UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

MONOGRAFIA TECNICO-CIENTIFICA VOLUMEN 2 NUMERO I

Juan Gastó

FUNDAMENTOS DE TRANSFORMACION DE ECOSISTEMAS

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

ENERO, 1976
SALTILLO, COAHUILA, MEXICO

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

MONOGRAFIA TECNICO-CIENTIFICA VOLUMEN 2 NUMERO 1

FUNDAMENTOS DE TRANSFORMACION DE ECOSISTEMAS

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

ENERO, 1976
SALTILLO, COAHUILA, MEXICO

El presente estudio fué realizado dentro del Proyecto Especial de Desarrollo de Zonas Aridas y Semiáridas de la Organización de Estados Americanos. Este proyecto se realiza por el Centro Nacional de Investigación de Zonas Aridas (C.N.I.Z.A.) de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".

Para organizar nuestra gran estrategia debemos en primer lugar determinar el punto en que nos encontramos en el momento presente: es decir, cual es nuestra posición de navegación en el esquema general de la evolución universal.

R. Fuller, 1973

INDICE

FUNDAMENTOS DE TRANSFORMACION DE ECOSISTEMAS°

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

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

La filosofía muchas veces no reporta nada, pero siempre ahorra mucho.

Shopenhauer

En ciencia silvoagropecuaria, como requisito previo a la transformación del ecosistema en sí, se debe tener un marco conceptual general que permita plantear los fundamentos del cambio. Dentro de este marco conceptual debe definirse con la mayor precisión al ecosistema origen que se pretenda transformar. Una vez definido al ecosistema origen, se requiere determinar su estado y elegir dentro de todas las posibles alternativas de óptimo, aquel estado que sea de mayor conveniencia antropogénica.

° Proyecto de investigación del Campo Experimental Noria de Guadalupe, Zacatecas, de la UAAAN.

* Físico-Matemático, M.S. en Ciencias. Profesor de Física y Matemáticas, Div. Ingeniería. UAAAN.

** Ing. Agrónomo, Profesor de Climatología e Investigador en Ecología y Pastizales. Div. Ciencia Animal. UAAAN.

*** Ing. Agrónom-, M.S., Ph.D. Profesor de Ecología y de Manejo de Pastizales. Div. Ciencia Animal. UAAAN.

Este proceso, que aparentemente es de lo más simple, conceptualmente es de gran complejidad. Es por ello que es necesario plantear cuidadosamente, previo a la ejecución de la transformación, las etapas analíticas de desenvolvimiento de la solución del problema. Lo anterior no es otra cosa que la elaboración del algoritmo ad hoc basado en fundamentos generales de elaboración de algoritmos silvoagropecuarios.

El algoritmo de transformación es una representación analógica del proceso real que permite penetrar dentro del dominio de la predicción de eventos, lo cual es uno de los objetivos fundamentales de la ciencia. Mediante lo anterior es posible simular una amplia gama de alternativas de transformación y elegir aquella más próxima al óptimo.

En la práctica es necesario ejecutar el algoritmo analógico de manera tal que se provoque el cambio de estado del ecosistema origen dirigido hacia su estado meta u óptimo. Esta operación involucra la aplicación de energía y materia, siguiéndose una estrategia, definida previamente en el algoritmo. El concepto de operador funcional involucra la aplicación de cierto trabajo regido por una estrategia definida, de tal manera que provoque el cambio de estado programado.

La transformación de ecosistemas acaece constantemente en los componentes del ecosistema origen, no requiriéndose de parte de quien realiza esta transformación de un conocimiento científico. El objetivo de este trabajo es presentar un procedimiento general que permita predecir, con una mayor probabilidad, que la transformación que se lleve a cabo en la práctica sea óptima; no es, por lo tanto, dar recetas de transformación de ecosistemas.

EL ECOSISTEMA ORIGEN

Todas las cosas acaban por descomponerse cuando se pierde la noción de la sencillez fundamental.

R. Tagore

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. Conección y relación en cualquier sistema dinámico significa transporte de materia, energía e información (Becht, 1974; Distefano et al., 1967; Odum, 1972; Máynez, Armijo y Gastó, 1975).

El estado del ecosistema origen E_i^j está definido por:

$$\rho = \rho(\varepsilon,\beta) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$$\beta = \beta(\varepsilon,\Lambda) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

$$\Lambda = \Lambda(\eta,\sigma);\ \sigma = \sigma(\eta) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

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 1).

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 silvoagropecuario 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 un criterio de optimización antropogénica (Maynez, Armijo y Gastó, 1975).

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

El estado de cada uno de estos componentes está definido por las mismas formas funcionales dado por las ecuaciones (1)...

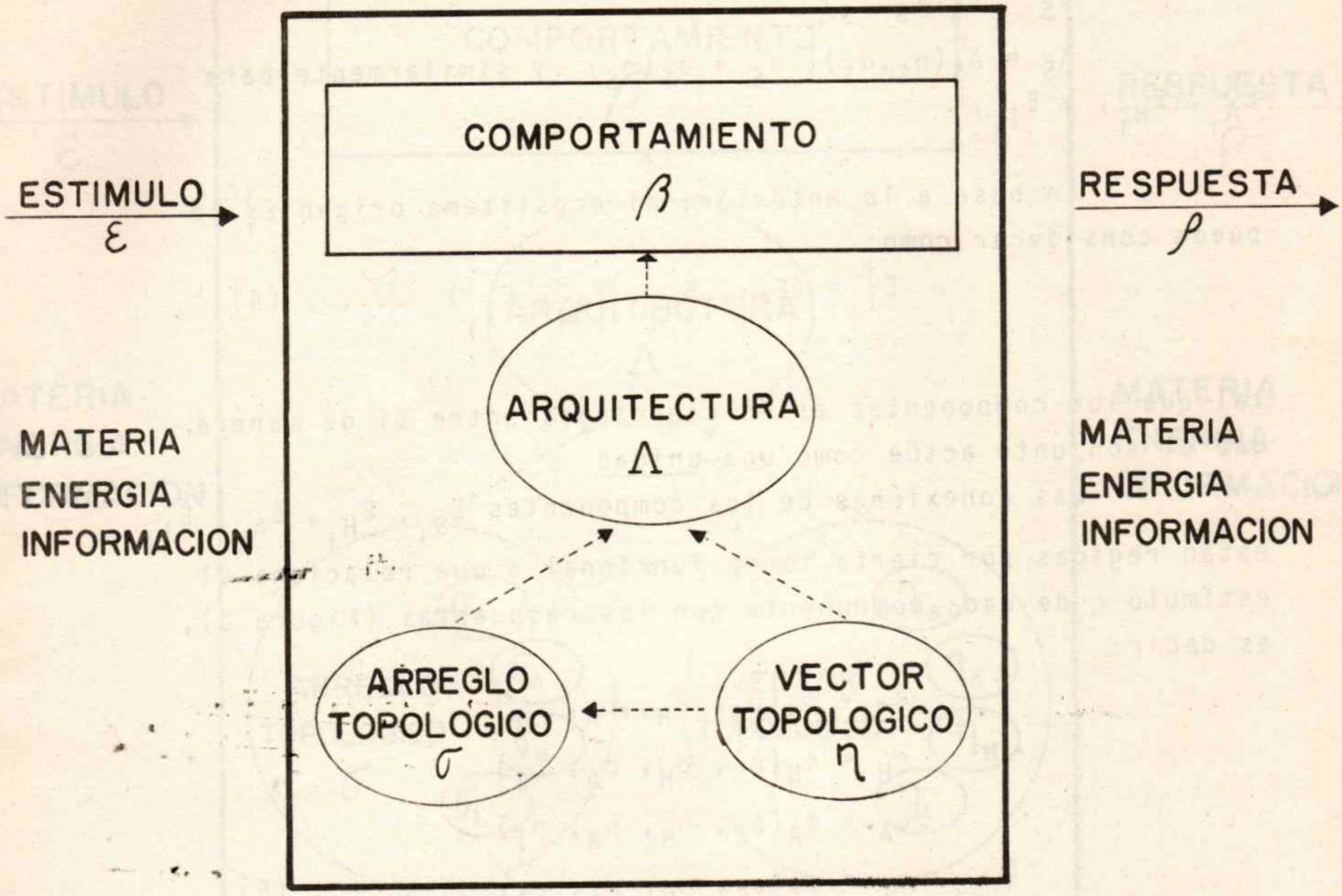


Figura 1. Representación esquematizada de los factores que condicionan el comportamiento ecosistémico (Maynez, Armijo y Gastó, 1975).

(3); en otras palabras, E_{S_i} está definido por:

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

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

$\Lambda_S = \Lambda_S(\eta_S, \sigma_S)$; $\sigma_S = \sigma_S(\eta_S)$ y similarmente para E_{A_i}, E_{H_i}, y E_{I_i}.

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

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

tal que los componentes estén conectados entre sí de manera que el conjunto actúe como una unidad.

Las conexiones de los componentes E_{S_i}, 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 2), es decir:

$$\varepsilon_S = \phi_S(\rho_S, \rho_H, \rho_A, \rho_I)$$

$$\varepsilon_H = \phi_H(\rho_S, \rho_H, \rho_A, \rho_I)$$

$$\varepsilon_A = \phi_A(\rho_S, \rho_H, \rho_A, \rho_I)$$

$$\varepsilon_I = \phi_I(\rho_S, \rho_H, \rho_A, \rho_I) \quad ; \quad ...... (5)$$

Se puede suponer, como una primera aproximación, que ϕ tiene un carácter lineal, de manera que el estímulo se represente como una combinación lineal de las respuestas (Figura 3). Simbólicamente se tiene que si ϕ tiene una forma lineal, entonces (Lang, 1969):

$$\varepsilon_S = \phi_S(\rho_S, \rho_H, \rho_A, \rho_I) = C_{11}\rho_S + C_{12}\rho_H + C_{13}\rho_A + C_{14}\rho_I$$

$$\varepsilon_H = \phi_H(\rho_S, \rho_H, \rho_A, \rho_I) = C_{21}\rho_S + C_{22}\rho_H + C_{23}\rho_A + C_{24}\rho_I$$

$$\varepsilon_A = \phi_A(\rho_S, \rho_H, \rho_A, \rho_I) = C_{31}\rho_S + C_{32}\rho_H + C_{33}\rho_A + C_{34}\rho_I$$

$$\varepsilon_I = \phi_I(\rho_S, \rho_H, \rho_A, \rho_I) = C_{41}\rho_S + C_{42}\rho_H + C_{43}\rho_A + C_{44}\rho_I$$

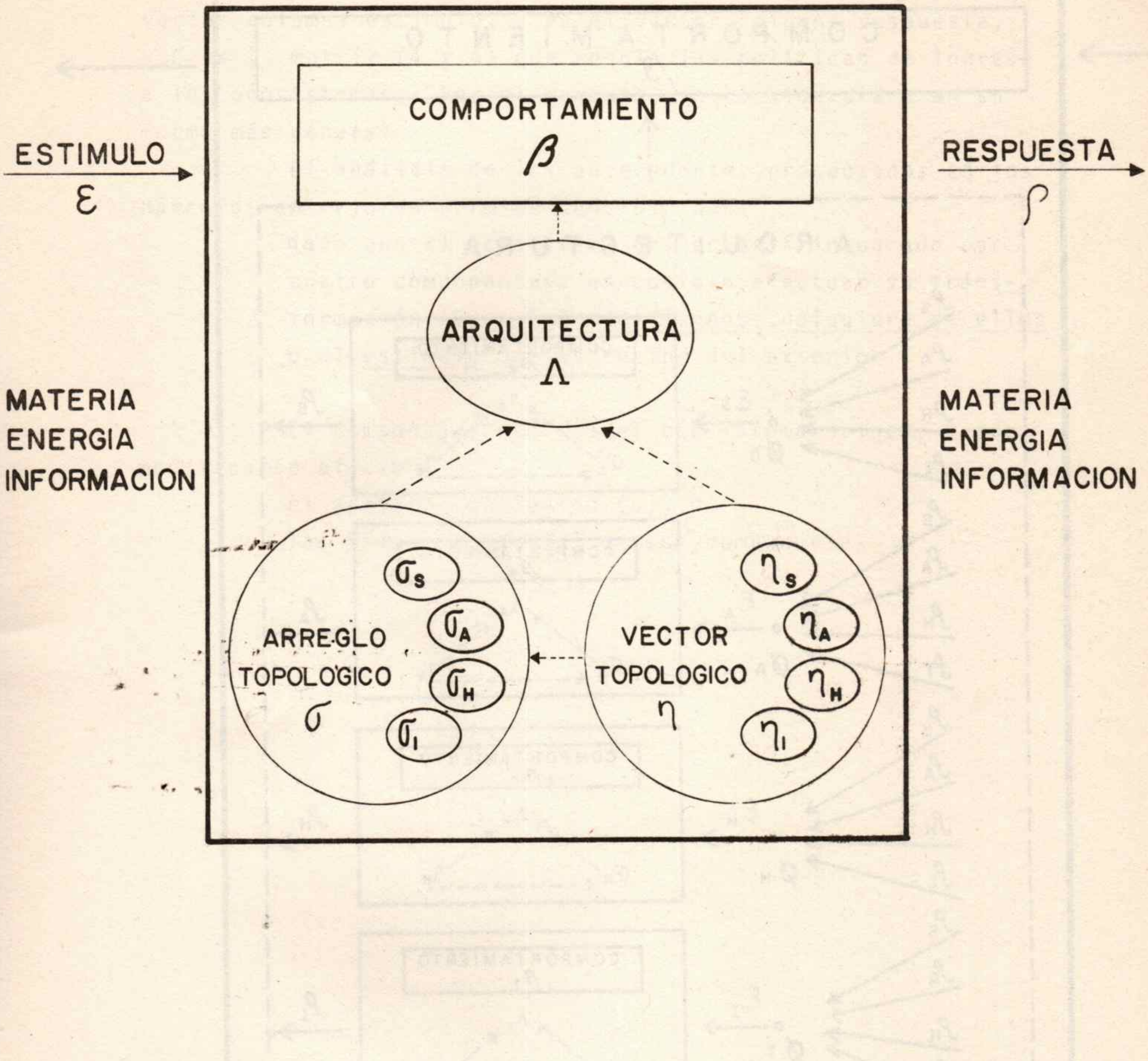


Figura 2. Representación conceptual del ecosistema origen y sus componentes.

