

Juan Gastó

PROYECTO CEPAL/PNUMA  
ESTILOS DE DESARROLLO Y MEDIO  
AMBIENTE EN AMERICA LATINA

E/CEPAL/PROY.2/R.27  
Septiembre de 1979

Seminario Regional

Santiago de Chile, 19 al 23 de noviembre de 1979

ECOSISTEMA. COMPONENTES Y ATRIBUTOS RELATIVOS AL DESARROLLO Y  
MEDIO AMBIENTE

Juan Gastó, Consultor

El autor es Profesor de la Pontificia Universidad Católica de Chile e investigador del proyecto 51/78 DIUC. Las opiniones expresadas en este estudio son de su exclusiva responsabilidad.

## INDICE

	<u>Página</u>
I. SISTEMA ECOLOGICO	1
Definición	1
Fenómeno e imagen	3
Atributos	7
Componentes	10
Conexiones	17
Estado	18
Arquitectura	21
Funcionamiento	23
II. GRADOS DE LIBERTAD	25
III. ARMONIA, ESTILO Y PERIODICIDAD	26
IV. VALORES Y DEBERES	28
Bibliografía	33

## I. SISTEMA ECOLOGICO

### Definición

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 como integrante de la biósfera, 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.

El ecosistema constituye la síntesis de los componentes físicos y biológicos con la característica de integrar en una sola unidad elementos de naturaleza tan diversa como los que caracterizan a los recursos naturales (Gastó, Nava y Armijo, 1976). Los recursos naturales pueden ser estudiados a cualquier nivel de complejidad, es decir, desde el subatómico hasta el de la biósfera, pudiendo incluso sobrepasar ambos extremos. Se requiere, por lo tanto, establecer un centro de referencia y origen desde el cual sea posible relacionar la complejidad ecosistémica. Este nivel se ha denominado el ecosistema-origen.

El concepto de un sistema 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. En la actualidad, el ecosistema no sólo es el centro de la ecología, sino que es además, el concepto más relevante en relación a los problemas del hombre y el medio (Odum, 1972).

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 ecosistemas (Fosberg, 1963). Los ecólogos tratan a menudo de evitar el estudio simplificado de las relaciones de causa-efecto, debido al sentido holocénico que se le atribuye al ecosistema, tanto en lo que se refiere a su funcionamiento como a su estructura (West, 1964). 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, 1966). Los complejos no sólo 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 totalidades naturales (Hartman, 1960).

Existen varias definiciones de ecosistema, que conceptualmente pueden ser similares. Una manera de definirsele es 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 Gestó, 1975).

El ecosistema puede ser de variados tamaños, desde muy pequeño, tal como ocurre con un tubo de ensayo o 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. El tamaño mínimo debe ser tal que no destruya esta unidad compleja y, por lo tanto, que mantenga todos los elementos básicos que constituyen el sistema. 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 ecosistemas de un país funcionan en último término como un macroecosistema racional. La integración de todos los sistemas del globo terrestre en funcionamiento simultáneo e interdependiente constituyen la biósfera.

Ningún sistema ecológico es completamente independiente (Evans, 1956). Todos ellos reciben recursos y elementos desde otros ecosistemas y desde la biósfera y liberan otros. No es válido, por lo tanto, referirse a sistemas abiertos en oposición a sistemas cerrados, pues los límites

entre una unidad del ecosistema 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 <sup>ecosfera</sup> biosfera del planeta tierra funciona integralmente.

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 o fisiología que fija junto con los estímulos la respuesta del sistema. El estado del sistema agrícola puede fluctuar dentro de márgenes muy amplios, pero su organización y manejo debe ser el resultado del estudio determinado de un estado inicial y de una transformación, llevada a cabo con un criterio de optimización antrópica (Meynez, Armijo y Gastó, 1975).

#### Fenómeno e imagen

Recientemente se ha dejado sentir la necesidad de contar con una estructura teórica y sistemática que permita examinar las relaciones generales del mundo empírico dentro del cual se ubican los recursos naturales. Este es el objetivo de la teoría general de sistemas donde está contenido el sistema ecológico o ecosistema, la cual no busca, obviamente, establecer una teoría única, autoconterida y general, aplicable a todo y que reemplace a todas las teorías de las disciplinas particulares. Tal teoría estaría desposeída en su mayor parte de contenido, porque siempre existe una relación inversa entre contenido y generalización y, por lo tanto, lo único que se puede decir de casi todo es casi nada. Sin embargo, entre lo específico, que no tiene significado y lo general, que carece de contenido debe existir para cada propósito y en cada nivel de abstracción un grado óptimo de generalidad (Boulding, 1956).

En la descripción de un sistema existen dos extremos: la postulación de una máxima simplicidad o la de una máxima complejidad. Un

sistema simple es completamente irredundante; es decir, ningún aspecto del sistema es derivable de cualquier otro (Simon, 1965). Un sistema totalmente complejo resulta epistemológicamente trivial (Levins, 1970). La descripción apropiada está regida por consideraciones de optimalidad y relevancia en las constricciones de interacción.

Se requiere, por lo tanto, definir el conjunto de fenómenos que pertenecen al recurso natural para construir una imagen o modelo y eventualmente delimitar una metodología de trabajo. El conjunto de premisas o paradigma es el siguiente:

