

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

E/CEPAL/PROY.2/R.28  
Septiembre de 1979

Seminario Regional

Santiago de Chile, 19 al 23 de noviembre de 1979

BASES ECOLOGICAS DE LA MODERNIZACION DE LA AGRICULTURA

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. INTRODUCCION	1
II. PLANTEAMIENTO	2
Problema	2
Justificación	4
Hipótesis	4
Objetivos	4
Definición de agricultura	5
III. LA NATURALEZA COMO UN SISTEMA	6
Ecosistema origen	6
Enfermedades ecológicas	8
Cuenca y predio	20
IV. PRINCIPIOS REGULADORES	24
Ecocibernética	24
Principio holocenósico	26
Nivel de complejidad y jerarquía	27
Orden y memoria	31
Persistencia y crecimiento ecosistémico	32 ✓
Flujo y circulación	36
Canalización antrópica	37
Optimo y factores limitantes	38
Costos y beneficios ecológicos	39 ✓
Dinámica del sistema	41 ✓
Atractores	43
V. ESTABILIDAD	46
Atributos	46
Diversidad y estabilidad	48
Adaptación al medio	50

	<u>Página</u>
VI. CARGA Y DESCARGA	54
Proceso	54
Metabolismo	57
Metastrofismo	61
Productividad y cosecha	64
VII. OPTIMIZACION	73
Alternativas	73
Criterios de óptimo	74
VIII. CAMBIO DE ESTADO	77
Sistemogénesis	77
Artificialización y transformación	87
Posibilidades de transformación	93
Ecosistema silvoagropecuario	102
IX ESTILOS ECOSISTEMICOS Y SOCIEDADES	113
Sociedades transitorias	113
Sociedades estabilizadas	114
Sistemogénesis forestal	121
Sistemogénesis pratense	126
X. CONCLUSIONES	131
BIBLIOGRAFIA	174

## I. INTRODUCCION

Uno de los rasgos más característicos de la época actual es el deseo desenfrenado de provocar un progreso marcado en el desarrollo de los recursos naturales renovables y de la cosecha ecosistémica, tanto en lo que se refiere a los cultivos como a los bosques, praderas, sistemas acuáticos y otros, de los cuales el hombre, en último término, se sustenta.

Frecuentemente, se piensa que la aplicación de mayor tecnología al recurso natural significa necesariamente progreso. La intensificación del uso de los recursos naturales trae acompañado una tasa más elevada de cosecha de recursos del medio abiótico y de la biocenosis. Los sistemas intensamente cosechados presentan un comportamiento diferente del de los sistemas naturales, comportamiento que, a menudo, provoca procesos de retroalimentación positiva que concluyen por degradar o incluso destruir al sistema ecológico.

El alto grado de artificialización que caracteriza a los recursos naturales intensamente manejados, viene acompañado de aplicaciones masivas de pesticidas, fertilizantes, energía, agua de riego y tecnología de la más diversa índole, necesaria para mantener al sistema en estados diferentes del natural. La aplicación continuada de esa tecnología va dejando como remanente residuos o efectos laterales que a la larga concluyen por degradarle.

La materia prima requerida para provocar un mayor desarrollo tecnológico proviene a su vez de la explotación, a menudo descontrolada de los recursos naturales, lo cual, simultáneamente desencadena un mayor desarrollo socioestructural. Tanto el desarrollo tecnológico como el social se presentan acompañados de un incremento del deterioro ambiental.

En el presente trabajo se pretende hacer una distinción entre desarrollo tecnológico de la agricultura, además del desarrollo de otras actividades tecnológicas y sociológicas versus progreso. La intensificación de la agricultura no significa necesariamente progreso, lo cual ocurre sólo en el caso que, además de ser de beneficio antrópico, no transgreda la restricciones ecológicas al normal funcionamiento de la naturaleza.

## II. PLANTEAMIENTO

### Problema

#### Enunciado

Plantear las limitaciones ecológicas a la artificialización de los recursos naturales con el fin de desarrollar al hombre.

#### Fundamentación

Algunos de los fundamentos del problema son los siguientes:

- El hombre apareció en el medio natural, producto de la evolución de la biósfera terráquea, por un período mayor de tres mil millones de años
- Ese medio es el escenario natural de la especie
- La modificación del ambiente antrópico no debe llegar más allá de los límites de tolerancia biológica, psicológica y espiritual de la especie
- Razones morales hacen rechazar la adaptación de la especie a un medio diferente al de su evolución, a través de un proceso de producción de variabilidad genética inducida y selección artificial en base a una regulación selectiva de la natalidad y mortalidad de la especie
- La transformación del escenario antrópico a través de la aplicación de operadores de artificialización, no debe sobrepasar esos límites.

- El grado de artificialización del recurso natural no debe sobrepasar su potencial de recuperación natural en su capacidad de mantención en niveles de estabilidad
- Las leyes que regulan la arquitectura y funcionamiento de la naturaleza donde el hombre vive están circunscritas dentro del marco de la ecología

#### Postulados

Los postulados básicos que se consideran en la resolución de problemas de esta naturaleza son los siguientes:

- La especie humana es sólo un elemento más del ecosistema, caracterizándose por su alto grado de especialización y dominio sobre la materia y energía
- La especie es por naturaleza heterotrófica, lo cual implica la destrucción o degradación de recursos naturales necesarios para su normal funcionamiento y sustento.
- El habitat natural y los recursos que encuentra la especie en la biósfera no están usualmente en el óptimo, lo cual implica una posible transformación, tendiente a optimizarse.
- Toda transformación, genera como subproducto desechos que pueden afectar a la especie, además de dejar como remanente un ecosistema degradado en algunas de sus variables de estado.

#### Implicancias

Como consecuencia de lo anterior, se tiene que:

- El desarrollo de la especie tendiente a optimizar su heterotrofismo y su habitat implica necesariamente un grado de artificialización diferente al que se presentaría de no existir la especie
- Artificialización implica necesariamente, a la vez, como subproducto natural, un incremento del deterioro ambiental.

- El deterioro ambiental, si no sobrepasa una cierta frecuencia e intensidad puede ser autoreparable, o bien, en el caso de sobrepasar los límites de la capacidad de autoreparación natural, desencadenar un proceso degradativo del sistema que tienda a empeorar progresivamente al medio antrópico.

### Justificación

Considerando lo anterior, se justifica:

- Hacer un planteamiento ecológico general que contenga los límites aceptables de artificialización del medio antrópico
- Analizar las limitantes ecológicas de la modernización tecnológica, económica y social de los recursos naturales.

### Hipótesis

La artificialización de los recursos naturales debe estar circunscrita dentro de los límites del satisfactum antrópico.

### Objetivos

1. Plantear formalmente el problema ecológico relacionado con el desarrollo del hombre
2. Analizar los elementos y procesos que ocurren en la naturaleza
3. Estudiar los principios y leyes que regulan la arquitectura y funcionamiento de la naturaleza y su incidencia en el desarrollo del hombre y su medio
4. Investigar la estabilidad del sistema natural y la correspondiente luego de su artificialización
5. Desarrollar al sistema ecológico como un mecanismo de carga y descarga de materia, energía e información
6. Plantear criterios de optimización
7. Analizar el proceso natural de sistemogénesis y la posible artificialización del sistema



8. Investigar las limitantes ecológicas al desarrollo de la tecno-estructura
9. Comparar la artificialización de los recursos naturales dentro del marco de estilos ecosistémicos de sociedades.

#### Definición de agricultura

Agricultura ha sido definida como "la serie de procesos mediante los cuales un área dada de tierra es artificializada con el fin de producir más alimentos para los animales y gente, que lo que soportaría en forma natural" (Lawes, 1857). En sentido más amplio y generalizado, agricultura podría en la actualidad ser definido como "la serie de procesos de artificialización de ecosistemas de recursos naturales renovables con el fin de optimizar la calidad y cantidad del cambio de estado canalizable hacia el hombre y su cosecha por éste". Para comprender la definición anterior se requiere definir los conceptos básicos contenidos en el enunciado y que son: serie, procesos, artificialización, ecosistema, recurso natural renovable, calidad, cantidad, cambio de estado, optimización, canalización antrópica y cosecha.

El término agricultura, en el presente trabajo, se le emplea en sentido amplio que se refiere a cualquier recurso natural, incluyendo sistemas forestales, dulceacuícolas, marinos, pratenses, desértidos, o cualquier otro que frecuentemente se le denomina recurso natural renovable de la ecósfera.

### III. LA NATURALEZA COMO UN SISTEMA

#### Ecosistema-origen

El ecosistema-origen corresponde al sistema completo, integrado al nivel de complejidad propio de la naturaleza, lo cual constituye su centro u origen. Es factible hacer una descomposición del ecosistema origen en cinco subsistemas, descomposición que, además de ser natural, sea exhaustiva y mutuamente excluyente. Estos cinco subsistemas, son a la vez ecosistemas en otro nivel de integración.

El ecosistema-origen puede ser definido como la unidad ecológica básica, cuya complejidad es el producto de la integración de los siguientes subsistemas:

biogeoestructura ( $E_{b_i}$ )

socioestructura ( $E_{h_i}$ )

tecnoestructura ( $E_{n_i}$ )

entorno ( $E_{e_i}$ ), y

sistemas externos incidentes ( $E_{c_i}$ )

contrerñidos por un tipo de complejidad dado por la unidad de referencia.

En base a lo anterior, el ecosistema se puede considerar como:

$$E_i^j = \{ E_{b_i}, E_{h_i}, E_{n_i}, E_{e_i}, E_{c_i} \}$$

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

La biogeoestructura corresponde al recurso natural propiamente tal, donde se conjugan los componentes abióticos del sustrato y atmósfera

en un solo sistema al integrarse con los componentes bióticos de la fitocenosis y zoocenosis.

La socioestructura, en cambio, corresponde al hombre organizado en estructuras sociales, culturales y políticas definidas. No es posible aislar al hombre dentro del contexto de la naturaleza, por lo cual intrínsecamente es una parte de ella. La naturaleza, a su vez, está contenida en el hombre como unidad socioestructural. Las situaciones dinámicas que gobiernan la evolución de los fenómenos naturales son básicamente las mismas de las que gobiernan la evolución del hombre y las sociedades (Thom, 1975).

La tecnoestructura es el componente del ecosistema origen caracterizado por los elementos tecnológicos generados por el hombre en base a la transformación de elementos naturales bióticos y abióticos, provenientes de la biogeoeestructura. Esta transformación es, por lo tanto, fruto de la interacción entre socioestructura y biogeoeestructura.

La interacción de la unidad socioestructural con el recurso natural genera estructuras y arquitecturas diferentes a las propias de cada uno de estos componentes, produciéndose de esta manera arreglos topológicos de baja probabilidad de ocurrencia en el recurso natural, sin la intervención del hombre. La transformación de la estructura y arquitectura de algunos componentes de la biosfera, diseñados bajo el alero del intelecto humano como elemento rector de la transformación del recurso natural genera, por lo tanto, las unidades tecnoestructurales.

El subsistema entorno representa al medioambiente externo del sistema, el cual incide necesariamente sobre éste. Sus atributos más obvios se refieren al deterioro ambiental provocado por contaminación, lo cual incide sobre los sistemas circundantes.

Los sistemas externos incidentes corresponden a las conexiones entre un sistema dado y los demás. Ningún ecosistema puede ser cerrado,

es decir no tener flujos de materia, energía e información desde o hacia otros sistemas. De acuerdo a la magnitud de las conexiones externas en relación a las internas se tiene el grado de apertura del sistema.

El estado de cada uno de los subsistemas del ecosistema origen está definido por las mismas funciones dada anteriormente. En otras palabras,  $E_{b_i}$  corresponde a:

$$P_b = P_b(E_b, \beta_b)$$

$$\beta_b = \beta_b(E_b, \Lambda_b)$$

$$\Lambda_b = \Lambda_b(\sigma_b, \gamma_b); \sigma_b = \sigma_b(\gamma_b)$$

y similarmente para cada uno de los demás subsistemas.

### Enfermedades ecológicas

Enfermedad ecológica puede ser definida como cualquier proceso, en un sistema ecológico, que presente una tendencia destructiva, y que tenga una causa específica y síntomas característicos.

Los problemas de los recursos naturales, en la actualidad, tienen su origen en la presión social de la población que demanda soluciones inmediatas a problemas que se han venido acumulando sin resolverse por períodos muy largos. Ello presenta como alternativa tomar decisiones al tanteo, con el fin de satisfacer intereses de urgencia inmediata de los individuos de la población, aunque a la larga sean negativas, ya que ha existido una preocupación profundamente enraizada del hombre a hacer cosas primordialmente por el provecho individual en lugar de lo que debería ser en beneficio de la humanidad como grupo (Bevan, 1977), aunque obviamente no debe alterar la escala natural de valores del individuo.

Esta tradición se ha materializado en el origen de la organización social y fuentes de poder de los grupos, donde el interés personal ha primado sobre las decisiones de grupos más interesados en el bien común que en el bien particular. En lo individual debe primar la generación de condiciones ambientales que le permitan alcanzar un desarrollo mental y espiritual compatible con su humanidad. Las medidas que se elijan para resolver los problemas del individuo dentro del grupo humano deben estar orientadas a darle una solución satisfactoria a la situación futura y a la del momento y que se resume en modificaciones de cada uno de los subsistemas del ecosistema que concluyan por generar estados que con el transcurso del tiempo se aproximen al óptimo.

Las acciones provocadas directa o indirectamente por el hombre organizado sobre los recursos naturales, para satisfacer las necesidades originadas en los requerimientos propios del modelo de desarrollo basado en la sociedad de consumo, provocan un desequilibrio entre el medio que le rodea y el hombre mismo. Este desequilibrio se expresa en cada uno de los subsistemas que componen al ecosistema, del cual el hombre forma parte, y que planteado al nivel ecosistémico constituye lo que se puede denominar enfermedades ecológicas.

Las enfermedades ecológicas expresan un cierto grado de deterioro ecosistémico, considerado al nivel de las estructuras y superestructuras propias de la materia organizada en la biósfera, donde el hombre evolucionó y se desenvuelve; aunque en otros niveles de integración de la materia, tales como el molecular o el del individuo no constituyan necesariamente enfermedades. La acepción que se le ha dado al término enfermedad ecológica es la de un estado ecosistémico distinto de su estado óptimo, considerado con un criterio antrópico de armonía y estabilidad entre el hombre organizado y su medio. El concepto de salud

ecosistémica debe considerar esta armonía entre y dentro de cada uno de los cinco subsistemas que le integran: biogeoestructura, tecnoestructura, socioestructura, entorno y sistemas externos incidentes.

Las biogeoestructuras ( $E_{b_i}$ ) naturales son frecuentemente el residuo o remanente que resulta luego de la cosecha, a menudo descontrolada, del sistema original. Luego de períodos prolongados 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 el deterioro del medio abiótico.

Las enfermedades biogeoestructurales más usuales del ecosistema son: la erosión, provocada por la destrucción de la vegetación y otros elementos protectores o estabilizadores del sistema; la pérdida de fertilidad, estructura adéfica originada en la utilización intensiva o en la desestabilización del sistema; el agotamiento de reservas minerales causado por su cosecha excesiva, que se origina en la demanda elevada por parte del hombre y su alta capacidad tecnológica de extracción; la destrucción y degradación de fitocenosis y zoocenosis, donde las comunidades vegetales y animales sometidas a una cosecha indiscriminada y a una intervención antrópica excesiva son transformadas retrogresivamente, alejándose cada vez más de su óptimo; la depositación de sedimentos, que provocan embancamiento de los ríos y destrucción de sistemas terrestres, proceso que se origina en la desestabilización del sistema por su sobreutilización y mal uso; la reducción de la capacidad homostásica, por destrucción de los mecanismos cibernéticos naturales; el elevado costo externo de mantención del sistema que se eleva a medida que los mecanismos cibernéticos naturales de control se deterioran, lo cual significa que debe incurrirse en un mayor aporte, desde fuera del sistema, de energía, materia e información; el incremento del costo ecológico de cosecha a

medida que se intensifica la extracción de recursos desde la biogeoestructura hasta alcanzar un nivel en que el esfuerzo de captura de los recursos iguale o sobrepase al producto capturado o cosechado; y la desorganización de la unidad natural de la cuenca al alterar la arquitectura y funcionamiento de cada uno de sus componentes.

El espacio habitable y los recursos esenciales disponibles en el componente biogeoestructural del ecosistema se reduce, cada vez en una tasa mayor, lo cual equivale a decir que el habitat y territorio disponibles per cápita se están agotando y deteriorando constantemente y que los nichos susceptibles a ser ocupados por la especie son cada vez más inadecuados a sus límites de tolerancia. A pesar de los triunfos en la agricultura moderna, las perspectivas de hambrunas son cada vez mayores (Bevan, 1977). En ecología no sólo se analiza el problema de la complejidad del sistema, sino que se trabaja con una complejidad organizada (Weisskopf, 1977), la cual al alterarse no sólo se destruye o degrada la biogeoestructura, sino que se pone en peligro la propia subsistencia del hombre.

La tasa de cosecha de los diversos componentes biogeoestructurales debe estar en concordancia con su tasa de producción. Cuando la cosecha de recursos sobrepasa a la productividad se provoca un balance neto negativo que concluye por destruir o degradar su arquitectura y consecuentemente su productividad. El metabolismo ecosistémico que se caracteriza por los cambios graduales que ocurren como consecuencia de su funcionamiento normal gradualmente es reemplazado por un catastrofismo, en el cual las transformaciones originadas en adiciones o sustracciones bruscas de recursos son la norma característica de su funcionamiento. En ambientes áridos este proceso se denomina desertificación.

El hombre organizado ( $E_{h_i}$ ) en estructuras sociales, culturales y políticas definidas genera subsistemas, cuyo comportamiento en relación a la biogeoestructura puede ser de armonía, o bien estar divorciado de las relaciones de balance que deben existir para el normal funcionamiento ecosistémico. En su organización espacial se ordena en megalópolis, metrópolis, ciudades, pueblos, villorios, casas y otros cuyo conjunto integrado le da una actitud diferente frente a la biogeoestructura. La modalidad de agrupamiento y organización humana le produce necesidades, deseos y altera la escala de valores, lo cual posteriormente actúa como fuerza directriz de sus acciones sobre la biogeoestructura.

La acción detrimento del hombre moderno, se ha dicho que es una consecuencia de su evolución cultural actual y no algo de los atributos propios de la especie. El hombre primitivo, sin embargo, no tenía según Guthrie (1971) una mejor actitud hacia el medio natural que le rodeaba que la del hombre moderno. Se ha insistido en que el hombre primitivo vivía en armonía con el medio (Roszard, 1969; Fertig, 1970), pero ello no es así (Love, 1961; Childe, 1954; Clarke, 1947; Malin, 1953). El hombre comparte con otros animales su falta de preocupación por los efectos de su acción sobre el medio y no existe en este aspecto diferencias entre el hombre primitivo y el hombre moderno. Sólo han variado el tamaño de la población y la sofisticación tecnológica. Una población o conjunto de organismos de una especie no existen en la naturaleza independientemente, son sólo un elemento de una unidad más compleja que incluye, además, el medio donde se desarrollan. Fenomenológicamente, los recursos naturales incluyen a una especie animal que por sus características intelectuales, control sobre la materia y organización adquiere una actitud y poder rector sobre el fenómeno, del cual es a su vez objeto y sujeto.



La tendencia de la biósfera de ir paulatinamente hacia un mayor orden y organización está basada en el aporte permanente de energía desde el Sol. Una parte de esta energía se acumula en estructuras con mayor grado de organización que la de la simple energía calórica o luminosa, tal como ocurre en los ecosistemas naturales. Este aumento constante del orden y organización debería conducir hacia estados cada vez más organizados, situación que no se presenta necesariamente, pues al alcanzar un cierto estado de organización, para cada sistema, se llega a un cierto equilibrio o metaequilibrio, del cual no se pasa, estado que se denomina climax.

El mecanismo que permite no traspasar las fronteras climáticas de organización es el incremento del costo ecológico de mantención de la arquitectura que se provoca a través del aumento de la respiración total y de reposición de las estructuras degradadas del sistema (Margalef, 1974; Odum, 1972). La eficiencia ecológica de la energía del sistema tiende a disminuir a medida que se alargan los niveles tróficos de la cadena, lo cual produce una mayor tasa de respiración total del sistema, situación que se explica a través de la segunda ley de termodinámica.

El hombre constituye una de las últimas especies aparecidas sobre el planeta, y su organización socioestructural actual y dominio sobre la biogeoestructura a través del proceso de desarrollo mental e intelectual hace que en la actualidad se presente como el principal elemento desorganizador de la biocenosis. Un organismo que crece tiene la capacidad de crear orden a expensas del medio cuya entropía o desorden aumenta correspondientemente (Weyl, 1965). La capacidad desorganizativa de la socioestructura ha ido gradualmente en aumento a través de la capacidad entrópica de dominar la materia y energía, especialmente de los combustibles fósiles. Su capacidad tecnológica actual le permite transformar el

ordenamiento de las estructuras y superestructuras naturales hasta el punto en que lleguen a ser detrimentos para los requerimientos del hombre.

La evolución socioestructural dentro del marco de la sociedad actual ha conducido a valorar los elementos del medio circundante al hombre y de los cuales puede hacer uso, en una escala relativa divorciada de la escala natural, basada principalmente en su valor de cambio, el cual se regula por la ley de la oferta y la demanda. Esta situación ha conducido a una cosecha indiscriminada de los elementos biogeoestructurales de mayor valor de cambio o de más fácil cosecha, con el fin de obtener mayores beneficios económicos.

La destrucción descontrolada de la biogeoestructura para satisfacer necesidades temporales genera condiciones adecuadas a una socioestructura diferente a la tradicional o a la óptima, lo cual unido a la abundancia de bienes de consumo opera como mecanismo desencadenador de un proceso de crecimiento demográfico descontrolado.

La tasa de crecimiento poblacional ha alcanzado proporciones explosivas y muchas de las fuerzas de control que Malthus consideraba efectivas han cesado de serlo. La medicina moderna ha logrado éxito en la prolongación de la vida humana y se ha alterado el balance natural predator-presa. Con la evolución de las culturas, el infanticidio, como una práctica social, ha llegado a ser muy raro y la castidad y la contracepción no han llegado tampoco a ser comunes. La guerra ha continuado como una práctica que se presenta como alternativa de elección (Bevan, 1977). Ninguno de ellos se presenta como una alternativa compatible con los valores espirituales del hombre.

La estructura por edades de las poblaciones se hace cada vez más desfavorable. La proporción de personas retiradas en relación a las activas aumenta considerablemente, de manera de conducir a una economía

menos productiva, simultáneamente con aumentar la carga social de este grupo. En las naciones en desarrollo, el incremento de la longevidad significará una carga difícil de mantener (Bevan, 1977). La distribución espacial de las poblaciones se hace también desfavorable, generando centros excesivamente poblados en contraste con otros subpoblados, cada uno de los cuales presenta sus problemas inherentes.

El avance logrado por las ciencias del agro ha permitido elevar la producción de alimentos y otros productos de la tierra y del mar hasta niveles que hace sólo unas décadas parecía imposible de alcanzar (Heady, 1976), siendo posible llegar aún más lejos (Hooper, 1976). El problema del crecimiento de la población es obviamente de mayor complejidad que la simple diferencia entre el número de personas y la producción de alimentos. En ambos casos se trata del efecto de otras causas mediatas e inmediatas que los generan, por lo cual su solución no estriba en atacarles directamente, sino que en corregir las situaciones conflictivas que les originan.

El medio circundante al hombre y su socioestructura generan una situación conflictiva entre el ambiente real y el óptimo antrópico, lo cual puede ser analizado desde un punto de vista puramente biológico o intelectual y espiritual. En el primer caso, los recursos requeridos per cápita para satisfacer las necesidades materiales de alimentación, vestuario, habitación, transporte y otras se van reduciendo hasta límites que sobrepasan los mínimos requeridos para la especie. Simultáneamente, esta situación de inestabilidad e incertidumbre genera tensiones psíquicas que conducen cada vez más hacia una búsqueda de bienes materiales que supuestamente deberían generar las condiciones adecuadas para alcanzar una salud mental y espiritual compatibles con la escala natural de valores humanos. Esta excesiva interferencia entre individuos de la misma especie genera una competencia desmesurada sobre los bienes de consumo, simultáneamente con crear una angustia en relación al riesgo de no alcanzarlos.

Todo ello trae como consecuencia el incremento del conflicto entre individuos y poblaciones hasta límites que llegan a afectarles mental y corporalmente, creando problemas sociales propios de esta sociedad e imposibles de resolver en un contexto diferente al del ecosistema.

Lo que se requiere es una mayor efectividad de la tecnología, comportamiento y mayor desarrollo de las ciencias sociales. Un desarrollo integral de las ciencias sociales y del comportamiento podría o debería facilitar la llegada de una amplia cultura de armonía ecológica. Con seguridad que podría contribuir a una reconciliación de los problemas políticos, simultáneamente con investigar las estructuras, organizaciones y los mecanismos institucionales que permitan una confrontación más efectiva de los problemas físicos del mundo (Bevan, 1977).

La tecnoestructura ( $E_{n_1}$ ) es una consecuencia de la interacción entre los recursos provenientes de la biogeoeestructura y los requerimientos y actitud socioestructural. El desarrollo de una cierta tecnoestructura requiere, por lo tanto, de la aplicación de tecnología, que no es otra cosa que el dominio del hombre sobre la materia para cambiarle su forma y funcionamiento, de manera de hacerle de una cierta utilidad de acuerdo a su escala de valores.

La tecnología que se desarrolla no tiene valores neutros, lo cual equivale a afirmar que una tecnología definida, similar física y socialmente, es un reflejo de los valores más fundamentales de la cultura que le dio origen y que, a su vez, inevitablemente modelarán la cultura a la cual se apliquen exitosamente (Braibante, 1976). Una alta proporción de la tecnología y de las ciencias físicas necesarias para el desarrollo se encuentra ya disponible (Bevan, 1977) y la tecnología intermedia que se requiere (Schumacher, 1973), para elevar el bienestar de las naciones en vías de desarrollo, ya existe o puede fácilmente ser desarrollada.

No debe confundirse, sin embargo, el desarrollo tecnológico con el progreso. El primero, se refiere solamente a la capacidad de ejercer un mayor dominio sobre la materia, generando elementos con nuevas estructuras y funcionamientos. Progreso, en cambio, implica una transformación de cada uno de los componentes del ecosistema, de manera de generar, dentro de un contexto holocenósico, condiciones más adecuadas para la salud mental y corporal del hombre.

Las naciones en desarrollo claman por un mayor aporte tecnológico de las naciones desarrolladas, con la esperanza de resolver sus problemas, pero olvidan que esa tecnología no tiene valores neutros. El hecho que, en algunos casos, haya significado progreso en los sistemas donde se originó no indica necesariamente que vaya a ocurrir lo mismo en otros lugares donde se le aplique, especialmente si ello corresponde a esquemas socioestructurales y biogeoestructurales diferentes.

A menudo, los problemas del desarrollo se plantean con una simpleza abismante, afirmándose que las bases de la riqueza moderna son la tecnología que nos permite producir cada vez más con un esfuerzo cada vez menor, y las nuevas formas de organización humana que nos permiten utilizar la tecnología eficazmente (Singer y Braken, 1977). Hace alrededor de doscientos años, afirman los mismos autores, el mundo descubrió la forma de hacerse rico y que si no se hubiera inventado, todos seríamos aún más pobres.

En verdad, el desarrollo tecnológico de los últimos siglos no ha venido a resolver permanentemente el problema del hombre y el medio, sino que ha sido una solución efímera, medianamente satisfactoria, a costa de generar otros problemas de mayor gravedad. El desarrollo exagerado de la tecnología, en magnitudes reñidas con la capacidad productiva de la biogeoestructura generó un mecanismo de explosión demográfica e incremento exagerado de la demanda, situación que se mantiene a un

ritmo creciente, hasta un nivel en que amenaza con devastar los recursos que aún quedan sobre la biosfera, modificando el entorno hasta niveles en que él se haga intolerable para la vida humana.

La capacidad de construir masivamente tecnoestructuras habitacionales, viales, industriales, agrícolas y otras, generalmente localizadas en los sitios de mayor potencial productivo y para la vida, tiende a reducir a un ritmo creciente las disponibilidades de recursos. Simultáneamente, el desarrollo tecnológico ha permitido generar tecnoestructuras conflictivas, reñidas con los intereses antrópicos, lo cual tiende a modificar perniciosamente la socioestructura, con los efectos colaterales ya conocidos sobre la salud ecológica del hombre. El deterioro estético y la falta de las tecnoestructuras adecuadas para satisfacer las necesidades intrínsecas del hombre viene a completar este cuadro alarmante de deterioramiento del medio en que el hombre vive.