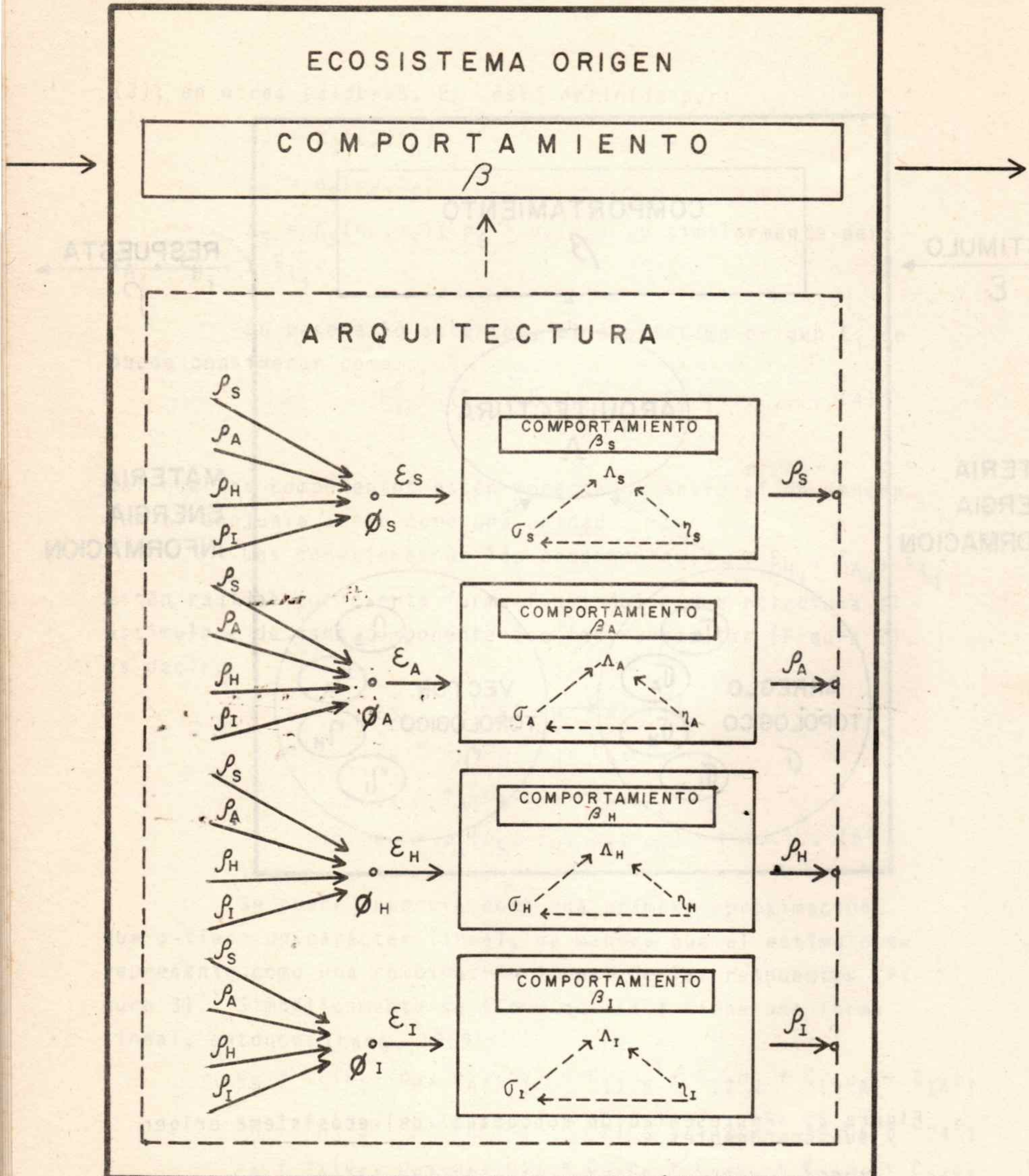


Figura 3. Representación gráfica del ecosistema orígen, indicándose la relación estímulo-respuesta de sus componentes.

lo cual se puede representar como: $I = CR$; de donde: I es el vector columna estímulo, R es el vector columna respuesta, y C es la matriz (4 x 4) que regula las políticas de ingreso a los ecosistemas. Por el momento, se considerará ϕ en su forma más general.

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 ($E_i \rightarrow E_k$) <u>modificando cualquiera de ellos</u> o al <u>estímulo</u> que se recibe del exterior.

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

> el arreglo topológico (σ), o
>
> las dimensiones (η_2) de sus componentes

TRANSFORMACION DEL ECOSISTEMA

Nuestro impacto sobre el medio es una consecuencia de la clase de gente que somos y de la sociedad que hemos formado.

T.R. Detwyler, 1971

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, o

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:

$$E_i^j \xrightarrow{\pi_{io}^{\ell}} E_o^j \rightarrow \{E_{S_i}, E_{A_i}, E_{H_i}, E_{I_i}\} \xrightarrow{\pi_{io}^{\ell}} \{E_{S_k}, E_{A_k}, E_{H_k}, E_{I_k}\} \quad (6)$$

de donde π_{io}^{ℓ} es el operador ecosistémico que permite efectuar el cambio de estado a través de una ruta ℓ. Lo anterior, sin 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 éstos 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 funcional π_{ik}^{ℓ} 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 ℓ. Estas operaciones funcionales ecosistémicas dependen de los estímulos endógenos y exógenos incidentes en el ecosistema.

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

Concepto de operador funcional

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}^{ℓ} con los estímulos, implica la existencia de una función ω 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 <u>probabilidad de efectuar el cambio</u>. Lo anterior motiva la siguiente definición:

Sea P la probabilidad de llegar de un estado E_i a un estado E_j a través de una ruta ℓ, con la aplicación de un operador funcional π_{ij}^{ℓ}. Esta <u>probabilidad estadística</u> está dado por:

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

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.

La anterior definición involucra la consideración de los tres casos en los cuales la probabilidad P_{ij} puede presentarse:

Caso 1. E_i, π_{ik}, dados.

De un conjunto finito de alternativas de estados finales E_k, la probabilidad de llegar a un estado E_j arbitrario al aplicar un π_{ik} dado, está dado por P_{ik}.

Caso 2. E_i, E_j, dados.

De un conjunto finito de alternativas de operadores ecosistémicos π_{nk}, la probabilidad de seleccionar aquel que permita efectuar la transformación de $E_i \rightarrow E_j$, está dada por P_{ij}.

Caso 3. Caso general. E_i, E_j y π_{ij}, dados.

De un conjunto finito de alternativas de estados finales E_j y de operadores π_{ij}; la probabilidad de llegar al estado E_j arbitrario, luego de seleccionar el operador, también arbitrario, está dado por P_{ij}.

Discusión de los casos

Caso 1.

La situación presentada en este caso es la más usual en el área agrícola. Consiste en aplicar un tratamiento cualquiera u operador, tal como una dósis determinada de un fertilizante a un cultivo y suelo determinado y medir el resultado, cualquiera que éste sea. La inferencia a priori se lleva a cabo bajo la suposición de ocurrencia del fenómeno en situaciones análogas.

Este caso, podría compararse al de una persona que tomara un autobús sin conocer su destino, las probabilidades de llegar a su objetivo dependerá del número de veces que tome el autobús y la frecuencia de coincidencias de destinos. En el ejemplo anterior el fertilizante hace el papel del autobús y los distintos tipos de suelos, climas y cultivos el de las rutas.

A menudo este procedimiento es necesario, siendo la única forma empírica de determinar funciones de comportamiento ecosistémico. En general, este caso debe ser considerado como previo al caso 2.

Caso 2.

Este caso se aplica a situaciones en que se conoce la meta o estado final, por lo cual debe elegirse la mejor alternativa de operador π que permita alcanzarlo, con mayor probabilidad.

El operador funcional ecosistémico, en agricultura, puede ser cualquier estímulo que se le adicione al ecosistema preseleccionado; por ejemplo, la aplicación de fertilizantes, riego, rastrajes, herbicidas, luz solar o cualquier otro.

La diferencia fundamental con el caso 1, radica en la elección del estado final que es el objetivo y el operador se elige para satisfacer probabilísticamente este objetivo.

Caso 3.

Este caso es el más común y corresponde a una combinación de los dos anteriores.

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

$$\pi_{ij}^{\ell} = R_{\ell}(\omega_{ij};\ t_{ij};\ P_{ij}),\ \text{con} \quad \ldots (7)$$

ω_{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_{ℓ} relación entre ω_{ij}, t_{ij}, y P_{ij} al seguir una ruta ℓ y pasar del estado i al j (Figura 4).

Un 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 ω_{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 fín de <u>cambiar</u> $\sigma(\eta)$. Una parte de la energía empleada se disipa, luego de ser utilizada para cambiar el arreglo topológico $\sigma(\eta)$. El arreglo topológico afecta el comportamiento β del ecosistema. Otra parte de esta energía puede ser <u>almacenada</u> en el sistema, siendo susceptible a liberarse posteriormente.

<u>Cambio de estado del ecosistema</u> significa alterar su comportamiento en cuanto a cambiar:

- Capacidad de <u>ingestión</u> de estímulos
- Capacidad de <u>asimilación</u> de estímulos
- Capacidad de <u>transformación</u>
- Capacidad de <u>almacenamiento</u> de los componentes topológicos
- Capacidad de <u>conducción</u> de los estímulos

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.

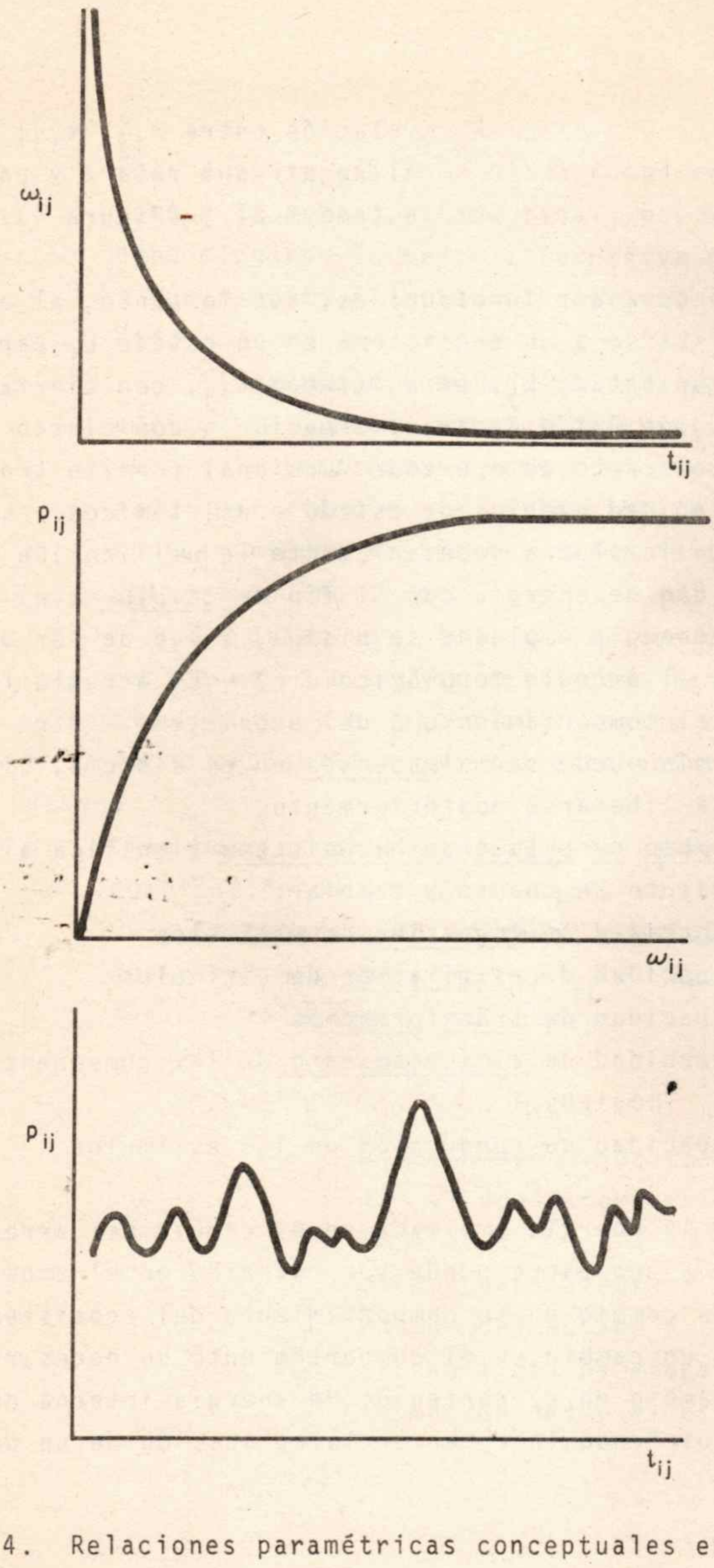


Figura 4. Relaciones paramétricas conceptuales entre ω_{ij}, p_{ij} y t_{ij}.