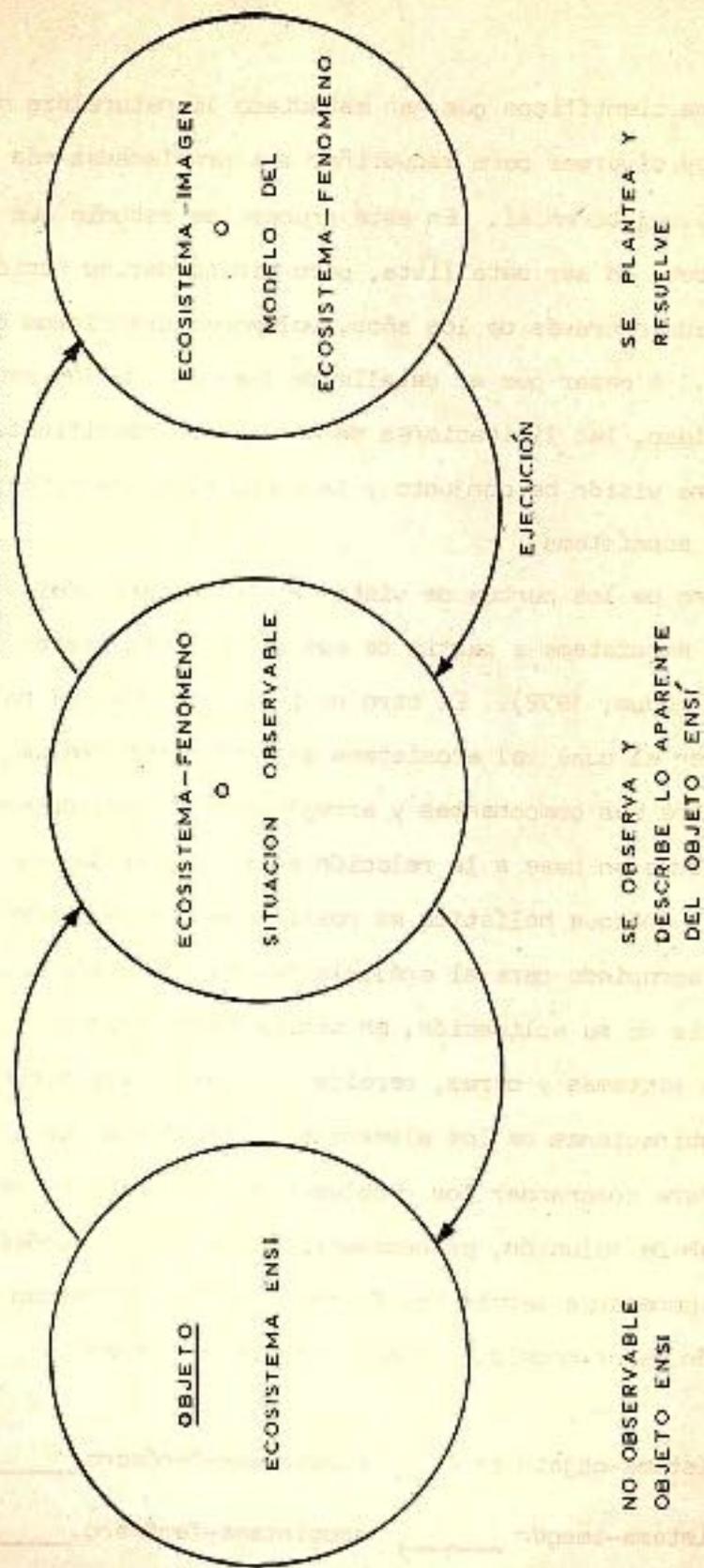
- Los fenómenos del recurso natural son eminentemente dinámicos
- La dinámica no es caprichosa ni enteramente al azar
- La imagen que representa la unidad básica de estudio es el ecosistema
- El ecosistema se caracteriza por su arquitectura y funcionamiento
- Existe una interdependencia entre su funcionamiento y arquitectura, expresada en su cambio de estado, y
- Es posible actuar sobre la arquitectura y modificar el funcionamiento y viceversa.

Dadas las dificultades que se presentan en la resolución de los problemas de manejo y utilización de los recursos naturales, a través de planteamientos de esta naturaleza, la experiencia indica que es preferible resolverlos siguiéndose una dialéctica diferente, centrada en el concepto de ecosistema.

Los problemas de los recursos naturales deben ser planteados y resueltos en su imagen ecosistémica. Esta imagen debe presentar tales características que permita comprender, plantear y resolver el fenómeno tal como se presente en la naturaleza. Una vez logrado el objetivo es necesario ejecutar la solución, lo cual implica regresar al fenómeno (Figura 1).

Figura 1

Diagrama ilustrativo del proceso gnoscológico

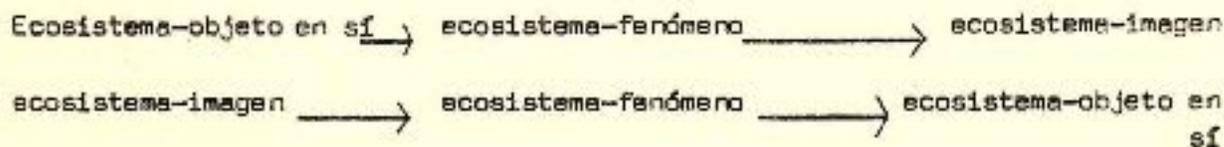


Los científicos que han estudiado la naturaleza han empleado enfoques muy diversos para escudriñar sus propiedades más íntimas y ocultas del objeto en sí. En este proceso de estudio que debe tener el doble atributo de ser detallista, pero sin perder su noción de conjunto, se ha logrado a través de los años, volúmenes grandiosos de información científica. A pesar que el detalle de cada uno de los procesos no deja de ser valioso, las limitaciones de uso se han magnificado debido a la falta de una visión de conjunto y la incapacidad de integrar los componentes del ecosistema.

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

El enfoque 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 teoría matemática, cibernética, teoría general de sistemas y otras, permite considerar las posibles consecuencias de las combinaciones de los elementos y arreglos de un sistema.

Para comprender los problemas de los recursos naturales y concebir un plan de solución, es necesario describir el fenómeno. Lo anterior significa generar, a partir del fenómeno real, una imagen a través de la formulación de un modelo. Simbólicamente se tiene:



La transformación del fenómeno en imagen requiere establecer una cierta relación que permita, luego de determinar los atributos fundamentales del primero, desarrollar una imagen que corresponde en cierto sentido al fenómeno. Igualmente, esta relación debe permitir que una vez establecida la imagen, existe la posibilidad de contrastación entre imagen y fenómeno. El requisito indispensable para la resolución formal de problemas de recursos naturales está dado por la capacidad de establecer relaciones fieles del tipo fenómeno-imagen.

Las teorías del tipo de caja negra consideran al elemento, que puede ser una variable de estado o conjunto de variables de estado constituyendo un sistema cualquiera o ecosistema, como si estuviera desprovisto de estructura interna, de manera de considerar sólo su comportamiento global al ser tratado como una unidad simple.

Dadas las características propias de la caja negra, de presentar paredes no transparentes, no es posible conocer directamente su contenido. Su estructura interna puede inferirse al hacer variar y cuantificarse los estímulos y las respuestas de manera de lograr finalmente establecer su función de comportamiento. Consecuentemente y de manera hipotética, es posible en etapas sucesivas construir la imagen conceptual de su estructura interna.

Las teorías del tipo de caja negra pueden esquematizarse de la siguiente forma:

$$P = E \circ \beta$$

de manera de relacionar las variables periféricas de estímulo  $E$  y respuesta  $P$  con la variable mediadora  $\beta$  o función que relaciona a las variables periféricas (Bunge, 1969).

#### Atributos

El ecosistema consta de dos atributos fundamentales que definen su estado. Uno de ellos es el aspecto anátomo-morfológico o apariencia

física, es decir, que representa los aspectos tangibles o de forma y se denomina arquitectura. El otro es el transporte y transformación de materia, energía e información y corresponde a la fisiología del ecosistema, lo cual se denomina funcionamiento.