En la actualidad es difícil pretender corregir las fallas en el desarrollo tecnológico por cuanto es la principal fuente de trabajo del hombre. El estilo de desarrollo de la sociedad de consumo se ha basado en el incremento permanente de la tecnología, lo que gradualmente ha pasado a constituir el nicho principal del hombre. El hombre moderno ha pasado a ser el hombre destructor, pues su supervivencia está basada en su capacidad destructiva de los recursos naturales contenidos en la biogeoestructura, con el objeto de generar tecnoestructuras. A medida que aumenta su capacidad destructiva mediante el desarrollo de una mayor capacidad tecnológica, mayor es su éxito aparente en el sistema, pues tiende a mejorar su capacidad de trabajo y las disponibilidades de nichos y territorios disponibles, lo cual equivale a un incremento del ingreso per cápita y del empleo. Las naciones en desarrollo, bajo el esquema actual de la sociedad de consumo son, en cambio, aquellas cuya capacidad destructiva es limitada.

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 se concibe como conectado con su medio a través del transporte de materia, energía e información, que en último término es el universo. No es posible, por lo tanto, desligarse de los principios y leyes que regulan su organización tales como la ley de la conservación de la materia y energía y la segunda ley de termodinámica, que se refiere al aumento de entropía (Nava, Armijo y Gastó, 1979).

La capacidad de cosechar recursos provenientes del suelo, aire, vegetación y faunación se ha ido paulatinamente incrementando hasta llegarse a un punto en que, en muchos de ellos se detecta un agotamiento en un futuro cercano. El costo ecológico de cosecha (Cañas y Gastó, 1974, y Rozas et.al., 1978) aumenta exponencialmente a medida que la densidad del recursos disminuye.

El deterioro del entorno ( $E_{e_i}$ ) en lo que respecta a contaminación ambiental tiene su origen a tres mecanismos diferentes. El más obvio se produce como consecuencia de la eliminación de subproductos provenientes de la industria elaboradora y transformadora de recursos de la biogeoestructura. Otra fuente de contaminación proviene de los productos empleados en el mantenimiento de arquitecturas biogeoestructurales diseñadas para operar con un alto grado de artificialización, razón por lo cual se requiere de aplicación de operadores más intensivos para mantenerles su operabilidad. Entre este grupo de contaminantes cabe destacar los insecticidas y herbicidas que se aplican a los cultivos con el objeto de controlar plagas y malezas. Como una tercera fuente de contaminantes se tienen aquellos subproductos provenientes de actividades relacionadas con la organización humana, tal como ocurre con los gases provenientes de los vehículos de transporte, y la contaminación por desperdicios humanos.

No existe forma de corregir en su origen los problemas de contaminación. Existe, eso sí, la posibilidad de aminorar el mal, siempre que se apliquen medidas correctivas, lo cual significa desarrollar una infraestructura ad hoc e invertir recursos energéticos y materiales para la solución del problema.

Los ecosistemas externos incidentes ( $E_{e_1}$ ) proporcionan los insumos de materia, energía e información requeridos para el normal funcionamiento del ecosistema. La explotación desmesurada de los recursos se logra en una primera etapa con un reducido esfuerzo de captura o de cosecha, pero a medida que la densidad del recurso cosechado se reduce, el costo ecológico de cosecha se incrementa exponencialmente. Ello significa que el nivel tecnológico que debe aplicarse en el proceso y la energía que se debe invertir se incrementa proporcionalmente a medida que las disponibilidades del recurso disminuyen, todo lo cual viene acompañado de efectos laterales conocidos, tales como un mayor consumo de combustibles fósiles, incremento de la distancia desde el centro de cosecha al de consumo, mayor contaminación, provocada por el proceso de extracción, transporte y producción y, finalmente, reducción de la utilidad originada como consecuencia de la diferencia entre el producto cosechado en la biogeoesfera y el costo ecológico de cosecha.

#### Cuenca y predio

La biogeoesfera es el componente natural de los ecosistemas-origen de la biosfera terráquea. La materia abiótica, se organiza en niveles de complejidad que van desde partículas subatómicas, pasando por el átomo, y la molécula hasta llegar a conjuntos homogéneos de moléculas que constituyen sustancias que pueden ser gaseosas, sólidas o líquidas. Estas sustancias, a su vez se mezclan formando componentes cada vez más complejos.



Las mezclas de componentes, ya sean sólidos, líquidos, o gaseosos, se ordenan en estratas que presentan atributos diferentes que las sustancias originales. Tal es el caso del suelo cuyos horizontes le dan atributos definidos diferentes a los del material de origen. De manera análoga, las masas de agua y aire, también se presentan en forma natural en estratas, consecuencia de una organización del sistema, la materia puede fluir con mayor facilidad, por lo cual la estratificación presenta un mayor dinamismo que en el caso de los sólidos. No debe, sin embargo, confundirse dinamismo con desorden.

Existe, sin embargo, otro nivel mayor de complejidad mayor que el de la estratificación, el cual es el de la cuenca. Los sólidos se organizan en una geoforma diferente que la natural, lo cual corresponde a la fisiografía del terreno o geoforma, lo cual incluye además, todos los niveles inferiores de complejidad. Los líquidos, de igual manera, se organizan también en este nivel de complejidad dando lugar a la hidroforma. Las masas gaseosas existentes en la cuenca se organizan también fisiográficamente dando lugar a la aeroforma.

Estos tres componentes, no presentan límites discretos entre ellos, produciéndose en su zona de contacto bordes con atributos muy definidos entre ellos, a saber:

aire-suelo,  
 agua-suelo,  
 aire-agua, y  
 aire-suelo-agua

La unidad espacial natural de biogenestructura es la cuenca, donde se integran los componentes sólidos, líquidos y gaseosos formando unidades definidas de ocupación del espacio. El conjunto de cuencas constituye una región.

Dado que entre los diversos elementos de la cuenca, existen diferencias de potenciales y conexiones, en forma natural, se produce un flujo de materia energía e información. Si este flujo se extiende por períodos prolongados, la génesis de la cuenca conduce a formas diferentes para un tiempo  $t_i$  dado.

Siendo la biocenosis un producto de la interacción entre el ecótopo y los organismos, el proceso de génesis de la fitocenosis y zoocenosis concluye por generar arquitecturas fito y zoocénóticas diferentes, de acuerdo a su posición en la cuenca. En cuencas con cierto grado de madurez avanzada, el ordenamiento de los recursos, habitat, fitocenosis y zoocenosis conduce a un modelo generalizado de arquitectura espacial, con sus respectivos componentes y conexiones.

Los sectores más característicos de la cuenca aparecen indicados en la Figura 1, donde se presenta una cuenca generalizada. La vegetación debe también corresponder a la posición relativa dentro de la cuenca. El uso que se le dé a la tierra, el tipo de aldeas, y la organización socio-estructural que se presente en cada uno de los sectores debe estar de acuerdo con las características del medio.

La organización administrativa de la cuenca está dada por él o los predios que le componen. La socioestructura, dada principalmente por la organización predial interactúa con la biogeoestructura propia del sector donde se localiza el predio. La tecnoestructura está en una buena medida interactuando con ambos. El entorno y los sistemas incidentes corresponden a sus conexiones con el medio y sistemas externos.

La estructura y organización predial debe, por lo tanto, estar circunscrita dentro de los grados de libertad de la biogeoestructura, lo cual incluye tanto sus atributos intrínsecos como su posición espacial.



#### IV. PRINCIPIOS REGULADORES

La organización de la naturaleza está regulada por una serie de mecanismos de control y leyes naturales que hacen que su comportamiento sea predecible. En la naturaleza, por lo general, causas idénticas producen efectos idénticos (Meringo, 1952).

En el manejo y utilización de los recursos naturales renovables, debe conocerse estos principios de manera de tomar las decisiones que optimicen los beneficios provenientes del recurso natural sobre una base sostenida de cosecha y utilización. Algunos de los principios más destacados son los que a continuación se indican. El hombre no ha inventado las leyes de la naturaleza: son leyes naturales, que él solo ha descubierto e interpretado (Heitler, 1976).

##### Ecocibernética

El ecosistema tiene mecanismos que regulan su funcionamiento y cambio de estado. La ciencia que estudia el control y la comunicación en los sistemas es la cibernética. Específicamente, la regulación del ecosistema y los diversos mecanismos de control caen dentro del campo de la ecocibernética. Los ecosistemas que se encuentran en estados distintos del óptimo deben ser estudiados y mejorados dentro de este marco (Nava, Armijo y Gastó, 1979).

Los mecanismos reguladores del ecosistema limitan el número de organismos presentes, influyen sobre su fisiología y comportamiento y controlan la calidad de movimiento y circulación de materia y energía. Los procesos de crecimiento, reproducción, mortalidad, migración y adaptación se encuentran entre los mecanismos reguladores más importantes. En ausencia de tales mecanismos funcionando adecuadamente, ningún ecosistema puede continuar existiendo y mantener su identidad (Evans, 1956).

Cada organismo o elemento ocupa un nicho dentro del sistema, pero éste puede variar de acuerdo al estado del ecosistema. El hombre primitivo, cuyo comportamiento sólo correspondía al de otro animal más, ocupaba un nicho diferente al del hombre moderno. En la actualidad, el hombre es el rector o controlador del ecosistema; se sitúa fuera de él y a través de la aplicación de los operadores funcionales que le ofrece la tecnología moderna puede modificar los factores claves que terminan por transformar en diversos grados el funcionamiento y la arquitectura del sistema. Control, en un sistema dinámico complejo, es un proceso de transición que permite pasar de un estado a otro por vía de la actuación sobre sus variables (Berg, 1964).

La ecocibernética está relacionada con el diseño y operación de los mecanismos de control de ecosistemas a partir de componentes con propiedades conocidas e integradas de tal forma que sean susceptibles de ser regulados. Los ecosistemas naturales, en el estado que se encuentran, pueden ser identificados y descritos a través de la formulación matemática y de modelos homomórficos, de manera que su funcionamiento sea predecible, situación que corresponde al campo de la ecocibernética.

La cibernética ha sido definida como la ciencia del control en organismos y máquinas (Wiener, 1948). Una de las peculiaridades de esta ciencia es que no está centrada en los componentes o variables de estado, sino que en el comportamiento de estos componentes, descritos en la forma de vectores de estado. Por lo tanto, la cibernética es esencialmente funcional y de comportamiento (Ashby, 1956).

Un sistema cibernético es el conjunto formado por un sistema dinámico sujeto a control y un sistema que lo ejerce (Parin y Balevsky, 1969). El sentido general de las acciones de todo sistema cibernético radica en que siempre tiene efecto un intercambio de información entre

el sistema que ejerce el control y el controlado. Además, ambos sistemas son accesibles a la información exterior, tales como efectos y perturbaciones. Control, en el contexto de la teoría de control, significa la aplicación de energía e información, de acuerdo con ciertas normas para hacer que la respuesta de un sistema se aproxime lo más posible a un criterio determinado. En general, el comportamiento de un ecosistema es difícil de predecir y, por lo tanto, de controlar (Mulholland y Sims, 1976).

Los mecanismos de control en los ecosistemas pueden ser parcialmente modificados de manera de llegar a estados disclimáticos más próximos al satisfactum antrópico. Para ello, es necesario conocer los mecanismos cibernéticos del sistema, su sensibilidad, la factibilidad de modificarlos y la relación estímulo-respuesta del sistema al modificarse el mecanismo cibernético.

Además, la investigación y experimentación que se realice con el propósito de resolver los problemas ecosistémicos, deben tener como objetivo estudiar los mecanismos de control y su factibilidad de modificación.

#### Principio holocenósico

Cada uno de los factores o causas en el ecosistema tienen un efecto individual, pero el efecto simultáneo de todos ellos es diferente que la suma de los efectos de cada uno actuando separadamente (Friderich, 1927).

La unidad ecológica o ecosistema está integrada por multiplicidad de factores y estructuras que representan a las causas u origen de la reacción del sistema. Cuando dos entidades se combinan a un nivel superior de integración, no todas las propiedades de la nueva entidad son una consecuencia lógica o predecible de las propiedades de los componentes

(Mayr, 1961). La teoría del holismo establece que el todo no puede ser analizado sin dejar un residuo en la suma de sus partes. Ello significa que la suma de cada una de sus partes es diferente del total, debido a las múltiples interacciones.

El principio holocéntrico establece que el ecosistema es la unidad y constituye por lo tanto un todo inseparable en el cual se integran elementos vivos e inertes. Cualquier modificación que se le induzca al sistema afecta al todo de manera diferente que a la sumatoria de cada una de sus partes. El efecto holocéntrico de una causa en un ecosistema varía de acuerdo a la intensidad y características de las otras causas.

Sinergismo o interacción positiva de dos o más fenómenos ocurre cuando la sumatoria de la acción simultánea de cada uno de ellos considerados en forma aislada, es inferior al efecto combinado de ellos. Antagonismo o interacción negativa ocurre cuando la acción combinada es inferior a la sumatoria de la acción de cada uno de ellos actuando independientemente.

Uno de los objetivos que se persigue en el mejoramiento ecosistémico es modificar los componentes de manera de maximizar el efecto sinérgico al actuar junto a los demás componentes del sistema. Dado que los factores controlables son escasos, en relación con los permanentes, especialmente de aquellos relacionados con la arquitectura de la biocenosis, se puede recurrir a su transformación de manera de lograrse el máximo efecto sinérgico.

#### Nivel de complejidad y jerarquía

Un sistema, y en particular un sistema biológico, representa algún nivel en una jerarquía. El sistema está compuesto de subsistemas y será él mismo un subsistema de algún nivel superior de organización.

Por lo tanto, un enfoque analítico de comprensión de cualquier sistema, a un nivel dado de organización, debe comparar las propiedades del sistema con aquellas de otros sistemas de igual jerarquía (Weiss, 1971).

Se reconoce que el arreglo atómico tiene posibilidades infinitas de combinaciones de variedades de estructuras complejas. Por lo tanto, no parece necesario invocar la existencia de nuevas leyes para explicar lo que se observe (Weisskopf, 1977). Es posible distinguir dos clases de fronteras de la ciencia: externas e internas. Las fronteras externas delimitan la explotación de aquellos aspectos de la naturaleza que caen más allá de los principios conocidos. La frontera interna es un área más amplia donde los principios básicos se creen conocidos, pero donde la aparente complejidad del fenómeno previene de su comprensión y explicación (Weisskopf, 1977).

Dos principios están íntimamente relacionados con la organización jerárquica y del nivel de complejidad del sistema ecológico. El principio de Cuvier que establece que entre los caracteres de los seres vivos y de los sistemas ecológicos existen correlaciones constantes, de tal modo que la presencia de uno exige constantemente la presencia de otro. El principio de Jussieu sostiene que los caracteres de los seres vivos y de los sistemas ecológicos están jerarquizados de tal modo que algunos de ellos llamados dominantes controlan un número importante de otros llamados subordinados.

Cuando se enfrenta la realidad del medio, se enfrenta superestructuras más bien que los átomos que les forman. Ello es porque los objetos, conceptos e ideas que los científicos usan cuando tratan de comprender lo que ocurre no tienen que ver con los átomos, sino con las estructuras que están directamente involucradas con el fenómeno estudiado. Esta es la situación característica a lo largo de las fronteras internas de la ciencia (Weisskopf, 1977).



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

A través del examen detallado de los componentes de la naturaleza, el hombre ha creado un marco de comprensión del mundo natural, una visión científica del mundo. En esta forma, algo como un mito científico del universo, se fue creando en el siglo XX una síntesis de una visión científica interior, lograda durante los últimos quinientos años (Weisskopf, 1977).

No es posible, en la actualidad, continuar insistiendo en el planteamiento de los problemas del hombre y los recursos naturales empleando técnicas sin poder resolutivo general para problemas de esta naturaleza. El moderado progreso de la investigación durante los últimos años, en este campo del saber, se debe, en buena medida, a la resistencia de las instituciones educativas y de investigación a dedicar una pequeña proporción de su esfuerzo a estudios ecocibernéticos. Estos estudios permitirían integrar los resultados provenientes de investigaciones

analíticas en planteamientos sintéticos tendientes a utilizar el gran acopio de información ya existente.

El nivel de complejidad y jerarquía de la unidad de la naturaleza que se estudie debe ser el que corresponda al problema que se pretende resolver. No basta con enunciar acertadamente el problema y los objetivos e hipótesis de un estudio, es necesario además definir su nivel jerárquico y de complejidad, de manera de aplicar procedimientos que permitan resolverle al nivel que corresponda. Es necesario para ello elegir un centro de origen en torno al cual se analice el problema. Este centro o ecosistema origen puede ser la cuenca o una porción de ella, o bien una unidad que, además de corresponder a una unidad natural, contenga elementos organizativos antrópicos, lo cual puede corresponder al predio. Lo anterior no significa que se ignore niveles más complejos o simples como el de la población, especie, órgano, tejido, célula, o incluso el molecular, atómico o subatómico, sino que su inclusión está contenida en torno al nivel de complejidad y jerarquía del problema que se desea resolver.

Los especialistas en problemas del ecosistema deben centrar su atención en torno al sistema como unidad integradora de la naturaleza; de la cuenca, como unidad de integración horizontal del espacio; y del predio como unidad entrópica de organización integrada de la naturaleza y el hombre.

Existe algo así como una autoridad central del sistema ecológico que rige los procesos, lo cual se designa como esencia interior. Contiene en sí las leyes ecológicas, en función de las cuales se desarrollan los procesos. También en el interior de un organismo se tiene una organización jerárquica. Los diversos órganos, tales como hojas, raíces y tallos, están organizados en sí mismos como un todo, pero subordinados a la totalidad de la planta (Heitler, 1976).

La solución de los problemas de los recursos naturales está enmarcada dentro de niveles jerárquicos definidos. Se puede considerar que una primera jerarquía corresponde a las leyes y principios físicos y que restringe los límites de factibilidad en la forma de cualquier decisión. Un segundo nivel jerárquico corresponde al ecológico, el cual, además de las restricciones físicas impuestas contiene restricciones de naturaleza biológica y físico-biológica. El tercer nivel jerárquico de toma de decisiones es de naturaleza sociológica, el cual incluye además de las restricciones anteriores, aquellas emanadas de las leyes sociológicas, en las cuales interviene el hombre organizado enmarcado dentro del contexto físico y ecológico. Estas tres restricciones jerárquicas reducen considerablemente el dominio de las alternativas. El último nivel jerárquico, dentro del manejo práctico de los recursos naturales es el económico, el cual debe necesariamente estar supeditado a las restricciones anteriores.

#### Orden y memoria

La ecología moderna tiene dos conceptos unificadores. Uno de ellos es el de organización, que establece que las propiedades del sistema dependen sólo en escasa medida de la materia y energía que lo compone (Stebbing, 1966; Margalef, 1974). Ello significa que, desde las partículas subatómicas hasta la comunidad de organismos o la fisiografía, la materia y energía que componen el sistema son menos relevantes que su ordenamiento o arreglo topológico (Thom, 1975; Patten, 1971). Otro aspecto unificador de la ecología es que la continuidad del sistema ocurre a través de una memoria, que opera por las leyes de la herencia y selección, en el caso de los organismos (Stebbing, 1966) y por la probabilidad de ocurrencia de eventos más probables en el caso de la biocenosis y del componente abiótico (Weisskopf, 1977).

Los ecosistemas presentan un orden natural que se prolonga año tras año debido a la existencia de un ambiente generado directa o indirectamente por la acción antrópica, el cual concluye finalmente por seleccionar y mantener el estado de mayor probabilidad del sistema. Los estados presentes, corresponden a los estados más probables caracterizados por las especies, fisionomía vegetacional, edafótomo y microclima y otros atributos descritos en este y otros trabajos.

La repetibilidad del sistema no es total, ya sea que se trate de memoria genética o probabilística. Algunos sistemas son de mayor fidelidad que otros, es decir, que su grado de repetibilidad es mayor. Los ecosistemas, al aproximarse a su estado climácico, presentan mayor repetibilidad que en las etapas pioneras, pues la tasa de cambio de estado es menor, en este último caso.

#### Persistencia y crecimiento ecosistémico

Este principio establece que el ecosistema tiende a sobrevivir y crecer hacia la máxima biomasa persistente (Reichle, O'Neill y Harris, 1975).

Entre las propiedades más sobresalientes de los ecosistemas se tiene:

- Su tendencia a persistir, a pesar de las acciones que se ejerzan sobre éste,
- Su capacidad de continuar creciendo a pesar de las fluctuaciones ambientales, y
- El crecimiento del ecosistema o del nivel respectivo de complejidad es continuado, aunque sus componentes sean de menor longevidad y deban sacrificarse.

A manera de ejemplo se puede citar a los organismos que tienden a persistir aunque las células se destruyan; la población que continúa

creciendo más allá de la longevidad de los organismos; y el ecosistema que aunque algunas poblaciones individuales se reemplacen, el conjunto continúa creciendo. Aunque, los mecanismos organizativos difieran para cada nivel de complejidad, la persistencia y crecimiento constituyen propiedades fundamentales de los organismos vivos (Reichle, O'Neill y Harris, 1975).

El ambiente que rodea a los organismos no es constante, presentando fluctuaciones que varían tanto en su amplitud como en la fase. Las poblaciones de cualquier naturaleza, capaces de subsistir son la base de la persistencia del sistema. Las relaciones de retroalimentación entre ambiente y población, expresado a través de sus tasas de cambio y ajuste son la base de la persistencia del sistema.

El crecimiento ecosistémico en su ambiente constante tiende a alcanzar un máximo que persiste en estado de equilibrio con el medio (Figura 2). Las variaciones ambientales, que oscilan alrededor de una media reducen este nivel de equilibrio, de manera de alcanzar a una biomasa persistente inferior a la que ocurre en ambientes constantes.

El incremento de la severidad o frecuencia de las alteraciones tiende a reducir la máxima biomasa persistente (Figura 3). Los ecosistemas crecen hacia la máxima cantidad de tejido vivo compatible con el ambiente medio conjuntamente con sus variaciones alrededor de esa media (Reichle, O'Neill y Harris, 1975).

Los componentes que cumplen funciones específicas de carácter de sobrevivencia del ecosistema, tienden a persistir. La presión selectiva negativa del medio elimina a las poblaciones que no cumplen funciones vitales en el sistema.

Figura 2

Crecimiento constante de la biomasa persistente en el ambiente no fluctuantes  
y sometida a variaciones ambientales (Reichle, O'Neill y Harris, 1975)

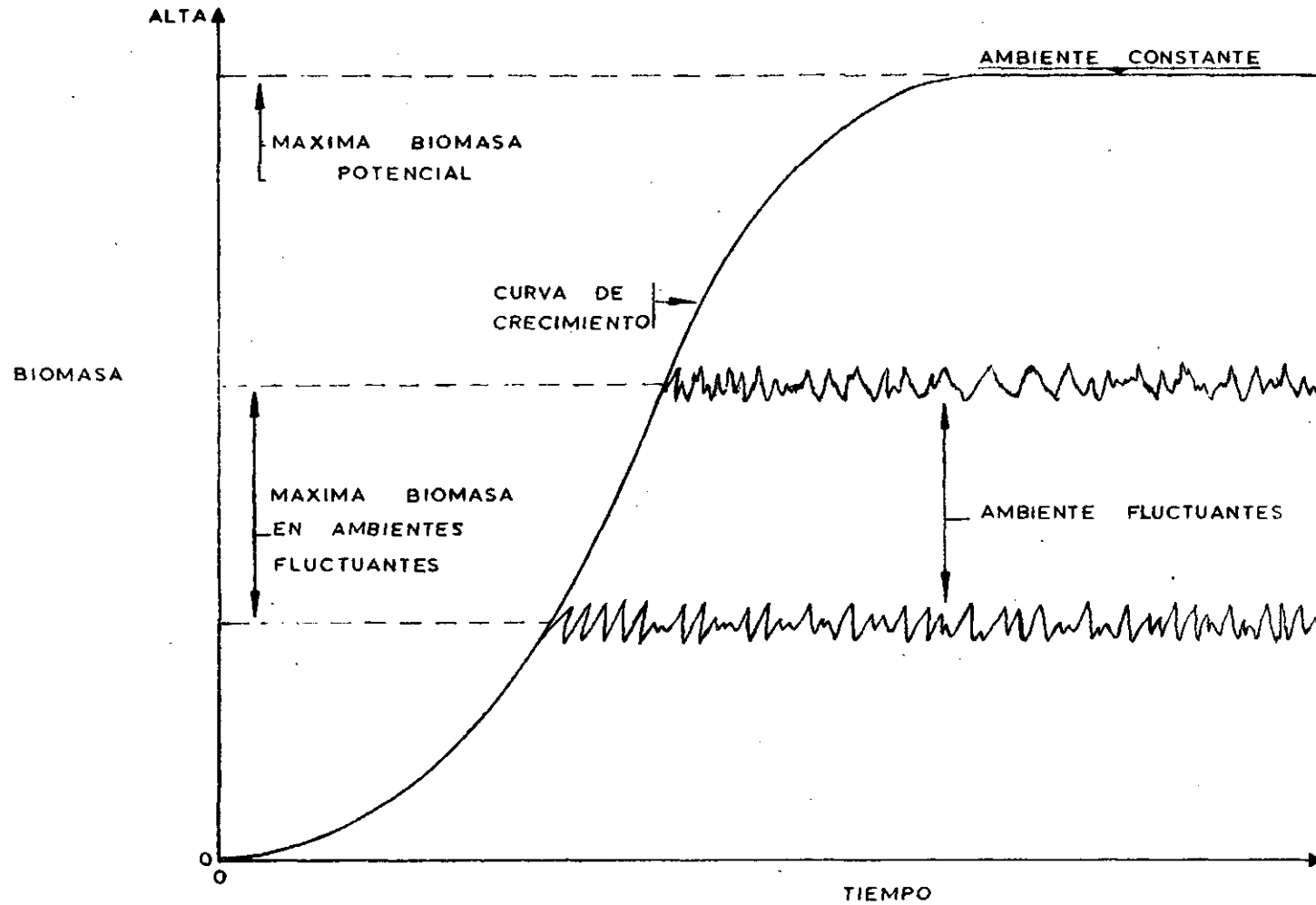
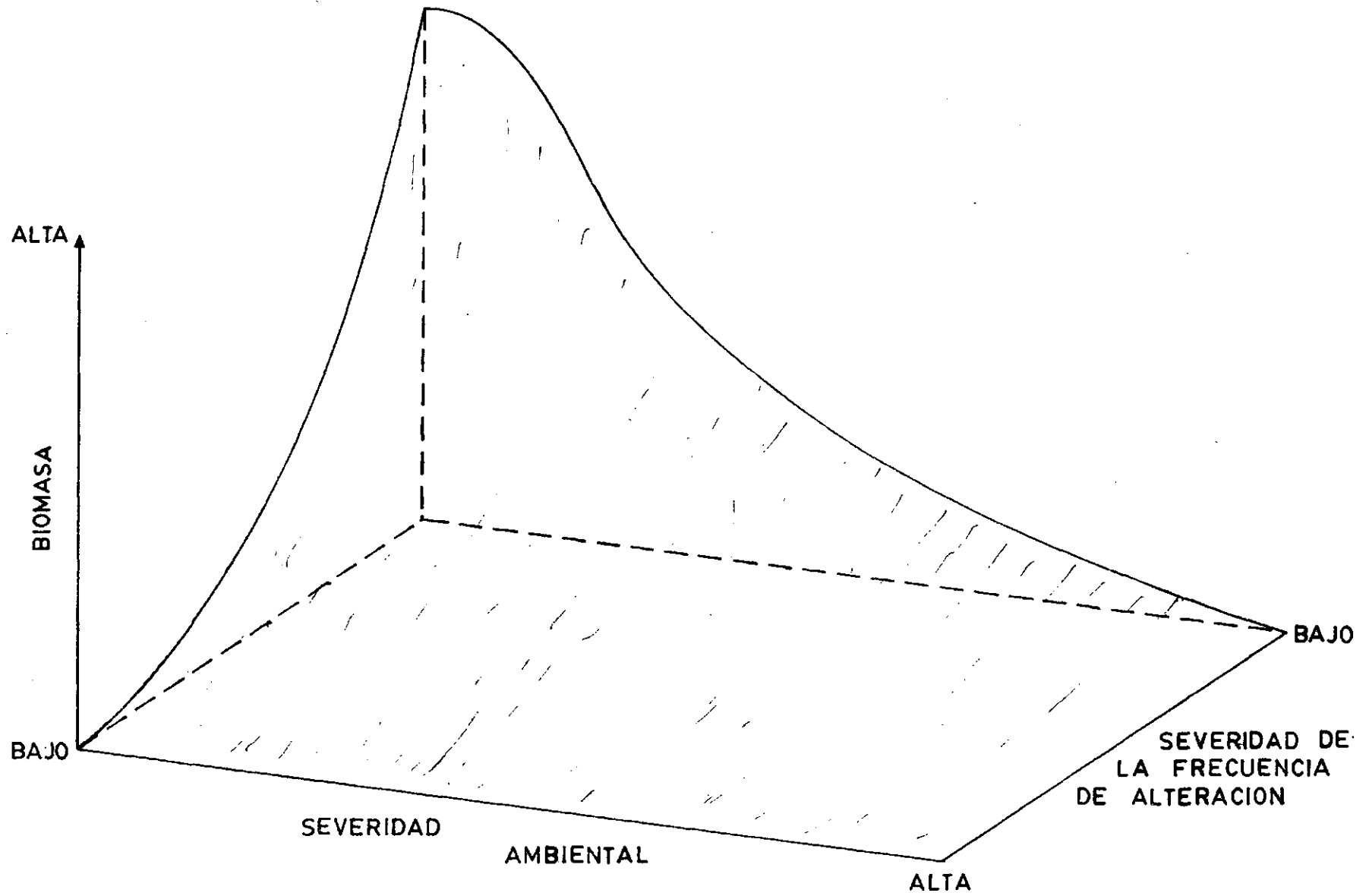


Figura 3

Efecto general de la severidad ambiental y de frecuencia de alteración en la máxima biomasa persistente (Reichle, O'Neill y Harris, 1975)



La cosecha de los componentes de los recursos naturales renovables con el fin de satisfacer necesidades antrópicas, reduce la máxima biomasa persistente con lo cual se alteran los atributos del ecosistema.