Operador funcional ecosistémico

Un operador funcional ecosistémico de mantención es aquel que cuya aplicación a un sistema en estado E_i permite que al término del tiempo τ, su estado continúe siendo E_i. Conceptualmente tiene un significado análogo al operador funcional de transformación, diferenciañdose sólo porque el primero debe permitir que ΔE_{ij} sea igual a cero en el tiempo τ. Simbólicamente se tiene:

$$E_i(t_1) \overset{\pi_{ij}^{\ell}}{\rightarrow} E_i(t_2) \text{ y con } \tau = t_2 - t_1 \quad (8)$$

El tiempo τ debe corresponder a un ciclo que puede ser de 1 año en el caso de los cultivos anuales, de varios años en el caso de las rotaciones de cultivos o, incluso de siglos, en el caso de algunos bosques. En las rotaciones de cultivos se tiene:

$$E_i(t_1) \overset{\pi_{ij}^{\ell}}{\rightarrow} E_j(t_2) \overset{\pi_{jk}^{\ell}}{\rightarrow} E_k(t_3) \overset{\pi_{ki}^{\ell}}{\rightarrow} E_i(t_4) \quad (9)$$

Uno de los operadores funcionales de mantención, de mayor frecuencia en su aplicación es la cosecha misma. Bajo tales circunstancias, conceptualmente, podría establecerse que existe en el ecosistema dos operadores que actuan alternadamente. El primero de ellos hace que el ecosistema original acumule energía a través del crecimiento biocenósico. En la segunda fase, la energía acumulada es retirada del sistema a través del proceso de cosecha. En esta forma si se tiene un sistema original E_i y se aplica un operador funcional π_{ij}^{ℓ} se llega al estado E_j. La diferencia entre E_i y E_j es el cambio de estado y corresponde a la productividad neta del cultivo.

Si la totalidad del cambio de estado ΔE_{ij} es acumulado como energía y materia aprovechable, con alto grado de organización, se tiene:

$$\Delta E_{ij} = \rho \text{ ; para } \tau = t_2 - t_1 \text{ .... (10)}$$

En este caso se tiene que aplicar un operador funcional que permita hacer que:

$$E_j(t_2) \overset{\pi^{\ell}_{ji}}{\rightarrow} E_i(t_3), y$$

para el cual la respuesta debe de ser igual a ΔE_{ji}. Por lo tanto, se puede concluir que:

$$E_i \overset{\overset{+}{\pi}_{ij}}{\rightarrow} E_j \overset{\overset{-}{\pi}_{ji}}{\rightarrow} E_i \quad \text{ó} \quad E_i \overset{\overset{\circ}{\pi}}{\rightarrow} E_i \text{ con } \overset{\circ}{\pi} = \overset{+}{\pi} * \overset{-}{\pi} \text{ (11)}$$

denominado a $\overset{\circ}{\pi}_{ii}$ como un operador funcional de mantención.

COMPORTAMIENTO ECOSISTEMICO

...... para que las mediciones tengan algún significado deben hacerse donde, cuando y como corresponda ya que la entificación es mas importante que la cuantificación.

V. Parin y R. Baievsky, 1969

Definición

La función β representa el comportamiento de un estímulo ε_i a través de una ruta r_i al interactuar con el arreglo topológico $\sigma(n)$ del ecosistema. Una ruta r_i del estímulo ε_i, en el sistema, corresponde a la forma de fluir de este estímulo. La interacción del estímulo con el ecosistema, significa cambios en el contenido de información en el estímulo, lo cual acontece en cada nodo, estando definidos por cierta función β_n que depende de $\sigma(n)$ y del nivel del estímulo que incide sobre ese nodo. Los nodos pueden ser de varios tipos (Figura 5), a saber:

Tipo 1: estímulo simple--respuesta múltiple
Tipo 2: estímulo simple--respuesta simple
Tipo 3: estímulo múltiple--respuesta simple
Tipo 4: estímulo múltiple--respuesta múltiple

En general es preferible usar el tipo 1, en el cual la respuesta son dicotómicas (Fuller, 1973). En cada caso, sin embargo al construir el algoritmo general de comportamiento del sistema debe elegirse el tipo de nodo más adecuado.

Para poder conocer el comportamiento total del sistema es necesario conocer el comportamiento de β_n de cada nodo. Este comportamiento β_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 β_n para cada nodo es la de modificar en cierto grado el contenido entrópico de cada estímulo.

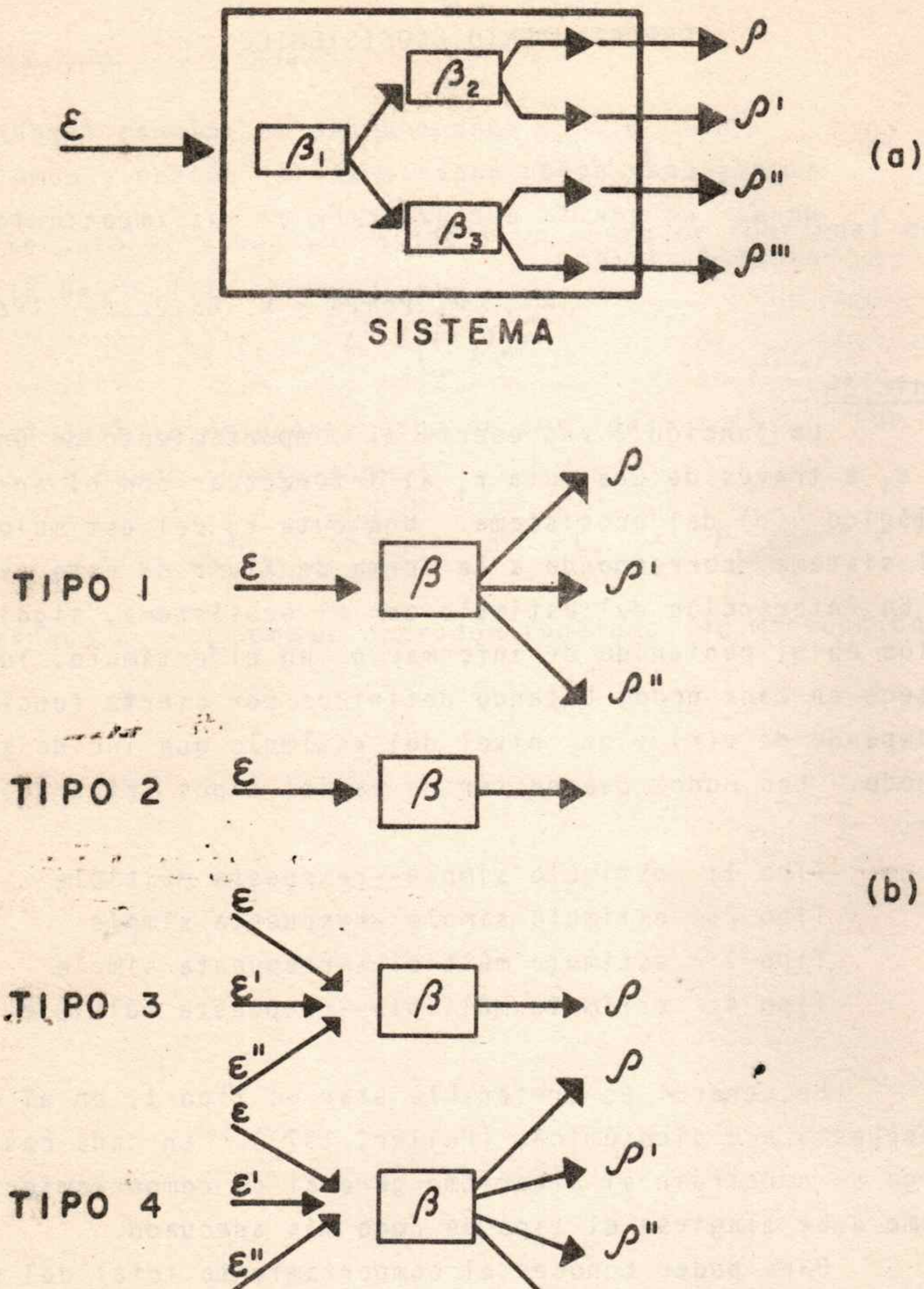


Figura 5. Esquema de un ejemplo del algoritmo general de comportamiento (a) y sus tipos de nodos (b).

El comportamiento total β del ecosistema representa por lo tanto, el conjunto $\{\beta_1, \beta_2, ..., \beta_n\}$ de las diversas funciones de comportamiento de cada nodo; siendo éste el algoritmo analógico de funcionamiento del ecosistema.

El ecosistema recibe estímulos ε_i de naturaleza muy variada, los cuales se comportan de acuerdo con el arreglo topológico $\sigma(\eta)$ y del estímulo mismo, emitiendo como consecuencia diversos tipos de respuestas ρ. Estas respuestas pueden ser consideradas como respuestas potenciales, puesto que una fracción de ellas puede ser retirada y convertirse en estímulos para otros ecosistemas o incorporarse nuevamente al mismo ecosistema en forma de estímulos. La fracción que permanece dentro del sistema se incorpora al arreglo topológico original $\sigma_i(\eta)$ transformándose a $\sigma_{i+1}(\eta)$ (Figura 6). Esta transformación acaece en el tiempo, modificando éstas al comportamiento β_n de cada uno de los nodos. Por lo tanto, conceptualmente la dependencia en el tiempo de β_n proviene exclusivamente de la variación en el tiempo del arreglo topológico de sus elementos.

El concepto anterior representado en la figura 6 se puede concebir como un efecto de retroalimentación hacia un mecanismo cibernético de control de estímulos y respuestas y, por consiguiente, del comportamiento β. Este mecanismo se denomina mecanismo cibernético de arquitectura y está regido por el conjunto de funciones $\sigma(\eta)$ para cada tipo y nivel de estímulo. Las funciones $\sigma(\eta)$ dependen a su vez de los dos componentes de la variable vectorial η, dado por:

$$\eta = (\eta_1, \eta_2) \quad \text{de donde,}$$

η_1 = número de componentes

η_2 = dimensiones de los componentes

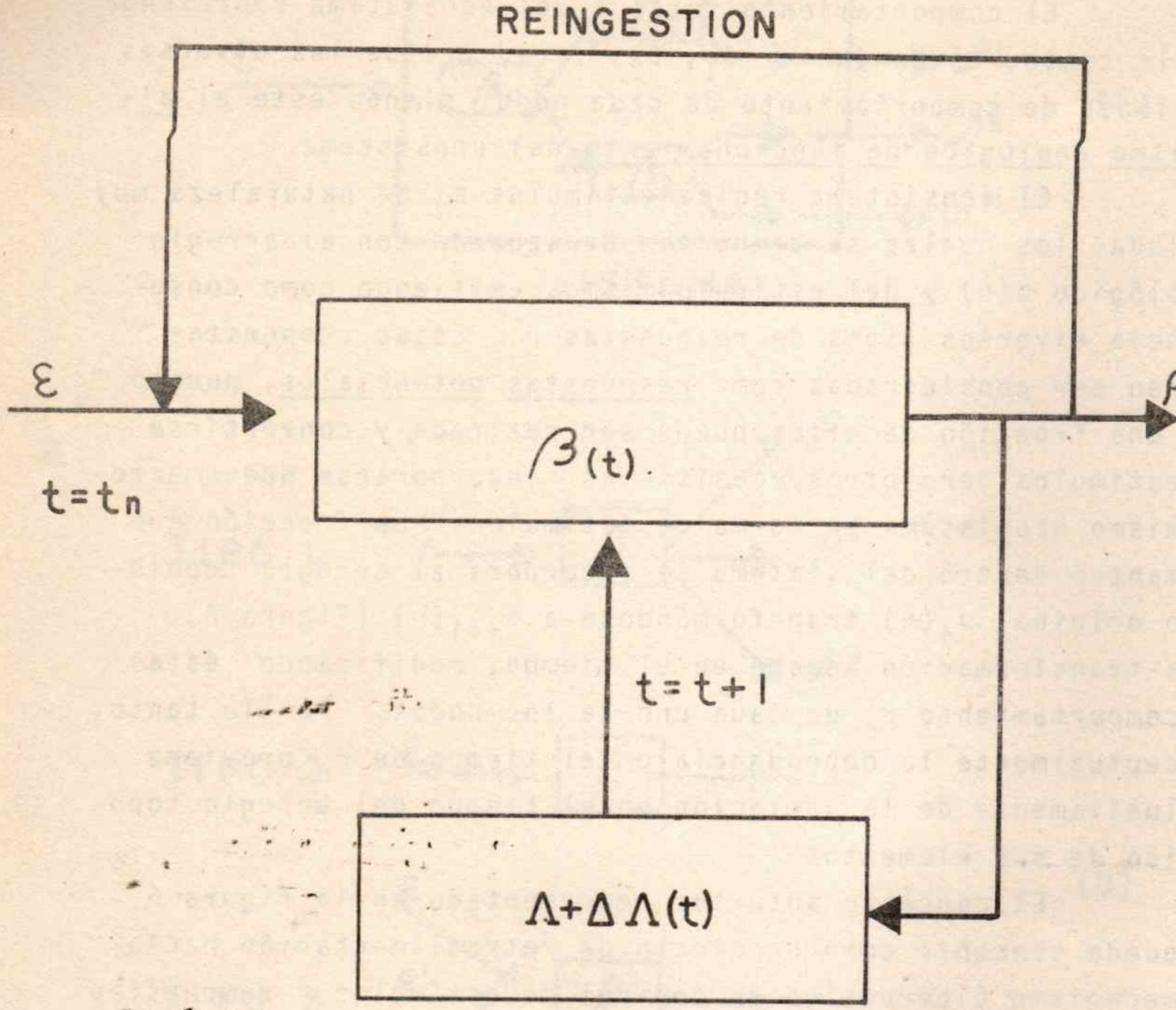


Figura 6. Mecanismo cibernético de comportamiento y cambio de arquitectura.