Una forma de estudiar el modelo ecológico es separándolo en dos partes: arquitectura y funcionamiento. Cualquier clasificación que se haga es, sin embargo, selectiva y por ello es, también arbitraria (Hospers, 1954). Esta forma de estudio es análoga a la que se sigue en biología, donde los organismos se estudian desde un punto de vista fisiológico o de su funcionamiento y anátomo-morfológico o de su arquitectura.

La ecología ha sido definida como la arquitectura y funcionamiento de la naturaleza (Odum, 1972). El funcionamiento de un ecosistema que se encuentre en un estado dado, implica necesariamente un cambio de arquitectura, cambio que se produce debido a un aumento o disminución en el contenido de materia, energía o información. Al proceso ordenado de cambio de arquitectura que ocurre en la naturaleza se le denomina sistemogénesis (Locker, 1973), lo cual viene necesariamente acompañado de un cambio en el comportamiento y funcionamiento ecosistémico.

Los estudios morfogénicos permiten conocer los cambios morfológicos que ocurren en el ecosistema, considerados como un proceso ordenado, y cuyo resultado es consecuencia del estado y funcionamiento anteriores. La sistemogénesis considera, además, de los cambios morfogénicos o de arquitectura, los procesos de cambio de estímulos que operan simultáneamente con la arquitectura propia de cada instante.

Cualquier estudio ecosistémico debe considerar, por lo tanto, dos aspectos:

- El estado del ecosistema, definido a través de su arquitectura y funcionamiento, y
- El cambio de estado

La identificación de los elementos pertinentes de la arquitectura, permite diseñar modelos y estudiar la relación entre la forma y el funcionamiento de los mismos (Klir, 1969). El diseño arquitectónico de los ecosistemas no debe ser el producto de la imaginación y emotividad del momento, sino que debe obedecer a normas generales que relacionen la arquitectura con el funcionamiento esperado. El problema de diseñar y construir arquitecturas de ecosistemas es de naturaleza tanto o más compleja que el de cualquier otra rama de la ingeniería de sistemas diferenciándose sólo en la naturaleza del problema.

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

Ecótopo o recursos abióticos

Habitat o ambiente físico

Autotrofoceosis o comunidad de fotosintetizadores, y

Heterotrofoceosis o comunidad de consumidores.

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

$$\sigma(\eta)$$

donde:  $\sigma$  representa el arreglo topológico, denotando tanto los aspectos cualitativos como cuantitativos, y  $\eta$  el tamaño de las variables de estado que la integran es decir, el vector topológico.

El funcionamiento de ecosistema interesa a los especialistas en el manejo de los recursos naturales, puesto que de ello depende su productividad y estabilidad. La arquitectura, sin embargo, es el elemento donde se centran los procesos de funcionamiento. Es por ello que, en la práctica, el mejoramiento del funcionamiento se logra a través del mejoramiento de la arquitectura, o del aporte de estímulos al sistema.

El funcionamiento y la mantención de la arquitectura de los ecosistemas no es una resultante del azar, sino que está regido por mecanismos propios de control. La ciencia que estudia estos mecanismos es la cibernética. Es posible aplicar los principios generales de la cibernética al estudio de los procesos de control de los ecosistemas en cuyo caso corresponde a la ecocibernética.

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

materia  
energía, e  
información

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

Los sistemas ecológicos no son independientes de los demás, pues reciben estímulos desde otros ecosistemas y liberan recursos que van a otros ecosistemas del globo o fuera de él (Evans, 1956). No es válido, por lo tanto, referirse a sistemas abiertos en oposición a sistemas cerrados.

#### Componentes

La arquitectura del ecosistema está definida por el conjunto de componentes topológicos  $\bigcup_i$ , los cuales a su vez pueden agruparse en cuatro subconjuntos:

- $\{\sigma_A\}$  conjunto de variables de recursos abióticos y abiótopo
- $\{\sigma_B\}$  conjunto de variables de organismos fotosintetizadores o autotrofoecosis
- $\{\sigma_E\}$  conjunto de variables de organismos consumidores de otros organismos o heterotrofoecosis
- $\{\sigma_H\}$  conjunto de variables del ambiente físico o habitat.

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

El abiótopo  $\{\sigma_A\}$  es el conjunto de elementos inorgánicos, organizados en diversos niveles de integración abiótica. Los niveles generales de integración de la materia inanimada son los siguientes:

- atómico
- molecular
- materia homogénea
- mezcla de materias homogéneas
- estratificación de las mezclas
- fisiografía de estratas
- ecosistema, integración con la vida.

La arquitectura original de los ecosistemas del globo terrestre, corresponde a la de modelos incompletos en los cuales sólo el componente abiótico está presente. Esto no considera necesariamente la existencia de una desorganización en su grado máximo, sino que sólo considera la ausencia de la vida como un elemento organizativo.

La materia en sí, en este componente del ecosistema, se puede encontrar en diversos estados de organización. El atómico por ejemplo

representan un estado complejo donde intervienen los electrones, protones, neutrones y otras partículas elementales comportándose en forma compleja, representando el conjunto, un alto grado de organización (Frank-Kamenetski, 1970).

Un segundo nivel de organización de la materia esté dado a nivel molecular. En este nivel se agrupan las moléculas, dando lugar a estructuras más complejas, sin alcanzar a manifestar una organización propia de la materia en los seres vivos.

Un tercer nivel de organización es el que corresponde al conjunto de moléculas de una misma clase en sustancias homogéneas. En el caso de los sólidos pueden agruparse en sustancias de formas cristalinas de gran simetría o en formas amorfas o pseudocristalinas. Otras moléculas se agrupan formando gases o líquidos. Todas estas estructuras corresponden a unidades moleculares homogéneas de integración. En estos tres niveles de complejidad, la acción del hombre como elemento modificador es sólo limitada, siendo mayor a medida que el nivel de complejidad se incrementa.

Un cuarto nivel de integración de la materia corresponde al de mezclas de materias homogéneas, en el cual se combina en arreglos topológicos definidos, los elementos de los niveles topológicos inferiores. En el caso de los sólidos un ejemplo de este nivel de integración son las rocas, en el caso de los líquidos las aguas turbias y contaminadas de los ríos, y en el caso de los gases, la atmósfera contaminada, que además puede contener algunas partículas sólidas y líquidas en suspensión.

La organización de partículas rocosas en su estado natural o transformada por procesos de intemperización u otros, conduce al nivel siguiente de organización que corresponde al de estratificación de las mezclas, dando origen a conjuntos más complejos, como ocurre con la organización edáfica. Esta organización, además de los atributos

propios de la roca, cristal, molécula, etc., manifiesta atributos emergentes propios, característicos de este nivel topológico de integración. Entre las características que definen la organización edáfica, destacan los horizontes o estratas definidas de grupos de partículas rocosas y la estructura edáfica u organización de micropartículas en macropartículas con características diferentes a las de sus componentes. El agua y el aire, al igual que el suelo, presentan también una organización en estratas.