### Flujo y circulación

El ecosistema funciona de manera de gastar la energía fácilmente disponible, de tal forma de minimizar las limitantes de nutrientes y agua (Reichle, O'Neill y Harris, 1975).

Estos autores establecen que los sistemas ecológicos pueden ser concebidos como unidades que procesan energía, las cuales usualmente no están limitadas por las disponibilidades de energía radiante, sino que por las disponibilidades de nutrientes esenciales y agua, además de estar controladas por el clima.

Las tasas en que ocurren los procesos naturales están reguladas por las disponibilidades de nutrientes minerales. Estos procesos requieren de energía para operar la cual es liberada en la medida de la intensidad del proceso.

En el proceso de funcionamiento del ecosistema es de fundamental importancia la unión de la energía y materia.

Debe distinguirse la energía, que fluye en el sistema de la materia que circula y recircula, aunque una fracción de ésta se pierde por derrames. Esta fracción hace que el proceso de circulación no sea completamente cerrado.

La circulación de cada uno de los nutrientes tiene un costo energético diferente. Es este costo lo que integra energía con nutrientes o materia, ya que la mayor eficiencia de uno, a menudo esté acompañada de una menor eficiencia de lo otro (Reichle, O'Neil y Harris, 1975). La energía que llega al ecosistema es relativamente ilimitada, la cual se gasta en la conservación de los limitados recursos nutritivos. Así por



ejemplo, se tiene que un ecosistema puede ser muy ineficiente en la utilización de energía, con el fin de incrementar la eficiencia de utilización de nutrientes.

### Canalización antrópica

Dado que la especie humana ocupa un nicho y habitat determinado, la transformación ecosistémica pretende optimizar ecosistemas que tiendan a satisfacer los requerimientos antrópicos.

La transformación ecosistémica, tiene como fin alcanzar estados que optimicen los recursos necesarios para satisfacer el nicho antrópico, simultáneamente con producir los recursos necesarios para mejorar el habitat de la especie.

La cosecha de la biogeoesctructura por el hombre, persigue canalizar los componentes de interés para la especie. El proceso continuado de cosecha transforma reiteradamente al sistema, dejando cada vez un remanente más concentrado de componentes de menor valor antrópico. Este proceso concluye con la generación de sistemas de escaso valor, o en caso contrario, al agotarse los recursos disponibles y reducirse consecuentemente su estabilidad, puede finalmente llegar a su destrucción.

El teorema de Le Chatelier (Maximov, 1929), establece que la intensificación de los factores ambientales reguladores de un sistema, origina un incremento de su resistencia al factor. Este mismo principio ha sido enunciado afirmándose que la perfección de la adaptación de cualquier atributo depende de su importancia relativa en el sistema (Watt, 1973).

La mayor intensificación de un factor significa una mayor capacidad selectiva de los componentes del sistema, el cual se traduce en un estímulo al desarrollo de los componentes y conexiones mejor adaptados.

Los sistemas consistentemente cosechados por el hombre se transforman gradualmente en estados diferentes en que tanto los elementos benéficos como los perjudiciales presentan atributos distintos de los sistemas naturales.

#### Óptimo y factores limitantes

Teóricamente, en problemas ecosistémicos se considera que existen mecanismos relacionados con el flujo de materia, energía o información que actúan como limitantes del sistema. El exceso o defecto de elementos limita el funcionamiento del sistema a niveles inferiores a su potencial cuando el elemento se encuentra en el rango cualitativo compatible entre los límites de tolerancia.

En problemas de productividad se considera teóricamente que siempre existe un factor limitante. Si no existiera un factor limitante, cualquiera que éste fuera, la productividad expresada en términos de rendimiento por unidad de superficie, se aproximaría al infinito. Ello, sin embargo, no ocurre porque siempre aparece algún factor limitante.

Uno de los objetivos principales que se persigue en los estudios que tienen como objetivo final transformar el ecosistema es describir los factores que actúan como limitantes, estudiar los mecanismos que provocan esta regulación ecocibernética y corregir ese limitante hasta alcanzar el nivel que corresponda de acuerdo con algún criterio de óptimo.

La ley de los factores limitantes, dentro de un contexto ecológico moderno, puede ser enunciada en la siguiente forma: cuando una cantidad del efecto depende de un número variable de factores y debe ser función de uno o un conjunto de ellos, la cantidad de la causa es aquella función que da el valor constante del efecto, aunque las otras funciones varíen cualitativamente (Billings, 1965; Browne, 1942). Ello significa que

existen factores que actúan como limitativos al cambio de estado ecosistémico, los cuales pueden actuar como máximos o mínimos; es decir, estar en exceso o defecto, de manera de limitar el cambio de estado del sistema aunque otros factores sean modificados (Browne, 1942). El factor limitante del ecosistema puede ser: los nutrientes de la planta, la luz solar, la permeabilidad de la membrana celular, la densidad de predadores, la diversidad de especies, o cualquier otros que limite al sistema.

El complemento a la ley de los factores limitantes es el principio desencadenador (Billings, 1965). Este principio establece que la eliminación de limitantes ecosistémicos ocasiona en forma directa o inmediata mayor desarrollo de los elementos afectados, pero en forma indirecta o mediata, otros cambios ecosistémicos. Todos éstos generan condiciones muy favorables para la modificación de otros componentes, modificando posteriormente a los factores limitantes originales.

La ley del óptimo establece que la magnitud en que se expresan los factores limitantes en un sistema ecológico varía de acuerdo a la magnitud de los factores que se encuentran en niveles óptimos (Leibsch, 1895). Dicho en otros términos, significa que los factores limitantes del ecosistema pueden ser modificados al variar los factores no limitantes que se encuentran en niveles cercanos al óptimo. A manera de ejemplo, puede indicarse que en una zona árida, donde la limitante ecosistémica es el agua, la modificación de la composición botánica puede elevar la productividad, ya que el agua puede estar limitando directamente la composición botánica y ésta a su vez la productividad.

#### Costos y beneficios ecológicos

La ley de los incrementos decrecientes o ley de Mitcherlich, establece que los incrementos de la producción correspondientes a cantidades crecientes de un factor de la producción son cada vez menores.

La ecuación que cuantifica lo expresado en esta ley es la siguiente:

$$P = A (1 - e^{-c(x+b)})$$

donde:

$P$  = productividad real bajo la acción de una determinada cantidad del factor de producción.

$A$  = productividad máxima posible. Cuando los resultados se expresan en porcentaje es igual a 100.

$c$  = constante que expresa la pendiente de la curva.

$b$  = unidades presentes del factor, previo a la adición de éste, y

$x$  = unidades adicionadas del factor.

$$x + b = E \text{ (estimulos totales,}$$

La corrección de limitantes se logra a través de la adición de estímulos con el fin de lograr un incremento de la respuesta. Dado que los incrementos de la respuesta se producen siguiendo una función de incrementos decrecientes, se requiere adicionar los estímulos hasta un nivel que no sobrepasa la óptima relación de costo-beneficio.

Los estímulos endógenos y exógenos que deben aplicarse al sistema ecológico en el proceso de tecnificación o artificialización de la agricultura son mayores a medida que se intensifica el proceso. Dado que el sistema se ajusta al principio holocéntrico y que algunos factores tienen mayor poder regulador que otros (Del Villar, 1929) la intensificación de la agricultura se ajusta a una función exponencial del incremento de los costos.

Niveles tecnológicos elevados representan altas productividades brutas, correspondientes a sus niveles asintóticos. Por otro lado, el incremento de la artificialización, eleva exponencialmente los costos de manera que a niveles elevados de tecnología los costos tienden a incrementarse en tasas mayores que los beneficios (Figura 4).

### Dinámica del sistema

En términos generales, la ecuación que rige la dinámica del sistema está dada por:

$$\frac{\delta \Lambda(t)}{\delta t} = M[\Lambda(t), \mathcal{E}(t), t]$$

en la cual  $\Lambda$  representa la matriz de arquitectura que define las variables de estado,  $\mathcal{E}(t)$  representa el vector de estímulos controlables o que son ajustables por el diseñador del sistema y  $t$  indica la dependencia temporal que existe entre el sistema y el ambiente.

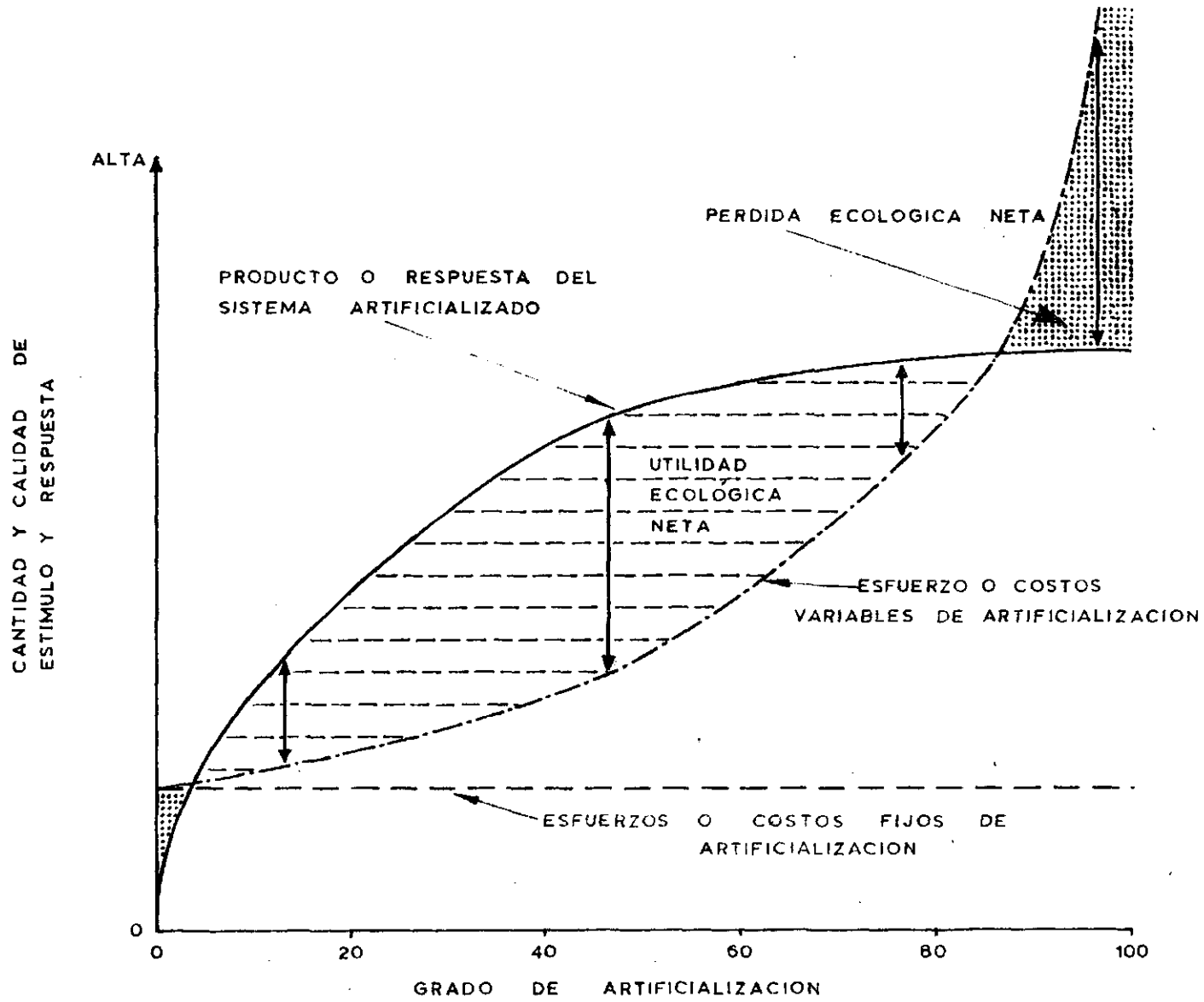
Memoria y selección son la base sistemogénica de los cambios direccionales de los sistemas ecológicos. La memoria del sistema se rige por las leyes de la herencia y las de la probabilidad, ya sea que se trate de organismos o materia.

La selección de arreglos topológicos se rige por la probabilidad de ocurrencia del evento, dentro del cual el ambiente opera como mecanismo seleccionador. El hombre organizado constituye un elemento más del ambiente, y como tal interviene en el proceso selectivo de los arreglos topológicos. Los arreglos topológicos más probables son los que concluyen por perdurar. La organización entrópica varía entre rangos muy amplios y un efecto seleccionador del arreglo topológico cada día se hace mayor, debido a su mayor control sobre la materia.

La dinámica del sistema está regulada por el ambiente entrópico que le rodea al interactuar con los mecanismos ecocibernéticos propios

Figura 4

Relación general de costos y beneficios ecológicos de acuerdo al grado de artificialización del ecosistema



del sistema, hasta alcanzar el estado más probable para cada ambiente dado. El hombre, al modificar el ambiente biótico y abiótico afecta los mecanismos endógenos y exógenos de manera de provocar modificaciones en la tasa de cambio, en la dirección y en el estado de equilibrio o meta-equilibrio que logre alcanzar el sistema. De acuerdo con la escala relativa de tiempo, los cambios que se produzcan pueden ser graduales o abruptos, debiendo en cada caso seleccionarse el que corresponde.

### Atractores

La teoría de Thom (1975) establece que todos los posibles cambios bruscos entre puntos de equilibrio estático, denominados atractores, están determinados por catástrofes elementales. Un atractor, en el caso más simple, está dado por un solo estado estable y su efecto es similar al del imán, donde todo lo que se encuentre bajo su campo de acción sería atraído. Bajo la influencia de un atractor, el sistema adquiere un estado de equilibrio estático. Más concisamente, si  $(N, V)$  es un sistema dinámico formado por un múltiplice  $N$ , y  $V$  es un campo vectorial suave, un conjunto dado  $C$  de  $N$  se dice que es un atractor si cada trayectoria del sistema que se inicia suficientemente cerca de  $C$  converge hacia  $C$ .

Los ecosistemas de recursos naturales pueden variar endógenamente su estado. No todos los estados posibles de un sistema ecológico presentan iguales probabilidades de ocurrencia. Algunos estados son más probables que otros. Los estados más probables son los más frecuentes, en tanto que los menos probables raramente se encuentran en forma natural.

Los estados que, desde un punto de vista antrópico, son los más convenientes, a menudo son de baja probabilidad de ocurrencia. Es necesario, en esos casos, aplicar estímulos exógenos de manera de elevar sus probabilidades de ocurrencia. Ello equivale a una modificación del ambiente ecosistémico, de manera de generar un atractor antrópico diferente

a los atractores naturales, cuya probabilidad de ocurrencia supere a la probabilidad original de los atractores naturales.

El proceso indiscriminado de cosecha de componentes del ecosistema de parte del hombre provoca necesariamente un cambio de estado. El resultado de esta transformación es el estado más probable, en ausencia de los componentes de mayor valor ya cosechados. Raramente el estado del sistema ecológico, luego de su cosecha indiscriminada, corresponde al óptimo antrópico.

Los atractores naturales, propios de la cosecha indiscriminada de componentes ecosistémicos corresponden a los estados más comunes de los ecosistemas exportados. En el manejo de recursos naturales, en cambio, se persigue no una cosecha maximizada por una sola vez, sino que una cosecha sostenida, optimizada de acuerdo a algún objetivo antrópico.

Explotación y manejo de recursos naturales, difieren no sólo en la intensidad de cosecha, sino de su ritmicidad, estabilidad, homostasis y de la armonía que se logra entre componentes y conexiones ecosistémicas, además de corresponder a atractores diversos. En el caso de la explotación, la probabilidad del atractor ocurre accidentalmente, en cambio, en el caso del manejo, los estímulos adicionales corresponden a los requeridos para maximizar un determinado atractor.

Varias características de las megástrofes del tipo acuminado son compartidas por sistemas biológicos y sociales. Dentro de las más importantes cabe mencionar a las siguientes:

- a. Carácter bimodal,
- b. Los patrones de cambio bruscos exhiben histeresis,
- c. Dentro del pliegue, donde el comportamiento se torna bimodal, la zona central es una zona inaccesible, y
- d. Una perturbación pequeña en el estado inicial del sistema puede resultar en un cambio considerable en el estado final, denominado divergencia.



Cabe mencionarse que el presente modelo, por ser uno de los más elementales de la teoría de metástrofes, puede ser un buen modelo para algunos procesos de cambio de estado ecosistémicos; sin embargo, vale la pena someterlo a pruebas cuantitativas y experimentales.

El objetivo de incluir la teoría de metástrofes dentro del manejo del recurso natural, sería el de enmarcar dentro de una teoría general una dialéctica de transformación de ecosistemas que permita diseñar en ciertas circunstancias, metástrofes de interés antrópico. De acuerdo con Thom (1975), el conjunto de metástrofes elementales que se producen del desdoblamiento estable de funciones de codimensión  $\leq 4$  con un punto crítico, son siete.

## V. ESTABILIDAD

### Atributos

Cuatro atributos del sistema ecológico están relacionados con su estabilidad (Reichle, O'Neill y Harris, 1975):

- 1) Establecimiento de una base energética,
- 2) Desarrollo de reservas energéticas,
- 3) Recirculación de elementos, y
- 4) Tasa de regulación

Los organismos autótrofos presentan adaptaciones que les permiten optimizar el uso del agua y luz, proporcionando las bases para el desarrollo de los organismos heterótrofos. En ambientes fluctuantes, existe una combinación de organismos rápidos de pequeño tamaño, que se comportan como oportunistas y grupos de organismos grandes, de reacción lenta a las fluctuaciones ambientales, los cuales le dan estabilidad y persistencia al sistema.

Las reservas energéticas se deben ajustar a las condiciones ambientales en que se desarrolla el ecosistema. En cuanto a sus atributos puede considerarse su: calidad, movilidad y funciones. En cuanto a la calidad puede ser óptima o subóptima. La movilidad puede ser alta o baja, de acuerdo a las dificultades de mobilizarse. Finalmente, además de su base energética pueden cumplir otras funciones en el sistema.

El grado de histeresis de las reservas, debe ser compatible con la amplitud y fase de las fluctuaciones ambientales, de manera de darle una estabilidad compensatoria, de acuerdo al grado de homeostasis que deba contener el ecosistema (Reichle, O'Neill y Harris, 1975).

Para el normal funcionamiento del ecosistema se requiere una proporción adecuada de elementos y conexiones en el ecosistema. Los mecanismos de control y circulación de elementos regulan su reciclaje en el sistema. La

recirculación de elementos es esencial para optimizar el uso de elementos escasos o de difícil obtención en estado aprovechable. Una fracción importante de la energía disponible en el sistema se emplea en la conservación y recirculación de esos elementos.

Se ha planteado en forma hipotética que al existir niveles adecuados de suministro de agua y energía, el nivel de máxima biomasa persistente está determinado por el suministro de elementos esenciales, los cuales en un alto grado, su presencia se debe a la elevada tasa de recirculación (Reichle, O'Neill y Harris, 1975). En circunstancias en que el agua y la energía son limitativas al desarrollo ecosistémico, la tasa de recirculación se reduce ya que no es posible mantener funcionando una biomasa compatible con los requerimientos de recirculación. Es por ello que el mayor desarrollo de los mecanismos conservadores de energía se presenta en los bosques cálidos y húmedos, donde el suministro hídrico y energético es abundante.

El tamaño de la masa viva está relacionado con su capacidad de almacenamiento de nutrientes, siendo mayor en las masas mayores. El reciclaje lento de base energética alternante, maximiza la eficiencia de conservación de los elementos del sistema. La materia orgánica disponible debe exceder la demanda de los tejidos vivos además del costo de mineralización por los descompositores.

El contenido energético de la máxima materia orgánica persistente corresponde a los requerimientos de mantención a largo plazo. La acumulación de materia orgánica inactiva representa un costo energético, que asegura la disponibilidad de elementos esenciales (Reichle, O'Neill y Harris, 1975).

La presencia de elementos almacenados en la biomasa, no asegura de por sí persistencia del sistema. Se requiere, además, de mecanismos que liberen y hagan recircular a los elementos, mecanismo que se centra

principalmente en los descompositores, los cuales son liberados en estados y tasas que les hagan aprovechables nuevamente en el sistema. De acuerdo al mecanismo y su operación, el tiempo de residencia en el sistema puede ser variable, aunque una mayor residencia puede venir acompañado de mayores costos energéticos.

La utilización de las reservas energéticas y de elementos está regulada por diversos mecanismos que alternativamente les atan y liberan. Frecuentemente, los microorganismos juegan una función importante en el proceso de liberación aunque el costo de operación del mecanismo puede ser elevado. En ecosistemas forestales se ha calculado que un 95% de la respiración heterotrófica total proviene de los microorganismos operando sobre detritus, lo cual viene a confirmar la elevada proporción de energía invertida en el reciclaje.

El mecanismo de regulación del reciclaje evita un despilfarro de elementos, energía y agua, de manera de permitir la continuidad del funcionamiento normal del sistema.

### Diversidad y estabilidad

La noción de diversidad en ecología tiene sus raíces en la riqueza de especies y variedades y depende de la capacidad de discriminar entre individuos, especies, genotipos y otros (Margalef, 1969). La diversidad de una comunidad es proporcional a la biomasa dividido por la productividad (Watt, 1973); lo cual significa, según el autor que la eficiencia del sistema aumenta a medida que la complejidad organizada se eleva.

Aún cuando el macroambiente original tenga un cierto grado de homogeneidad, la incorporación de organismos lo diversifica creando variedad de microhabitats y nichos. La acción de los organismos sobre el medio es una de las causas principales de la generación de heterogeneidad, lo cual crea nuevos habitats y nichos, que pueden ser ocupados por organismos adaptados a ellos. La especialización de variedades y especies para ocupar

habitats restringidos dentro de ciertos límites y a desempeñar funciones determinadas trae como consecuencia una diversificación de la comunidad. El equilibrio biocénosico es posible debido a una división especializada del trabajo que permite que los organismos de diversas especies que ocupan nichos y habitats diferentes no compitan entre sí (Elton, 1946).

La ley de Elton indica que la complejidad produce estabilidad y así lo ha demostrado Pimentel (1961). A medida que las alternativas de cauces de flujo energético se incrementan la estabilidad del sistema también se mejora (MacArthur, 1955). El aumento de la diversidad biocénosica está íntimamente relacionado con la homeostasis del sistema (Pimentel, 1968).

Los sistemas incoherentemente organizados o inestables se modifican o destruyen fácilmente; sólo perduran los sistemas coherentemente organizados o estables. La selección en favor de una organización coherente aporta información al sistema al nivel de desarrollo más bien que genético (Wilson, 1968). En la naturaleza, los sistemas más diversos son a menudo más estables (Margalef, 1969).

La selección natural aporta información al pool de genes de la especie, lo cual conduce hacia una mayor complejidad, mejor ajuste de la población en sus nichos y aumento de la densidad y variabilidad genética (Wilson, 1968). Los mecanismos de selección del sistema, tales como la selección natural y el principio de orden desde el orden aumentan la información y lo mantienen dentro de un sistema coherente (Wilson, 1968). La reunión de componentes diversas en un sistema puede tener variados significados, pues puede tratarse de comunidades bien organizadas, capaces de autopropagarse en un biótopo o una simple unión casual de organismos (Margalef, 1969).

En sistemas agrícolas, donde el origen último o mediato de la regulación es antrópico, se persigue a menudo alcanzar un grado mínimo de diversificación. Se llega a menudo a establecer biocenosis monoestratificadas,

monoespecíficas y coetáneas que supuestamente lograrán mayor productividad de biomasa canalizable para la utilización antrópica.

La cosecha indiscriminada de los elementos más valiosos del ecosistema con el fin de satisfacer necesidades antrópicas reduce la diversidad del sistema ecológico, al retirar o destruir los mecanismos propios del sistema. El proceso de transformación que se produce como consecuencia de la cosecha, desencadena una secuencia de cambios de dirección opuesta a los del principio del orden desde el orden, que tiende a seleccionar los elementos y conexiones más valiosas. La cosecha selectiva del hombre, retira sistemáticamente los elementos de su interés, con lo cual desorganiza el sistema natural con cierto grado de madurez o desarrollo y deja un remanente incoherentemente organizado, que además es de menor productividad y estabilidad.

La sola cosecha del sistema viene acompañada de un cierto grado de destrucción y desorganización, dependiendo del valor de los elementos cosechados y de la intensidad y frecuencia de cosecha. Cosecha debe ser reemplazado por manejo, proceso en el cual se busca el balance conveniente entre los intereses antrópicos y el funcionamiento normal del ecosistema sobre una base del satisfactum antrópico.

#### Adaptación al medio

La adaptación de la biocenosis está gobernada por el principio de la integración, que constituye la antítesis de la ley de los factores limitante, que restringe la adaptación de los organismos a aquellos ambientes en que su rango de tolerancia se encuentra restringido entre los límites en que está capacitado para vivir. Dado que el ambiente cambia constantemente, el principio de la integración, establece la forma en que los organismos individuales, las poblaciones, la biocenosis y el ecosistema se adaptan consecuentemente de manera que se produzca el mejor ajuste entre la biocenosis y el ecótopo.

El principio de la integración (Hooker, 1971) establece que la adaptación de la biocenosis al ecótopo está gobernada por cinco procesos importantes: respuesta a estímulos, respuesta morfogénica, evolución, sucesiones ecológicas y migraciones.

La respuesta a estímulos se refiere a la reacción de los organismos frente a cualquier estímulo ambiental. El factor ambiental puede variar en intensidad, y corresponde al estímulo que opera sobre el organismo. El organismo sólo reacciona cuando el estímulo está dentro de ciertos límites, los cuales están establecidos en la estructura genética del individuo, y que son los que regulan el funcionamiento individual.

La respuesta morfogénica involucra cambios permanentes en la estructura y en la forma de los organismos sometidos a diferentes estímulos ambientales. Es la plasticidad morfológica y fisiológica del organismo sometido a diversos ambientes o estímulos. Plasticidad es la variación fenotípica de un genotipo en diferentes ambientes. La resultante de la respuesta morfogénica es la plasticidad.

La evolución genética es una parte del proceso integrador. El potencial biótico o de crecimiento de una población es superior a la capacidad ambiental. La resistencia ambiental evita que la densidad poblacional sobrepase los límites de su capacidad sustentadora. La resistencia ambiental opera como mecanismo seleccionador de la población.

La ocupación de suelos y climas diferentes o poco usuales involucra casi inevitablemente la formación de razas genéticas diferentes. Las poblaciones marginales de una especie también se encuentran en tipos diferentes para la especie (Raven, 1964).

El ambiente de un organismo y de una población no sólo está integrado por los recursos abióticos y el habitat, sino que incluye además a las otras poblaciones y a los otros organismos de la misma

población. Los cambios en la plasticidad, densidad poblacional y especies que integran una biocenosis modifican el ambiente donde el organismo se desarrolla, incluso el de sí mismo. El potencial biótico de aumento poblacional de una especie es superior a la capacidad ambiental, de allí que opere la selección.

Los organismos no son seleccionados al azar, pues los mejor adaptados al medio tienen mayores posibilidades de subsistir. Ocurre en esta forma una selección natural que tiende a dejar los fenotipos mejor adaptados. Las poblaciones naturales están generalmente sujetas a un incesante efecto de selección que envuelve normalmente una reproducción diferenciada.

El efecto de la selección puede ser estabilizador, direccional o disruptivo. Si una población vive durante varias generaciones en un ambiente constante puede lograr un alto nivel de adaptación; sin embargo, la selección no cesa allí, asumiendo una acción estabilizadora, debido al continuo aparecer de genotipos de menor adaptación, a través de mutaciones, migraciones y recombinación.

Esta situación de equilibrio puede ser trivial si la población se expone a un cambio en el ambiente. En este caso, los genotipos escogidos para la selección natural son diferentes, debido a que otros son los que producen fenotipos mejor adaptados a la nueva situación.