Cada ecosistema tiene un comportamiento general definido por un β total, el cual se puede agrupar a su vez en cinco partes:

β_I comportamiento de <u>ingestión</u> de estímulos

β_A comportamiento de <u>asimilación</u> de estímulos

β_T comportamiento de <u>transformación</u> de estímulos

β_Q comportamiento de <u>almacenamiento</u> de estímulo

β_C comportamiento de <u>conducción</u> de estímulos

De donde:

$$\beta_I = \beta_I(\sigma_I(\eta_I), \varepsilon)$$

$$\beta_A = \beta_A(\sigma_A(\eta_A), \varepsilon)$$

$$\beta_T = \beta_T(\sigma_T(\eta_T), \varepsilon)$$

$$\beta_Q = \beta_Q(\sigma_Q(\eta_Q), \varepsilon)$$

$$\beta_C = \beta_C(\sigma_C(\eta_C), \varepsilon)$$

$$\beta = \Psi(\beta_I, \beta_A, \beta_T, \beta_Q, \beta_C) = \beta(\sigma(\eta), \varepsilon) \quad \cdots (12)$$

<u>Componentes topológicos</u>

Puesto que los estímulos adicionados al ecosistema pueden ser: materia, energía e información, el arreglo topológico del sistema debe contemplar estructuras anátomo-morfológicas capaces de ingerir los estímulos, de acuerdo a su naturaleza y magnitud. Es por ello que no sólo debe de considerarse el arreglo topológico $\sigma(\eta)$ que está relacionado con el <u>nicho</u> correspondiente al componente, sino que su dimensión η_2, lo cual implica territorialidad del componente.

Los componentes del arreglo topológico $\sigma(\eta)$ de un ecosistema cualquiera, se pueden agrupar de acuerdo con su comportamiento en dos clases:

<u>Activos</u>

ingestión y captura
asimilación
transformación
conducción
almacenamiento
movilización

<u>Pasivos</u>

soporte y estructura
anclaje
defensa
cubierta

Los componentes topológicos <u>activos</u> son aquellos que debido a su arreglo topológico propio y a las características de los estímulos <u>intervienen</u> <u>directamente</u> en el comportamiento.

El concepto de <u>componente</u> <u>topológico</u> <u>activo</u> puede representarse analógicamente como un conjunto de filtros tales que dado un estímulo inicial se observe una respuesta como consecuencia de la intervención de este conjunto de filtros (Figura 7). Los arreglos topológicos que para un proceso dado de estímulo-respuesta, no interviene en ninguna de sus fases, son considerados como componentes topológicos <u>pasivos</u>.

Los componentes pasivos, sin embargo, no se comportan de manera <u>absoluta</u> como tales, puesto que <u>pueden</u> intervenir de manera directa sobre el <u>comportamiento</u> de los activos más <u>no</u> en el proceso estímulo-respuesta en sí.

Algunos procesos estímulo-respuesta β_Q, β_C y β_T pueden tener un comportamiento igual a cero, es totalmente transparentes.

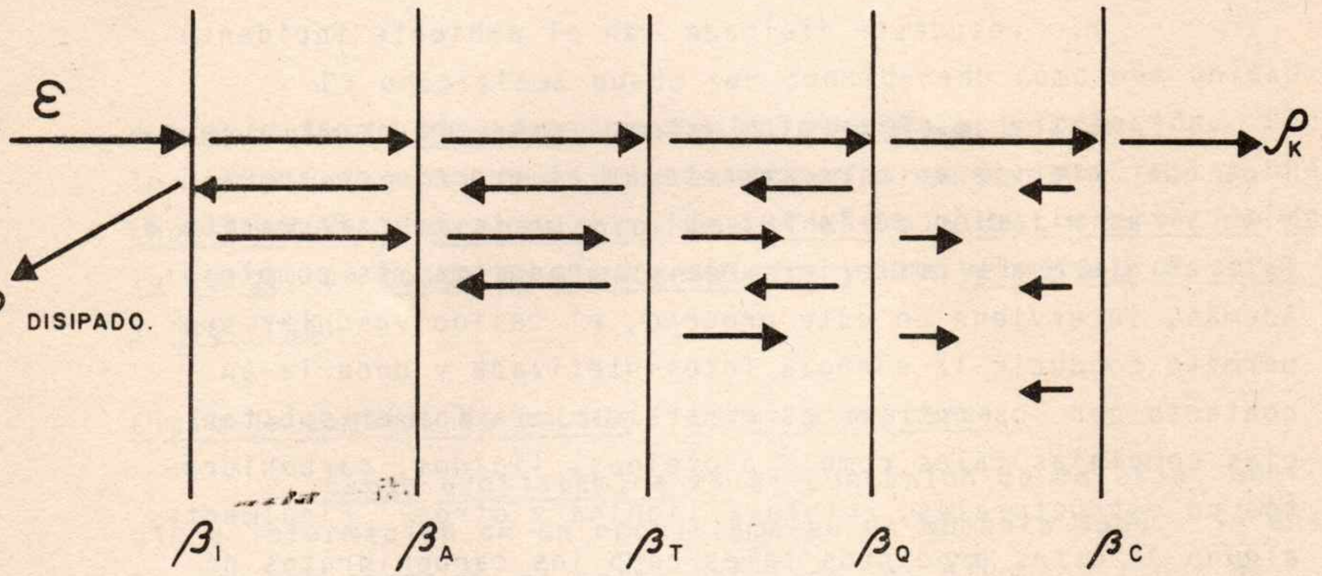


Figura 7. Analogía entre un sistema de filtros y el proceso estímulo-respuesto de los componentes topológicos activos del ecosistema.

Desde un punto de vista antropocéntrico, la respuesta del ecosistema se puede descomponer arbitrariamente en dos fracciones (Figura 7):

ρ_K respuesta utilizable por el hombre como estímulos

ρ_D respuesta disipada en el ambiente incidente

Entre los elementos activos cabe mencionar a aquellos que intervienen directamente en el proceso de ingestión y asimilación de la luz solar y en la transformación de ésta en glucosa y posteriormente en productos más complejos. Además, interviene en este proceso, el tejido vascular que permite conducir la energía fotosintetizada y ponerla en contacto con los nutrientes minerales para formar substancias complejas tales como: proteínas, lípidos, carbohidratos no estructurales, celulosa lignina y otros. Finalmente, alguno de estos productos tales como los carbohidratos no estructurales y los lípidos, pueden ser almacenados dentro ciertas estructuras.

PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA ECOSISTEMICA

Un organismo que crece tiene la capacidad de crear orden a expensas del medio cuya entropía o desorden aumenta correspondientemente.

Weyl, 1965

El ecosistema puede ser considerado como una unidad susceptible de almacenar, materia, energía e información. Por lo tanto, el ecosistema debe caracterizarse por manifestar una capacidad de almacenamiento, una eficiencia de conservación de la carga, un costo de almacenamiento y una velocidad de carga y descarga.

Ciclo de cambios de estado. Carga y descarga.

Carga ecosistemica es el contenido de materia, energía e información de un ecosistema en un momento dado. Se entiende por carga Q, el valor total de los diversos tipos de energía contenida en el ecosistema, en un instante dado. En otras palabras:

$$Q(t) = \Sigma c_i U_i(t) \quad .... (13)$$

U_i energía del tipo i contenida en el ecosistema

c_i coeficiente del valor ecológico de la calidad de energía que depende del contenido de información.

Se puede suponer que la densidad de carga δ_Q sigue la siguiente ecuación:

$$\frac{d}{dt}\delta_Q = Kf(\delta_Q;\ t); \varepsilon t\ (0,\tau)..(14)$$

de donde la función $f(\delta_Q)$ tiene una forma determinada, de acuerdo con el tipo de proceso de que se trate. Un caso especial de esta ecuación (Figura 8), está dado por:

$$\frac{dQ}{dt} = \zeta Q(A + BQ)......... (15)$$

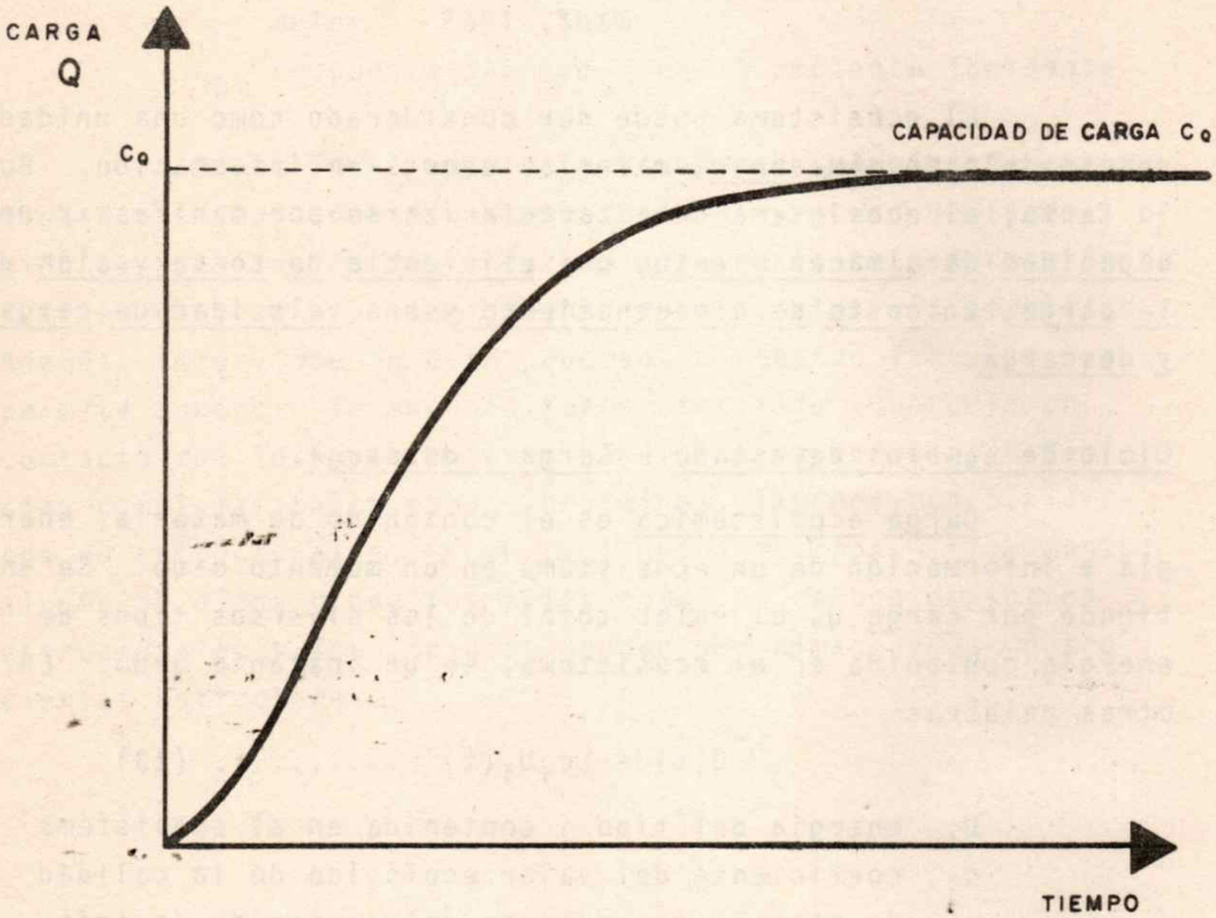


Figura 8. Caso especial de la función de carga ecosistémica.

que representa la ecuación logística de crecimiento en un ambiente limitado por la capacidad maxima de carga C_Q contenida en las constantes.