Un último nivel de integración del componente abiótico, lo constituye la organización geotopológica donde se integran los niveles anteriores de organización de la materia en geofomas que se caracterizan por presentar atributos físicos propios, diferentes de los presentados por sus componentes de organización topológica inferior. Como ejemplo de lo anterior se puede citar los componentes del paisaje tales como: valles, llanos, laderas, montañas, etc., cuya integración en unidades de paisaje, que a menudo corresponde a la cuenca o conjunto de cuencas, todo lo cual constituye una unidad de paisaje con atributos diferentes a la sumatoria de sus componentes. La atmósfera y las masas de agua, al igual que los sólidos presentan también una organización equivalente en este nivel de integración, que podría denominarse aerotopológica e hidrotopológica, respectivamente.

Todos los niveles anteriores, integrados en un sistema y comportándose como una unidad, constituyen el componente abiótico del ecosistema. Mas, sin embargo, no constituye el ecótopo, pues este último necesita estar asociado a la vida organizada dentro del ecosistema.

El habitat  $\{ \sigma_H \}$  o constricciones de la materia, energía e información, es el conjunto de variables de estado eminentemente pasivas, que actúan por presencia en los vectores del estado. Lo anterior significa que el habitat es el catalizador de los procesos de funcionamiento del ecosistema. Se le considere 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 térmico o temperatura
- presión barométrica
- intensidad de sonido
- energía cinética atmosférica
- energía cinética de cuerpos sólidos
- fuerza de gravedad
- intensidad luminosa

Información

- potencial de tensión psicológica
- potencial de tensión mecánica

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

La autotrofocenos  $\{G_B\}$  es la fracción del componente vivo del ecosistema que está constituido por organismos fotosintetizadores o vegetales con clorofila, que se conoce como fitocenos o comunidad vegetal organizada como sistema.

La comunidad de organismos autótrofos 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 son:

- protoplasma
- célula
- tejido
- órgano
- sistema de órganos
- organismo
- población
- sinusia
- autotrofocenosis

El componente individual está en cada una de las situaciones relacionado con los niveles superiores e inferiores de integración y presenta propiedades emergentes propias de su nivel de complejidad o integración, las cuales son diferentes de las propias de otros niveles.

El organismo individual, denominado organismo o individuo no puede vivir aislado en un ambiente, por no tener alguna de las propiedades necesarias para su sobrevivencia, las que presentan las poblaciones. La tasa de natalidad, mortalidad, crecimiento y otras, son atributos de las poblaciones que les permite adaptarse y perpetuarse en 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 trofofenosis correspondiente. Las formaciones de forma vital similar se agrupan en unidades mayores donde se conjugan los organismos que, además ocupen nichos similares, denominándoseles sinusia. El nivel de complejidad superior al de las sinusias fotosintetizadoras es el de la autotrofofenosis.

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

La heterotrofofenosis  $\{\sigma_E\}$  es el resultado de la integración de los organismos consumidores, en los diversos niveles de integración. Los niveles del espectro heterotrófico corresponden a:

protoplasma  
 célula  
 tejido  
 órgano  
 sistema de órganos  
 población  
 sinusia  
 heterotrofofenosis

Los consumidores o heterótrofos 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 heterótrofos corresponden principalmente a plantas parásitas y vegetales detritófagos desprovistos de clorofila, tales como algunos hongos.

De acuerdo al tamaño del consumidor y a la forma de digestión, ya sea interna o externa, los heterótrofos pueden clasificarse en: macro y microconsumidores. Los macroconsumidores corresponden a organismos de

digestión interna, en tanto que los microconsumidores se caracterizan por su digestión externa. Los microconsumidores son, a menudo, referidos como descompositores.

La heterotrofocenosís depende de la autotrofocenosís 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 sistema.

#### Conexiones

Conexión en cualquier sistema dinámico significa transporte de materia, energía e información. Los componentes del ecosistema para que constituyan una unidad y actúen como un todo deben estar conectados a través del transporte de estos elementos entre los diversos componentes del sistema.

Los elementos de mayor incidencia en el ecosistema son:  $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2O$ , 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 y a través de ondas. El transporte de elementos sólidos complejos, en la dinámica del ecosistema, se lleva a cabo en forma menos generalizada. Generalmente ocurre en forma iónica transportados o movilizados en un medio líquido. Un ejemplo del transporte de sólidos es la erosión, deslizamiento de laderas por gravedad y otras formas de movimientos de partículas complejas, cuyo transporte ocurre generalmente en medios líquidos o gaseosos.

*Conexión Elementos  
Acumulados  
en los  
ecosistemas*

El transporte de materia, energía e información ocurre en forma de:

- flujos, donde el transporte es direccional y la tasa de recirculación es insignificante dentro de cada ecosistema en particular. Ejemplos característicos de flujos ecosistémicos son el agua y la energía.
- circulación y recirculación, cuyos elementos son transportados en forma sucesiva a través de los diversos componentes del ecosistema. Ejemplo característico de ello es la circulación de nutrientes sedimentarios en el ecosistema.
- transporte simultáneo de materia y energía. Las cadenas y redes tróficas son un caso particular de transporte simultáneo de materia y energía.

Todos estos procesos se caracterizan por provocar un cambio en el contenido de información de la materia y energía. Mientras mayores son las conexiones más extenso es el funcionamiento del ecosistema.

Ningún sistema ecológico es completamente independiente (Evans, 1956). Todos ellos reciben elementos desde afuera y liberan otros. No es válido, por lo tanto, referirse a sistemas abiertos en oposición a sistemas cerrados. Los límites entre una unidad ecosistémica y las demás no son nítidos, y por lo tanto, lo que le ocurre a uno, afecta en alguna medida a todos los demás.

#### Estado

Los conceptos de estado y cambio de estado de un ecosistema son importantes porque en un momento dado son útiles 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.

El estado de un sistema es el modo o condición de existir. En ciencias de sistemas, el estado está usualmente dado en una definición

operacional en términos de variables de estado. En otras palabras, el estado del sistema es la condición de las variables de estado estando definidas por sus partes componentes, 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:

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

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

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

$$\sigma_i(\eta) \longrightarrow \{x_i\}$$

De manera similar existe una relación entre los vectores  $\mathcal{E}$  y  $\mathcal{P}$ , y cierto subconjunto de variables de estado  $\{x\}_{\mathcal{E}}$  y  $\{x\}_{\mathcal{P}}$ , de manera tal que representan particiones de las clases de equivalencia de los historiales de los estímulos.