Las sucesiones ecológicas son un mecanismo de adaptación al medio de la biocenosis. De acuerdo a las características del medio, la tasa de cambio de las diversas poblaciones que integran la biocenosis se alteran, aumentando en algunos casos y disminuyendo en otros. El resultado final es el desarrollo de fitocenosis y zoocenosis mejor adaptadas y ajustadas al medio.

El desarrollo de biocenosis con características estructurales definidas no es fruto del azar, sino que el resultado de un largo proceso



de adaptación de la biocenosis al medio. Las sucesiones ecológicas son una de las estrategias más importantes en el proceso de adaptación al medio.

La comunidad biótica al transformarse sucesionalmente no sólo modifica la composición florística y zoológica sino que también modifica el microambiente donde cada organismo se desarrolla; de ello deriva su importancia en la evolución, pues modifica su capacidad de selección de los ecotipos mejor adaptados al habitat generado en la sucesión. La velocidad, dirección y etapa final de la sucesión ecológica tiene influencia en la evolución de las poblaciones. De allí que el manejo sucesional del ecosistema está relacionado con la evolución genética de las poblaciones y con el principio de la integración.

Las migraciones de individuos y genes facultan a las poblaciones para desarrollarse en habitats y nichos desocupados, distantes de su propio territorio, en el cual presenten buenas características de adaptación.

Los ecosistemas maduros, que han evolucionado en ambientes físicos estables, no tienen necesariamente mecanismos homeostásicos que permitan compensar las variaciones externas (Watt, 1973). La evolución en ambientes irregulares y variables ha convergido en el desarrollo de mecanismos homeostásicos centrados en el individuo, población, sistema o, incluso, en el ecosistema completo. La acción del hombre tiende, en general, a reducir la complejidad y estabilidad del sistema (Detwyler, 1971).

En sistemas antrópicos, la adaptación de la biocenosis debe incluir, además, alta productividad y calidad, de acuerdo a estándares de interés humano.

## VI. CARGA Y DESCARGA

Proceso

En el ecosistema, la arquitectura puede ser considerada como una unidad susceptible de almacenar y entregar 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 tasa de carga y descarga.

Carga ecosistémica es el contenido de materia, energía e información de un ecosistema en un momento dado. Se entiende por carga  $Q$ , al valor total de los diversos tipos de energía contenida en el sistema en un instante dado. Un caso de este tipo de energía generalizada está dado por:

$$Q(t) = \sum_i c_i U_i(t) \quad \text{donde:}$$

$U_i$  = 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 de la arquitectura sigue la siguiente ecuación:

$$\frac{dQ}{dt} = f(Q; C_Q; t)$$

de donde la función  $f$  tiene una forma determinada de acuerdo con el tipo de proceso de que se trate y  $C_Q$  representa la capacidad potencial de carga.

El cambio de estado del ecosistema es un proceso continuo y cíclico que consta fundamentalmente de dos etapas, una de carga y otra de descarga. La etapa de carga consta de dos partes separadas. En la

primera parte, la acumulación de la carga se debe al proceso de transformación de los componentes topológicos, pudiendo denominársele etapa de construcción del arreglo topológico  $\sigma(n)$ . 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  $\eta(t)$ .

El período de descarga, consta a su vez de dos partes. La primera corresponde a la cosecha de  $\eta$ , lo cual, al igual que en el caso anterior tiene que venir acompañado de un cambio en el arreglo topológico. La segunda parte de este período consiste en la desarticulación de los componentes topológicos  $\sigma(\eta)$  concluyendo en la etapa final donde alcanza su  $Q$  mínimo.

La capacidad de carga  $C_Q$  depende del arreglo topológico  $\sigma$  intra e intercomponentes que constituyen el ecosistema y de la dimensión  $\eta_2$  y  $\eta_1$ , de estas unidades.

En el manejo de recursos naturales y en los procesos de transformación de arquitecturas se persigue desarrollar arreglos topológicos que permitan mantener una capacidad de carga  $C_Q$  compatible con la carga que es capaz de producir el ecosistema, simultáneamente con la maximización de esta última.

Puesto que el ecosistema debe almacenar materia energía 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:

- Las características topológicas propias de las unidades de acumulación,
- Las características propias del producto acumulado y de la cubierta protectora o aislante del acumulador.

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

El diseño de acumuladores ecosistémicos 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 fácilmente cosechados o descargados es necesario, además, incurrir en costos para producir mecanismos defensivos que tienden a evitar esta descarga, aunque su efectividad no sea total.

Los procesos agrícolas de recursos naturales, cultivos y ganadería corresponden generalmente a actividades periódicas de ciclo anual que se caracterizan por aumentar su productividad durante ciertos lapsos, comportándose en esta forma como un acumulador, para luego ser cosechados en un lapso que puede ser relativamente breve, correspondiendo a la descarga. Tanto para acumular como para descargar, se requiere de conductores 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.

En resumen, el proceso de carga en un ecosistema consiste en la adición de diversos tipos de estímulos  $\mathcal{E}$  en forma de energía, materia e información y en una proporción determinada. La descarga corresponde a la fracción de la respuesta del sistema que se retira y

es dependiente del comportamiento  $\beta$ . En un sistema en equilibrio, la magnitud de los vectores estímulo y respuesta es idéntica, aunque de signo contrario, pero con diversas proporciones entre sus componentes.

### Metabolismo

Metabolismo ecosistémico puede ser definido como el proceso que ocurre continuamente en el sistema ecológico, el cual comprende dos fases que pueden ser simultáneas o alternadas: aquella en que se incrementa el tamaño o el arreglo, denominada anabolismo, y el proceso inverso de descomposición de los componentes más complejos en otros más simples o catabolismo, liberándose energía para todos los procesos ecosistémicos.

En el proceso de funcionamiento del sistema ecológico, la energía acumulada se gasta para facilitar el intercambio de materia (Reichle, O'Neill y Harris, 1975). La categorización de los procesos energéticos en la nutrición del sistema ecológico, en lugar de los niveles tróficos tradicionales permite comparar los niveles metabólicos de los diversos modelos ecosistémicos (Reichle, 1975). Así es posible comparar los atributos metabólicos de manera de establecer diferencias de eficiencias y eficacia de las diversas arquitecturas de sistemas.

Algunos de los parámetros metabólicos usualmente empleados en el análisis de procesos metabólicos son los siguientes:

Productividad primaria bruta o fijación total de energía (GPP)

Respiración autotrófica o costo de producción ( $R_A$ )

Productividad primaria neta (NPP)

Respiración heterotrófica ( $R_H$ )

Producción neta del ecosistema (NEP)

Respiración ecosistémica

Eficiencia de producción  $R_A/GPP$

Producción efectiva  $NPP/GPP$

Eficiencia de mantención  $R_A/NPP$

Asignación de respiración  $R_H/R_A$

Productividad ecosistémica  $NEP/GPP$  (Reichle, 1975).

La productividad de un ecosistema es proporcional a la masa de materia disponible por unidad de tiempo y la cantidad de energía susceptible de ser empleada en la transformación. Debido a que las disponibilidades de materia prima para los organismos del sistema ecológico es limitativa, en el proceso metabólico es importante su tasa de recirculación (Ryszkowski, 1975).

Las estructuras ecológicas se mantienen, modifican y se adaptan a expensas de la energía que pueden invertir. En este aspecto, la productividad primaria bruta representa la fijación total de energía del sistema, lo que depende de la fotosíntesis y de los nutrientes disponibles. La respiración autotrófica es una medida de su ineficiencia o costo ecológico de productividad primaria neta. La respiración heterotrófica es otra medida de la ineficiencia del sistema.

Los procesos anabólicos están relacionados con la productividad primaria del sistema como asimismo de los consumidores. Estos dos procesos se contraponen con los aspectos catabólicos de respiración autotrófica y heterotrófica. La producción neta del sistema es la diferencia entre ambos.

En el proceso de transformación y modelación ecosistémica se pretende optimizar estos procesos dentro del contexto ambiental de desarrollo y de acuerdo a los objetivos que se persigan. Dentro de éstos, debe considerarse los estímulos, el comportamiento y la tasa de cambio que se desee de acuerdo a algún criterio de optimización.

Entre los aspectos que debe considerarse se tiene la energía invertida en la productividad primaria. En general, se tiene que para ambientes análogos, la productividad primaria es marcadamente estable, a pesar de las diferencias en arquitecturas de los diversos sistemas (Podin y Pasilevich, 1965; Durigneaud, 1971; Lieth, 1972; Woodwell y Pecan, 1973; Ryszkowski, 1975). El balance hídrico y térmico en cambio, presenta modelos diferentes para los diversos ecosistemas terrestres tales como bosques, praderas y cultivos.

La intemperización del material generador puede ser considerada como uno de los procesos metabólicos del ecosistema. Volubiyev (1974) calculó el costo energético de formación de suelos. Llegó a la conclusión que en promedio, la proporción del costo energético de evapotranspiración, a la energía fijada por los productores primarios y la energía usada en el proceso de intemperización de la roca es aproximadamente: 100:1:0,01.

El almacenamiento de energía en el ecosistema tiende a ajustarse a modelos definidos. Según Ryszkowski (1975) corresponde a:

- Los bosques acumulan la materia orgánica en su fitomasa en pie
- Las praderas y la tundra acumulan la materia orgánica en forma de humus del suelo
- En sistemas acuáticos abiertos, existe un consumo elevado de la productividad primaria por los herbívoros, y
- En los sistemas cultivados, la productividad es retirada por el hombre.

El sistema energético de liberación de nutrientes vegetales está relacionado con la intemperización del material generador, lo cual les hace accesibles a los productores primarios. La proporción de energía acumulada en materia orgánica viva o muerta y la energía invertida en la intemperización del material generador pueden ser considerados como un índice

de los estímulos requeridos para mantener la tasa de nutrientes necesarios para la producción vegetal (Ryszkowski, 1975).

Los ecosistemas pratenses, en general presentan una economía más intensiva de nutrientes que lo que ocurre en los bosques y en la tundra. Ello se refleja también en el mayor contenido de cenizas de su fitomasa que lo que ocurre en bosques y estepas.

Los heterótrofos influyen la tasa de recirculación de materia en el ecosistema debido a sus actividades tales como cavar, destrucción de plantas, ingestión, etc. Según Ryszkowski (1975) la contribución de los heterótrofos al proceso de mineralización de la materia orgánica puede ser medida por su respiración.

La acción directa de consumo de plantas por herbívoros, en ecosistemas terrestres es pequeña, excepto en situaciones irruptivas, llegando sólo ocasionalmente hasta valores de 10%, aunque usualmente sólo alcanza un 3% del total. La actividad heterotrófica, en el proceso de retroalimentación de los autótrofos es menos conocida. Puede agruparse en cuatro categorías:

- Destrucción de los componentes
- Movimiento de materia
- Alteración del medio, y
- Efecto sobre otros heterótrofos.

Dentro de este marco de acción de los heterótrofos, la irrupción de herbívoros o sapróvoros, afecta el mecanismo de control del ciclo mineral del ecosistema. En praderas, donde prácticamente la mayor parte de la productividad primaria muere cada año al término de la estación de crecimiento, el proceso de descomposición de la materia orgánica es muy importante. La acumulación de materia orgánica en el mantillo, mantiene atados los nutrientes, deprimiendo en esta forma la productividad primaria, al permanecer en la fitomasa inactiva.



### Metastrofismo

Los procesos ecosistémicos de carga y descarga pueden ser graduales ó abruptos. Los procesos graduales se denominan metabólicos y los abruptos metastróficos. Un ejemplo de proceso metabólico, puede ser la carga de un ecosistema por fotosíntesis donde la producción de glucosa puede ser descrita por una función anabólica continua. La evapotranspiración del ecosistema es un ejemplo de descarga continua o catabolismo. Los procesos metastróficos pueden ser anastróficos o catastróficos, según se trate que reduzcan o incrementen el contenido o entropía del sistema, respectivamente.

Algunos procesos, aparentemente irregulares, al ser considerados en otro nivel de resolución adquieren una regularidad análoga a lo anterior. En la resolución de problemas sistemogénicos es necesario, sin embargo, trabajar todos los procesos al mismo nivel de resolución, lo cual obliga a considerar a estos últimos dentro del marco de la teoría de Thom (1975), que los torna cualitativos y continuos. Un ejemplo de descarga metastrófica o catastrofismo lo constituye la corta de un árbol, la captura de una presa por un predador, el rompimiento de una ola, el control de insectos con insecticidas y el control de malezas por roturación del suelo. Entre los ejemplos de carga metastrófica o anastrofismo ecosistémico lo constituyen el proceso de aradura, el cual transforma abruptamente el arreglo topológico del suelo. Otros ejemplos son el desmonte de las especies leñosas indeseables y la aplicación de agua de riego al suelo.

En el manejo de recursos naturales, se requiere con frecuencia aplicar operadores que transformen abruptamente el estado del sistema. Dado que el crecimiento individual y poblacional es gradual, no es conveniente cosechar en intervalos muy pequeños los incrementos de producción.

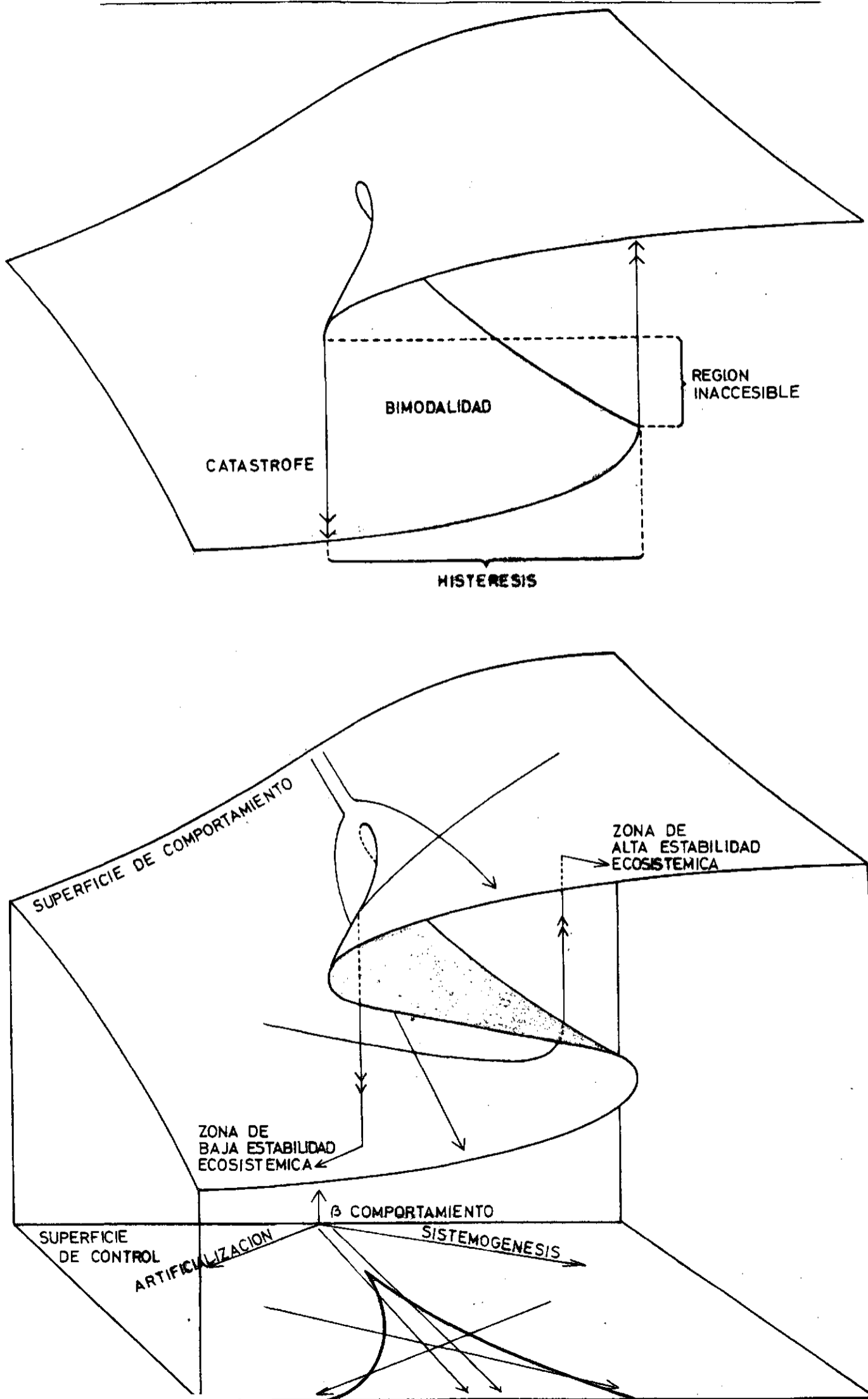
Es preferible permitir que transcurran lapsos mayores y luego proceder a cosechar. En el manejo de poblaciones naturales de plagas es preferible, en general, proceder provocando catástrofes cuando el incremento poblacional comienza a elevarse y el costo ecológico de cosecha o de control se reduce.

Cabe mencionarse que durante los últimos cinco años el proceso de carga y descarga metastrófica ha sido reexaminado y se ha pretendido plantearse dentro de una teoría general. El nivel de resolución que se ha logrado permite trabajar con procesos metastróficos locales, faltando aún alcanzar un mayor poder de resolución global. Dada la importancia del tema en el manejo de recursos naturales, donde las etapas de transición son generalmente de naturaleza metastrófica, es necesario incorporar esta teoría al manejo de recursos naturales.

Si se supone que el estado del ecosistema está dado por  $\mathcal{E}$ ,  $\mathcal{A}$  y  $\mathcal{P}$  es factible aplicar, en forma exploratoria el concepto de matástrofe de acuerdo a lo postulado por Thom (1975). La superficie de control estaría formada por los vectores  $\mathcal{E}$  y  $\mathcal{A}$  con  $\mathcal{P}$  apareciendo como un tercer eje. De acuerdo con la teoría de catástrofes existe en la parte media de la superficie un doblamiento suave que crea un pliegue sin bordes, el cual se torna más estrecho conforme se aproxima a la parte superior de la superficie (Figura 5). Eventualmente se forma una singularidad donde convergen las tres hojas del pliegue. Es este pliegue el que le confiere las características más importantes al modelo. Los puntos que conforman la superficie de comportamiento representa los estados más probables y la lámina de la parte media representa los estados menos probables.

Figura 5

Comportamiento del ecosistema en función del grado de artificialización y de la etapa sistemogénica. El modelo catastrófico, según la teoría de Thom (1972) presenta una superficie de comportamiento que permite demostrar su bimodalidad. El gráfico superior indica el esquema general, en tanto que el inferior, que debe sobreponerse al anterior indica los cinco atributos básicos del modelo de metastrofismo del ecosistema (Prado, 1979)



### Productividad y cosecha

El incremento de la carga de un ecosistema se genera por tres procesos simultáneos: crecimiento individual, ( $\eta_2$ ), crecimiento poblacional ( $\eta_1$ ) y crecimiento topológico ( $\sigma(\eta)$ ).

La productividad individual corresponde a  $\Delta \eta_2 / \Delta t$  y a su tasa a  $\Delta \eta_2 / \eta_2 \Delta t$ . La productividad individual neta ( $P_N$ ) es igual a la productividad bruta o anabolismo más anastrofismo, menos la actividad catabólica y catastrófica. En la práctica corresponde a su diferencia de peso.

En los problemas ecosistémicos relacionados con la productividad primaria es necesario, a menudo, conocer los componentes de la productividad tales como: hojas, tallos, raíces y asimilados. El incremento de la carga ecosistémica no sólo se refiere a la fitocenosis, sino que también puede referirse a la zoocenosis, los recursos y el habitat. Cualquiera de los componentes individuales puede acumular carga a través de algún mecanismo de cambio de estado en las unidades individuales ( $\eta_2$ ).

En el caso particular del crecimiento de los individuos vegetales ( $\eta_2$ ), la productividad neta ( $P_N$ ), puede ser particionada en cuatro componentes: masa de follaje, masa de tallo, masa de raíces y masa de asimilados almacenados en diversos órganos.

Simbólicamente se tiene que:

$$P_N = \frac{\Delta \Lambda}{\Delta t} = \frac{\Delta \sigma_L}{\Delta t} + \frac{\Delta \sigma_T}{\Delta t} + \frac{\Delta \sigma_R}{\Delta t} + \frac{\Delta \sigma_M}{\Delta t}$$

Donde:

- ( $\sigma_L$ ) representa la masa de las hojas,
- ( $\sigma_T$ ) representa la masa de los tallos,
- ( $\sigma_R$ ) representa la masa de las raíces, y
- ( $\sigma_M$ ) representa la masa de los asimilados almacenados.

El crecimiento poblacional, en ambientes limitados, se ajusta a una función sigmoidea que corresponde a:

$$\eta_1(t) = \frac{k}{1 + C_0 e^{-\gamma t}}$$

Donde:

$$C_0 = \frac{k - \eta_1(0)}{\eta_1(0)}$$

Siendo:

$K$  = la densidad poblacional cuando la población alcanza su equilibrio,

$\eta_1(t)$  = la densidad de un momento determinado,

$\eta_1(0)$  = la densidad al momento inicial, y

$\gamma$  = dado dos valores de  $\eta_1$  para un intervalo de tiempo unitario:

$$\gamma = L_n \frac{\eta_1(1)}{\eta_1(0)}$$

La adaptación poblacional de los individuos al medio es la resultante de un mecanismo centrado en el ajuste de la tasa de natalidad, mortalidad y migración a las condiciones del ambiente que les rodea. La tasa de cambio poblacional  $r$  es igual a:

$$r = n - d \pm m$$

Donde:

$n$  es la tasa de natalidad,

$d$  es la tasa de mortalidad

$m$  es la tasa de migración y que puede ser positiva en el caso que se trate de inmigración ( $m_i$ ) y negativa cuando se trata de emigración ( $m_e$ ).

Cualquier modificación ambiental que afecta la capacidad sustentadora  $K$  del sistema ya sea que se trate de cambios alógenos y autógenos, origina alteraciones en el valor de la tasa de cambio poblacional, y si el resultado final es positivo significa que la población aumenta y si es negativo significa que la población disminuye.

Las poblaciones que se encuentran en equilibrio tienen un valor de  $r$  igual a cero. En tal caso:

$$n + m_i = d + m_e$$

lo cual significa que la tasa de natalidad más la de inmigración son iguales a la tasa de mortalidad más la de emigración.

Desde el punto de vista del manejo antrópico de poblaciones hay dos clases de organismos: aquellos cuya cosecha es la totalidad de organismos y aquellos en que sólo se cosecha una fracción de ellos, mientras el resto permanece vivo en el terreno. Muchos de los efectos negativos del manejo de ecosistemas, derivan precisamente del desconocimiento de ambos grupos de organismos. El rango de los productos de este último grupo, cosechados por el hombre, puede ser muy variado, pero todos ellos tienen en común algunos atributos; sólo una parte de la productividad se cosecha, pero la proporción y forma de hacerlo afecta en cierta medida al organismo productor. El funcionamiento interno o su fisiología se modifica en grados variables, pero el organismo no muere a consecuencia del proceso de cosecha.

La acción antrópica sobre la población productora, que puede ser de variada intensidad y calidad, afecta a los organismos en grados muy variables. La cosecha óptima del producto se logra con poblaciones que tienen una cierta densidad: el número de árboles por hectárea, o de animales por unidad de superficie puede ser el factor que maximice la productividad y optimice la calidad.

Al manejarse recursos naturales dos preguntas deben ser respondidas:

¿Cuál es el número óptimo de organismos que debe existir por unidad de superficie? y

¿Cómo se llega a la densidad óptima de cada población en un ecosistema?

El crecimiento individual y poblacional es una función de la densidad de organismos, por lo cual cobra especial realce la primera pregunta. Dado que, en general, se trabaja con conjuntos de poblaciones que cohabitan en un ecosistema dado, es necesario, para cada población determinar su densidad poblacional.

La productividad y calidad óptima de la población y biocenosis es dependiente de la densidad por lo cual, un aumento o disminución excesiva de la población significa aumentar o deteriorar la productividad del sistema. Existe, por lo tanto, para cada población una densidad que puede ser considerada óptima con la cual la productividad se maximiza.

La mantención de una densidad poblacional constante, aunque ésta no sea la óptima, debe corresponder a aquella en que el valor de la tasa de cambio de la población  $r$  sea igual a cero. Si la tasa de migración se aproxima a cero, se tiene que:

$$n = d$$

Incluso, aunque el producto final no considere la muerte del organismo, la tasa de natalidad y de mortalidad es siempre importante, pues es la única forma de alterar la densidad poblacional.

La cosecha de organismos completos es en sí una nueva fuente de mortalidad. Si la tasa de natalidad de la población es diferente de la suma de la tasa de mortalidad natural ( $d_n$ ) más la tasa de mortalidad artificial ( $d_a$ ) no existe equilibrio poblacional:

$$n \neq d_n + d_a$$

Ahora bien, si la tasa de natalidad es mayor que la suma total de las diversas mortalidades se tiene que existe un aumento de la densidad  $\eta_i$

$$n > d_n + d_a$$

En caso contrario, si la natalidad es menor que la mortalidad, se produce una disminución de la densidad, situación que si se prolonga por un período elevado puede terminar por extinguir la población.

$$n < d_n + d_a$$

El aumento de la mortalidad de la población al generarse una nueva fuente de mortalidad artificial no reduce necesariamente la densidad poblacional e inclusive puede llegar a estimular indirectamente un aumento de ésta a través de la natalidad. El aumento de la natalidad puede lograrse al aplicar prácticas usuales de manejo, aplicadas en la intensidad necesaria para mantener eventualmente el equilibrio poblacional en la densidad adecuada. La reducción moderada de la densidad a través del aumento de la mortalidad artificial estimula, a menudo, la natalidad poblacional. Los territorios y nichos desocupados, tienden en esta forma a ser reocupados, con nuevos organismos producidos.

La capacidad innata de cambio de una población ( $r_m$ ) se debe calcular bajo una estructura por edades que sea estable y de una distribución compatible con la población, el ecosistema y el objetivo del manejo. Existe una infinidad de causas por las cuales cada una de las poblaciones que constituyen la biocenosis de un ecosistema cualquiera, es afectada, lo cual concluye por modificar la densidad poblacional. Entre las posibles causas, se puede citar a manera de ejemplo, el efecto de los insecticidas y herbicidas, la fertilización, el riego, la aradura, la siega, y muchas otras que en alguna forma estimulan a algunas poblaciones y dañan a otras.



Congruente con esta línea de pensamiento es posible responder la segunda pregunta formulada. El único mecanismo que integra la infinidad de causas que afectan a cada una de las poblaciones está centrado en la tasa de cambio de las poblaciones, lo cual depende de las tasas de natalidad, mortalidad y migraciones. El hombre en el proceso de manejo ecosistémico debe controlar las causas que afectan a cada una de las poblaciones, de manera de inhibir a unas y estimular a otras, modificando de esta forma el valor de las tasas de cambio de cada población.

Una tercera pregunta que es necesario formularse en el manejo ecostistémico es:

¿Existe equilibrio poblacional?

La teoría ecológica establece que para un ambiente dado, cuyos atributos varían alrededor de una media, limitada por valores máximos y mínimos, existe equilibrio poblacional. Este equilibrio poblacional se alcanza, dado el tiempo necesario al lograrse una densidad poblacional  $K$ , que corresponde a la de la capacidad sustentadora del nicho de la población en un habitat dado. La densidad de cada población en el ecosistema fluctúa alrededor de la media entre los límites correspondientes a una densidad máxima y una mínima (Figura 6).

En el manejo de poblaciones, surge una pregunta en relación al nivel de equilibrio de las poblaciones útiles y de las nocivas:

¿Por qué existe equilibrio en  $K$  y no en  $J$  ó  $L$ ?

Esta pregunta se responde en base al manejo de los factores que modifican el mecanismo  $r$ , el cual está relacionado con  $n$ ,  $d$  y  $m$ , además de la modificación de la capacidad sustentadora  $K$  de manera de modificar  $\eta_1(t)$ , según la ecuación ya descrita. En el manejo de poblaciones benéficas se pretende elevar el valor de  $K$  a  $J$  y en el caso de las nocivas reducir el valor desde  $K$  a  $L$  (Figura 7).

