el ecosistema y la respuesta que se desee observar.
2. Poner de manifiesto el conjunto de variables de estado y los flujos de información pertinentes, a través de experimentos sucesivos, con el objeto de reducir la variabilidad de las respuestas del sistema.
3. Romper el código de la información estableciendo las relaciones dicotómicas necesarias y las reglas de asignación de entrada y salida ó funciones de comportamiento nodal.
4. Construir el algoritmo y el modelo homomorfo del ecosistema (Parin y Baievsky, 1969).

La metodología clínica consta de cinco etapas fundamentales:

- Examen
- Diagnostico
- Tratamiento
- Estrategia
- Comprobación

El examen es la etapa inicial del proceso clínico del ecosistema, partiéndose de observaciones generales que permiten plantear la búsqueda de las variables de estado, tanto endógenas como exógenas. En la segunda fase del examen, se procede a la cuantificación de estas variables. Esta primera etapa es fundamentalmente empírica, aunque en su formulación es racional.

El diagnostico se inicia con el ordenamiento de la información. La valoración de la información proveniente del examen, luego de ordenada, es la etapa final del diagnostico.*

El diagnostico 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 que corresponden al estímulo, se conjugan con los conocimientos del profesional y fijan el funcionamiento del sistema de diagnostico o caja negra. La hipótesis del diagnostico emitido corresponde a la respuesta de sistema. Las leyes de la lógica y de la ciencia silvoagropecuaria deben estar dentro del interior de esta caja negra, las cuales son los elementos con que debe construirse el algoritmo que permita resolver el problema metodológico clínico que se haya planteado. Por lo tanto, para emitir un diagnostico es necesario construir un modelo homomorfo que permita conjugar estímulos y algoritmo susceptibles de resolverse cuantitativamente, a través de aplicación de funciones matemáticas.

Para emitir la hipótesis de diagnostico es necesario comparar el estado del sistema con todas las posibles alternativas de estados transformados y operadores de transformación, considerados en conjunto.

El estado optimo de un ecosistema no es absoluto, dependiendo de su estado inicial pues el operador funcional es diferente, dependiendo del estado meta y el estado inicial. Simbolicamente:

$$E_i \xrightarrow{\pi_{10}} E_o$$

El tratamiento es, por lo tanto, la definición conceptual del operador funcional que debe aplicarse para alcanzar el estado E_o meta. La estrategia, en cambio, es la aplicación específica de operadores que correspondan a las características delimitadas por el tratamiento.

La comprobación, corresponde a la etapa final del proceso clínico. Es la comparación entre el estado del sistema E_j y el estado optimo E_o , luego de la aplicación del operador funcional al estado E_i y su correspondiente transformación al estado E_j y cuyo objetivo inicial era aproximarse a E_o .

El resultado final puede ser $E_j = E_o$, en cuyo caso se comprobaría la validez del proceso clínico. La otra alternativa es que $E_j \neq E_o$, en este caso denotaría un error en cualquiera de las etapas del proceso clínico.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

*La ciencia consiste en substituir
el saber que parecía seguro, por una
teoría, o sea, por algo problemático.*

Ortega y Gasset

La unidad silvoagropecuaria es el ecosistema, el cual es un arreglo topológico de componentes bióticos y abióticos o un conjunto de elementos que están conectados y relacionados de manera que actúan o constituyen una unidad o un todo. Conexión y relación, en el ecosistema, significa transporte de materia, energía e información. El estado del ecosistema se define por sus componentes o arquitectura y sus procesos o funcionamiento.

La arquitectura está definida por el conjunto de componentes topológicos σ_i , las cuales a su vez se pueden agrupar en cuatro subconjuntos:

- $\{\sigma_A\}$ conjunto de variables de recursos abióticos
- $\{\sigma_B\}$ conjunto de variables de organismos fotosintetizadores o autotrofocenosís
- $\{\sigma_E\}$ conjunto de variables de organismos consumidores de otros organismos o heterotrofocenosís
- $\{\sigma_H\}$ conjunto de variables del habitat

Los subconjuntos $\{\sigma_A\}$, $\{\sigma_B\}$, $\{\sigma_E\}$ constituyen otro subconjunto mayor de las variables de estado reales. El subconjunto $\{\sigma_H\}$, representa la parte virtual de la arquitectura.

El funcionamiento, está definido como vectores de estado instantáneos y corresponde al comportamiento de un estímulo del tipo i , de una magnitud determinada, al interactuar con el conjunto de variables topológicas de estado, produciendo una respuesta de un valor dado. La función r_i representa a la función de comportamiento de un estímulo, del tipo i , en todo su dominio, a través de una ruta r_i , al interactuar con el arreglo topológico $\sigma_i(n)$ o arquitectura del ecosistema.

El cambio de estado, de un ecosistema, ocurre cuando se modifica a cualquiera de las variables de estado, afectando correspondientemente a los vectores de estado. Para que ocurra un cambio de estado, es necesario la aplicación de un operador funcional.