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

Los vectores de estado están dados por:

$$\vec{x}_i = (x_1, x_2, \dots, x_n); \delta$$

$$\vec{x}_i = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

Los vectores de estado  $\vec{x}_i$  a diferencia de un conjunto de variables de estado  $(x_i)$  tienen un orden definitivo en la enumeración de sus componentes. Las variables de estado pueden corresponder a cualquier 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 (Bertalanffy, 1968).

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  $x_i$  se expresa como:

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

En general, es factible definir el estado  $E$  de un ecosistema en términos del triplete  $E, \beta, \rho$  dado en las ecuaciones:

$$\begin{aligned} \rho &= \rho(E, \beta) \\ \beta &= \beta(E, \lambda); \quad \frac{d\lambda}{dt} = M(\lambda(t), E(t), t) \\ \lambda &= \lambda(\eta, \sigma); \quad \sigma = \sigma(\eta) \end{aligned}$$

Estas ecuaciones generales determinan el estado de un sistema en términos de:

- sus estímulos  $E$
- el comportamiento  $\beta$
- su arquitectura  $\Lambda$ , determinada ésta a la vez por su arreglo topológico  $\sigma$ , y el número y dimensión de los componentes
- la función sistemogénica  $M(\Lambda, E, t)$ , es decir, de cambio simultáneo de estímulo y arquitectura (Figura 2).

Cabe mencionarse que tanto  $\rho$ ,  $\beta$  y  $E$ , dependen implícitamente del tiempo y en su acepción más amplia representan procesos estocásticos. La magnitud de los estímulos y de la respuesta se expresa normalmente en forma de tasas.

El estado del sistema puede fluctuar dentro de márgenes muy amplios pero su organización y manejo debe ser el resultado del estudio detenido de su estado inicial y de su transformación llevada a cabo con criterio de optimización antrópica. Dada la importancia de la arquitectura y su posibilidad de determinar y elegir una que se aproxime al óptimo, es necesario plantear formalmente las rutas a seguir para alcanzar el estado seleccionado.

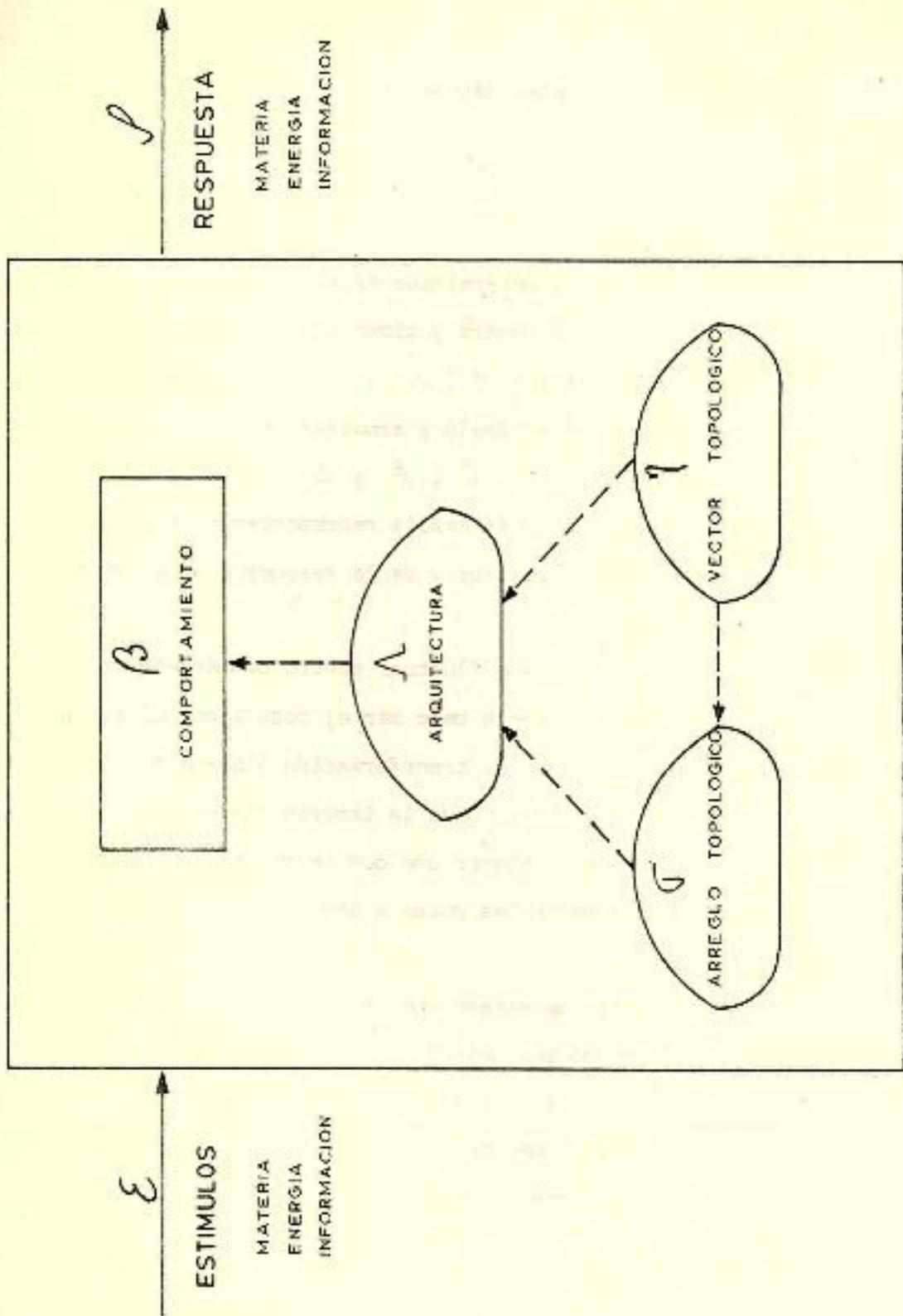
El proceso de cambio de estado que ocurre en el tiempo se denomina génesis y está regido por principios generales. No basta con seleccionar la arquitectura y la ruta a seguir en el proceso de génesis, sino que es necesario también, que una vez que se alcance el estado elegido, que supuestamente corresponde al óptimo, sea posible mantenersele.

#### Arquitectura

Es el arreglo topológico de los componentes del ecosistema. Se entiende por componente de un ecosistema a las categorías topológicas de ordenamiento de la materia y energía en cierto nivel de información o entropía.

Figura 2

Modelo homomórfico del ecosistema



La arquitectura representa las diferentes modalidades que puede tomar un conjunto de estructuras. La integración de los diversos elementos estructurales en magnitudes y ordenamientos definidos constituye la arquitectura de un ecosistema. Arquitectura y estructura, por lo tanto corresponden dentro del contexto de este trabajo, a conceptos diferentes pero estrechamente relacionados de manera que para una estructura dada existe un conjunto de arquitecturas posibles.