Figura 6

Función sigmoídea general de crecimiento poblacional.  $K$  indica la densidad poblacional en equilibrio,  $\eta_1$  el número de individuos por unidad de áreas y  $t$  el tiempo

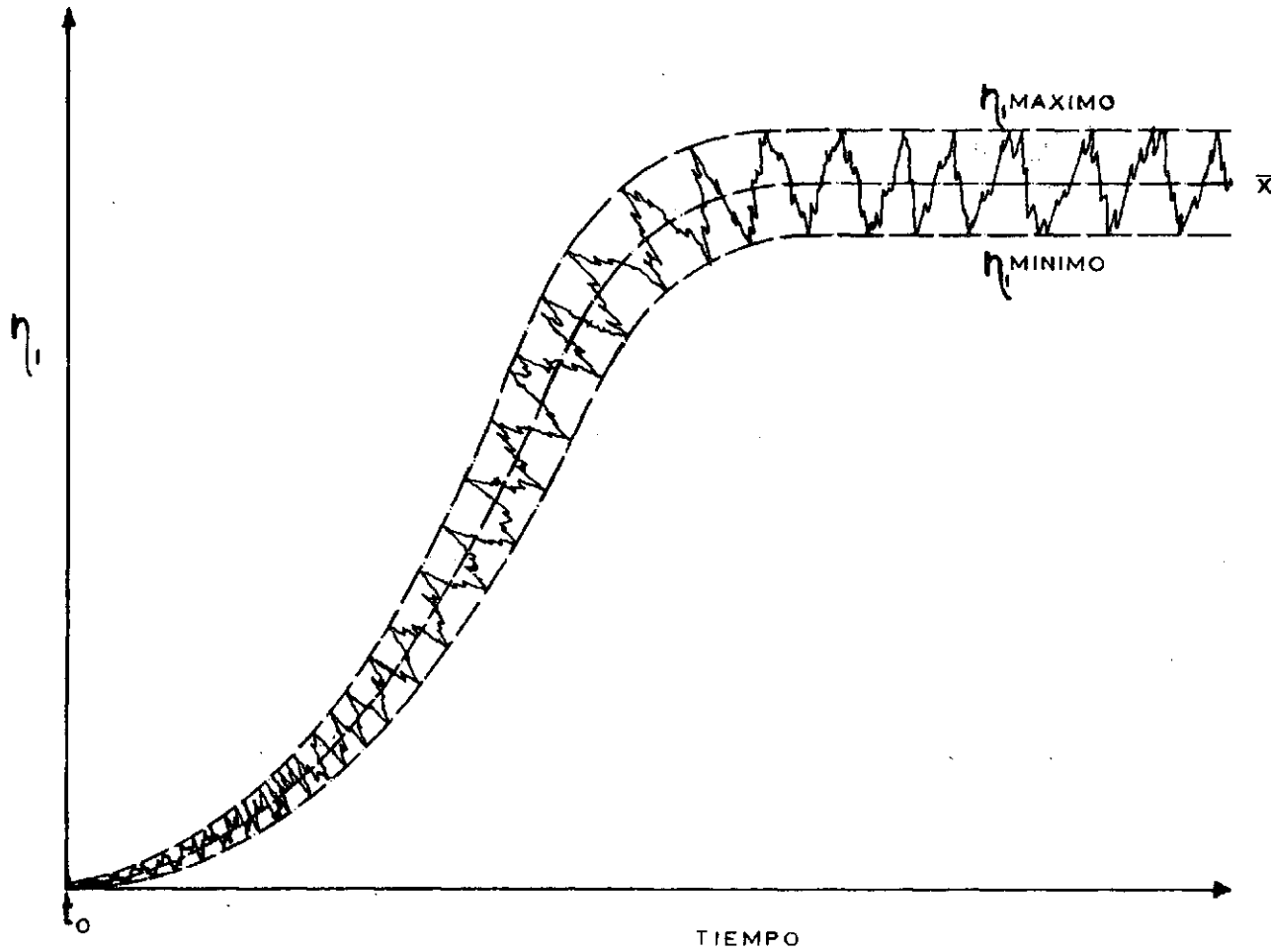
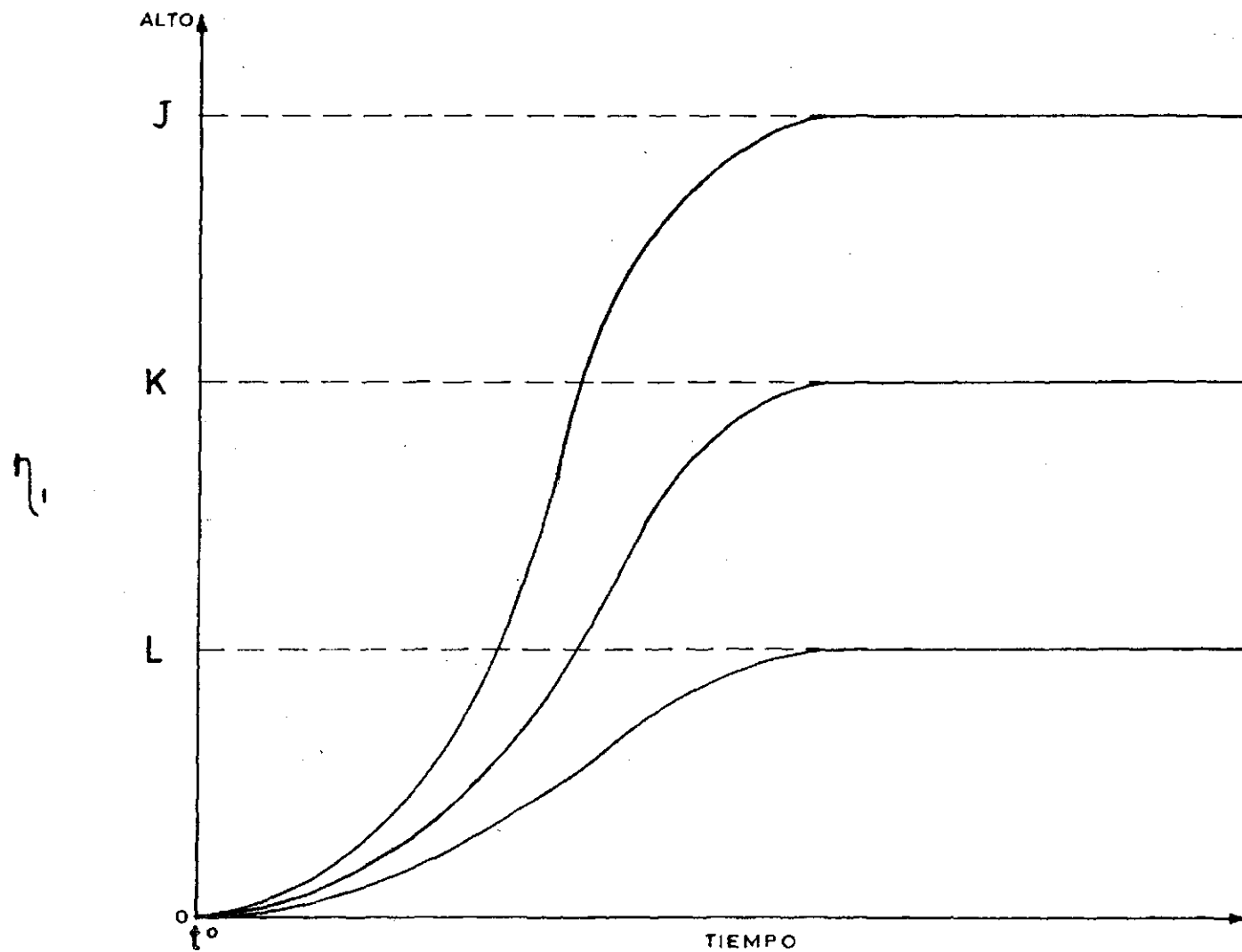


Figura 7

Crecimiento poblacional y equilibrio en tres niveles.  $K$  es el nivel de equilibrio natural,  $J$  es el nivel en poblaciones estimuladas autróficamente y  $L$  en poblaciones inhibidas.  $\eta_1$  es la densidad poblacional y  $t$  el tiempo



La cosecha sostenida de poblaciones se ajusta a la ecuación:

$$\frac{d\eta_1}{dt} = r\eta_1(t) - \frac{r}{K}\eta_1^2(t)$$

Donde:

K es la densidad en equilibrio en la capacidad sustentadora del sistema, es igual a:

$$L_n = \frac{\eta_1(t_1)}{\eta_1(t_0)}$$

La ecuación anterior representa la productividad de la población en función de la densidad.

Una vez se logra determinar cuál es la densidad óptima del ecosistema, la cosecha sostenida de las poblaciones debe ajustarse a las restricciones cuantitativas impuestas por esta ecuación. Cualquier aumento o disminución de la cosecha, significa una reducción de la productividad sostenida del sistema.

## VII. OPTIMIZACION

Alternativas

La elección de una de las posibles alternativas de estado del ecosistema, dentro de un universo de alternativas, debe hacerse dentro del contexto de la teoría de decisiones con criterios múltiples. La necesidad de enfatizar los aspectos conceptuales y metodológicos se puede motivar, según Armijo, Duckstein y Nava (1978), al considerar lo siguiente:

1. Los esquemas que tradicionalmente se utilizan en el área de manejo de los recursos naturales del árido, carecen del poder resolutivo que actualmente se requiere para poder encarar la creciente demanda impuesta por las sociedades sobre los productos del recurso natural y su subsecuente impacto (Nava, Armijo y Gastó, 1979).
2. El crecimiento de la información científica, en conjunción con la creciente fragmentación disciplinaria, provocan condiciones bajo las cuales la posibilidad de lograr la integración de un marco conceptual coherente se hace más compleja y remota (Medina, 1975).
3. Por otro lado, los enfoques que tienden a contrarrestar esta tendencia merológica, resultan difíciles de ser asimilados, debido fundamentalmente a la misma explosión informacional y a la pobreza intelectual que caracteriza a los esquemas educacionales actuales (Clark, 1970; Decker, 1970; Greenwood, 1970).

El reconocimiento de la naturaleza multidimensional, heterogénea y sistémica que caracterizan, según Armijo, Duckstein y Nava (1978), a los problemas del recurso natural en conjunción con conceptos y metodologías que capturan esta diversidad-integridad, representa un paso inicial hacia el establecimiento de un marco conceptual más congruente con las necesidades actuales.

El problema de la toma de decisiones con criterios múltiples contiene tres subproblemas (Starr y Greenwood, 1977):

- a) la búsqueda de alternativas de estado ecosistémico;
- b) la creación o inversión de nuevas alternativas de estados ecosistémicos, y
- c) la toma de decisión que permita elegir la alternativa óptima que se ajuste a algún criterio de optimalidad.

Cada una de las posibles alternativas se puede caracterizar por los atributos que le distinguen, entre los cuales sólo debe considerarse un conjunto finito de atributos pertinentes.

#### Criterios de óptimo

Algunos de los criterios de óptimo que a menudo se persiguen en el manejo de los recursos naturales de zonas áridas son los siguientes:

- a) Eficiencia del trabajo, el cual se aplica a menudo a circunstancias en que la tierra, energía y capitales son baratos.
- b) Eficiencia del fertilizante, aplicable especialmente en circunstancias donde el recurso tierra es limitado
- c) Eficiencia del uso del agua; aplicable a situaciones de aridez
- d) Eficiencia del capital, que corresponde a ambientes en que los recursos naturales son abundantes y los capitales escasos
- e) Número de propietarios, el cual bajo circunstancias muy especiales se pretende maximizar o minimizar
- f) Productividad por área
- g) Utilidad neta
- h) Máxima eficiencia de la maquinaria
- i) Productividad del momento o a largo plazo
- j) Generación de un ambiente estético

- k) Desarrollo del recurso natural, para compatibilizarlo con el ambiente requerido, con el fin de alcanzar un ajuste adecuado con los valores humanos en su jerarquía natural
- l) Maximización de la conservación
- m) Productividad de un conjunto de rubros de acuerdo a algún criterio de uso múltiple
- n) Estabilidad y homostasis del sistema

Si se denota por  $I = \{1, \dots, l\}$  el conjunto índice de atributos y  $K = \{1, \dots, n\}$  el conjunto índice de las alternativas, entonces para la pareja  $(i, j)$ ,  $i \in I$ ,  $j \in K$ , se hace que  $X_{ij}$  representa el puntaje de la alternativa  $j$  bajo el nivel del atributo  $i$ , medido o inferido. De esta manera, se puede establecer la convención siguiente:

$$x.j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{lj}), \quad j \in K$$

$$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}), \quad i \in I$$

En ella el vector  $x.j$  representa la caracterización de la alternativa, bajo los atributos del conjunto  $I$  y similarmente  $x_i$  representa la caracterización de las alternativas del conjunto  $K$  bajo el atributo  $i$  (Armijo, Duckstein y Nava, 1978).

Una distinción conceptualmente importante es la existente entre atributos y objetivos, los atributos pueden considerarse como fuentes de información disponibles al individuo o grupo que toma las decisiones con el propósito de formular y lograr los objetivos. De ello nace la necesidad de considerar otro conjunto índice  $M = \{1, \dots, m\}$  que designe el número de objetivos establecidos. Así se tiene que:

$$f_{ij} = f_i(x.j)$$

que representa el valor obtenido por el  $i$ avo objetivo bajo la alternativa  $j$  (Armijo, Duckstein y Nava, 1978).

En la práctica, sin embargo, los problemas están caracterizados por contener una mezcla heterogénea de atributos y objetivos; lo cual motiva referirse a ambas categorías bajo el título de criterios.

El proceso de solución de un problema de decisión con objetivos múltiples está compuesto de tres etapas: predecisión, decisión y postdecisión. En el mejoramiento de los recursos naturales existen diversidad de objetivos y atributos; debe elegirse dentro de un conjunto de posible alternativas, lo siguiente:

- a) el estado del sistema;
- b) el operador de transformación, y
- c) el operador de mantención.

La decisión debe corresponder a la mejor combinación de alternativas, en los cuales debe necesariamente considerarse los costos ecológicos y económicos, el tiempo requerido para el proceso y las probabilidades de éxito, de manera de alcanzar el satisfactum.



## VIII. CAMBIO DE ESTADO

Sistemogénesis

Sistemogénesis o genesis del estado ecosistémico puede ser definido como el proceso de cambio en el tiempo de las variables de estado del ecosistema; es decir, las relaciones dinámicas de la forma y su ambiente, incluyendo tanto a la variación de la arquitectura como la de los estímulos. El objetivo básico de estos estudios es descubrir las funciones generales de cambio en el tiempo de cada una de las variables de estado.

En la práctica, la función de cada variable se calcula empíricamente a través de mediciones de la magnitud de la variable en instantes conocidos, de tal forma que se puede inferir a partir de un número que puede ser reducido de puntos, la función general de la variable para esas circunstancias.

Las variables de estado fluctúan en magnitud a través del tiempo generando una función que puede ser calculada pudiendo predecir, en esta forma, sus posibles valores futuros. El grado de certeza de la magnitud de la variable de estado está relacionado con:

- el tipo de variable,
- la naturaleza de la arquitectura, y
- el tiempo.

La naturaleza más general de estas variables representan procesos estocásticos y, en particular, series de tiempo probabilísticas.

Un conjunto definido de componentes topológicos tal como

$\{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3\}$  genera una función de arquitectura  $\Lambda$ , la cual está relacionada a su vez con la función  $\beta$  de comportamiento. En la práctica la forma de operar es establecer la relación entre sus componentes topológicos vía sus variables de estado y el comportamiento  $\beta$  de este conjunto.

Una vez establecida la relación entre las variables de estado y el comportamiento, el cambio de la arquitectura debe ser analizado en una serie en el tiempo. Simultáneamente, debe establecerse la relación entre cada una de las variables del conjunto y el tiempo dentro del dominio establecido. El cambio de las variables de estado, en el tiempo, define la génesis de la arquitectura, la cual requiere de estudios básicos que permitan descubrir las funciones generales de cambio de cada una de estas variables.

La respuesta del sistema puede ser retirada o acumulada dentro de la arquitectura original. En este último caso, transcurre un tiempo  $\Delta t$  empleado en generar un  $\Delta \Lambda$  positivo. Simultáneamente, en este  $\Delta t$  se produce una reducción de la arquitectura original equivalente  $\Delta \Lambda'$ . La diferencia entre  $\Delta \Lambda$  y  $\Delta \Lambda'$  es:

$$\delta \Lambda = \Delta \Lambda - \Delta \Lambda'$$

La adición de  $\delta \Lambda$ , luego de transcurrido un tiempo, a la arquitectura original  $\Lambda$  genera una nueva arquitectura  $\Lambda(t + \Delta t)$  la cual es responsable del nuevo comportamiento  $\beta(t + \Delta t)$  del sistema.

El ecosistema recibe estímulos  $\mathcal{E}_i$  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  $\rho$ . 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 sistema en forma de estímulos. Esta transformación acaece en el tiempo, modificando al comportamiento  $\beta_n$  de cada uno de los nodos. Por lo tanto, la dependencia en el tiempo de  $\beta_n$  proviene de la variación en el tiempo del arreglo topológico de sus elementos.

El concepto anterior representado en la Figura 8 se puede concebir como un efecto de retroalimentación hacia un mecanismo cibernético de control de estímulos y respuestas y, por consiguiente, del comportamiento  $\beta$ . 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  $\eta$ , dado por:

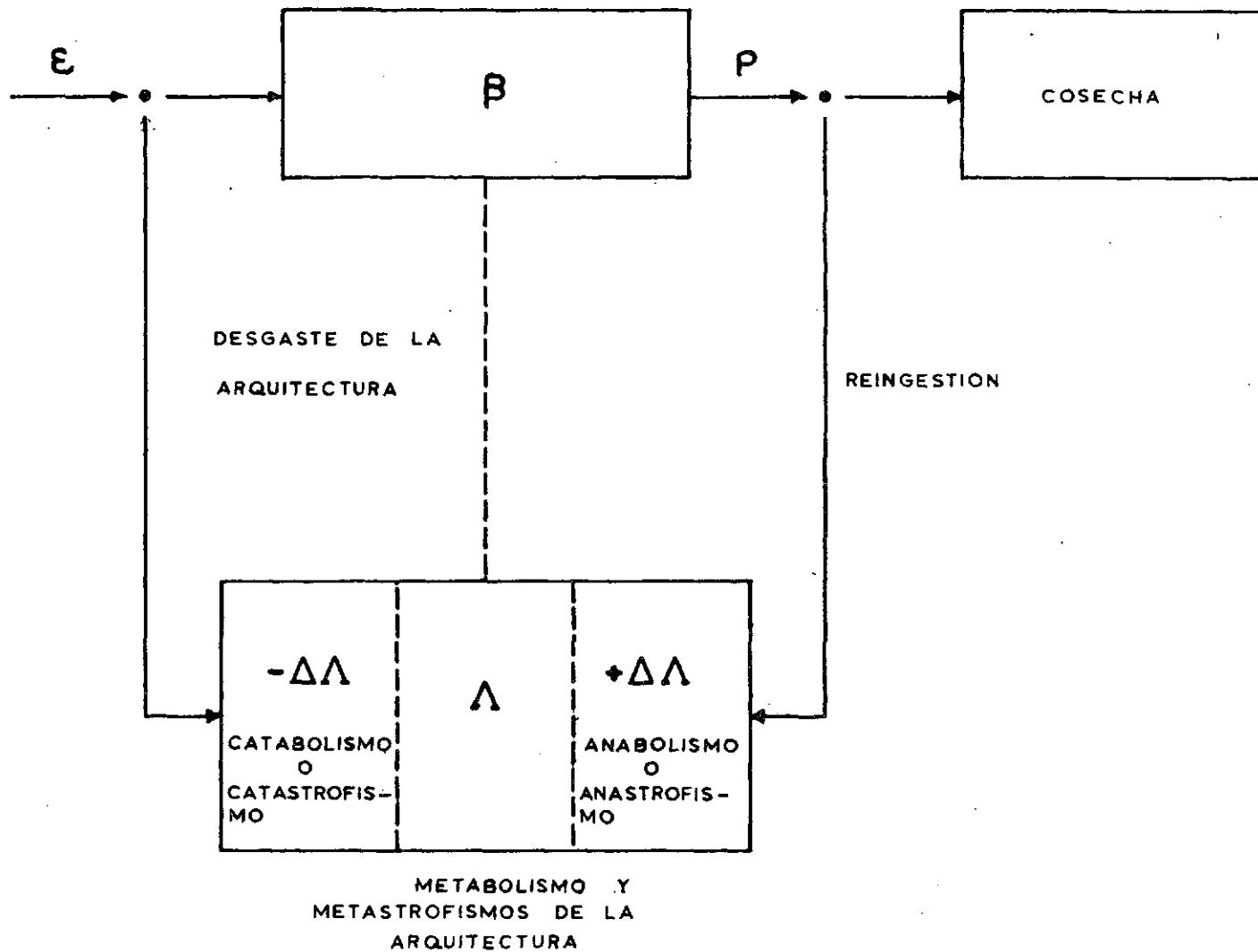
$$\eta = (\eta_1, \eta_2) \text{ de donde,}$$

$\eta_1$  = número de componentes

$\eta_2$  = dimensiones de los componentes

Figura 8

Esquema conceptual del proceso de cambio de estado del ecosistema donde  $+\Delta\Lambda$  representa la edición a la arquitectura original y  $-\Delta\Lambda'$  la sustracción.  
En general  $+\Delta\Lambda \neq -\Delta\Lambda'$



Las leyes físicas de conservación de la materia y energía se aplican a la transformación de la arquitectura del ecosistema. El cambio de arquitectura  $\delta A$  representa ingresos y egresos de materia y energía que puede ocurrir en cualquier nivel de integración o arreglo topológico tales como: luz solar, agua, partículas sedimentarias, semillas, heno, vacunos, estiércol, fertilizantes minerales, etc. Estos elementos sufren internamente cambios de posición en la matriz del complejo.

El ecosistema tiende a un estado de equilibrio en el cual se equiparan las fuerzas de integración de las categorías y niveles con las de degradación. Este mecanismo representa el aspecto de control del ecosistema, el cual debe ser estudiado en base a los fundamentos cibernéticos. El funcionamiento del ecosistema pone de manifiesto los procesos generales de control de la transformación de los niveles y categorías del complejo en forma de procesos de integración y degradación. Este proceso al operar en el tiempo va generando en forma continua y discontinua una nueva arquitectura y comportamiento (Thom, 1975).

De la dilucidación de la génesis de la arquitectura es factible plantear los siguientes problemas:

1. Determinación de la arquitectura que produzca el comportamiento deseado para un estímulo dado, y
2. Provocar una génesis de la arquitectura que permita alcanzar el estado requerido para producir el comportamiento deseado.

Lo anterior significa que no basta con determinarse el estado óptimo o meta del ecosistema, sino que es necesario establecer la génesis de transformación del mismo. Esta transformación debe permitir, a través de la aplicación de un operador funcional, el cambio de estado inicial y conducirlo en un tiempo dado al estado final probable, luego de aplicarse un trabajo  $\omega$ . La ruta que se siga en esta transformación, es decir,

los operadores funcionales que se apliquen, generan el algoritmo de cambios de estado. Todo este conjunto representa la génesis del ecosistema.

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

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

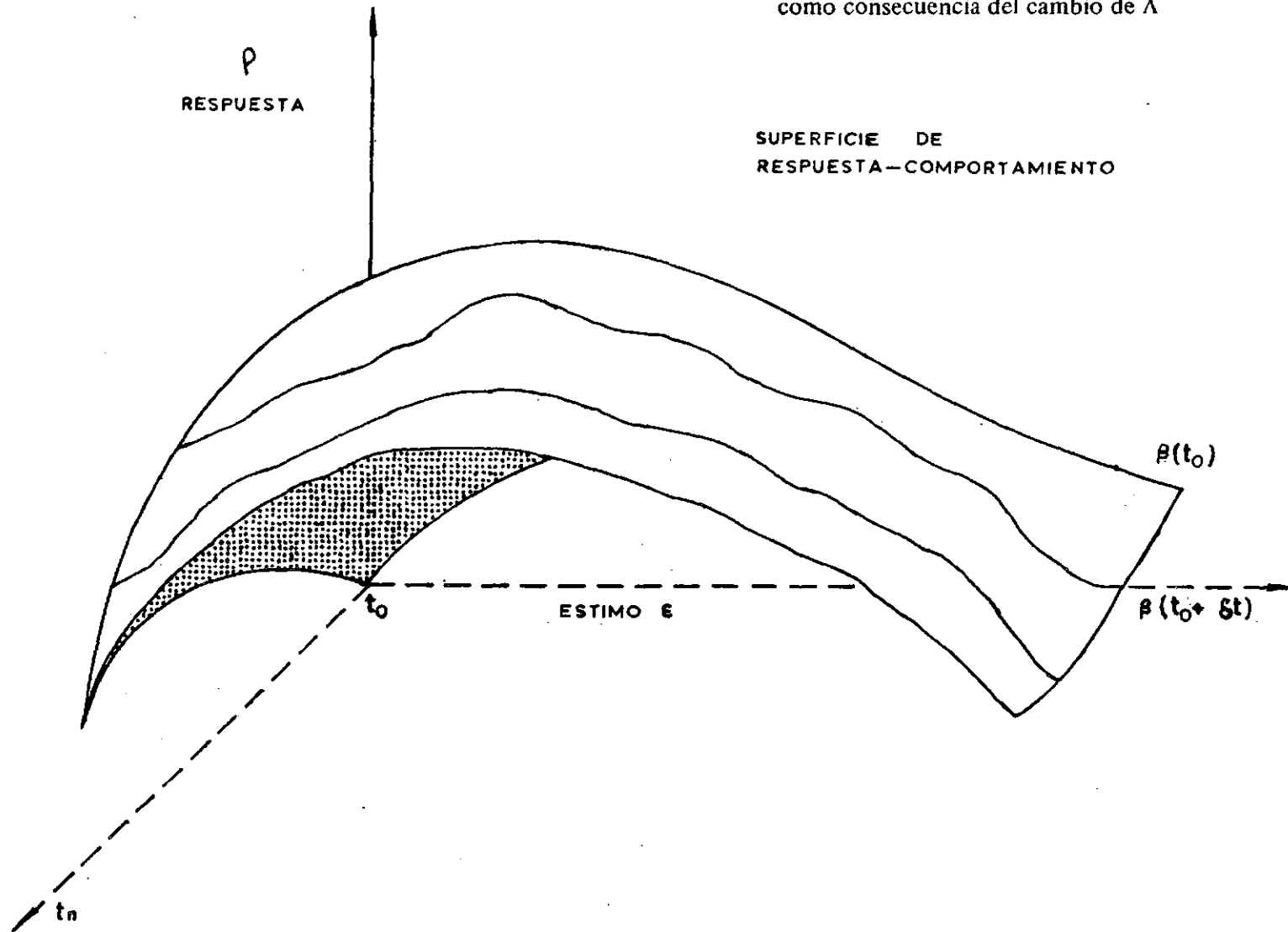
En un instante dado  $(t)$  el comportamiento del ecosistema depende de la arquitectura que exista en ese instante, pero al instante siguiente existirá una nueva función de arquitectura y por consiguiente, un nuevo comportamiento  $\beta(t + \delta t)$ .

La adición positiva de arquitectura puede originarse en dos procesos diferentes:

- adición anabólica generalizada que incluye los cambios entrópicos bióticos y abióticos, y
- adición anastrófica generalizada que incluye los cambios discontinuos y cualitativos de los componentes topológicos bióticos y abióticos (Thom, 1975).

Figura 9

Representación esquemática del cambio de las funciones  $\beta$  en el tiempo, como consecuencia del cambio de  $\Lambda$



Simultáneamente, a la adición positiva de arquitectura y por simetría, existe una substracción que puede originarse en:

- reducción catabólica generalizada, que incluye los cambios entrópicos bióticos y abióticos, y
- reducción catastrófica generalizada que incluye los cambios discontinuos y cualitativos de los componentes topológicos bióticos y abióticos (Thom, 1975).

A manera de ejemplo puede citarse los siguientes casos de cambio ecosistémico:

- respiración biocenósica o costo catabólico de mantención
- destrucción y adición de tejidos y órganos
- intemperización del ecótopo
- proceso de cosecha
- cambios de fases de la materia

Los procesos metastróficos y metabólicos, pueden operar simultáneamente, pero el primero siempre existe, aunque sea en tasas muy bajas. La variación de la arquitectura es el resultado de la diferencia entre el proceso aditivo y el substractivo. Simbólicamente se tiene:

$$\delta\Lambda = (\Delta\Lambda - \Delta\Lambda')$$

Esquemáticamente, el cambio de las funciones  $\beta$  a través del tiempo puede representarse tridimensionalmente como se indica en la Figura 9. En ella aparecen las funciones de comportamiento  $\beta(t + \delta t)$ , correspondientes a las diversas funciones de arquitectura  $\Lambda$ , correspondientes a cada instante de tiempo.

El proceso natural de cambio del ecosistema, se denomina singenética, y corresponde a un caso del proceso sistemogénico, que se inicia en los primeros niveles de organización de la materia. Los cambios naturales del ecosistema están regidos por dos principios generales:



- Principio de la conservación de la energía, y
- 2a. ley de la termodinámica.

El principio de conservación de la energía, establece en términos generales que la energía total del sistema en un proceso se conserva. Desde un punto de vista termodinámico, según Bertalanffy (1968), los sistemas abiertos pueden mantenerse en un estado de alta improbabilidad de orden y estructuración de arreglos topológicos organizados. De acuerdo con la segunda ley de termodinámica un proceso natural que se inicia en un estado de equilibrio y concluye en otro estado se orienta en la dirección que provoca que la entropía del sistema más la del medio se incremente. Los ecosistemas, sin embargo, se mantienen en un estado alto de orden y por consiguiente de elevada improbabilidad estadística, evolucionando hacia una diferenciación y organización topológica creciente. La función generalizada en la entropía (Prigogine, 1965) estipula que

$$dS = d_e S + d_i S$$

donde:

$d_e S$  denota el cambio de entropía por importación o transporte pudiendo ser positivo o negativo.