El cambio de estado del ecosistema es un proceso continúo y cíclico que consta fundamentalmente de dos etapas, una de carga y otra de descarga (Figura 9). La etapa de carga consta de dos partes separadas por un punto de inflección de la curva. En el sector correspondiente a $t_0 - t_1 = \tau_1$, la acumulación de carga se debe al proceso de transformación de los componentes topológicos, pudiéndosele denominar como la etapa de construcción del arreglo topológico diseñado. La segunda parte del período de carga corresponde al proceso de crecimiento del sistema, en el cual el cambio de Q, se origina principalmente en un incremento del valor de $\eta(t)$. Como se ha indicado anteriormente el cambio de η, implica necesariamente un cambio de $\sigma(\eta)$, pues no puede haber crecimiento si no existe un cambio topológico de la arquitectura. El período de descarga τ_D consta a su vez de dos partes τ_3 y τ_4; la primera parte corresponde a la cosecha de η, lo cual, al igual que en el caso anterior, tiene que venir acompañada de un cambio en el arreglo topológico.

La segunda parte de este período, consiste en la desarticulación de los componentes topológicos, concluyendo en la etapa final donde alcanza su Q mínimo.

En la figura 10 se presenta esquemáticamente los ciclos de cambio de Q en el ecosistema, por ser éstos de naturaleza períodica; en la gráfica se indican varios ciclos análogos sucesivos, tal como ocurre en τ_1, τ_3, τ_5, τ_7.

Los períodos denominados τ_2, τ_4, y τ_6, corresponden a las etapas de transición, a diversos niveles de Q; la etapa de transición se puede efectuar en cualquier instante, aunque en algunos instantes es mas conveniente o frecuente que en otros.

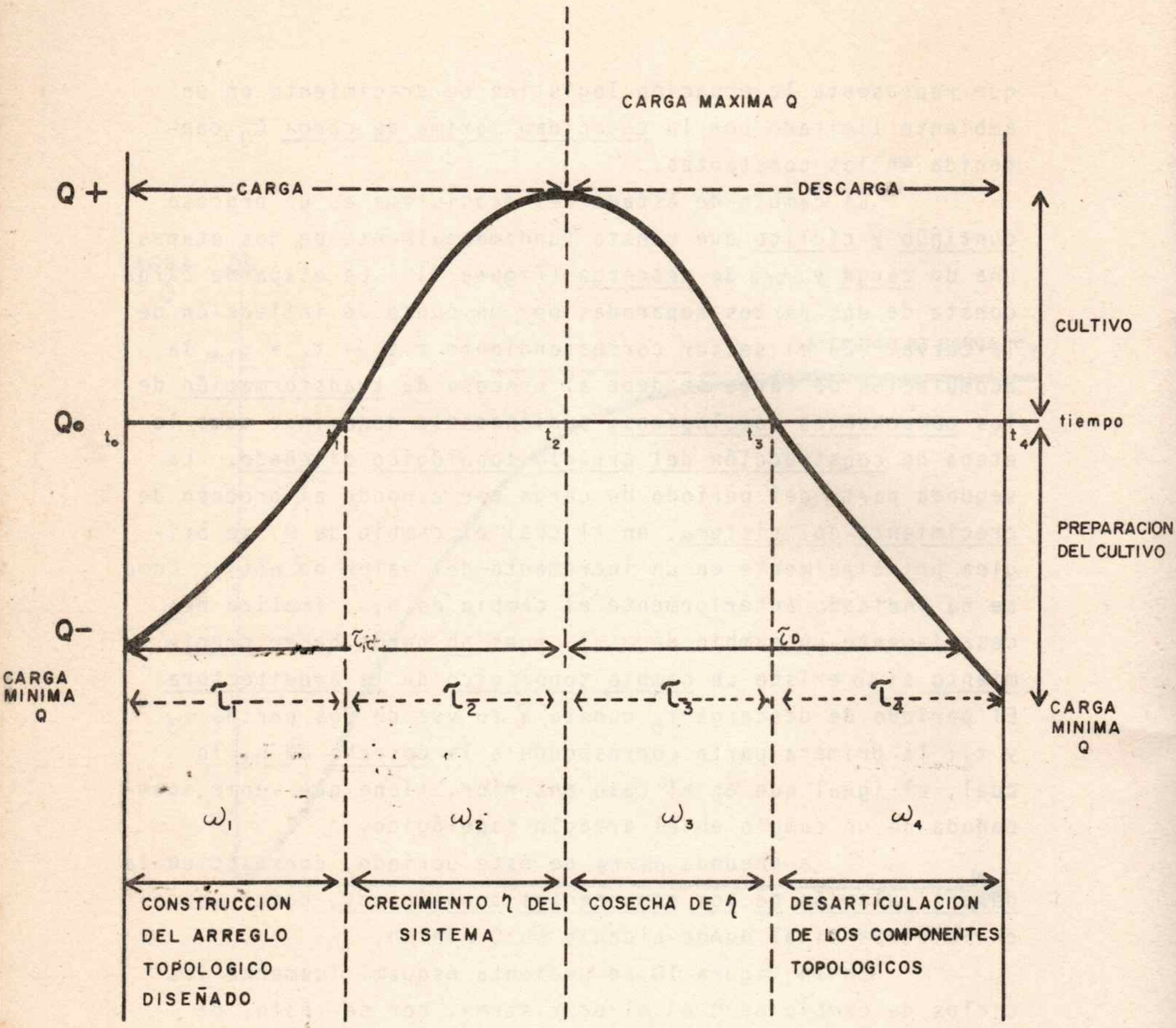


Figura 9. Ciclo conceptual de las etapas generales de carga y descarga del ecosistema.

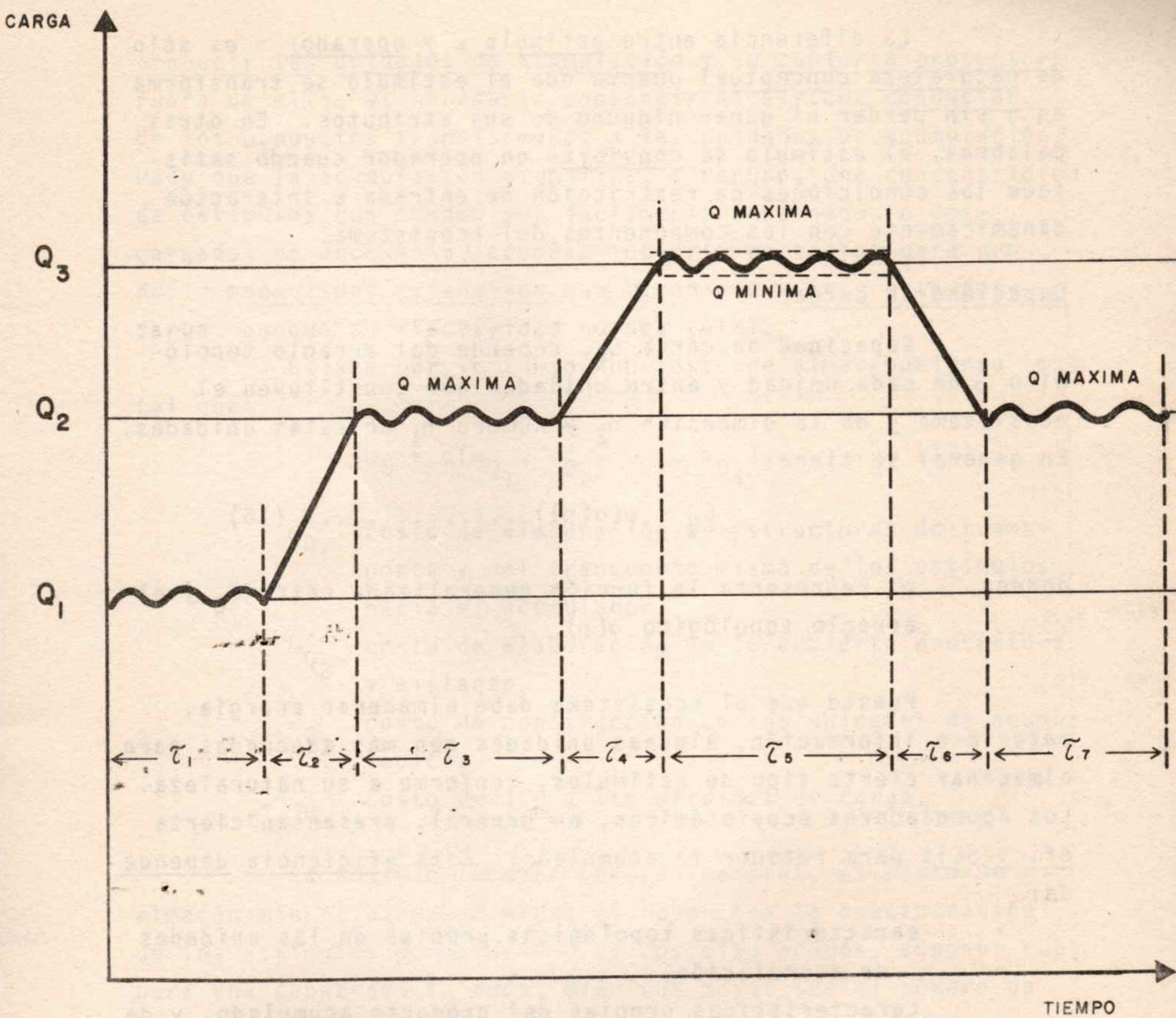


Figura 10. Transiciones del ecosistema a diversos niveles de carga Q.

La diferencia entre estímulo ε y operador π es sólo de naturaleza conceptual puesto que el estímulo se transforma en π sin perder ni ganar ninguno de sus atributos. En otras palabras, el estímulo se convierte en operador cuando satisface las condiciones de restricción de entrada e interactúa dinámicamente con los componentes del ecosistema.

Capacidad de carga

Capacidad de carga C_Q, depende del arreglo topológico σ de cada unidad y entre unidades que constituyen el ecosistema y de la dimensión η_2 y número η_1 de estas unidades. En general se tiene:

$$C_Q = \psi(\sigma(\eta)) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (16)$$

donde: ψ representa la función generalizada entre C_Q y el arreglo topológico $\sigma(\eta)$.

Puesto que el ecosistema debe almacenar energía, materia e información, algunas unidades son más adecuadas para almacenar cierto tipo de estímulos, conforme a su naturaleza. Los acumuladores ecosistémicos, en general, presentan cierta eficiencia para retener lo acumulado. Esta eficiencia depende de:

- características topológicas propias de las unidades de acumulación,
- características propias del producto acumulado, y de la cubierta protectiva ó aislante del acumulador.

Algunos ejemplos de acumuladores ecosistémicos son: las mazorcas de maíz y sus granos, las nueces, el tronco de un árbol, el suelo como acumulador de agua y calor, el forraj- que acumula una parte de la energía solar transformada en lignina, celulosa, etc.

El diseño de acumuladores ecosistemicos significa organizar arreglos topológicos para tales propósitos; involucrando, por lo tanto, un costo de transformación, puesto que es necesario producir las unidades de acumulación y su cubierta protectora. Fuera de ello, es necesario construir el sistema conductor de los productos transformados a las unidades de acumulación. Dado que la acumulación significa, a menudo, una concentración de estímulos que pueden ser facilmente cosechados o descargados es necesario, además, incurrir en costos para producir mecanismos defensivos que tiendan a evitar esta descarga, aunque su efectividad no sea total.

Existe por lo tanto, un costo de almacenamiento (ω_Q) tal que:

$$\omega_Q = g(\omega_{Q_1}, \omega_{Q_2}, \omega_{Q_3}, \omega_{Q_4}) \text{ .... } (17)$$

ω_{Q_1} costo de elaboración de estructuras de transporte y del transporte mismo de los estímulos hacia el acumulador.

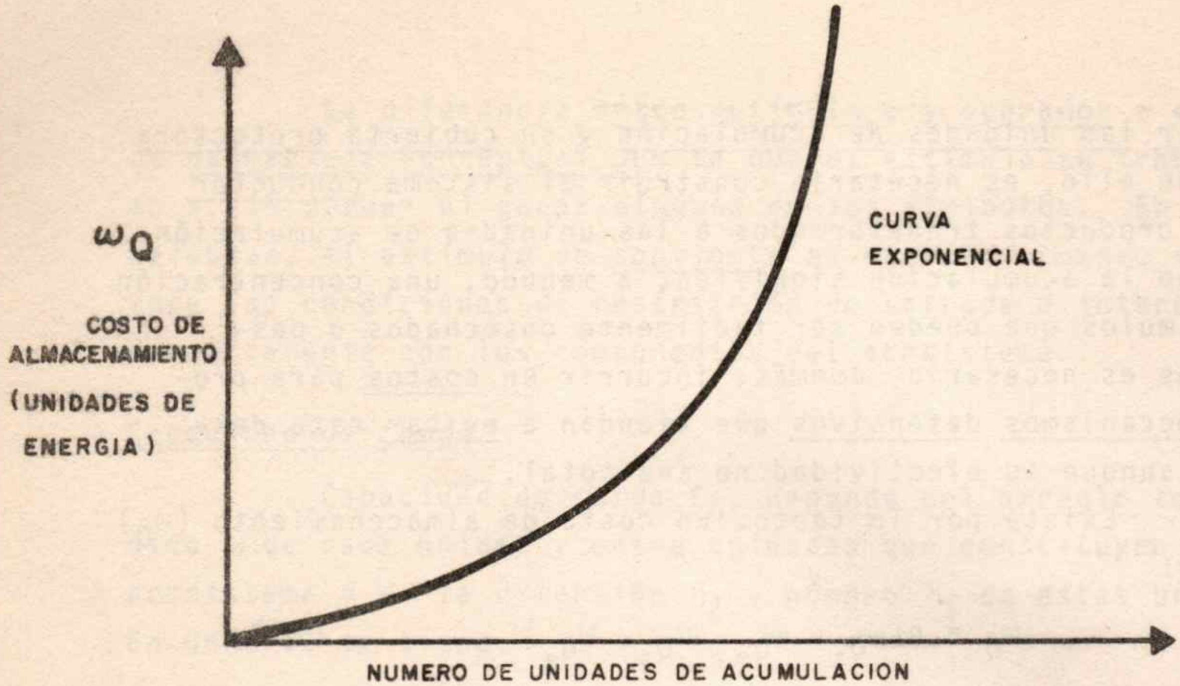
ω_{Q_2} costo de elaboración de la cubierta protectora y aislante.