Un ecosistema está compuesto por diversas unidades que pueden ser agrupadas en categorías homogéneas de arreglos topológicos, tales como: tejidos, horizontes, especies, sinusias, fitocenosis, etc. El conjunto topológico de todas estas unidades, que puede ser descrito físicamente, constituye la arquitectura del ecosistema.

La arquitectura representa lo físicamente ponderable del ecosistema. Esto significa que cada componente de la arquitectura tiene dimensiones de tiempo  $t$ , espacio  $l$ , masa  $m$ , y carga  $q$ .

#### Funcionamiento

La función  $\beta$  representa el comportamiento de un estímulo  $E_i$  en todo su dominio, a través de una ruta  $r_i$  al interactuar con el arreglo topológico  $\sigma(\eta)$  o arquitectura  $A_i$  del ecosistema. Una ruta  $r_i$  del estímulo  $E_i$ , en el sistema, corresponde a la forma de fluir de este estímulo. El comportamiento puede ser definido en forma alternativa como el conjunto de pares ordenados  $(E_i, \beta_i)$  tales que satisfagan una condición para el cominic del tipo de estímulo  $E_i$ ; en otras palabras representa la variable mediadora.

La interacción del estímulo con el ecosistema significa cambios en el contenido de información del estímulo, lo cual acontece en cada nodo, estando definidos por cierta función  $\beta_n$  que depende de  $\sigma(\eta)$  y del nivel de estímulo que incide sobre ese nodo.

Para poder conocer con mayores probabilidades de certeza, el comportamiento total del sistema es necesario conocer el comportamiento  $\beta_n$  de cada nodo. Este comportamiento  $\beta_n$  es la función de particionalidad o integración de diversos estímulos con igual o diferente contenido de información y su transformación en respuesta con igual o distinto contenido de información. La característica esencial de la función  $\beta_n$  para cada nodo es la de modificar en cierto grado el contenido entrópico de cada estímulo.

El comportamiento total  $\beta$  del ecosistema representa por lo tanto, el conjunto  $\{ \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n \}$  de las diversas funciones de comportamiento de cada nodo. Simbólicamente tiene:

$$\beta = \Psi (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n); \beta_i = \beta ( \sigma_i ( \eta_i ) )$$

Las estrategias de mejoramiento de la respuesta del sistema pueden clasificarse en dos grandes grupos:

Estrategias de cambio del estímulo (  $E$  ), y

Estrategias de cambio del comportamiento (  $\beta$  )

La adición de tasas superiores de estímulos, tanto en lo que respecta a su cantidad como a su calidad, resulta a menudo la estrategia más frecuente. Durante las últimas décadas especialmente, se ha logrado a través de esta estrategia y, en particular, con el uso de agua de riego y fertilizantes nitrogenados, incrementar la respuesta en forma de granos y otros productos alimenticios. La utilización de esta estrategia, hace posible el incremento de la respuesta de prácticamente cualquier ecosistema.

Es posible afirmar que, en general, el cambio de la respuesta de un ecosistema a través de la adición de mayores tasas de estímulo no resulta conveniente cuando:

- La disponibilidad global de estímulos es limitada, o cuando
- La ineficiencia del sistema de acuerdo con la disponibilidad de estímulo es alta.

## II. GRADOS DE LIBERTAD

En la resolución de problemas ecosistémicos debe buscarse las variables y vectores de estado que permitan establecer las relaciones propias de los elementos y conexiones del mundo empírico, dentro del cual se encuentran los recursos naturales. En la búsqueda del marco teórico general donde se ubican los ecosistemas de recursos naturales, con el fin de elaborar la imagen o modelo, se procede describiéndole como un sistema cada vez más general, lo cual implica necesariamente una reducción de su contenido, ya que existe una relación inversa entre contenido y generalización (Boulding, 1956).

En el paso desde el ecosistema-fenómeno o recurso natural al ecosistema-imagen o modelo representación al general del fenómeno debe eliminarse los componentes y conexiones que sean de ínfima o nula relevancia al sistema-imagen, lo cual no es otra cosa que quitarle el ruido al sistema. El ecosistema, por lo tanto, debe estar definido por las variables y vectores de estado que constituyan la esencia de sus componentes y conexiones. Todos ellos son los que determinan los grados de libertad del sistema, debiendo estar contenidos en cualquier imagen del fenómeno.

La esencia del conocimiento es la generalización y lo que no es pertinente o relevante al fenómeno debe ser excluido de la generalización (Reichenbach, 1953). En el estudio de los recursos naturales y de la elaboración de imágenes debe buscarse establecer una separación entre los factores pertinentes al fenómeno y los no pertinentes o irrelevantes, lo cual constituye el principio del conocimiento. El significado del

término pertinente puede corresponder a lo que debe mencionarse para que la generalización sea válida. La generalización es pues el origen de la ciencia (Reichenbach, 1953).

Los grados de libertad del fenómeno, correspondientes al nivel de complejidad del sistema ecológico, son los mínimos requeridos para su descripción. La elaboración de imágenes redundantes, lejos de contribuir a resolver los problemas ecosistémicos, origina una nueva fuente de complejidad que incrementa la variabilidad no contenida dentro del marco de las relaciones generales de estímulo-respuesta.

### III. ARMONIA, ESTILO Y PERIODICIDAD

Armonía o balance ecosistémico puede ser definido como una conveniente proporción entre los elementos del sistema ecológico en un estado dado. El ecosistema contiene un conjunto de componentes y conexiones que deben estar balanceados en cuanto a sus atributos cualitativos y cuantitativos de manera que entre ellos exista adaptación y ajuste.

Los ecosistemas incoherentemente organizados son aquellos cuyos componentes no están bien balanceados en lo que se refiere a sus atributos de funcionamiento o de almacenamiento de materia, energía e información. Pueden presentar, además, conexiones entre los componentes que no correspondan a los requerimientos de flujo de elementos, o de ellos y las características de los componentes.

Estilo ecosistémico puede ser definido como el tipo de componentes y conexiones del estado de un sistema ecológico. De acuerdo al tamaño y arreglo de los componentes y conexiones del sistema puede generarse estructuras y comportamientos de la más diversa índole tales como: pradera, bosque o cultivo. Es equivalente a melodía.

Dada la definición de melodía, no existe necesariamente un estilo óptimo de sistema ecológico sino que la decisión debe ser concordante con el propósito del sistema, de acuerdo con algún criterio de

optimización o satisfactum. El estilo del sistema se puede modificar al transformarse su estado, el cual, sin que necesariamente modifique su balance o armonía, concluye en un nuevo estado, representativo de otro estilo de componentes y conexiones.