$d_i S$  representa la producción de la entropía debido a procesos irreversibles en el sistema pudiendo ser éste solamente positivo.

No puede existir desarrollo ecosistémico si no existiera en la naturaleza mecanismo antagónicos al del incremento de la entropía o desorden. En el proceso singenético el nicho principal o función  $\beta_B$  que permite reducir el contenido de entropía corresponde a la autotrofocenosís. Es en este componente y, específicamente en el proceso de fotosíntesis, donde se originan los mecanismos que concluyen por darle la tendencia organizativa al sistema ecológico.

Teóricamente, para cada nivel de organización de entropía del sistema, las funciones generales de comportamiento  $\beta$  son diferentes. A menudo, los sistemas con un nivel mayor de organización tienen, también, un comportamiento que hace que la relación estímulo-respuesta sea de mayor interés antrópico.

La mayor organización del ecosistema representa un costo catabólico proporcionalmente mayor, que corresponde, en una alta proporción, a la disipación de energía contenida en los organismos vivos y en la organización topológica de la materia inerte, que se pierde como catabolismo total del sistema. Bajo esta denominación se incluye no sólo al proceso fisiológico de respiración, sino que también a la descomposición de la materia orgánica, así como al costo de reemplazo y reparación de las estructuras deterioradas.

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

$$\delta \mathcal{A} \neq 0$$

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

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

natural entre ingresos y egresos de energía y materia se prolonga indefinidamente, lo cual se denomina climax. En el caso de alcanzarse un equilibrio provocado antrópicamente, se trata de un disclimax.

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

En general se tiene que si:

$$\begin{aligned} \delta \Lambda > 0 & \quad \text{progresión} \\ \delta \Lambda < 0 & \quad \text{retrogradación} \\ \delta \Lambda \simeq 0 & \quad \text{climax o equilibrio} \end{aligned}$$

#### Artificialización y transformación

Cambio de estado de un ecosistema es la modificación en el tiempo de cualquiera de las variables de estado. Para que ocurra, es necesario aplicar un operador funcional. 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 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, se puede definir una operación funcional ecosistémica a través de un operador  $\tilde{\Pi}_{ik}$  que permita efectuar un cambio de estado, desde un estado  $E_i$  inicial a un estado  $E_k$  final, a través de una ruta  $l$ .

En general, se tiene que si  $E_i(t_i)$  es el estado inicial y  $E_k(t_k)$  es el estado final, el cambio de estado  $E_i \rightarrow E_k$  requiere de la aplicación de un operador funcional  $\tilde{\Pi}_{ik}^l$  definidos para la ruta de transformación  $l$ . La misma se define como el conjunto de estrategias  $\{e_m\}$  utilizadas en la transformación. En esta forma se tiene:

$$E_i \xrightarrow{\tilde{\Pi}_{ik}^l} E_k$$

En general, el operador ecosistémico  $\tilde{\Pi}_{ik}^l$  que permita transformar de  $E_i$  a  $E_k$ , está dado por una relación  $R_e$  tal que:

$$\tilde{\Pi}_{ik}^l = R_e(\omega_{ik}; P_{ik}; t_{ik})$$

con,  $\omega_{ik}$  trabajo requerido para transformar el ecosistema desde el estado  $i$  al  $k$ ,

$t_{ik}$  tiempo requerido para efectuar la transformación desde el estado  $i$  al  $k$ ,

$P_{ik}$  probabilidad de lograr la transformación al estado programado,

$R_e$  relación entre  $\omega_{ik}$ ,  $P_{ik}$  y  $t_{ik}$  al seguir una ruta  $l$  y pasar del estado  $i$  al  $k$ .

#### Artificialización

Es la transformación del estado  $E_i$  de un sistema ecológico cuya probabilidad natural de ocurrencia es  $P_i$  en otro estado  $E_j$  cuya probabilidad de ocurrencia sea  $P_j$ , luego de aplicar un trabajo  $\omega_{ij}$ ; cambio de estado que ocurre en un tiempo  $t_{ij}$ .

El estado del ecosistema puede ser definido por sus dos atributos fundamentales y que corresponden a su arquitectura y a su funcionamiento. Los estudios ecológicos deben considerar:

- Estado del ecosistema

- Cambio de estado

El estado de la arquitectura del sistema está definido por sus variables de estado, las que corresponden al ecótopo, habitat, autotrofo-cenosis y heterotrofocenosis. La organización de este conjunto de cuatro componentes, cada uno de los cuales está a su vez integrado por un cierto número de variables de estado genera en el nivel de integración ecosistémico los atributos holocenósicos correspondientes, los cuales se expresan en los vectores de estado del sistema.

El funcionamiento del sistema, expresado a través de la aplicación de estímulos que interactúan con la arquitectura del sistema concluye por modificar su arquitectura, todo lo cual se representa en su arreglo topológico ( $\sigma(\eta)$ ), número de elementos ( $\eta_1$ ) y tamaño de ellos ( $\eta_2$ ). Funcionamiento y arquitectura definen el estado del sistema.

Los estímulos naturales que recibe el sistema ecológico le provocan cambios naturales que se expresan en la sistemogénesis o génesis del sistema. Este proceso es la resultante de los cambios graduales y ordenados de las variables de estado que ocurren en un lapso determinado. Cada una de las variables de estado del sistema varía en el tiempo y las probabilidades de ocurrencia en un instante  $t_1$  cualquiera está dado por la ecuación sistemogénica ya descrita, donde el cambio de estado del sistema es función de  $\Lambda(t)$ ,  $\mathcal{E}(t)$ , y  $t$ .

Los antecedentes presentados anteriormente, fundamentan la afirmación que en un instante dado  $t_1$ , existe una probabilidad de ocurrencia  $P_i$  de un estado dado.

La aplicación al ecosistema de estímulos artificiales, además de los naturales que recibe, producen en un lapso dado ( $\mathcal{Z}$ ) un cambio de estado, que concluye en el tiempo  $t_j$ , en un estado  $E_j$ , definido por una probabilidad de ocurrencia  $P_j$ .

Artificialización del ecosistema, es por lo tanto, el proceso de cambio de estado de un sistema que en forma natural se encontraría en un estado diferente que el que se encuentra luego de ser artificializado.

En un instante  $t_j$  dado, el estado probable en que se encontraría el sistema  $E_j$  luego de aplicado un operador de artificialización es  $E_1$  cuya probabilidad de ocurrencia es  $P_1$ . Se tiene, por lo tanto

$$E_j(t_j) \neq E_1(t_1)$$

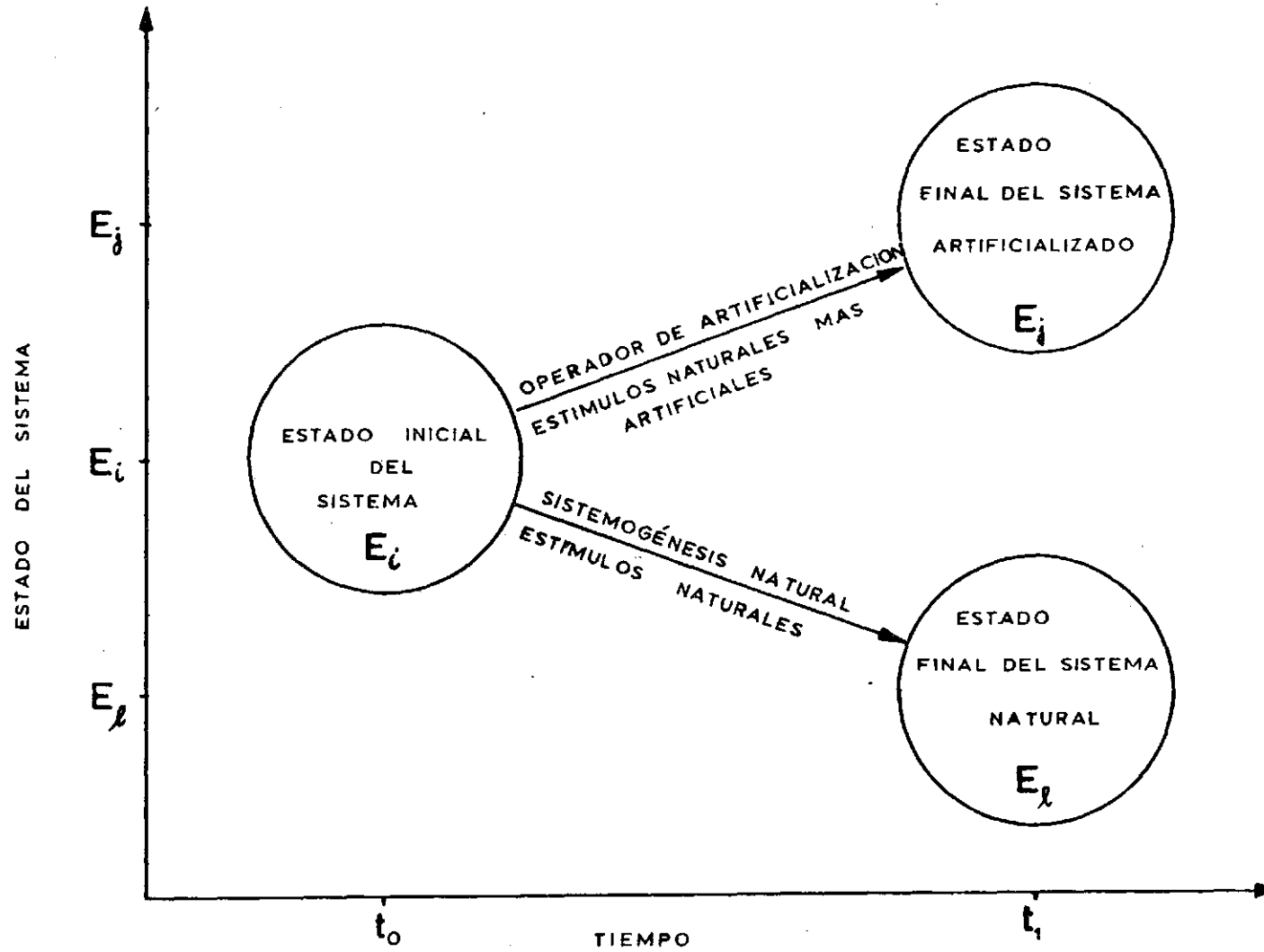
La diferencia de estado que existe entre el estado probable que existiría en el ecosistema sometido solamente a los estímulos naturales y el estado que se presentaría si se hubiera aplicado los estímulos artificiales es la artificialización del sistema. Los estímulos artificiales aplicados corresponden al operador de artificialización (Figura 10).

En esta forma se produce dos grandes conjuntos de alternativas de estado. El estado natural del sistema sometido a los estímulos naturales que ocurren en el ambiente propio del sistema el cual, a menudo se trate de conservar, versus el estado que tendría el sistema al recibir estímulos exógenos artificiales, lo cual permite artificializar al sistema.

Es aquí donde nace el conflicto de intereses entre preservación y artificialización. Preservación puede ser definido como la mantención del estado natural de las variables del sistema ecológico. En oposición a ello se tiene artificialización, que corresponde a la mantención de un estado de las variables del ecosistema, distinto del natural. Existe, por lo tanto, un conflicto de intereses entre preservación y artificialización, pues en la medida que se incrementa uno, se reduce el otro.

Figura 10

Alternativas de estados de un sistema sometido a artificialización en comparación con el mismo sometido solamente a estímulos naturales



Es posible resolver este problema en forma cuantitativa más bien que dicotómica. No parece conveniente plantear sólo dos alternativas de estado, en una de las cuales se preserva en su estado natural, versus otra en la cual se artificializa en un grado máximo. Dado que en el proceso de cambio de estado algunos atributos se deterioran y otros mejoran, para cada sistema dado debe elegirse el estado satisfactum, el cual corresponde a aquel en que se produce la óptima combinación de atributos.

En una escala cuantitativa, es posible establecer una gradiente de artificialización que vaya desde cero a cien por ciento. Artificialización cero corresponde a preservación máxima, en tanto que, artificialización cien corresponde a preservación cero. Conservación, en sentido lato de la palabra, corresponde a la artificialización óptima.

Artificialización tiene un costo ecológico centrado en el proceso mismo de aplicación de los estímulos exógenos tendientes a provocar el cambio. Como subproducto, se eliminan componentes al entorno que pueden provocar un deterioro del sistema general. En ambos casos corresponden a la materia, energía e información aplicada como estímulos, o a la respuesta del sistema. En el caso de la preservación los estímulos artificiales y la respuesta que ellos provocan, se aproximan a cero.



### Posibilidades de transformación

Antes de proceder a tomar decisiones definitivas sobre transformación de ecosistemas, debe estudiarse cuidadosamente las siguientes interrogantes:

- ¿Es necesario hacer transformaciones?
- ¿Dónde hacer las transformaciones?
- ¿Cuándo transformar el ecosistema?
- ¿Cómo ejecutar el proceso?
- ¿Qué elementos transformar?

En primer término es necesario describir el estado inicial del sistema supuestamente defectuoso, el cual se pretende mejorar. El mismo puede ser definido como su modo o condición de existir y se expresa por sus componentes o arquitectura y sus procesos o funcionamiento. El concepto de estado del sistema es importante porque en un momento dado es útil para conocer las condiciones específicas en las que se encuentra ese sistema y las posibles transformaciones a que puede ser sometido. En ciencias de sistemas, el estado usual está dado en una definición operacional en términos de sus variables.

Las etapas que debe incluirse en cualquier análisis de las posibilidades de transformación de ecosistemas son las siguientes:

1. Descripción del estado inicial del ecosistema,
2. Descripción de las posibles alternativas del sistema, y
3. Decisión de transformar el sistema con la alternativa elegida.

#### Descripción del estado inicial del ecosistema predial

La descripción del estado del sistema ecológico en un instante dado debe incluir la totalidad de las variables relevantes del mismo, lo cual permite establecer una relación entre el fenómeno natural y su imagen o modelo ecosistémico.

Entre los atributos más importantes de la biogeoestructura que debe incluirse en esa descripción se tiene: fisonomía, estructura del sistema, especies dominantes, geomorfología, hidrografía, precipitación, heladas, viento, grado de artificialización, uso actual, condición y tendencia, intensidad de cosecha, capacidad de uso, estacionalidad del uso, perfil edáfico y otros de mayor o menos relevancia de acuerdo con las circunstancias.

Entre los atributos de la tecnoestructura se tiene las construcciones destinadas a la producción, los sistemas de abrevaderos y los cercos y alambradas que permiten darle una estructura horizontal al sistema, junto con la red de caminos, comunicaciones, energía, maquinaria y transporte. Un último aspecto relacionado con la tecnoestructura del sistema, es el de la vivienda rural, la cual debe tener condiciones que se adecúen al medio circundante y requerimientos de la población rural.

La socioestructura debe ser descrita desde el punto de vista de la organización familiar, cultural, escolar, del villorio, y otras, que directa o indirectamente, inciden en el éxito de la empresa. El entorno ecosistémico, como asimismo los ecosistemas incidentes, deben ser incluidos también en la descripción del estado inicial del sistema.

#### Descripción de las posibles alternativas

La descripción de las posibles alternativas incluye tres conjuntos de elementos que corresponden a:

- a) estados posibles del ecosistema,
- b) operadores de transformación, y
- c) operadores de mantención.

#### Arquitectura

La arquitectura de un ecosistema ( $\Lambda$ ) en un instante dado  $t_1$  es la resultante de un proceso de evolución que se inicia en el pasado,

se observa en el presente y se continúa en el futuro. El estado observado de la arquitectura en un instante dado, no es más que un punto en el tiempo y como tal está orientado y tiene una tasa de cambio.

El estado de la arquitectura puede ser óptimo o distinto del óptimo. La facultad de la arquitectura de cambiar ante estímulos endógenos o exógenos permite alterar su tendencia, de manera de alejarse o aproximarse a un óptimo arbitrario, establecido para un instante dado.

Algunas de las variables del sistema pueden ser clasificadas como permanentes o de muy difícil transformación, lo que limita el universo de alternativas que pueden modificar el estado del sistema de un instante dado. El resto de las variables de estado pertenece a las controlables, las cuales por su naturaleza pueden ser transformadas con mayor facilidad.

La modificación de las variables controlables, que sean de naturaleza relevante al estado del sistema, dentro del rango que establecen sus límites de factibilidad de transformación, genera posibilidades de estados alternativos. Ellos pueden ser comparados en sus atributos u objetivos o bien en torno a una optimización antrópica con objetivos múltiples. Es posible, en esta forma, hacer una comparación entre todos los posibles estados del sistema, considerándose las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

Especial importancia debe darse a la comparación de la productividad ecosistémica en su estado original con la calculada para cada uno de los posibles estados alternativos del ecosistema, en el caso que éste fuera transformado

Necesidades de transformar la biocenosis. La resiembra o plantación artificial con especies mejoradas, no es la única estrategia de mejoramiento biocenósico para alcanzar una composición botánica adecuada. En biocenosis en condición mala, donde sólo existen algunas especies deseables

aunque con bajo vigor, la reducción de la presión de cosecha o del mejoramiento del manejo pueden inducir al restablecimiento de la condición. Las especies deseables pueden recuperar así su vigor o reinvasión la biocenosis y aumentar su desarrollo y productividad.

El control mecánico selectivo de algunas especies poco deseables, así como la quema y la aplicación de herbicidas selectivos pueden reducir la competencia sobre las especies deseables e intermedias, y restablecer finalmente o mejorar la calidad original de la biocenosis con menor esfuerzo que la resiembra o plantación. En estos casos, la productividad de la biocenosis edificada artificialmente puede ser superior a la natural (Hull y Holmgren, 1964). El control de los estratos vegetales superiores estimule el desarrollo de los estratos herbáceos inferiores en proporción a la cubierta vegetal removida (Pechanec, et.al., 1954).

Las especies nocivas de una fitocenosis pueden agruparse como sigue (Pechanec, Fisher y Parker, 1945):

- Las que producen escasa cantidad de biomasa y obstruyen el uso de la biocenosis,
- las que producen baja calidad antrópica de tejido y que inciden en reducir la capacidad sustentadora de la biocenosis,
- las tóxicas,
- las que la dan inestabilidad al sistema, tal como aquellas que elevan las probabilidades de incendio o de erosión.

Factibilidad de preparación del biótomo. La pendiente excesiva puede hacer inconveniente el uso de maquinaria pesada, susceptible de ser empleada para bajar los costos. La pedregosidad y rocosidad superficial o de los estratos superiores del suelo, también afectan las posibilidades de emplear maquinaria en la resiembra o plantación. La presencia de suelos inestables en sí o por efecto de su posición en la pendiente,

susceptibilidad a la acción del viento y la concentración hídrica u otros factores, pueden hacer el medio abiótico erosionable en exceso; con lo cual, los peligros de destrucción pueden ser tan elevados que no hagan aconsejable la edificación de la nueva biocenosis (Hull y Holmgren, 1964).

Los stands densos y desarrollados son indicativos de las buenas características edáficas, condiciones hídricas favorables y, en general, de ecótopos de alta capacidad productiva. Las posibilidades de éxito en la edificación de nuevas arquitecturas son mayores y la productividad de la fitocenosis es elevada.

Los beneficios obtenidos por la transformación, especialmente cuando el régimen pluviométrico y térmico es adecuado, pueden compensar en un corto plazo el esfuerzo desplegado en el mejoramiento de la fitocenosis.

Los stands originalmente poco desarrollados no garantizan la calidad de la nueva arquitectura ni compensan por el esfuerzo que debe invertirse en su transformación. El mismo sólo se justifica cuando el ecosistema transformado puede jugar un papel importante en el manejo y la utilización del conjunto de ecosistemas que le rodean, aún cuando su transformación, considerada en forma aislada, no compense el esfuerzo. Las fitocenosis de escaso desarrollo y muy raras indican a menudo suelos pobres, clima inadecuado o, en general, biótopos desfavorables. Antes de tomarse decisiones, debe tomarse las precauciones pertinentes, de manera de poder evitar un fracaso posterior (Pechanec, et.al., 1954).

Control parcial de especies constitutivas de los estratos leñosos poco valiosos. Las poblaciones de algunas especies correspondientes a estratos poco deseables para la nueva arquitectura diseñada pueden aparecer en la fitocenosis original con valores muy bajos de importancia relativa. El control de los estratos y poblaciones dominantes, pueden hacer que desocupen nichos y territorios, con lo cual se induzca un estímulo a poblaciones que originalmente presentaban un bajo valor de importancia relativa.

Si el control inicial, o eliminación de la arquitectura original, es intenso, se logra la eliminación simultánea de poblaciones no dominantes pero susceptibles de transformarse en dominantes al no encontrar otras poblaciones capaces de desarrollar valores relativos de importancia más elevados. Las poblaciones no controladas en el proceso de eliminación pueden ser la fuente productora de diseminulas donde se inicie la reinversión del stand (Pechanec, et.al., 1954).

Necesidades de resiembra o replantación. La planificación para transformar la arquitectura original puede incluir, además, la edificación de nuevas arquitecturas a través de la resiembra artificial o el trasplante de poblaciones mejoradas. En cultivos éste es el caso, pero en ecocultivos la resiembra o trasplante se hace sólo en algunos casos y en forma parcial. La construcción artificial de la nueva arquitectura es necesaria en aquellas fitocenosis donde las especies deseables contribuyen en proporciones muy bajas a la arquitectura original.

Los mejores resultados se obtienen edificando la nueva biocenosis tan pronto como la original ha sido eliminada. El momento oportuno de construcción debe corresponder, sin embargo, con las condiciones ambientales aconsejables (Pechanec, et.al. 1954).

Elección de biocenosis. Las especies animales y vegetales que se incluyan en la nueva biocenosis y sus modalidades de organización, además de ajustarse al medio programado, deben ser altamente productivas, corresponder a los valores especificados de calidad entrópica y presentar grados de estabilidad correspondientes a las circunstancias singenéticas del sistema.

Uso múltiple. La productividad bruta total del sistema debe ser analizada en términos generales, donde se considere la totalidad de los productos cosechados, tales como: fauna silvestre, recreación, agua de

escurrimiento, néctar, granos, raíces, tubérculos, follaje y otros productos que directa o indirectamente pueden ser cosechados del sistema. Las comunidades naturales o artificiales más diversificadas contienen una mayor cantidad de nichos susceptibles de ser utilizados por organismos que canalizan su productividad a través de los cauces más variados. La productividad total del sistema debe considerar el conjunto de los productos, su fracción cosechable, y su valor unitario. La decisión final debe hacerse en términos de la mejor combinación de alternativas de uso múltiple.

Probabilidades de éxito de la transformación ( $P_{ik}$ ). En el proceso de transformación del ecosistema original  $E_i$  por otro cualquiera, debe establecerse la relación entre sus atributos en el estado inicial y los pronosticados en el estado transformado. Los estímulos y el comportamiento del sistema, varía estacional y anualmente, debido a factores ambientales externos. Por ello, deben calcularse los atributos del sistema en términos probabilísticos, de acuerdo con los valores estadísticos que cuantifiquen la probabilidad que el evento se presente. En el cálculo de las ventajas comparativas con miras a la transformación del ecosistema natural en otro mejorado se ignora con frecuencia, que cada vez que se efectúa un cambio se corre el riesgo de que el resultado final expresado en términos de productividad bruta o en algún otro parámetro no corresponda a las predicciones. Lo anterior significa que en la trayectoria planificada desde el sistema  $E_i$  a un sistema cualquier elegido  $E_o$ , no se logre llegar a esa meta, sino que realmente el sistema final desarrollado sea  $E_j$ , con lo cual el valor real alcanzado sería diferente al calculado en la predicción. Por lo tanto, en la planificación de la transformación debe incluirse dentro del cálculo de costos y beneficios, la interpretación y cuantificación probabilística de ello. Cada vez que se aplica un

tratamiento, se corre el riesgo de lograr resultados inferiores, iguales o superiores a los pronosticados. El estudio de los eventos análogos acaecidos en el pasado, permite calcular o estimar las probabilidades que el evento ocurra en el futuro.

Los mejores ambientes abióticos ofrecen las mayores probabilidades de éxito en la edificación de la nueva arquitectura. Los primeros ecosistemas que se elijan para ser transformados deben ser aquellos con suelos profundos, con atributos físicos adecuados, fértiles y de buena calidad; y que corresponden a los ambientes más favorables. El crecimiento de las especies invasoras puede ser utilizado como indicador del potencial abiótico del medio. Las disponibilidades hídricas del lugar son importantes para predecir el éxito del establecimiento.

Justificación de los costos ( $w_{ik}$ ). En términos ecológicos, la justificación de los costos debe hacerse comparando la productividad bruta, los costos de operación y de transformación del ecosistema original y de la alternativa de transformación. La diferencia entre la productividad y el esfuerzo puede hacerse en términos de energía, materia, información o simplemente económicos, aunque en una primera instancia debiera utilizarse algún parámetro ecológico más bien que económico. Además, no basta con que los costos estén justificados; es necesario contar con los medios necesarios para llevar a cabo la transformación.

La comparación entre el valor calculado de la utilidad ecológica neta del sistema original con la alternativa de transformación, es la primera evaluación de la ventaja o inconveniente de ésta. Además, debe considerarse las necesidades de inversión de esfuerzo o capital y las disponibilidades de ello. La decisión final debe realizarse luego de analizarse las ventajas comparativas de la inversión en relación con otros ecosistemas y actividades económicas o sociales. Finalmente, la transformación sólo debe llevarse a cabo cuando se requiere la productividad adicional del sistema transformado.



Circunstancias adecuadas de transformación. La transformación del ecosistema debe hacerse en circunstancias adecuadas para la sustracción de los elementos de la arquitectura original que no correspondan mantener, simultáneamente con la adición de los elementos que deben ser incorporados. Dentro de este acépite se considera tanto a las condiciones adecuadas para la transformación como al momento oportuno en que ello se realice.

Operadores de mantención. Una vez alcanzado el estado meta elegido con un criterio de objetivos múltiples, es necesario mantenerse en ese estado. Para ello se requiere aplicar los operadores de mantención que permitan estabilizar el sistema.

Mantención del sistema. La mantención del sistema, tanto durante su etapa inicial como madura, debe ser compatible con los requerimientos del modelo diseñado. En la práctica, significa controlar la competencia que ejercen las malezas, los predadores y los parásitos que tienden a alterar el ecosistema diseñado, además de controlar a otros agentes ambientales que actúan sobre la biocenosis o ecótopo, que tienden a degradar la unidad ecológica.

Posibilidades de manejo del área. El mejoramiento de biocenosis por medio de resiembra y plantación, sólo se justifica si además se controla el manejo del área. La regulación de la presión de cosecha, como asimismo de la época de utilización, deben quedar establecidos en los programas de resiembra. No tiene justificación resembrar o repoblar artificialmente biocenosis si ello no viene acompañado de la infraestructura que permita manejar adecuadamente la nueva arquitectura, y si no se le aplica el esfuerzo de mantención necesario para la conservación de su estado. Algunas arquitecturas, aunque son de ejecución factible, son de tan difícil mantención que requieren de una inversión muy elevada de esfuerzo o costo de mantención (CM). Por esa razón, el resultado final,

en términos de utilidad ecológica neta (UN), puede hacerlas inadecuadas debido a su alto costo de operación (CO).

Ningún programa de construcción de fitocenosis mejoradas debe llevarse a cabo bajo circunstancias donde, simultáneamente, no se planifique y ejecute un programa adecuado de manejo de la nueva arquitectura. El mal manejo o manejo sin controles adecuados, donde no se considere la mantención de la nueva arquitectura, conduce irremediablemente a la destrucción de la nueva biocenosis a través del proceso sinérgico natural o inducido antropogénicamente.

#### Decisión de transformar el sistema con la alternativa elegida.

La elección de la alternativa de estado final y del operador de artificialización dentro del universo de posibles alternativas se efectúa dentro del contexto de la teoría de decisiones con criterios múltiples, tal como ha sido analizado en otro acápite del presente estudio. Los aspectos conceptuales y metodológicos aparecen planteados con mayor detalle en el trabajo de Amijo, Dukstein y Nava, (1978).

#### Ecosistema silvoagropecuario

Los ecosistemas silvoagropecuarios son aquellos cuyo funcionamiento y arquitectura están regulados en forma directa o indirecta por el hombre a través de modificaciones o controles de los estímulos  $E$  o de su arquitectura  $A$ . La calidad y magnitud de estas modificaciones es lo que podría denominarse nivel tecnológico o grado de artificialización.

El ecosistema puede ser modificado entre extremos amplios pero la recomendación de tratamiento debe ser hecha con un criterio realista en el cual se considere como soluciones alternativas las posibilidades de modificar el ecótopo o la biocenosis de cualquiera de los subsistemas del ecosistema origen, especialmente de la biogeoestructura. A menudo, es preferible modificar el ecotopo, especialmente cuando se trata de factores fácilmente corregibles. En lugar de cambiar el ecotopo puede

modificarse la biocenosis reemplazándosela por estructuras zoo y fitocenósicas mejor adaptadas al medio abiótico.