ω_{Q_3} costo de construcción de las unidades de acumulación.

ω_{Q_4} costo debido a las pérdidas de carga.

Es posible suponer que, en general, el costo de almacenamiento es mayor mientras mayor sea la concentración de los estímulos acumulados. Es posible, además, suponer que para una capacidad C_Q dada, mientras mayor sea el número de unidades de acumulación y por lo tanto menor capacidad por unidad de acumulación, el valor de ω_Q es mayor (Figura 11).

Los sectores de ingestión, están localizados en diversos puntos del sistema, encontrándose especializados para los diversos tipos de estímulos: materia, energía ó información. Los sectores de asimilación de estos estímulos, pueden ser diferentes a los de ingestión y a los de transformación.



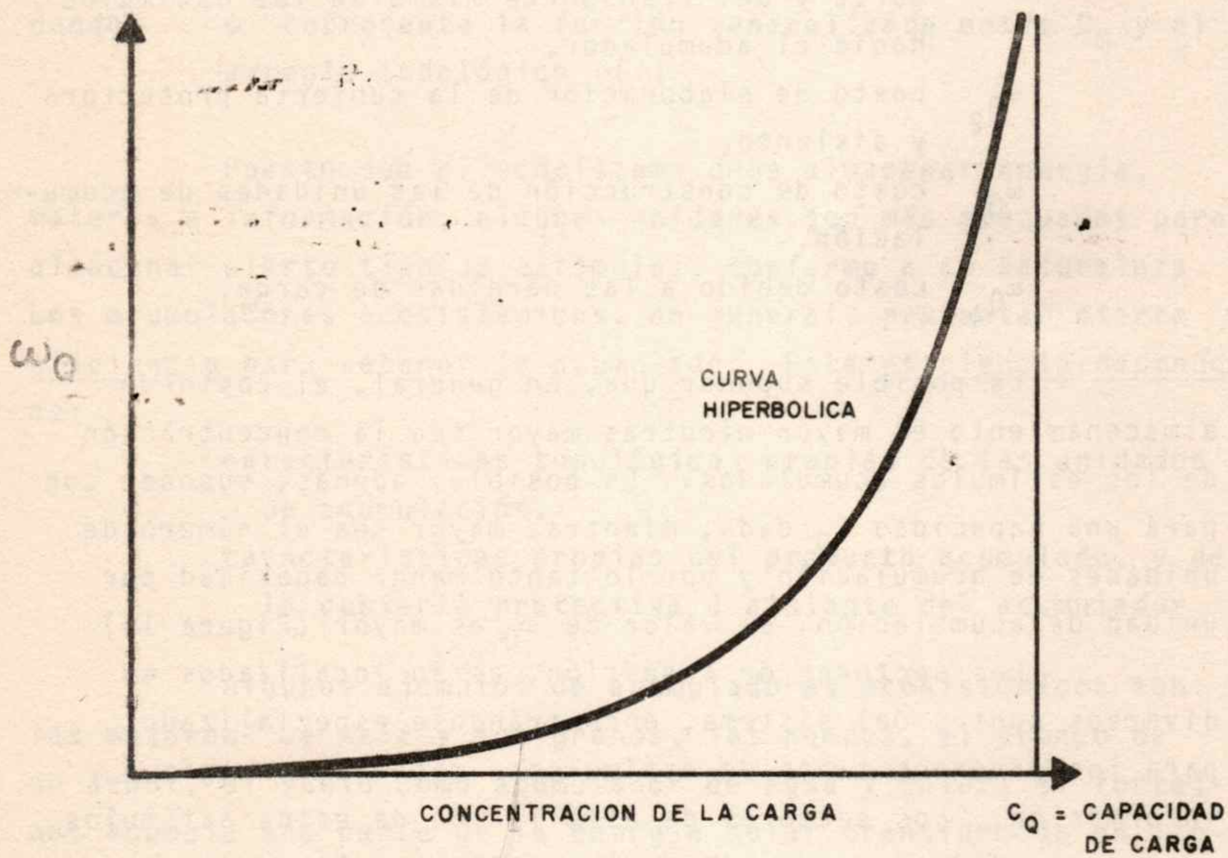


Figura 11. Relaciones generales entre concentración y número de unidades de acumulación vs costo almacenamiento ω_Q.

El proceso de transformación, que ocurre con posterioridad al de ingestión y asimilación, involucra el transporte de materia, energía y información, desde los lugares de ingestión y asimilación hasta un punto en donde los diversos estímulos se combinan, transformándose en estímulos con mayor o menor entropía. Para que este proceso ocurra, es necesario, por lo tanto, el proceso de transporte de estímulos. Los productos finales ya transformados por el ecosistema pueden ser cosechados de inmediato o almacenados, los cuales en este último caso, deben ser conducidos a las unidades de acumulación.

Los procesos agrícolas de cultivos y ganadería corresponden generalmente, a actividades periódicas de ciclo anual que se caracterizan por aumentar su productividad durante algunos lapsos, comportándose en esta forma como un acumulador, para luego ser cosechada en un lapso relativamente breve, correspondiendo a la descarga. Tanto para acumular como para descargar, se requiere de conductos que permitan llevar el estímulo al condensador o desde éste al punto de descarga. El factor limitante, en ciertos casos, puede ser la capacidad de conducción del estímulo desde o hacia el acumulador.

Respuesta neta

La respuesta neta (ρ_N) del ecosistema constituye un vector cuyos componentes representan los diversos tipos de energía que resultan del comportamiento del ecosistema interactuado con los estímulos. La ecuación general está dada por:

$$\rho_N = (\rho_1, \rho_2, \ldots, \rho_n) - (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_n) \text{ o}$$

$$\rho_N = \rho_T - \varepsilon_T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (18)$$

La energía neta ponderada, obtenida como respuesta ρ_N, resulta de la suma ponderada de los componentes. En otras palabras:

$$\omega_N = c_T\omega_T = c_1(\sigma_1 - \varepsilon_1) + c_2(\sigma_2 - \varepsilon_2) + \ldots + c_n(\sigma_n - \varepsilon_n) \quad \ldots. \ (19)$$

los coeficientes c_i representan el <u>valor asociado con cada tipo de energía</u>.

En resumen, el <u>proceso de carga</u> en un ecosistema consiste en la <u>adición</u> de diversos tipos de <u>estimulos</u> ε en forma de energía, materia e información y en una proporción determinada. La <u>descarga</u> corresponde a la respuesta ρ del sistema y es dependiente del comportamiento . En un sistema en equilibrio, la magnitud de los vectores estímulo y respuesta es idéntica, pero con diversa proporción que entre sus componentes. En otras palabras:

$E_i \xrightarrow{\ell_{ij}} E_j$ tal que la relación de materia, energía e información entre:

E_i y E_j, $(a_{i_1} : a_{j_1},\ a_{i_2} : a_{j_2},\ a_{i_3} : a_{j_3},\ \ldots,\ a_{i_n} : a_{j_n})$,

es en general diferente.

ALGORITMOS

La separación de los factores pertinentes y no pertinentes es el principio del conocimiento.
H. Reichenbach, 1973

Se puede argüir que por muchos siglos el hombre ha resuelto problemas en base de consideraciones intuitivas y los resultados obtenidos han sido fructíferos. Sin embargo, detrás de toda consideración intuitiva se esconde una secuencia finita de encadanamientos racionales, que se producen o se manifiestan como ideas instantáneas. El mecanismo complejo de la mente humana representa un enigma no resuelto hasta la fecha; no obstante el hombre moderno ha encontrado que sí se quiere resolver un problema, se tiene que plantear cuidadosamente y tratar de seguirse una secuencia ordenada de acciones, definidas con anterioridad que le permitan seguir el proceso de resolución del problema.

Concepto

El proceso de plantear una secuencia finita de acciones bien definidas que conduzcan hacia un objetivo, se denomina algoritmo.

Definición de algoritmo

Un proceso de solución se denomina algoritmo para el problema P sí: la solución AP aparece después de efectuarse un numero finito de etapas, y cuando no hay solución el mismo proceso permite determinar, después de un número finito de etapas, su insolubilidad (Korfhage, 1967).

En el campo de la computación se hace un uso extensivo del concepto de algoritmo. Un ejemplo de un algoritmo está dado por:

1. Lea los valores de a y b
2. Haga el valor de x igual a 0
3. Forme la expresión a + x
4. Si a + x = b, imprima el valor de x y deténgase; de lo contrario continúe.
5. Forme la expresión b + x
6. Si b + x = a, imprima la palabra "sin solución"; de lo contrario continúe
7. Incremente el valor de x en una unidad
8. Regrese al paso 3.

Este ejemplo permite resolver una ecuación lineal para valores enteros positivos de la variable x, indicando el caso de que la ecuación no tenga solución. Existen, sin embargo, muchos ejemplos de algoritmos no numéricos, como por ejemplo el caso de que se desee encontrar una salida de un laberinto simple en el cual no existen corredores en círculos. Esto se logra especificando una dirección unica:

1. Cuando se encuentre una ramificación en el laberinto, selecciones la rama extrema derecha.
2. Cuando se encuentre un punto sin salida, de media vuelta y continúe.

Comúnmente, la forma más sencilla para expresar un algoritmo es a través del uso de <u>diagramas</u> de <u>flujo</u>. Estos diagramas son representaciones gráficas de las diversas etapas del algoritmo, dispuestas en el orden que se van a ejecutar. Para ejemplificar lo anterior, se presenta en la figura 12 el algoritmo descrito anteriormente.

Cualquiera que sea la naturaleza de un problema, para poder resolverlo, se requiere (Polya, 1957):

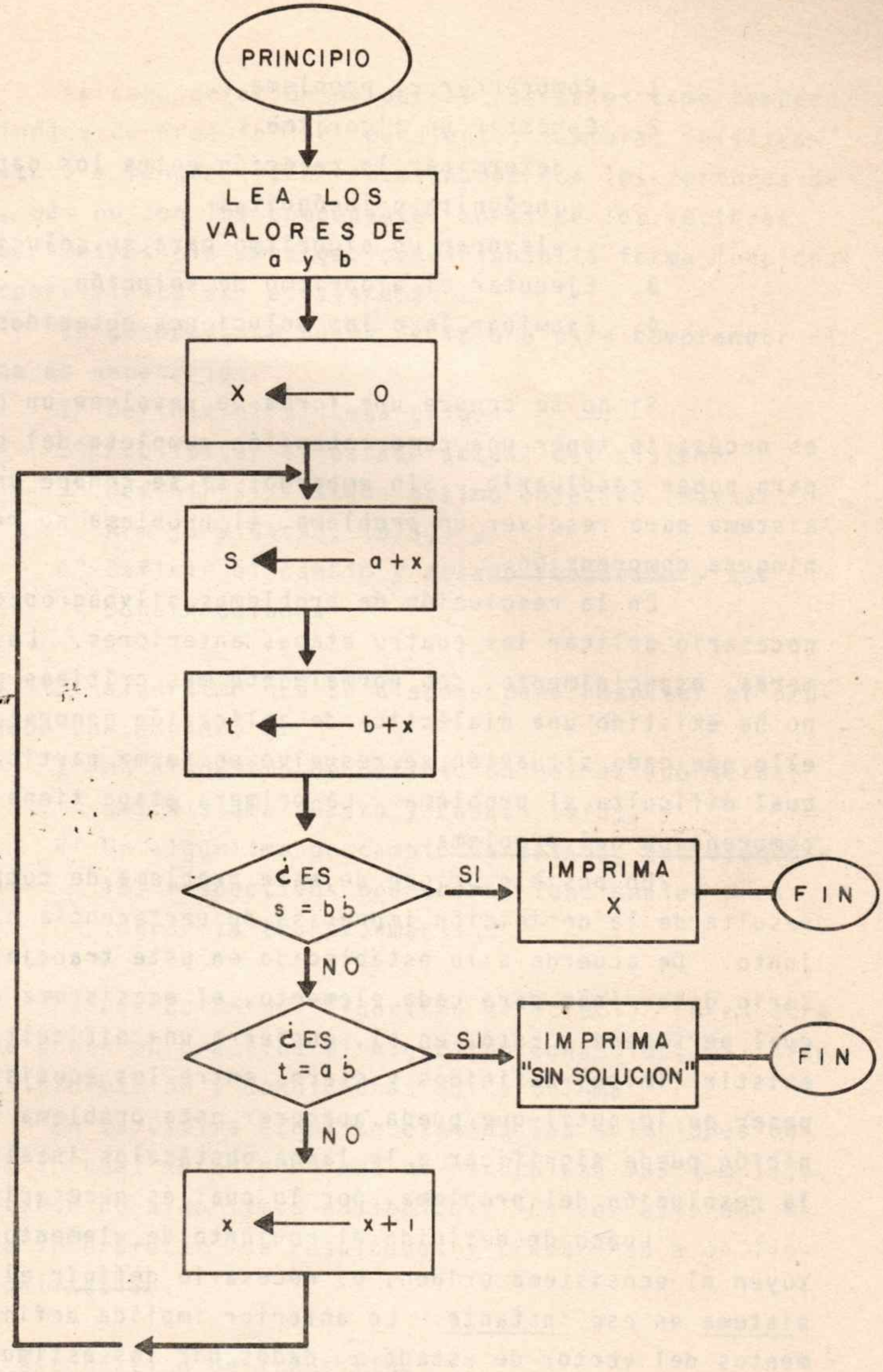


Figura 12. Ejemplo de un algoritmo en forma de un diagrama de flujo.