Periodicidad puede ser definido como la proporción de tiempo guardada entre el acaecimiento de un evento y los demás. La variabilidad ambiental regulada a menudo por mecanismos externos centrados en eventos tales como la rotación de la tierra en torno a su eje, la descripción de una órbita alrededor del sol, la circulación de la luna en torno a la tierra provoca ciclos ambientales que describen variaciones ondulatorias de amplitudes y longitudes variables de acuerdo al proceso, lo cual en algunos casos es de sólo 24 horas, en otro de 365 días y en otros puede ser aún mayor.

La variabilidad rítmica del ecosistema puede ser cíclica, en cuyo caso el estado final al término del ciclo es análogo al estado inicial al comenzarse el ciclo. A menudo, la variación del estado ecosistémico puede ser direccional, en el caso que la diferencia de estados entre el inicio y fin de cada uno de los ciclos sean de igual signo y guarden una cierta proporción de magnitud. Una tercera situación ocurre cuando las variaciones son irregulares no direccionales.

El origen de la ritmicidad del cambio de estado ecosistémico, no requiere necesariamente de una causa natural. La intervención antrópica sobre el sistema en eventos tales como cosecha o aplicación de estímulos tales como siembras, araduras, riegos, u otros, le infringen una ritmicidad al sistema diferente de la que ocurriría en forma natural.

Los atributos de balance, estilo y periodicidad del sistema ecológico son en cierta forma, análogos a lo que en música se conoce como armonía, melodía y ritmo, respectivamente. Cualquiera que sea el sistema

de que se trate, su estado debe reflejar una cierta aproximación o diferenciación en cada uno de estos atributos en relación al óptimo o satisfactum.

#### IV. VALORES Y DEBERES

Un problema o una situación problemática existe cuando se experimenta una necesidad o demanda para mejorar a través de alguna clase de actividad o búsqueda de una situación existente hacia otra situación imaginada, una situación objetivo, que no puede ser alcanzada inmediatamente o por cualquier actividad habitual o automática (Nordbeck, 1971). No existe un criterio objetivo para determinar la existencia de un problema. Existe un problema, según Clark y Cole (1973) si se piensa que una situación es indeseable y se requiere de una acción con el propósito de mejorarla (Duek y Gastó, 1977).

Los tres atributos esenciales del ecosistema: armonía, estilo y periodicidad pueden presentarse en estado distinto del óptimo o igual a él. Armonía es un atributo propio del sistema que no puede ser modificado de acuerdo a algún objetivo entrópico. El estado del sistema ecológico debe presentar un grado de armonía o balance entre sus componentes y conexiones. La diferencia que pudiera existir entre el grado de balance natural en el estado en que se encuentra y su balance óptimo no depende de ningún criterio entrópico de optimización.

La periodicidad del sistema es también un atributo natural cuyo óptimo debe aproximarse a la maximización de la armonía del sistema. Tanto la periodicidad como la armonía pueden ser modificadas alterándose los componentes o las conexiones o al variarse los lapsos entre los eventos del sistema.

El estilo de un sistema determinado, al contrario de los dos anteriores, puede variarse considerablemente de acuerdo a algún objetivo

antrópico. Este objetivo está usualmente relacionado con la magnitud y atributos de los estímulos que se adicionan al sistema y de su respuesta. Dado que la respuesta del sistema es función tanto de los estímulos como de la arquitectura del sistema, es posible modificar a cualquiera de ellos o a ambos, con el fin de lograr una optimización antrópica de la respuesta.

Ello, sin embargo, no debe ser una decisión totalmente arbitraria, pues a nivel de la biósfera también debe existir un cierto grado de armonía y, por lo tanto, cualquier incremento de los estímulos aplicados a un ecosistema dado, debe provenir necesariamente de un incremento de la extracción o cosecha desde otros ecosistemas a los cuales, a la vez, se les puede en esta forma degradar, reduciendo así su grado de armonía. El incremento de la respuesta del ecosistema, provocado por un incremento descontrolado de los estímulos o por un cambio no armónico de su arquitectura puede provocar una concentración excesiva de residuos en la biósfera, situación que a la larga tiende a alterar la armonía propia de otros ecosistemas.

Las limitantes ecológicas al desarrollo del hombre en la biósfera deben tener su origen en algún criterio antrópico de optimización del estilo del ecosistema que no esté divorciado de la optimización de su armonía y periodicidad; como asimismo, de la mantención de la armonía que debe existir en el nivel superior de complejidad, el de la biósfera, lo cual tampoco debe ser deteriorado.

Los recursos naturales renovables constituyen el marco donde ha evolucionado y desarrollado la especie humana. Los diversos componentes y conexiones del sistema del recurso natural donde el hombre vive y del cual usufructa constituyen los bienes que son necesarios para su subsistencia. Algunos de los elementos del sistema son útiles a la especie. Otros, en cambio, se utilizan para modificar el habitat, tendiente a

una optimización del medio donde la especie se desarrolla. Un tercer grupo de elementos del ecosistema no son de beneficio directo para la especie, sino que cumplen funciones específicas en el sistema, que permiten su normal funcionamiento, lo cual es de beneficio antrópico.

La especie humana evolucionó como un componente más del sistema. Su dominio sobre la materia y energía le permitió apoderarse del nicho, habitat y territorio de organismos de otras especies. Además, el crecimiento numérico de la especie, además del incremento de sus necesidades, ha ido elevando los requerimientos del recurso para satisfacer sus necesidades. Su capacidad de control sobre la materia y energía le permite cosechar elementos de los sistemas de recursos naturales de manera de satisfacer cualquier necesidad del grupo humano.

Algunos de los elementos que se retiran del sistema ecológico, con el fin de satisfacer necesidades del momento de la especie o de los individuos, constituyen componentes o conexiones vitales para el normal funcionamiento del sistema. Nace aquí, entonces, un conflicto de intereses entre la cosecha de elementos del sistema para satisfacer la especie y la preservación del recurso natural, que pretende mantener los elementos vitales del sistema natural para optimizar su funcionamiento.

La cosecha de los elementos esenciales del sistema es conflictiva con su normal funcionamiento. Mientras mayor es la intensidad de cosecha los beneficios directos para la especie se incrementan, pero, dado que el sistema se deteriora, los beneficios posteriores provenientes de su funcionamiento se reducen. En el caso que la cosecha sea máxima, el sistema se destruye completamente.

Nace, en esta forma, un conflicto natural entre agricultura y preservación. La agricultura centra su atención en la artificialización y cosecha antrópica del sistema, lo cual provoca cambios de estado del sistema.

La preservación, a su vez, tiende a minimizar los cambios de estado del sistema, de manera de aproximarse al estado natural.