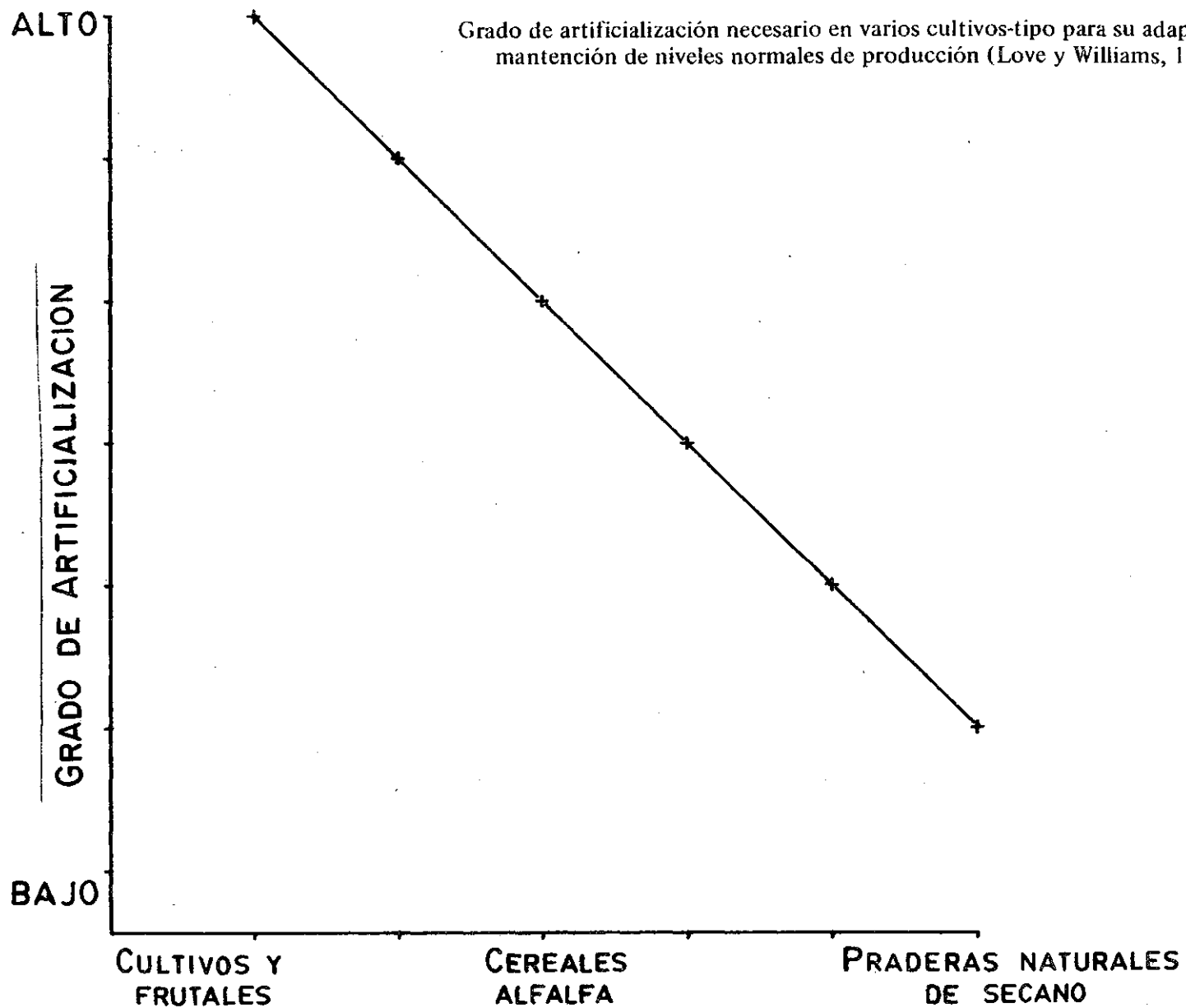
Love y Williams (1956) concluyeron que el grado de control ambiental es mayor en los cultivos más productivos, lo cual puede interpretarse como indicativo de que el incremento de la productividad no se debe al cultivo en sí, sino que a la acción de mejores ambientes, lo cual permite la adaptación de cultivos más exigentes. (Figura 11).

Nivel tecnológico se podría definir como la magnitud de transformación o artificialización de los factores y componentes del ecosistema, aplicados con el objeto de lograr un incremento o disminución de la productividad bruta y neta o de la calidad del producto cosechado. La aplicación de un nivel tecnológico determinado demanda un esfuerzo que puede ser medido en unidades muy diversas, tales como quintales de trigo o del producto que se desee cosechar, calorías, o bien expresado en dinero. Los beneficios totales de la aplicación de un nivel tecnológico se pueden también medir en las mismas unidades que los empleados en el cálculo del esfuerzo. En términos económicos esfuerzo significa costo y beneficio significa producto bruto. La diferencia entre costos y producción bruta es utilidad o producción neta (Cuadro 1).

El nivel tecnológico es difícil de medir en términos absolutos, pero por razones técnicas puede expresarse en forma de un índice que va de 0 a 100. El valor 100 de este índice determina el nivel de artificialización o nivel tecnológico máximo posible de alcanzar si se aplicara toda la tecnología posible de aplicar en un momento determinado. En el caso de un cultivo, significaría la aplicación de la fertilización máxima requerida para que no produzca efectos negativos al cultivo, dominio total de malezas y otras plagas mediante la aplicación de pesticidas y otros medios de control; riego óptimo; densidad óptima de siembra

Figura 11

Grado de artificialización necesario en varios cultivos-tipo para su adaptación y  
mantención de niveles normales de producción (Love y Williams, 1956)



Cuadro 1

Ejemplo de cálculo de costos directos y beneficios del cultivo de trigo en la zona de La Granja, Santiago, Chile, expresado en quintales de trigo por hectárea (Gastó y Gastó, 1970)

RUBRO	Costos directos o beneficios	
	_____ qq/ha _____	
<u>Preparación de suelo</u>		
Riego	0,37	
Aradura	1,53	
Rastraje	0,75	
Nivelación	0,61	
Rastraje	0,53	3,79
<u>Siembra</u>		
Aplicación fertilizantes nitrogenado	0,96	
Aplicación fosfato	1,00	
Semilla	2,07	
Coarrugar	0,59	4,62
<u>Fertilizantes</u>		
Superfosfato	1,67	
Salitre	5,59	7,26
<u>Cultivos</u>		
Herbicidas	0,79	
Riego	1,50	
Acequiadura	0,61	2,90
<u>Cosecha</u>		
Automotriz	2,40	
Transporte interno	0,96	
Transporte molino	2,12	5,48
<u>Impuestos</u>		
	1,30	1,30
Total costos directos (esfuerzo)	25,35	
Entrada bruta (beneficio)	60,00	
Utilidad bruta	34,65	

de acuerdo al ambiente; métodos de cultivo y labores culturales adecuadas; variedad genética y especie mejor adaptada al ambiente óptimo, y modificación del habitat de acuerdo a los requerimientos del cultivo. Lo opuesto es el nivel tecnológico cero o mínimo, donde no se aplica ningún control ambiental ni modificación al sistema. A medida que el grado de artificialización aumenta, la productividad bruta se eleva siguiendo una función de incrementos decrecientes, es decir que por cada unidad extra de nivel tecnológico, el incremento va siendo cada vez menor (Figura 4).

Los costos fijos son independientes del nivel tecnológico que se aplique pero los costos variables o esfuerzos se incrementan especialmente a medida que el nivel tecnológico va subiendo. Para un ecosistema dado, la máxima utilidad neta se presenta en un nivel tecnológico dado, que puede ser alto en algunos casos y bajo en otros.

El nivel tecnológico de una agricultura es el resultado de dos grupos de causas diferentes. Uno de ellos está dado por las condiciones generales de la región y país donde se hace la agricultura; siendo el otro la capacidad máxima cultural y tecnológica de la población para trabajar a un nivel más alto. Existe una relación general entre la riqueza de un país y la intensificación de la agricultura, la cual ha sido señalada según Slicher van Bath (1969) por el economista Von Thunen, quien estableció que a medida que la riqueza de una población y de un estado aumenta resulta económicamente más conveniente intensificar la agricultura.

Quienes analizan un sistema silvoagropecuario deben considerar la factibilidad de aplicación de nuevas técnicas para mejorársele, tanto desde el punto de vista del interés nacional y regional como del de quienes laboran en el sistema analizado. En general, niveles tecnológicos muy altos o bajos producen pérdidas. Es difícil, además, que se tenga

éxito exigiendo a los agricultores y campesinos la aplicación de niveles tecnológicos superiores, en circunstancias que los haga comprender que la mayor tecnificación va contra sus propios intereses. Tecnificar, en las naciones en desarrollo, significa a menudo disminuir las utilidades hasta niveles tales que originen pérdidas, mayor riesgo de fracaso, mayor esfuerzo y necesidades de capital. Cuando las condiciones no son adecuadas para la tecnificación del agro, las desventajas de la tecnificación las comprenden hasta los agricultores y campesinos de menor cultura, los cuales se oponen tenazmente a ella.

Los profesionales del agro y los dirigentes de cada nación, especialmente aquellos que fomentan una mayor tecnificación agrícola, deben alterar las circunstancias para crear las condiciones que hagan que las utilidades sean máximas al nivel tecnológico óptimo para el interés nacional.

En algunas naciones, los precios de los insumos y de los productos agrícolas son fijados a niveles artificiales y corresponden, a menudo, a aquellos que satisfagan situaciones del momento, aunque a la larga sean perjudiciales. Frecuentemente, se crean condiciones que dan la sensación aparente de favorecer a la agricultura; pero en el fondo sólo contribuyen a mantenerla estagnada o a deteriorarla, en relación a otras actividades. Las bajas remuneraciones del trabajo agrícola es a todo nivel e incluye tanto a los que laboran directamente la tierra como a quienes contribuyen indirectamente a su producción. Las facilidades de transporte, habitacionales, agua potable, electricidad, médicas, de mecanización, asistencia técnica investigación agrícola, escuelas y remuneraciones, son deficitarias en relación a otras actividades urbanas. Los pueblos y villorrios de las áreas rurales, no disponen, a menudo, de las facilidades mínimas

que la población campesina necesita para alcanzar un estandar de vida compatible con el que existe en los centros urbanos. La masa campesina no es recompensada por su trabajo en la misma proporción que en las industrias y servicios que se generan en centros urbanos. Ello es el resultado de la acción de las masas urbanas mayoritarias o con mayor poder que las rurales. Sólo se han tenido buenas intenciones para remediar el mal agrícola, pero muy poco positivo se ha hecho al respecto. No hay, sin embargo, entre quienes hayan hojeado siquiera un manual de economía política, quien ignore la distinción que se establece entre la utilidad intrínseca de una cosa y su valor de cambio, regulado éste por la famosa ley de la oferta y la demanda (Unamuno, 1944). Algunos productos del ecosistema, de alto valor intrínseco, que hasta recientemente habían sido de bajo valor de cambio, han demostrado una creciente tendencia a aumentar, a medida que su demanda se hace mayor, tanto a nivel mundial como nacional.

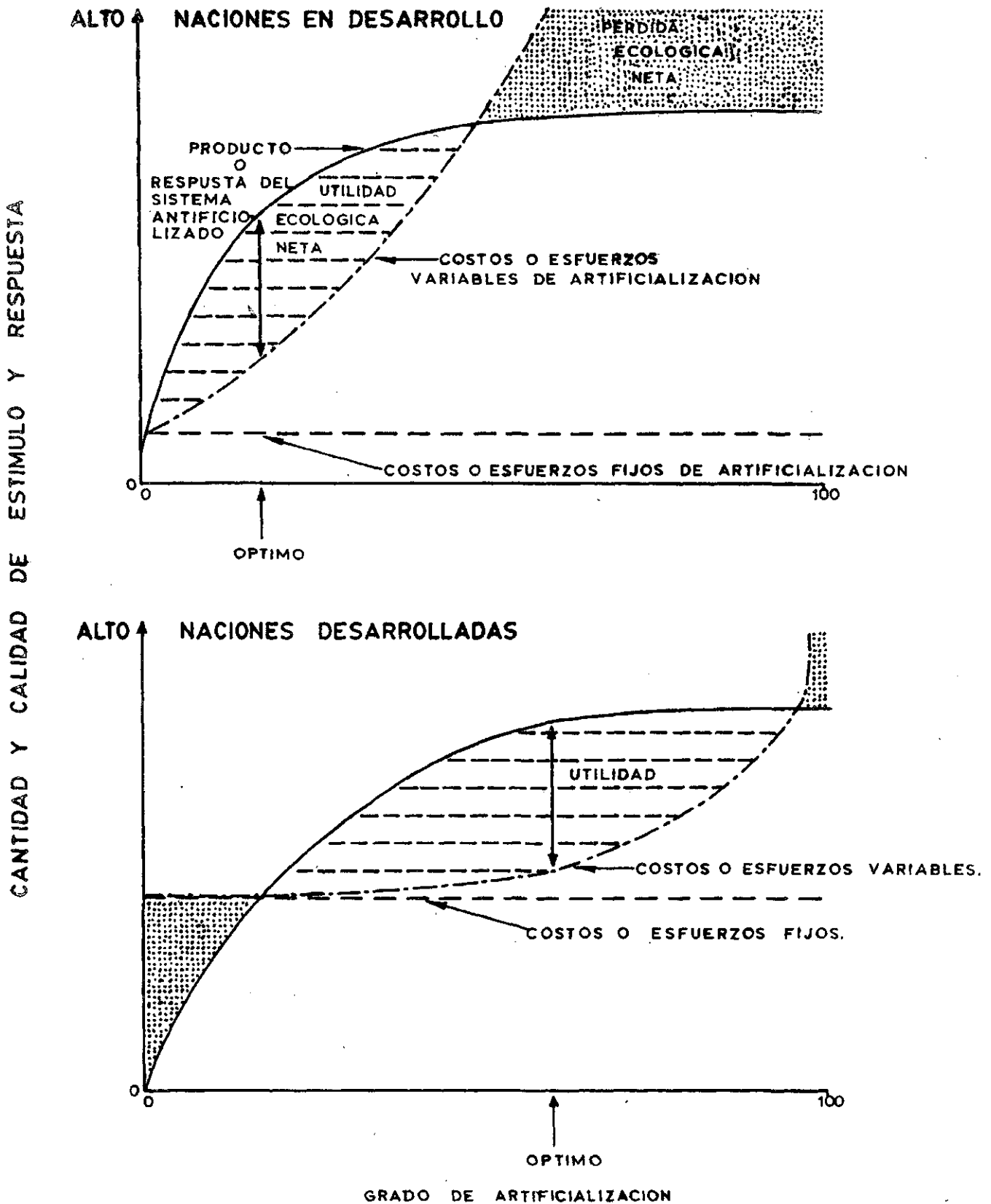
Los países desarrollados poseen una agricultura más eficiente, que trabaja a niveles tecnológicos superiores a los de los subdesarrollados. Ello es posible con una masa consumidora de poder adquisitivo alto, en los cuales la agricultura recibe un tratamiento más favorable, especialmente en su relación costo-beneficio. Si en los países desarrollados se hubiera dado a la agricultura el mismo trato que en los subdesarrollados, su nivel de productividad no sería superior al de estos últimos (Figura 12).

No basta con estimular condiciones adecuadas para alcanzar un alto grado de desarrollo tecnológico. Es necesario también, capacitar a la población para trabajar a un nivel tecnológico superior (Scrimshaw, 1963). La introducción de nuevas prácticas desarrolladas en otras naciones o en los institutos de investigación de cada país, requiere de inversión de un esfuerzo adicional de capacitación tecnológica.



Figura 12

Esquema de la diferencia en nivel tecnológico o de artificialización donde se genera la máxima utilidad ecológica en naciones desarrolladas y naciones en desarrollo



El éxito alcanzado depende del grado de preparación y educación general y especializada de quien trabaja la tierra o dirige el trabajo campesino. De allí la afirmación de Bradfield (1964), quien sostiene que las naciones más desarrolladas son, a la vez, aquellas cuya población tiene un más alto grado de educación; las naciones subdesarrolladas son las otras. De ahí que las naciones con poblaciones de mayor educación tengan también un mayor grado de receptividad de tecnología más avanzada que las naciones menos desarrolladas.

Dentro de una nación en desarrollo existen personas con mayor educación y capacidad organizativa y de trabajo que otras. Esas personas son de mayor receptividad a la comprensión y aplicación de los avances tecnológicos que las de menor educación. La Figura 13 presenta la relación entre el esfuerzo requerido para implantar alguna nueva práctica tecnológica y el nivel de educación.

El esfuerzo requerido para elevar el nivel tecnológico del agro es muy alto cuando se trata de capacitar a personas de muy bajo nivel educacional, y el resultado es a menudo negativo; lo cual no quiere decir que no deba hacerse, pero son proyectos de larga duración que deben planificarse como tales. La entrega de las decisiones técnicas del agro a personas de baja cultura del ecosistema silvoagropecuaria se traduce generalmente en una reducción considerable de la eficiencia y de la productividad, la que sólo se recupera una vez logrado un mayor nivel cultural.

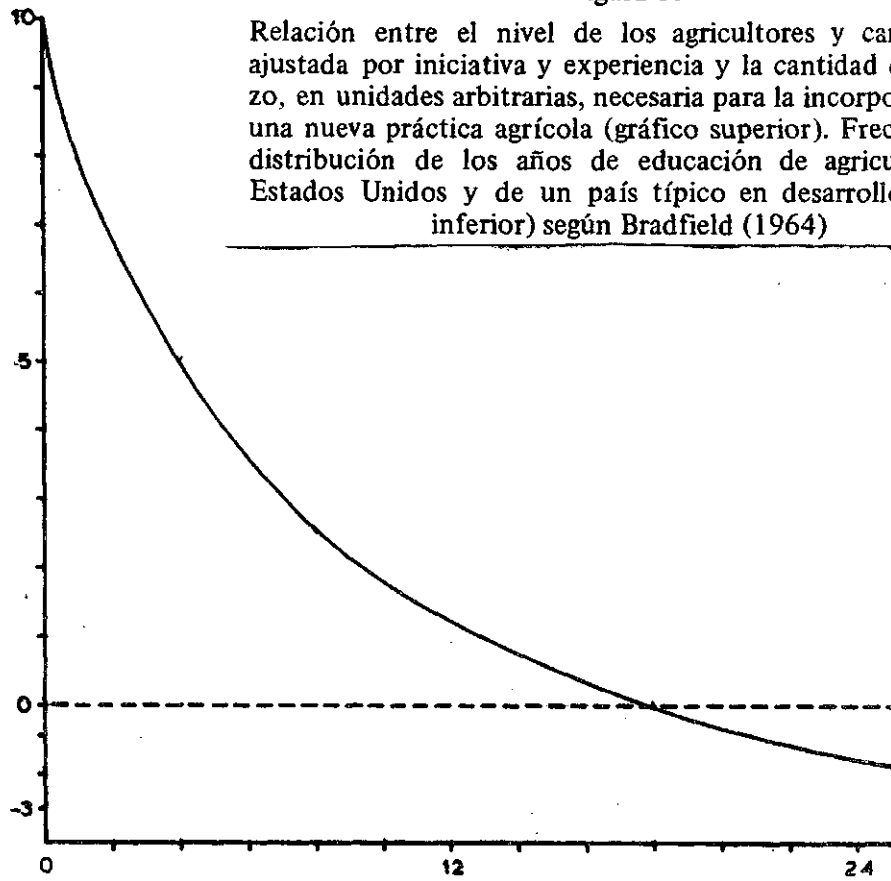
La productividad agrícola es, fundamentalmente, un problema tecnológico que tiene implicancias sociales. Los dos problemas fundamentales del agro, el tecnológico y el social, deben ser resueltos a la brevedad posible, pero sin que la solución de uno perjudique a la del otro.

La capacitación tecnológica debe existir en todos los niveles de jerarquía, desde el administrador hasta el trabajador de campo. La

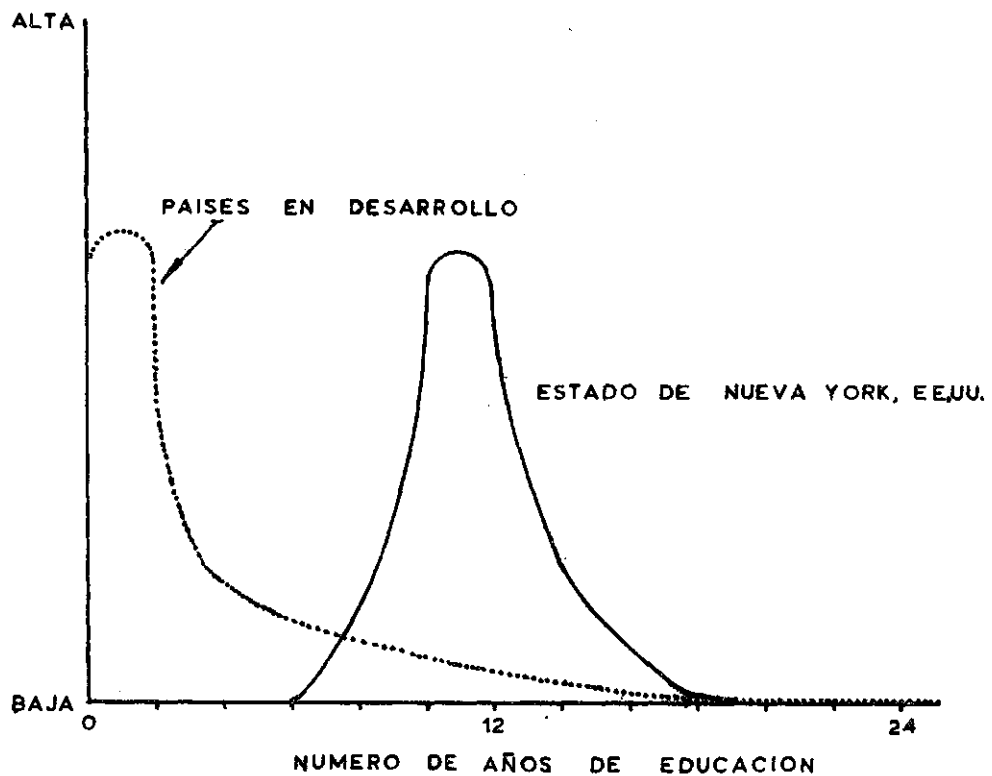
Figura 13

Relación entre el nivel de los agricultores y campesinos, ajustada por iniciativa y experiencia y la cantidad de esfuerzo, en unidades arbitrarias, necesaria para la incorporación de una nueva práctica agrícola (gráfico superior). Frecuencia de distribución de los años de educación de agricultores de Estados Unidos y de un país típico en desarrollo (gráfico inferior) según Bradfield (1964)

INDICE DE ESFUERZO  
REQUERIDO PARA  
IMPLANTAR  
NUEVAS PRACTICAS



FRECUENCIA  
DE DISTRIBUCIÓN



asesoría técnica del Ministerio de Agricultura, de Universidades, de Bibliotecas, de Escuelas Rurales, y de otras instituciones, son la fuente de origen de la tecnificación; pero el aprovechamiento de las enseñanzas tecnológicas no sólo depende de la calidad docente de las instituciones de extensión, sino que de la capacidad receptiva del estudiante, en este caso, el trabajador de campo. Más importante que la cantidad de educación, según Bradfield (1964), es la calidad de la educación.

El nivel tecnológico que se recomienda aplicar debe considerar:

- Las condiciones generales del país donde se desarrolla el sistema. Esto con el objeto de recomendar un nivel tecnológico compatible con la máxima productividad neta, donde se logre una productividad bruta elevada, de acuerdo a las condiciones generales de la región y del país; y
- Tomarse en cuenta la estructura organizativa y empresarial, para aplicar el nivel tecnológico recomendado.

## IX. ESTILOS ECOSISTEMICOS DE SOCIEDADES

Desde un punto de vista ecológico, la acción de la socioestructura sobre la biogeoestructura, tecnoestructura, entorno y sistemas incidentes, todo lo cual constituye el ecosistema-origen, puede categorizarse en dos grandes grupos de sociedades:

Transitorias

Estabilizadas

### Sociedades transitorias

Las sociedades transitorias se caracterizan por presentar una socioestructura cuyo balance final concluye por provocar un catastrofismo que conduce a la destrucción del sistema. Este estilo de sociedades se basa en la cosecha indiscriminada de algunos de los componentes del ecosistema de manera de provocar un deterioramiento progresivo del sistema simultáneamente con una demanda cada vez mayor. El proceso retrogresivo, característico de una retroalimentación positiva se acelera gradualmente hasta concluir en su destrucción o en una degradación pronunciada.

Una vez que el proceso catastrófico del ecosistema-origen ha llegado a su fin, corresponde al componente socioestructural, usualmente aún no deteriorado completamente migrar a otro ecosistema aún no conquistado por la socioestructura. En esta forma se inicia un nuevo proceso de desarrollo transitorio del ecosistema-origen. El mismo proceso puede repetirse innumerables veces, perdurando mientras persista su capacidad de destrucción y migración o bien hasta que la socioestructura se destruya.

Un ejemplo de procesos característicos de sociedades transitorias es la desertificación, donde se produce un catastrofismo acelerado de la biogeoestructura provocado por la cosecha indiscriminada de algunos componentes de la biogeoestructura, con el fin de ser utilizados directamente

por la socioestructura. Simultáneamente, algunos elementos biogeoestructurales son empleados en el desarrollo de la tecnoestructura. Otro ejemplo de sociedad transitoria es el de los sistemas que se generan en ambientes áridos, con precipitaciones estacionales irregulares. Bajo tales circunstancias, la acción antrópica genera procesos catastróficos en ecosistemas de baja autorecuperación, provocándose en esta forma una erosión cuya tasa sobrepasa la capacidad de cicatrización del sistema. En general, cualquiera de las enfermedades ecosistémicas, en su grado máximo, puede ser la causa de las sociedades transitorias, tal como ocurre con la salinización de tierras de riego utilizadas más intensivamente que su potencialidad.

#### Sociedades estabilizadas

Las sociedades estabilizadas, en oposición a las anteriores, son aquellas que mantienen el estado del ecosistema ya sea en forma permanente o cíclicamente. En este último caso, la amplitud y fase del ciclo puede variar entre extremos muy amplios, pero el valor de la media y de sus desviaciones máximas y mínimas se mantienen.

En realidad, cualquier sistema estabilizado, presenta ciclos al menos anuales, donde el efecto de las estaciones es la causa de la diferenciación en períodos de crecimiento o carga y cosecha o descarga. Además de las estaciones que generan el ciclo anual, debe mencionarse las rotaciones de cultivos y usos, donde también se presentan períodos de carga y descarga.

Las sociedades estabilizadas pueden clasificarse, de acuerdo al grado de artificialización, en tres grupos:

- naturalistas o primitivas, con artificialización mínima,
- ecosociedades, con artificialización óptima, y
- de consumo, con artificialización superior al óptimo.

Las sociedades naturalistas o primitivas se caracterizan por mantener el ecosistema en estados que se aproximan a su estado natural, debido al efecto simultáneo de una tasa mínima de cosecha y a la baja o

nula aplicación de estímulos adicionales al sistema. Las causas que provocan este estilo de desarrollo ecosistémico se centran en la carencia de una tecnología aplicable a la artificialización del ecosistema o en la incapacidad de aplicarla (Figura 14).