El ecosistema tiene mecanismos que regulan su funcionamiento y cambio de estado. La ciencia que estudia el control y la comunicación en los sistemas es la cibernética. Específicamente, la regulación del ecosistema y los diversos mecanismos de control, caen dentro del campo de la ecocibernética. Los ecosistemas silvoagropecuarios, que se encuentran en un estado distinto del óptimo, deben ser estudiados dentro del marco de la metodología clínica de ecosistemas.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

THE SILVOAGROPECUARIAN ECOSYSTEM. ATTRIBUTES AND ENTIFICATION

The silvoagropecuarian*unit is the ecosystem. This unit can be considered as a topological arrangement of abiotic and biotic components or a set of connected or related elements in such a way that it acts as a unit or whole. Connection and relation in the ecosystem implies transport of matter, energy and information. The state of the ecosystem can be defined by its components or architecture and its processes or the way it functions.

The architecture is defined by the set of topological components σ_i , which in turn can be grouped in four subsets given by:

- $\{\sigma_A\}$ set of state variables pertaining to abiotic resources
- $\{\sigma_B\}$ set of state variables pertaining to photosynthetic organisms or autotrophocoenosis
- $\{\sigma_E\}$ set of state variables pertaining to organism which consume other organisms or heterotrophocoenosis
- $\{\sigma_H\}$ set of state variables pertaining to the habitat.

The subsets $\{\sigma_A\}$, $\{\sigma_B\}$, $\{\sigma_E\}$ constitute a larger subset, which can be called the real component of the architecture. The subset $\{\sigma_H\}$ represents the virtual component of the architecture.

The ecosystem functioning is defined as instantaneous state vectors which correspond to the behaviour β of stimulus, of the type i , and fixed magnitude, when interacting with the set of topological state variables and producing a response vector ρ of a given value. The vector function β represents the behaviour of a stimulus, of the type i , in all its domain, through a route r_i , when interacting with the topological arrangement $\sigma_i(n)$ or ecosystem architecture.

* SILVOAGROPECUARIAN means forest, agriculture, animal and natural resources management from the anthropogenic point of view.

The change of state of a given ecosystem, occurs when any of the state variables are modified, which in turn affects the state vectors. In order that a change of state occurs it is necessary the application of a functional operator π .

The ecosystem has mechanisms which regulate its functioning and change of state. Cybernetics is the science which studies systems control and communication. Specifically, ecosystem-regulation and its control mechanisms belongs to the field of ecocybernetics.

Silvoagropecuarian ecosystems, whose state differs from that of the optimum, should be studied under the frame of the clinical methodology of ecosystems.

BIBLIOGRAFIA

- Andrewartha. 1970. Population growth and control: animal populations. En: Allison, A. (ed.) Population control. Penguin Books, Harmondsworth, Middlassex, England. 45-69.
- Armijo T., R., R. Nava C. y J. Gastó C. 1976. Fundamentos de transformación de ecosistemas. Univ. Auton. Agraria Antonio Narro. Mong. Técnico - Científica 2: 1-57. Saltillo, Coah.
- Ashby, W.R. 1956. An introduction to cybernetics. Chapman and Hall, University paperbacks. Londres. 295p.
- Ashby, W.R. 1960. Design for a brain. Chapman and Hall. London.
- Becht, G. 1974. Systems theory. The key to holism and reductionism. BioScience 24: 569-579.
- Berg, A.I. 1964. Kibernetika--nauka ob optimalnom upravlenii (La cibernética, ciencia del control óptimo). Original no consultado. En: Parin y Balevsky, 1969.
- Billings, W.D. 1952. The environmental complex in relation to plant growth and distribution. Quarterly Review Biol 27: 251-265.
- Boyle, C.L. 1954. Mother earth. Jour. of the Soil Assoc. 8: 3.
- Browning, T.O. 1963. Animal populations. Hutchinson. London.
- Cain, S.A. 1944. Foundations of plant geography. Harper y Bros. N.Y.
- Caswell, H., H.E. Koenig, J.A. Resh y Q.E. Ross. 1972. En: B.C. Patten (ed.). System 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 potassium. Agron. J. 63: 857-860.
- Distefano, J.J., A.R. Stebberud e I.J. Williams. 1967. Feedback and control systems. Schaum Publishing Co. N.Y.
- Ellison, L. 1949. The ecological basis for judging condition and trend on mountain rangeland. Jour. Forestry. 47: 787-795.
- Evans, F.C. 1956. Ecosystems, the basic unit in ecology. Science 123: 1127-1128.