Dado que existe un conflicto de intereses entre el valor que tienen para la especie y los individuos, los diversos elementos retirados del sistema como cosecha y el valor de éstos como constituyentes del ecosistema, el cual a su vez es de beneficio antrópico, debe valorarse en alguna forma las decisiones que se toman en torno a ello.

Existe una clara diferencia entre el valor del cambio de los bienes y su valor intrínseco, el primero de los cuales está regulado por la ley de la oferta y la demanda. Las modalidades de organización social, cultural y política de la especie humana ha tendido hacia una tergiversación del valor de cambio en relación a su valor intrínseco.

En el manejo de recursos naturales renovables debe tenderse a la optimización de los bienes con mayor valor para la especie, aunque circunstancialmente, por razones de oferta y demanda exista una distorsión en relación a su valor intrínseco. En el proceso de mejoramiento de la calidad de vida, debe buscarse mecanismos que permitan valorar los recursos naturales renovables en la magnitud del beneficio que de ellos se deriva para la especie. Cualquier tergiversación de ello, significa a la larga, una reducción de la calidad de vida.

De lo anterior nace la necesidad de ajustar el estilo de ecosistema a algún propósito antrópico. Frecuentemente el propósito de la optimización del sistema puede ser la maximización de la productividad. A menudo, el interés antrópico se centra en optimizar la estética del sistema con el fin de satisfacer ciertas necesidades antrópicas.

Cualquiera que sea el estilo del ecosistema, debe buscarse el establecimiento de un justo equilibrio entre su óptimo y los requerimientos antrópicos del momento y a largo plazo. La modernización de la agricultura

debe plantearse sobre la base del valor entrópico de los recursos naturales y del efecto de la artificialización y preservación sobre la calidad de vida.

El deber ha sido definido como la obligación de ejecutar un acto de dejar de hacerlo, de realizar un valor o apartarse de un no-valor. En el caso de los recursos naturales, las bases de su modernización deben estar contenidas dentro del valor del recurso. Las generaciones actuales, tienen el deber de compatibilizar el valor de los recursos con las necesidades entrópicas con el fin de optimizar la calidad de vida. La modernización de la agricultura, debe estar contenida dentro del marco de valores y deberes.

## BIBLIOGRAFIA

El presente estudio está basado en las publicaciones que a continuación se indican, algunas de las cuales han sido extractadas parcialmente.

- Armijo T., R., Nava C., R., y Gastó C., J. 1976. Fundamentos de transformación de ecosistemas. Univ. Autónoma Agraria Antonio Narro. Monog. Técnico-Científica 2: 1-57. Saltillo, Coahuila, México.
- Gastó C., J. 1977. Manejo del ecosistema como estrategia del desarrollo. En, Orrego V., F. Escasez mundial de alimentos y materias primas. Inst. Estudios Internacionales, Universidad de Chile: 143-179. Universitaria, Santiago, Chile.
- Gastó C., J. 1979. Ecología. El hombre y la transformación de la naturaleza. Edit. Universitaria. Santiago, Chile. (Libro en prensa).
- Gastó C., J., y Cañas C., R. 1975. Modelo simulado de funcionamiento del ecosistema silvoagropecuario. Univ. Autónoma Agraria Antonio Narro. Monog. Técnico-Científica 1: 1-71. Saltillo, Coahuila, México.
- Gastó C., J., Nava C., R. y Armijo T., R. 1976. El ecosistema silvoagropecuario. Entificación y atributos. Univ. Autónoma Agraria Antonio Narro. Monog. Técnico-Científica 2: 180-249. Saltillo, Coahuila, México.
- Nava C., R., Gastó C., y Armijo T., R. 1976. Arquitectura eco istémica. Fundamentos y génesis. Univ. Autónoma Agraria Antonio Narro. Monog. Técnico-Científica 2: 738-855. Saltillo, Coahuila, México.
- Nava C., R., Armijo T., R. y Gastó C., J. 1979. Ecosistema. La unidad de la naturaleza y el hombre. Editorial Universitaria Autónoma Agraria Antonio Narro. (Libro en Prensa). Saltillo, México.
- Se ha consultado además, las siguientes publicaciones:
- Becht, G. 1974. Systems theory. The key to holism and reductionism. Bio-Science 24: 569-579.
- Bertalanffy, L. von. 1968. General system theory. George Baziller. N.Y.
- Billings, W.D. 1968. Las plantas y el ecosistema. Herreno Hnos. S.A. México. 168 p.

- Boulding, K.L. 1956. General systems theory. The skeleton of science. *Management Science*: 2: 198-199.
- Bunge, M. 1969. *La investigación científica*. Ariel. Barcelona. 955 p.
- Caswell, H., Koenig, H.E., Resh, J.A., y Ross, Q.E. 1972. En, Patten, B.C. (ed). *System analysis and simulation in ecology*. Vol. 2. Academic Press. N.Y.
- Distefano, J.J., Stubberude, A.R., y Williams, I.J. 1967. *Feedback and control systems*. Schaum Publishing Co. N.Y.
- 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.
- Frank-Kamenetski, D.A. 1970. *El plasma, cuarto estado de la materia*. Editorial MIR. Moscú. 253 p.
- Hartmann, F. 1960. *Ontología*. Fondo de Cultura Económica. México. 576 p.
- Klir, G.J. 1969. *An approach to general systems theory*. Van Nostrand Reinhold, N.Y.
- Levins, R. 1970. *Towards a theoretical biology*. En, Waddington, C.H. (ed). *Drafts*, Edinburgh Univ. Press.
- Locker, A. 1973. Systemogenesis as a paradigm for biogenesis. En, Locker, A. (ed). *Biogenesis, evolution, homostasis. A symposium by correspondence*. Springer-Verlag. N.Y.
- Maelzer, D.A. 1965. Environment, semantics and system theory in ecology. *J. Theoret. Biol.* 8: 395-402.
- Maynez del R., F., Armiño T., R. y Gastó C., J. 1975. *Clínica ecosistémica silvoagropecuaria. Fundamentos y metodología*. Univ. Autónoma Agraria Antonio Narro. *Monografía Técnico-Científica* 1: 72-136. Saltillo, México.

- Odum, E.P. 1972 Ecosystem theory in relation to man. En, Wiens, J.A. (ed). Ecosystems structure and function. Oregon State Univ. Press: 11-24.
- Patten, B.C. 1971. A primer for ecological modeling and simulation with analog and digital computers. En, Patten, B.C. (ed). System Analysis and Simulation in Ecology. Vol. 1. Academic Press. N.Y.
- Reichenbach, H. 1953. La filosofía científica. Fondo de Cultura Económica. México. 334 p.
- Simon, H.A. 1965. General systems 10: 63.
- West, N.E. 1964. Contribution of plant synecology to pure and applied biology. The biologist 46: 73-80.