1. Comprender el problema
2. Concebir un algoritmo:
   determinar la relación entre los datos y la incógnita o incógnitas
   elavorar un algoritmo para su solución
3. Ejecutar el algoritmo de solución
4. Examinar la o las soluciones obtenidas.

Si no se conoce una forma de resolver un problema, es necesario tener una comprenhensión completa del problema para poder resolverlo. Sin embargo, sí se conoce un buen sistema para resolver un problema, el problema no requiere de ninguna comprensión.

En la resolución de problemas silvoagropecuarios es necesario aplicar las cuatro etapas anteriores. Las dos primeras, especialmente, son normalmente mas críticas puesto que no ha existido una dialéctica de aplicación general. Es por ello que cada situación se resuelve en forma particular, lo cual dificulta el problema. La primera etapa tiene que ser la comprensión del problema.

Un posible origen de este problema de comprensión resulta de la definición imprecisa de pertenencia a su conjunto. De acuerdo a lo establecido en este trabajo, es necesario determinar para cada elemento, el ecosistema origen al cual pertenece. Esto, en sí, encierra una dificultad por no existir límites definidos y claros entre los ecosistemas. A pesar de lo sutil que pueda aparecer este problema su indefinición puede significar a la larga obstáculos insalvables en la resolución del problema, por lo cual es necesario hacerlo.

Luego de definido el conjunto de elementos que constituyen el ecosistema origen, es necesario definir el estado del sistema en ese instante. Lo anterior implica definir los elementos del vector de estado $\vec{E}$, dados por los estímulos ε, su comportamiento β y su respuesta σ.

La consideración de parámetros tales como temperatura, índice de área foliar, pendiente, textura, infiltración, etc., a menudo están relacionados con los vectores de estado, más no son los componentes en sí de los vectores. Estos parámetros sin embargo, condicionan la forma funcional del comportamiento del ecosistema.

En general, se puede decir que para comprender el problema es necesario:

1° Definir el sistema origen
2° Explicitar el estado actual del sistema
3° Definir el sistema óptimo objetivo (Maynez, Armijo y Gastó, 1975), y
4° Definir el cambio y estado requerido y sus constricciones

El algoritmo que se elabore para resolver el problema debe contemplar:

1° Un algoritmo de definición del estado actual del sistema (Gastó y Cañas, 1975), y
2° Un algoritmo de cambio de estado, incluyéndose los respectivos operadores funcionales para lograr la transformación.

La ejecución del algoritmo de solución no es otra cosa que poner en práctica el algoritmo concebido, utilizándose la información y condiciones del problema.

En la última etapa se examina las soluciones obtenidas, lo cual es un problema de naturaleza mas complejo, por tratarse de algoritmos analógicos. Es por ello que se requiere interpretar los resultados y traducirse a un lenguaje cualitativo.

Proceso estocástico de transición

Al efectuarse un cambio de estado ΔE_{jk} a través de un operador funcional π_{jk}^{ℓ} este cambio de estado puede considerarse como un proceso continuo o discreto, dependiendo del tipo de proceso que se trate y su descripción. El carácter probabilístico de esta transición indica la consideración de procesos estocásticos para la formulación y descripción de cambios de estado ecosistémicos.

La naturaleza concreta de este tipo de procesos estacásticos no ha sido formalmente dilucidada matemáticamente. Es posible, sin embargo, hacer ciertas consideraciones preliminares con caracter de hipótesis.

Una transición de $E_{j(t)}$ a $E_{k(s)}$ en n etapas puede ocurrir vía diferentes rutas: $E_j \rightarrow E_j \rightarrow E_j \rightarrow \ldots \rightarrow E_{j_{n-1}} \rightarrow E_k$.

La probabilidad condicionada de que el sistema pase por esa ruta en particular, si se encuentra en el estado E_j en cierto tiempo, esta dado por:

$$p_{jj_1} \; p_{j_1j_2} \; p_{j_2j_3} \; \ldots \; p_{j_{n-1}k}; \; p_{jk}(s,t) = p\{E(s)=k|E(t)=j\}$$

La suma de las expresiones que corresponden a todas las rutas posibles es la probabilidad de encontrar al sistema al tiempo t_{n+s} en el estado E_k dado que se encontraba en el estado E_j al tiempo t_s. En general, se tiene que:

$$p_{jk}(n,s) = \sum_i p_{ji}(n,m) \; p_{ik}(m,s) \; \ldots\ldots \quad (20)$$

La ecuación anterior es conocida como la ecuación de Chapman-Kolomogorov (Feller, 1957; Parzen, 1960; Bharucha-Reid, 1960; Kemeny, 1960), para probabilidades de transición de un proceso markoviano.

Conceptualmente, un proceso de Markov es el proceso probabilístico análogo al proceso de mecánica clásica en el cual el desarrollo de los eventos futuros de un sistema están completamente determinados por su estado actual.

Las transiciones de ecosistemas, en su forma mas general, puede no satisfacer la condición de los procesos markovianos, porque exista gran plasticidad en su comportamiento pudiendo, en algunos casos, ser dependientes de su historia pasada. Lo anterior, sin embargo, no invalida el hecho de que su estudio se inicie bajo la consideración de procesos del tipo Markov, para así buscar posteriormente de proceso mas adecuado.

La versión discreta de un proceso Markov, llamado cadenas de Markov, se expresa mas adecuadamente en forma matrizal. De esta manera se tiene que si $\{E_n\}$ es una cadena de Markov con un espacio de estado $\{0,1,2, \ldots\}$, las probabilidades de transición están dadas por:

$$P(t_1, t_2) = \begin{pmatrix} p_{00} & p_{10} & p_{20} & \cdots & p_{k0} \\ p_{01} & p_{11} & p_{21} & \cdots & p_{k1} \\ p_{0j} & p_{1j} & & \cdots & p_{kj} \end{pmatrix}$$

Cabe mencionar que los elementos de la matriz de transición probabilística $p(t_1, t_2)$ satisfacen las condiciones:

(P_1) .... $p_{kj}(t_1,t_2) \geq 0$ para todos los j,k

(P_2) .... ${}_j p_{kj}(t_1,t_2) = 1$ para todas las k

En términos de multiplicación de matricies de transición probabilística, la ecuación de Chapman-Kolmogorov válida para todos los tiempos: n , u , m, o puede escribirse como (Parzen, 1960):

$$P(m,n) = P(m,u)\, P(u,n)$$

Por lo tanto, se puede observar que dada una cadena de Markov, es posible definir una familia {P(m,n)} de matrices que satisfagan las propiedades (P_1) y (P_2).

A partir de la ecuación de Chapman-Kolmogorov es factible obtener para las funciones de transición probabilística relaciones iterativas para los casos discretos y ecuaciones diferenciales para los casos continuos (Feller, 1957).

En vista que existe necesidad de describir los procesos de cambio de estado de ecosistemas con un enfoque cuantitativo, la consideración de este tipo, o tipos de proceso dentro del campo de la teoría de procesos estocásticos, ha requerido presentar ciertos rudimentos de la teoría de procesos Markov.

En ciencia silvoagropecuaria la transformación del estado del ecosistema debe ser diseñada de tal manera que permita pronosticar el cambio de estado. Lo anterior considera que el estado resultante es una consecuencia probabilística de la aplicación de un operador, y no es posible predecir en forma determisística el efecto del operador.

La transformación del estado del ecosistema, bajo la acción de un operador funcional, ocurre secuencialmente en un lapso de tiempo y en un número infinito de etapas, que en la practica se puede considerar como finitas y discretas. La transición desde el estado, en una etapa cualquiera, al estado de la etapa siguiente es un proceso que presenta varias alternativas de estados, cada uno de los cuales tiene cierta probabilidad de alcanzarse.

Esta secuencia de estados probables, puede ser descrita analógicamente en forma de un algoritmo de transformación. El cálculo probabilístico cuantitativo de este algoritmo se puede llevar a cabo utilizando la teoría de procesos de Markov u otros procesos estocásticos.

La aplicación de un operador π a un ecosistema en un estado inicial E_i produce un conjunto finito de estados finales $\{E_j\}$, caracterizados por tener ciertos valores de p,t,ω(Figura 4). El algoritmo de transformación debe diseñarse contemplando el conjunto de alternativas de estado, al aplicarse el operador correspondiente. Cabe mencionarse que, tanto el conjunto de estados resultantes, como sus probabilidades de transición son <u>diferentes</u> de acuerdo al operador que se aplique. Por lo tanto, existe un conjunto de operadores suceptibles de ser aplicados, cada uno de los cuales, a su vez, genera un conjunto de estados resultantes.

En la programación de algoritmos de transformación (Figura 13) es necesario seleccionar dentro del conjunto de operadores funcionales al <u>subconjunto</u> <u>ordenado</u> de operadores y determinar las <u>probabilidades</u>, el <u>trabajo</u> y el <u>tiempo</u> necesario para alcanzar el estado final <u>meta</u>.

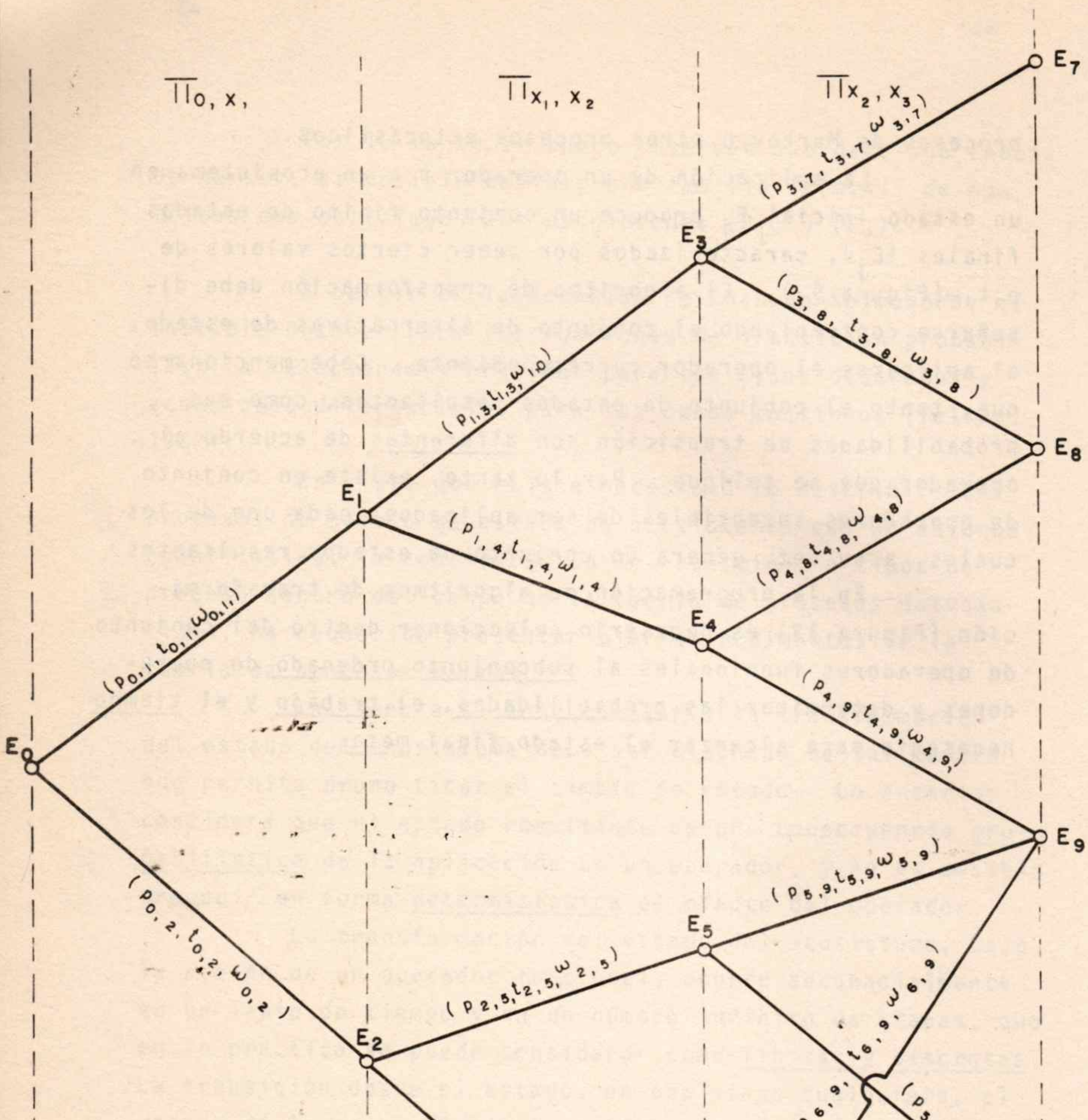


Figura 13. Ejemplo de un algoritmo de transición probabilístico del conjunto de estados $\{E_j\}$ a través de la aplicación de operadores funcionales.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Si la hipotesis, en la forma dada fuera correcta, sus contrapartes objetivas formarían un mundo que tiene la misma estructura que el mundo fenomenológico, que nos permite inferir desde el fenómeno la verdad de todas las proposiciones que pueden formularse abstractamente y que se sabe ciertas del fenómeno.