- Fosberg, F.R. 1963. The island ecosystem. En: Man's place in the island ecosystem. Tenth Pacific Science Congress, Honolulu, Hawaii. 1961. Bishop Museum Press.
- Forbes, S.A. 1887. The lake as a microcosm. Peoria Sci. Assoc. Bull. (Reprinted, Illinois Nat. Hist. Survey Bull. 15: 537-550. 1925).
- Friederichs, K. 1930. Die Grundfragen und Gesetzmäßigkeiten der land und fortwirtschaftlichen Zoologie. 2 vols. Berlin.
- Gastó C., J. y R. Cañas C. 1975. Modelo simulado de funcionamiento del ecosistema silvoagropecuaria. Univ. Auton. Agraria Antonio Narro. Monog. Técnico-Científica 1: 1-71.
- Harre, R. 1960. An introduction to the logic of the sciences. Macmillan. N.Y.
- Hartmann, F. 1960. Ontología. Fondo de cultura económica. Mexico. 576p.
- Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. McGraw Hill Book Co. N.Y.
- Kira, T. y T. Shidei. 1967. Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western pacific. Japanese Jour. Ecol. 17: 70-85.
- Kolmogorov, A. N. y S.V. Fomin. 1970. Introductory real analysis. Prentice Hall, Inc. London.
- Maelzer, D.A. 1965. A discussion of components of environment in ecology. J. Theoret. Biol. 8: 141-162.
- Maelzer, D.A. 1965. Environment, semantics and system theory in ecology. J. Theoret. Biol. 8: 395-402.
- Major, J. 1951. A functional factorial approach to plant ecology. Ecology 32: 392-412.
- Managenot, G. 1963. The effect of man on the plant world. En: Man's place in the island ecosystem. Tenth Pacific Science Congress, Hawaii. 1961. Bishop Museum Press.
- Markus, E. 1926. Naturkomplexe. Sitzber. Naturforsch. Ges. Univ. Tartu 32: 79-94.
- Mason, R.L. y J.H. Langenheim. 1957. Language analysis and the concept environment. Ecology 38: 325-340.
- Maynez del R., F., R. Armijo y J. Gastó C. 1975. Clínica ecosistémica silvoagropecuaria. Fundamentos y metodología. Univ. Auton. Agraria Antonio Narro. Monog. Técnico-Científica 1: 72-136. Saltillo, Coah.

- 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.
- Parin, V.V. y R.M. Baievsky. 1969. Introducción a la cibernética y a la computación médica. Siglo XXI. México.
- Patten, B.C. 1971. A primer for ecological modeling and simulation with analogy and digital computers. En: B.C. Patten (ed.) System Analysis and simulation in ecology Vol. 1. Academic Press, N.Y.
- Pimentel, E., L.E. Hurd, A.C. Bellott, M.J. Forster, I.N. Oka, O.D. Sholes y R.J. Whitman. 1973. Food production and energy crisis. Science 182: 443-449.
- Sukachev, V.N. 1950. Biogeozonose. Bolshais sovetskaja Entsiklopedia (Great Soviet Ecyclopedia) 5: 180-181. Moscu.
- Tansley, A.G. 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. Ecology 16: 284-307.
- Udvardy, M.F.B. 1959. Notes on the ecological concepts of habitat biotope and niche. Ecology 40: 725-728.
- West, N.E. 1964. Contribution of plant synecology to pure and applied biology. The Biologist. 46: 73-80.

APENDICE

Símbolos empleados

p	Respuesta general del ecosistema o función de respuesta del ecosistema.
e	Estímulo general al ecosistema o vector estímulo.
B	Comportamiento general del ecosistema o función de comportamiento del ecosistema.
Λ	Arquitectura del ecosistema o función matrizal de arquitectura del ecosistema.
η	Vector topológico.
σ	Arreglo topológico del ecosistema.
x_i	Variables topológicas o de estado del ecosistema.
E_{S_i}	Ecosistema silvoagropecuario en el estado i .
E_{A_i}	Ecosistema ambiente en el estado i .
E_{H_i}	Ecosistema hombre organizado en el estado i .
E_{I_i}	Ecosistemas incidentes en el estado i .
E_i	Ecosistema en el estado i , al nivel de integración j .
t	Tiempo.
f	Vector de estado.
$\neq$	Diferente
ϕ	Función de estímulo que depende de las respuestas de los ecosistemas que contribuyen al ecosistema origen.
n	Número total de elementos que constituye la arquitectura.
k	Número arbitrario de elementos.
$\{\sigma_R\}_k$	Subconjunto de elementos que integran la parte real de la arquitectura.
$\{\sigma_V\}_{n-k}$	Subconjunto de elemento que integran la parte virtual de la arquitectura.
$\{\sigma_B\}$	Subconjunto de componenetes de la autotrofocenosís.
$\{\sigma_H\}$	Subconjunto de componenetes de habitat.
$\{\sigma_E\}$	Subconjunto de componenetes de la heterotrofocenosís.

$\{\sigma_A\}$	Subconjunto de elementos del ecotopo. Conjunto
π_{io}^p	Operador de transformación del estado i al o , por la ruta.
$\rightarrow$	Tiende a ó se transforma.
$\Rightarrow$	Implicación lógica.
P_{ij}	Probabilidad de éxito de efectuar la transformación de estado i a j .
Δ	Incremento o cambio global.
N	Número de estados producidos por la aplicación de un operador.
R_e	Relación paramétrica entre trabajo, tiempo y probabilidades.
ρ	Cambio neto o diferencial.
ΔA	Producción bruta de la arquitectura.
ΔA^*	Respiración o eliminación de la arquitectura.
δA	Producción Neta.