B. Russell

El presente trabajo es un estudio teórico-conceptual del procedimiento general de transformación que permita predecir, con cierta probabilidad, la optimalidad de las transformaciones.

Los resultados y la información presentada en este trabajo permiten concluír, con carácter de hipótesis, que:

(1) El ecosistema origen representa la unidad fundamental en el proceso de transformación. Este ecosistema esta constituído por cuatro componentes que son a la vez ecosistema en otro nivel de integración, dado por:

Ecosistema silvoagropecuario
Ecosistema ambiente incidente
Ecosistema hombre organizado
Ecosistemas incidentes

(2) Dado un estado inicial E_i^j de un ecosistema origen es factible efectuar una transformación hacia otro estado final meta E_k^j, simbólicamente:

$$E_i^j \rightarrow E_k^j$$

(3) El estado de un ecosistema esta definido por triplet $(\vec{\varepsilon},\beta,\vec{\rho})$ con $\beta=\beta(\varepsilon,\sigma(\eta))$. Todo cambio de estado implica la aplicación de un operador funcional ecosistémica π, que permita modificar las variables de estado. Este operador es el estímulo que debe aplicarse a un ecosistema para producir un cambio de estado $\Delta E^{j}_{i,k}$ en un tiempo t_{ik} con una probabilidad de éxito de transición p_{ik} y con cierto trabajo ω_{ik}.

(4) Para cada ecosistema origen en un estado inicial existe un ecosistema óptimo E^{j}_{o} final, tal que $E^{j}_{i} \rightarrow E^{j}_{o}$, a través de la aplicación de un operador π^{ℓ}_{io}. Esta transformación implica que:

$$\{E_{S_i}, E_{A_i}, E_{H_i}, E_{I_i}\} \underset{\rightarrow\rightarrow}{\pi^{\ell}_{io}} \{E_{S_k}, E_{A_k}, E_{H_k}, E_{I_k}\}.$$

Lo anterior no necesariamente implica que se tenga que transformar a cada uno de los ecosistemas componentes en óptimo.

(5) El comportamiento total β_T del -cosistema representa el conjunto $\{\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_n\}$ de las diversas funciones de comportamiento de cada nodo, las que dependen a su vez de la arquitectura del sistema, de su nivel de estímulo y su respuesta.

(6) El ecosistema puede ser considerado como una unidad suceptible de almacenar materia, energía e información. La capacidad de carga y descarga depende del arreglo topológico intra e interunidades y de la dimensión y número de estas unidades.

(7) El cambio de estado de un ecosistema idealizado, es un proceso contínuo y cíclico que consta de dos etapas de carga y dos de descarga.

(8) En ciencia silvoagropecuaria, la planificación de la transformación de ecosistemas debe ser un proceso sistemático y programado en forma analítica de algoritmos donde se incluyan los estados intermedios y los operadores funcionales.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

If the hypotheses as stated were correct, the objective counterparts would form a world having the same structure as the phenomenal world, and allowing us to infer from phenomena the truth of all propositions that can be stated in abstract terms and are known to be true of phenomena.

B. Russell

FUNDAMENTALS OF ECOSYSTEM TRANSFORMATION

The present paper is a theoretical study directed towards the elucidation of basic concepts related to ecosystems transformation and the definition of the most probable optimum state.

The results and information presented in this study allow us to conclude, on a hipothetical basis, that:

(1) The central or origen ecosystem E_i^j represents the basic unit in the tra-sformation process. This ecosystem is the resultant of the integration of four basic components, which in turn are themselves ecosystems but on a lower level of integration. The components are given by:

E_{S_i} silvoagropecuarian ecosystem (forest, range, crop, livestock ecosystem)

E_{A_i} incident environment ecosystem

E_{H_i} organized man ecosystem

E_{I_i} incident ecosystems

(2) Given an initial state E_i^j of the origen ecosystem it is possible to direct its transformation towards a final target state E_k^j. Symbolically:

$$E_i^j \rightarrow E_k^j$$

(3) The state of an ecosystem is defined by the triplet (ε,β,ρ) with $\beta=\beta(\varepsilon,\sigma(\eta))$. All changes of state implies the application of a functional ecosystem operator π, such that it is permitted to modify the state variables. The operador π represents the required stimulus for the ecosystem,

as it produces a change in state ΔE^{j}_{ik}, with a certain transitional probability p_{ik}, work function ω_{ik} and a time interval t_{ik}.

(4) To each origen ecosystem, in a given initial state E^{j}_{i}, there exist a final optimum ecosystem E^{j}_{o} through the application of functional operator π_{io}. This transformation implies that:

$$\{E_{S_i}, E_{A_i}, E_{H_i}, E_{I_i}\} \underset{\to\to\to}{\pi_{io}} \{E_{S_k}, E_{A_k}, E_{H_k}, E_{I_k}\}$$

The above does not necesarily mean that the component ecosystems have to be transformed into their corresponding optimum state.

(5) The resultant behaviour β of the ecosystem represents the set $\{\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_n\}$ of the behavioral functions of each node. These nodes are dependent upon the architecture of the system, the level of their stimulus and its response.

(6) The ecosystem can be considered as a suceptible unit capable of storing matter, energy and information. The charge and discharge capacity depends on the intra and inter-topological structure (arrangement) of the units. It also depends on the size and number of these units.

(7) The change of state of an idealized ecosystem can be considered as a continuous cycle process. This process is composed of two charging and discharging stages.

(8) In silvoagropecuarian science the planning of the ecosystem transformation should be a systematic process, analytically programed into an algorithm. This algorithm must include the intermediate states as well as the functional operators to be applied.

BIBLIOGRAFIA

Becht, G. 1974. Systems theory. The key to holsim and reductionism. Bioscience 24: 569-579.

Bharucha-Reid, A.T. 1960. Elements of the theory of Markov processes and their applications. N.Y. McGraw-Hill.

Detwyler, T.R. 1971. Summary and prospect. : 695-700. En: T.R. Detwyler (ed.). Man's impact on environment. McGraw-Hill. N.Y.

Distefano, J.J., A.R. Stebberud e I.J. Williams. 1967. Feedback and control systems. Schaum Publishing Co. N.Y.

Einstein, A. 1940. Considerations concerning the fundamental of theoretical physics. Science 91: 487-942.

Feller, W. 1957. An introduction to probability theory and its applications. N.Y. Willey.

Fuller, R.B. 1973. Esa nave espacial llamada tierra. Novaro, México.

Gastó C., J. y R. Cañas C. 1975. Modelo simulado de funcionamiento del ecosistema silvoagropecuario. Univ. Auton. Agr. Antonio Narro. Monog.Tecn.-Cient. 1: 1-71. Saltillo, Coah., México.

Kaufmann, A. 1967. Graphs, dynamic programming and finite games. Academic Press. N.Y.

Kemeny, J.G. y J.L. Snell. 1960. Finite Markov chains. Princeton, N.J. Van Nostrand.

Kolmogorov, A.N. y S.V. Fomin. 1970. Introductory real analysis. Prentice Hall, Inc. London.

Korfhage, R.R. 1967. Logic and algoritms, with applications to the computer and information science. John Wiley & Sons. N.Y.

Lang, S. 1969. Linear algebra. Addison-Wesley. Reading, Mass.

Maynez del R., F.,R.Armijo T. y J. Gastó C. 1975. Clínica ecosistémica silvoagropecuaria. Fundamentos y metodología. Monografía Técnico-Científica (1): 72-136.

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 ala computación médica. Siglo XXI. México.

Parzen, E. 1960. Introduction to stochastic processes. Wiley, International Student Edition. N.Y.

Pimentel, E., L.E. Hurd, A.C. Bellotti, M.J. Forester, I.N. Oka, O.D. Sholes y R.J. Whitman. 1973. Food production and energy crisis. Science 182: 443-449.

Polya, G. 1974. Como plantear y resolver problemas. Trillas, México.

Russell, B. 1971. Introduction to mathematical philosophy. Simon and Schuster. N.Y.

Weyl, H. 1969. Filosofia de las matematicas. U.N.A.M. México.

A P E N D I C E

Símbolos empleados

E_i^j	Ecosistema origen al nivel de integración j y en el estado i.
ρ	Respuesta general del ecosistema, o función de respuesta del ecosistema.
ε	Estímulo general al ecosistema, vector estímulo.
ε_i	Estímulo de tipo i, ó componente del vector estímulo.
β	Comportamiento general del ecosisteam, o función de comportamiento del ecosistema.
Λ	Arquitectura del ecosisteam, o función de arquitectura del ecosisteam.
η	Vector topológico.
η_2	Componente del vector topológico de dimensión.
η_1	Componente del vector topológico de número.
$\sigma(\eta)$	Arreglo topológico de los componentes del ecosistema.
E_{S_i}	Ecosistema silvoagropecuario en el estado i.
E_{A_i}	Ecosisteam ambiente incidente, en el estado i.
E_{H_i}	Ecosisteam hombre organizado en el estado i.
E_{I_i}	Ecosisteams incidentes.
ϕ	Funcionalidad de relación de entrada para los componentes del ecosisteam origen.
I	Vector columna estímulo para el caso lineal de ϕ.
R	Vector columna respuesta para el caso lineal ϕ.
C	Matriz (4x4) que regula las políticas de ingreso a los ecosistemas.
E_o^j	Ecosisteam origen óptimo.
π_{ik}^{ℓ}	Operador ecosistémico de transformación desde el estado E_i al estado final E_k seleccionado del conjunto de estados a través de la ruta ℓ.
$\{e_m\}$	Conjunto de estrategias que forman una ruta.

P_{ij} — Probabilidad estadistica de transición desde el estado inicial i al estado final j.

ΔE_{ij} — Cambio de estado, continuo ó discreto, desde i a j.

$N(E_k)$ — Número de casos en las cuales se llega a un estado k.

ω_{ij} — Función del trabajo requerido para efectuar un cambio de estado de i a j.

t_{ij} — Tiempo para efectuar la transformación del estado i al estado j seleccionado.

R_ℓ — Relación general entre ω_{ij}, t_{ij}, P_{ij}, a través de un ruta ℓ, al efectuar la transición de i a j.

τ_{ij} — Diferencia entre dos tiempos $t_i - t_j$.

${}^{o}\pi_{ii}$ — Operador funcional de mantención.

r_i — Ruta i del estímulo.

β_n — Función de comportamiento o particionalidad del nodo n.

β_I — Comportamiento de ingestión de estímulos.

β_A — Comportamiento de asimilación de estímulos.

β_T — Comportamiento de asimilación de estímulos.

β_Q — Comportamiento de almacenamiento de estímulos.

β_C — Comportamiento de conducción de estímulos.

ψ — Función general de comportamiento.

Q — Carga contenida en el ecosisteam.

C_i — Coeficiente del valor ecologico de la calidad de energía.

U_i — Energia del tipo i, contenida en el ecosisteam.

$\frac{d}{dt}$ — Operador diferencial para la variable independiente t.

δ_Q — Densidad de carga.

K — Constante de proporcionalidad.

$f(\delta_Q)$ — Función general de la densidad de carga.

A_1B — Constantes arbitrarias.

$\frac{dQ}{dt}$ — Intensidad de carga ó descarga.

C_Q Capacidad de carga.

ω_Q Costo ó energia de almacenamiento.

$g(\omega_{Q_i}, \omega_{Q_2}, \omega_{Q_3}, \omega_{Q_4})$ Función generalizada de relación entre el costo de almacenamiento y sus diversos costos.

ω_{Q_1} Costo de elaboración de estructuras de transporte.

ω_{Q_2} Costo de elaboración de la cubierta protectora.

ω_{Q_3} Costo de construcción de las unidades de acumulación.

ω_{Q_4} Costo debido a perdidas.

ρ_N Vector respuesta neta.

ρ_T Vector respuesta total.

ε_T Vector estimulo total.

ω_N Energia neta ponderada

ω_T Energia total.

ρ_i Componente del vector respuesta

ε_i Componente del vector estimulo.

$\pi_{x_i x_j}$ Operador ecosistemico del conjunto de estados x_i al conjunto de estados x_j.