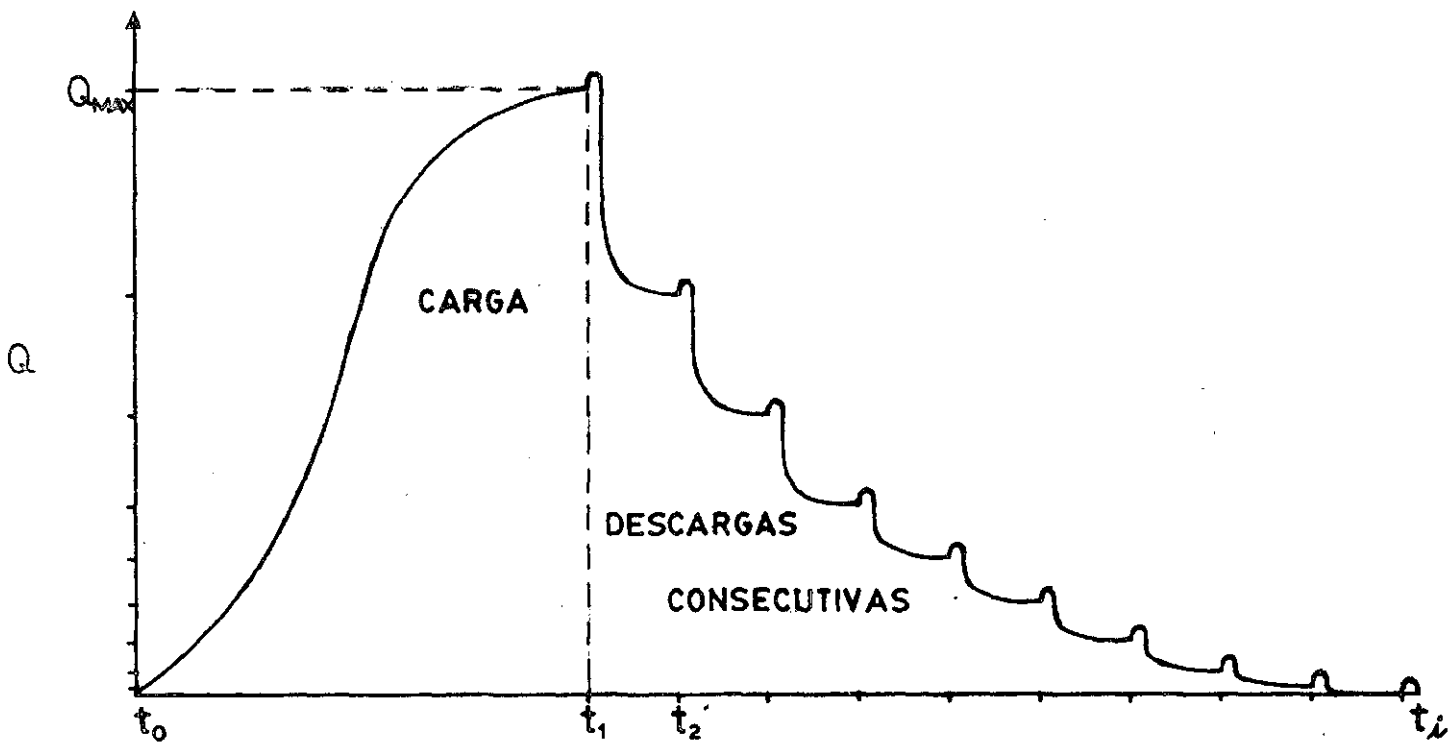
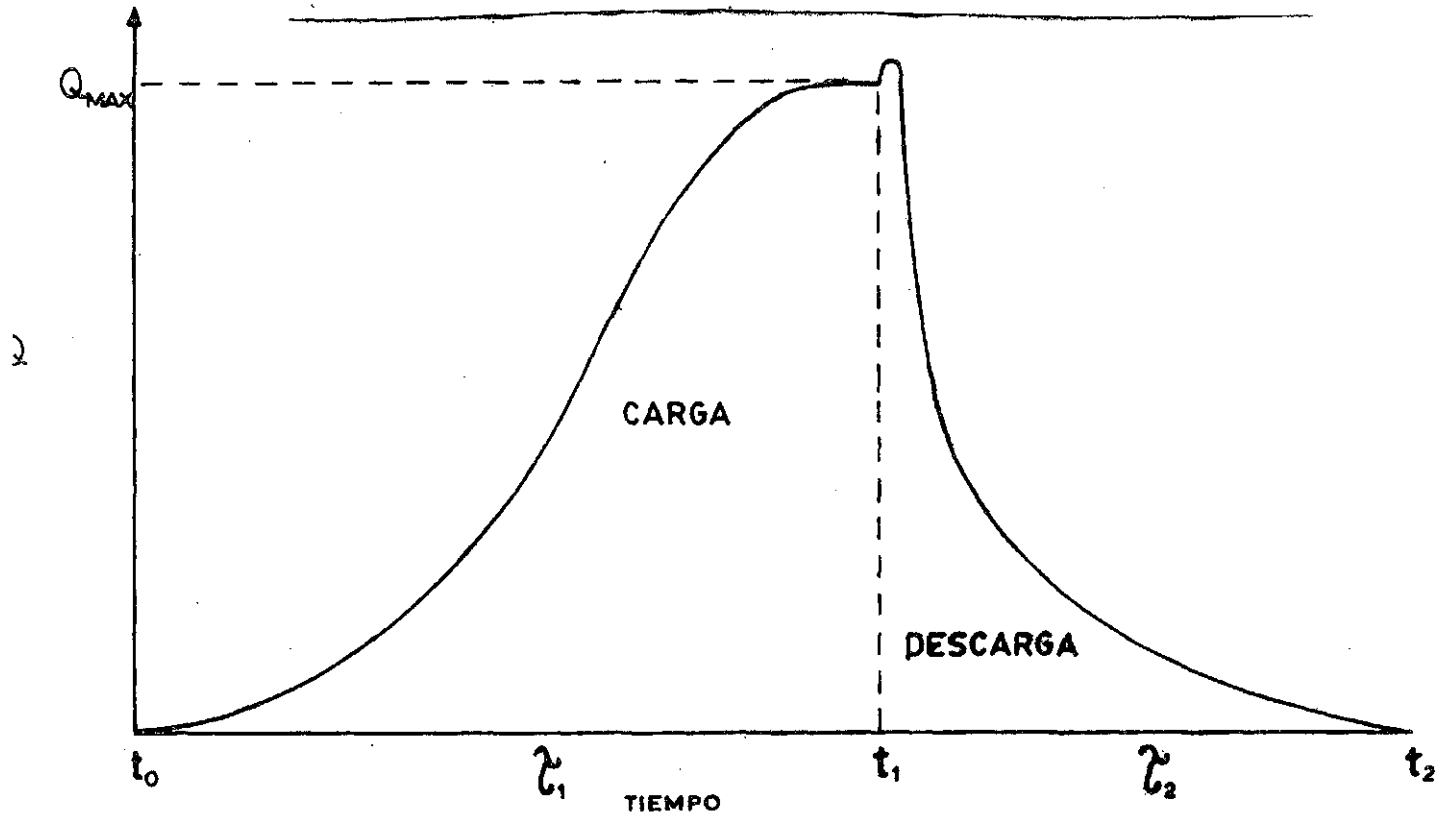
Las sociedades de consumo, bajo algunas circunstancias generan ecosistemas estabilizados, aunque en un nivel de artificialización superior al óptimo. El desarrollo tecnológico alcanzado durante las últimas décadas, permite cosechar indiscriminadamente los elementos más valiosos de la arquitectura del sistema, lo cual conduciría eventualmente a su destrucción, a no ser que paralelamente se intensifique la adición de estímulos con el fin de provocar un incremento de su productividad cosechable en forma sostenida. En el caso que la intensidad de cosecha sobrepase a la productividad del ecosistema, en el nivel de artificialización aplicado, se produce una degradación, que al continuarse permanentemente conduce necesariamente a la degradación del sistema, lo cual puede concluir en su destrucción.

La ecosociedad, en cambio, pretende mantener un grado de artificialización satisfactum, en el cual la intensidad de cosecha del ecosistema sea compatible con el mantenimiento de la arquitectura que produzca un comportamiento optimizado del sistema. La magnitud de los aportes de estímulos debe además estar en armonía con los usos competitivos de los sistemas de la biósfera, tanto desde un punto de vista de su agotamiento potencial como de la magnitud de la respuesta del sistema en términos de los subproductos que deterioran el entorno y de los requerimientos antrópicos.

Hay muchas formas de pensar y sentir, cada una de las cuales contiene una fracción de lo que se puede considerar la verdad. El reconocimiento del carácter multifacético de nuestras relaciones mutuas y con el resto de la naturaleza es una etapa necesaria hacia la búsqueda de soluciones a los problemas de la vida y hacia la comprensión de la grandeza de la existencia humana (Weisskopf, 1977).

Figura 14

Esquema general de la función de carga y descarga de un ecosistema cualquiera (gráfico superior). Esquema de una función de carga y varias consecutivas de descarga (gráfico inferior)





La naturaleza en forma aislada no puede alcanzar su potencial total, proponiéndose por ello una simbiosis entre la tierra y la humanidad, para el beneficio de ambos (Dubos, 1974). La idea de simbiosis entre el hombre y la naturaleza no es de origen reciente; concretamente ya se menciona en el Viejo Testamento (Davis, 1974; Bevan, 1977).

El problema del manejo de los recursos naturales constituye uno de los aspectos más importantes dentro del marco de la realidad del hombre y el medio. Imbricado dentro del mismo se encuentran todos los aspectos sociales, económicos y políticos que repercuten ineludiblemente sobre el recurso natural, el cual a su vez genera una cadena causativa que retorna nuevamente sobre el actuante (Nava, Armijo y Gastó, 1979). La humanidad ha llegado al momento en que la necesidad más urgente es crear un nuevo concepto del orden social en el cual la cooperación y el sentido de la comunidad reemplaza la competencia y el conflicto (Bevan, 1977).

La idea del ecodesarrollo fue propuesta por Maurice Strong en 1973 durante la reunión en Ginebra del Consejo Administrativo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. El concepto aspira a definir un estilo de desarrollo particularmente adaptado al momento actual. El ecodesarrollo es un estilo de desarrollo que busca con insistencia en cada región natural soluciones específicas a los problemas particulares, habida cuenta de los datos ecológicos, pero también culturales, así como de las necesidades inmediatas y a largo plazo (Sachs, 1977).

En la resolución de los problemas relacionados con los recursos naturales se requiere en una primera etapa, comprenderlos, obligando ésto a la formulación de un marco conceptual donde ubicarles y elaborar, dentro de este esquema, la imagen que formalice el fenómeno (Nava, Armijo y Gastó, 1979). El planteamiento ecodesarrollista puede contribuir a lograr una mejor comprensión del problema, simultáneamente con definir una mejor estrategia de solución (Leff, 1976).

Las características fundamentales del ecodesarrollo, de acuerdo al planteamiento de Sachs (1977) son las siguientes:

- En cada región natural el esfuerzo se dirige al aprovechamiento de sus recursos para satisfacer las necesidades fundamentales de la población en materia de salud, alimentación, alojamiento, y educación, sobre una base realista, de manera de evitar las distorsiones propias de la sociedad de consumo.
- Siendo el hombre lo más valioso, el ecodesarrollo debe permitir ante todo su realización.
- La identificación, valoración y manejo de los recursos se lleva a cabo con una perspectiva de solidaridad diacrónica con las generaciones futuras.
- Las consecuencias negativas de la actividad humana sobre el ambiente antrópico se reducen mediante procedimientos de organización de la producción que permiten aprovechar los elementos complementarios y utilizar los desperdicios con fines productivos.
- Se prefieren formas naturales actuales de combustibles sobre los combustibles fósiles.
- Se considera un estilo tecnológico particularmente adaptado a una sociedad en armonía con su medio. El cambio tecnológico surge como variable multidimensional en el proceso de planificación, y finalmente, afirma Sachs (1977) que,
- El componente necesario de las estructuras participantes de la planificación y administración está representado por una educación que prepare para ello.

Dentro del concepto desarrollista de la sociedad de consumo, en relación al recurso natural, se planteó la revolución verde como una estrategia de solución a los problemas de producción en el medio rural. El éxito de la revolución verde fue la consecuencia de una experimentación

contenida dentro de un marco conceptual que reflejaba una realidad muy definida, realidad que ha dejado de existir aún cuando se continúa operando bajo el mismo marco. Su fracaso generalizado refleja una incongruencia entre la realidad y el enfoque, fruto de un anacronismo que se pretende perpetuar.

Los estudios experimentales han permitido ir resolviendo gradualmente algunos problemas relacionados con el manejo y transformación de los recursos naturales. Simultáneamente, sin embargo, han emergido otros problemas que pasaban desapercibidos lo cual ha conducido al desenvolvimiento de un escenario cada vez más complejo cuya solución, con una dialéctica puramente empirista, se hace cada vez más lejana (Nava, Armijo y Gastó, 1979).

El fracaso que se observa en algunos aspectos de la sociedad actual, que no ha sido capaz de resolver integralmente muchos problemas hace que se observe con pesimismo el devenir. Ante este encrucijada se presentan tres alternativas más obvias. Una de ellas plantea como solución un retorno al primitivismo, abandonando completamente el desarrollo tecnológico alcanzado, lo cual significaría desprenderse de muchos elementos tecnológicos que lejos de incrementar el deterioro ambiental contribuyen a mejorar las condiciones de vida de la humanidad.

La sociedad de consumo, en la forma concebida en la actualidad con un criterio puramente materialista y económico se presenta como una alternativa capaz de producir un bienestar temporal muy favorable. En sus planteamientos básicos, se soporta en el desarrollo del nicho antrópico del hombre como generador de una tecnoestructura gigante basada en la destrucción de la biogeoestructura y su empleo como materia prima para la elaboración de la estructura. El agotamiento de los recursos, unido a sus efectos laterales de contaminación y deterioro del ambiente humano, en un grado cada vez mayor, hace pensar que no ofrece una perspectiva de

solución permanente. Mientras más se progresa en la sociedad de consumo, mayor es el grado de destrucción y más distante se ubica la solución integral y permanente del problema, pues se basa en la generación de ingresos y empleo a través de la ocupación por parte del hombre del nicho de destructor de la biogeoestructura.

Las circunstancias actuales obligan a pensar en la necesidad de definir los objetivos que se persigan en un desarrollo sano desde un punto de vista ecosistémico. El ecodesarrollo debe permitir seleccionar entre los diversos estados del hombre y su medio aquel que le permita optimizar su relación de manera de lograr una armonía permanente entre ambos. Ese estilo de desarrollo debe permitirle disfrutar de un habitat que optimice las condiciones para la salud corporal y mental estable, donde los intereses del grupo sean compatibles con los individuales. El ecodesarrollo debe considerar también la estabilidad que debe alcanzar la socioestructura en lo que respecta a su crecimiento, como una medida de tamaño, ya que siendo la biósfera de capacidad limitada no es posible pensar en un crecimiento ilimitado sin afectar la armonía de la biogeoestructura. El desarrollo, en cambio, se considera como un proceso de sistemogénesis que no incluye necesariamente un aumento de tamaño. La socioestructura debe estabilizarse en un tamaño tal que las disponibilidades de recursos y condiciones ambientales le permitan lograr un desarrollo material óptimo, el cual en muchos casos se ha alcanzado o sobrepasado, de manera de generar condiciones permanentes para lograr un mejoramiento mental y espiritual continuado.

No es posible desligarse de muchos de los elementos desarrollados gracias al avance tecnológico, los cuales pueden y deben ser empleados en beneficio de la humanidad. Pero el desarrollo de una tecnoestructura avanzada no significa necesariamente progreso, a no ser que se realice en beneficio del hombre, lo cual considera que debe estar enmarcado dentro de la definición de conservación, pues cualquier estilo de desarrollo debe

considerar como condición esencial la conservación de la naturaleza que se define como: la ordenación de los recursos naturales de la tierra, el aire, el agua, el suelo y los minerales, las diferentes especies de plantas y animales, inclusive el hombre, a fin de lograr la máxima calidad de vida para la humanidad sobre una base continuada (Budowski, 1976).

La era en la cual la ciencia moderna comenzó su curso espectacular de desarrollo fue en muchos aspectos similar a la actual: su diversidad de creencias, de indecisión y de profundo pesimismo, correspondiendo a un período en que las ideas chocaron y algunas creencias tradicionales que se pensaban eternas fallaron y dejaron de serlo (Bevan, 1977). Lo que aún necesita el hombre es elegir un estilo de desarrollo que le permita llegar a la verdad y alcanzar su pleno desarrollo.

#### Sistemogénesis forestal

El proceso de transformación antrópica de los ecosistemas forestales se ajusta a un modelo generalizado de retrogradación, en el cual se encuentran algunas etapas intermedias inestables y diversas etapas posibles terminales que operan como atractores.

La primera etapa del proceso retrogresivo se caracteriza por la caza y captura selectiva de las especies animales más valiosas, especialmente mamíferos y aves. La actividad la realizan grupos humanos periféricos que explotan este valioso recurso con el solo fin de extraer la máxima cosecha, sin ninguna restricción de un manejo nacional con el fin de lograr una cosecha optimizada sostenida. Esta actitud le da a la población humana un carácter de nomadismo migrando a otros sectores más periféricos a medida que el recurso se agota. El alto valor específico del producto, generalmente pieles, unido a las distancias y carencias de caminos o dificultades de transporte, hace en esta etapa de retrogradación, más atractiva la cosecha de un producto de alto valor específico (Figura 15).



En la etapa siguiente, grupos humanos especializados cosechan los ejemplares forestales de las especies más valiosas, acción que se denomina floreo, quedando en esta forma, como remanente, un bosque de menor valor. Las distancias y dificultades de transporte continúa siendo un obstáculo al desarrollo. Las viviendas y tecnoestructura de cosecha del bosque que se desarrollan son rudimentarias y provisionarias, dado el carácter nomádico de la población periférica que existe.

En una tercera etapa se intensifica la cosecha a otros elementos forestales valiosos, aunque en una escala menor que los anteriores, lo cual concluye dejando como remanente restos forestales de escaso valor maderero, lo cual se denomina renoval. Es usual en regiones de climax forestal encontrar vastos sectores en esta etapa de retrogradación, lo cual puede llegar incluso a una destrucción del renoval, característico de la etapa siguiente. En este último proceso, el objetivo no es cosechar productos forestales sino que iniciar la preparación del biótomo con el fin de destinarlo a otros usos tales como cultivos agrícolas, pastizales o cultivos forestales.

Todo este proceso que va desde el bosque climax hasta la fitocenosis destruída puede ser realizado en un menor número de etapas cuando el único objetivo es limpiar el terreno de la vegetación original con el fin de destinarlo a cultivos, praderas o bosques artificiales. Esta etapa del proceso se realiza corrientemente usando como operador de transformación al fuego. En general, en sectores donde el bosque nativo es de baja calidad maderera, o se encuentra en lugares de difícil acceso caminero, se acostumbra desmontar sin efectuar operaciones de cosecha de la fauna y madero.

El bosque climax en sus etapas iniciales de retrogradación, puede ser manejado silvícolamente de manera de transformarlo en un ecocultivo forestal. Este bosque ecocultivado se caracteriza por la aplicación de una cierta tecnología silvícola donde se destacan las podas, corta selectiva

de ejemplares deformes, manejo de la estructura por edades de la población de manera de optimizar la productividad, y plantaciones parciales de los claros o sectores desprovistos de ejemplares de especies valiosas. El manejo silvícola del bosque natural permite en esta forma un incremento de la productividad y un mejoramiento de la calidad del producto cosechado. Por el hecho de sustentarse sobre una base ecológica, especialmente basada en los principios sistemogénicos, donde el proceso sucesional es el que dirige su mejoramiento y productividad natural, el grado de artificialización es bajo. Baja artificialización significa bajo costo energético de manejo ecosistémico, unido a una contaminación ambiental también reducida.

El manejo silvícola racional del bosque natural permite el establecimiento de poblaciones sedentarias que manejan y cosechan el bosque sobre una base sostenida, en un ambiente adecuado al desarrollo corporal, mental y espiritual de la especie humana.

Continuando con el proceso retrogresivo, las fitocenosis destruidas o el terreno descubierto y limpio pueden ser plantadas con cultivos forestales, los cuales a su vez pueden ser manejados en rotaciones de mayor o menor longitud de acuerdo al ambiente y características de la especie. En el caso de aplicación de prácticas inadecuadas puede conducir a la destrucción del ecotopo y eventualmente a su abandono.

Continuando con el proceso, el terreno descubierto y limpio puede ser preparado para la siembra de cultivos agrícolas o de praderas. En el primer caso, puede conducir a disclímaces estabilizados de cultivos, lo cual significa un alto grado de artificialización siendo, a menudo, acompañado de altas productividades. Alternativamente, el mal manejo del cultivo, o en ambientes inestables, puede conducir a una degradación del sistema, que al continuarse provoca una destrucción del ecótopo y finalmente su abandono. Sólo en el caso del disclímax de cultivo estabilizado, las



poblaciones logran ser permanentes y con una tecnoestructura propia de la agricultura.

Los pastizales, en cambio, pueden tener dos orígenes. Uno es el que se genera como una etapa sucesional posterior al desmonte y limpia de las sinusias forestales que puede conducir a un ecocultivo pratense; en el caso que se aplique una artificialización compatible con el sistema ecológico, o en caso contrario concluir en su destrucción.

Es posible también generar pastizales a través de la resiembra o plantación de especies pratenses mejoradas, conjuntamente con la aplicación de la tecnología adecuada, todo lo cual implica un mayor grado de artificialización que en el caso anterior.

Considerando globalmente el proceso de retrogradación de ecosistemas forestales se desprende que puede generar sistemas de utilización y manejo de recursos naturales muy diferentes, los cuales se pueden agrupar en tres grandes categorías: forestales, agrícolas y ganaderos. Dado el carácter dinámico de la sucesión no siempre se llega a un estado estático de climax o disclimax sino que, a menudo, se opera dentro de un contexto dinámico, tal como ocurre en el trópico con el sistema denominado roza, tumba y quema.

Las poblaciones humanas que se generan para cada biogeoestructura tiene atributos socioestructurales diferentes, unido a una tecnoestructura muy diversa. Además, la acción sobre el entorno ecosistémico es también diversa y el grado de apertura exterior a través de los sistemas incidentes es también diverso, de acuerdo al grado de artificialización.

Los principales atractores dentro del proceso sistemogénico artificializado son, por lo tanto:

- climax forestal,
- ecocultivo forestal,
- renoval,

disclimax cultivo forestal,  
 ecocultivo pratense,  
 disclimax de cultivo agrícola,  
 disclimax pastizal, y  
 abandono por destrucción del ecótopo.

### Sistemogénesis pratense

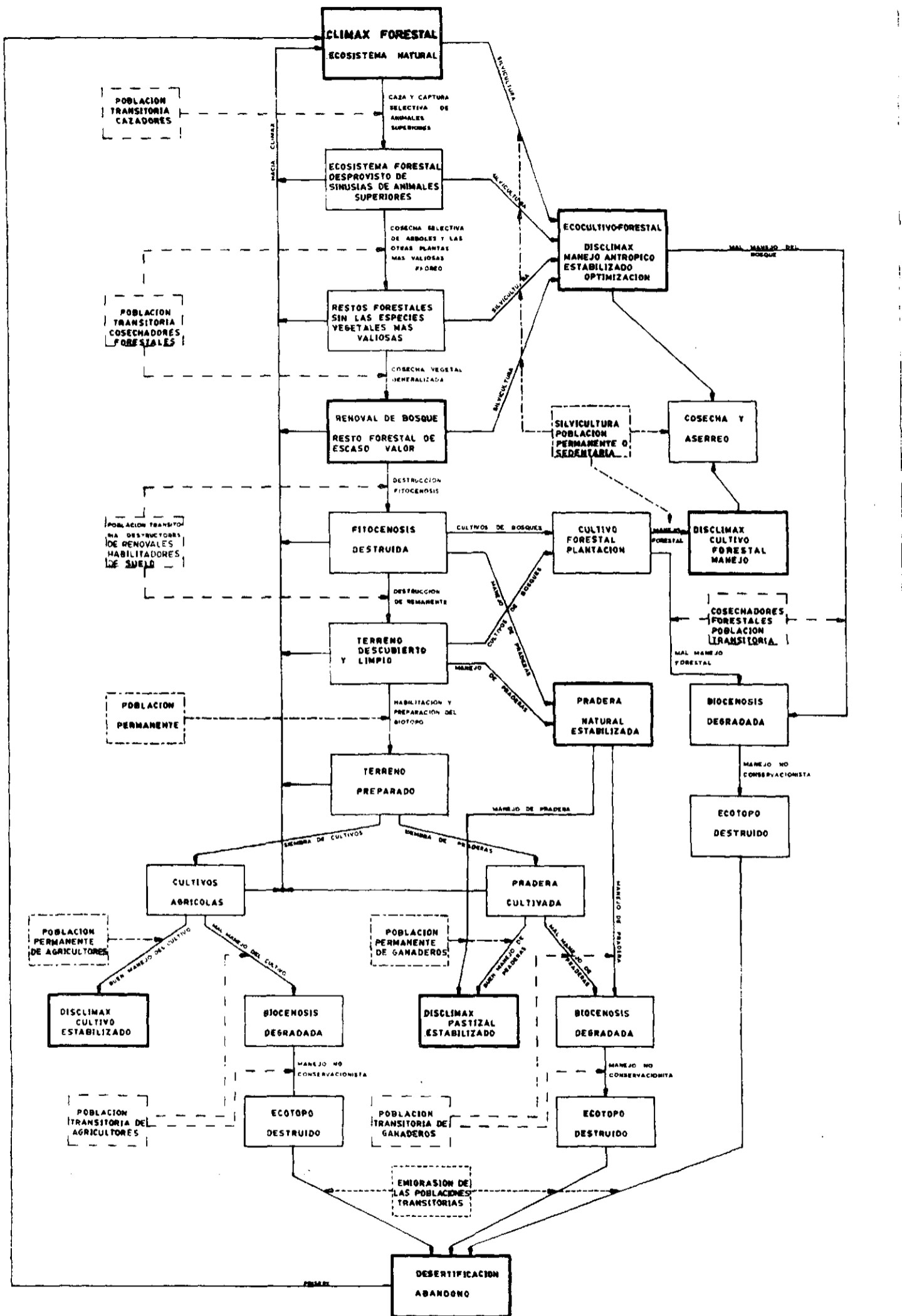
En ambientes cuya etapa climática corresponde a pradera, el proceso general de retrogradación se ajusta a rutas y etapas sistemogénicas definidas (Figura 16).

La primera etapa se caracteriza por la caza y captura indiscriminada de los herbívoros superiores, especialmente mamíferos y aves. Este proceso es realizado por poblaciones periféricas que persisten mientras dura la cosecha de esta sinusia herbívora. Al agotarse las poblaciones animales cosechadas con fines de lucro a través, principalmente, de la venta de pieles o carne desecada, la pradera natural luego de un período de subutilización, concluye por permanecer sin utilización.

La ausencia de herbívoros provoca un desequilibrio vegetacional, que se caracteriza por la invasión y el incremento de las especies climáticas no tolerantes del pastoreo en desmedro de aquellas cuyo máximo desarrollo lo alcanzan con pastoreo moderado. En esta etapa del proceso, sin embargo, en un lapso que puede ser breve o prolongado comienza a repoblarse la pradera con herbívoros domésticos, los cuales tienden a invertir el proceso.

Las diversas especies animales se han especializado en tipos vegetacionales diferentes, estratas, especies vegetales, biomasa, tejidos vegetales, tamaño del bocado, estacionalidad y topografía. Debido a ello, el manejo de la fitocenosis debe ser planificado para ser utilizada por la especie, raza y clase de ganado que mejor se adapte. La acción de la fitocenosis sobre el animal, la reacción de la zoocenosis sobre la vegetación o viceversa, o la coacción de ambos debe ser optimizada para la especie

Figura 16  
**ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO DE RETROGRADACION Y PROGRESION DE LOS ECOSISTEMAS CON CLIMAX PRADERA**



- DIRECCION DEL PROCESO SISTEMOGENICO
- ATRACTORES PRINCIPALES
- - - POBLACION HUMANA PERMANENTE SEDENTARISMO
- - - POBLACION HUMANA TRANSITORIA CON CARACTER PERIFERICO
- - - EMIGRACION DE LAS POBLACIONES TRANSITORIAS POR DESTRUCCION DEL ECOSISTEMA

o especies que se utilicen en forma simultánea y en la proporción más adecuada. Para cada habitat, nicho y producto animal que se desee obtener existe una especie, raza y clase de animal mejor adaptada.

El proceso sistemogénico general, tanto en sus fases de progresión como de retrogradación, conduce a etapas sucesionales diversas, donde el habitat y la fitocenosis difieren entre extremos muy marcados. Las especies naturales animales, van gradualmente ajustándose al medio, en tanto que los animales domésticos, también lo hacen, aunque en forma aparentemente menos sistemática.

El ganado vacuno tiene preferencia por los pastos largos. Su anatomía bucal se caracteriza por prestar una mandíbula inferior fuerte y molares desarrollados que le permiten triturar y desmenuzar el forraje ingerido. Los equinos, en cambio, se caracterizan por poseer una prensa bucal muy fuerte, mayor que los vacunos, que la utilizan incluso como defensa. Tienen preferencia por los pastos medios y cortos que juntan con los labios que son muy desarrollados y móviles.

El ovino, especie de tamaño reducido es de mayor rusticidad que el bovino y equino. Se adapta a los habitats más variados, que van desde regiones áridas y pobres hasta lluviosas y frías, productoras de abundante forraje tierno. Esta amplia gama de tolerancia al medio se ha logrado a través del desarrollo de razas de muy diversa adaptabilidad. Cada una de ellas se caracteriza además por su especialización en producción de carne, lana, leche o piel. Se caracterizan por seleccionar cuidadosamente la especie vegetal y el tejido que consumen. Destacan por una alta selectividad, prefiriendo las hierbas latifoliadas, pero consumiendo simultáneamente gramíneas y arbustos. Su tamaño, longitud de sus extremidades y su cuerpo cubierto de lana, le impiden la utilización eficiente del matorral y mata densa. Tampoco puede utilizar eficientemente pastos altos y el ramaje superior de arbustos y arbolillos.

Los caprinos son la especie más rústica entre los herbívoros domésticos convencionales. Se adaptan a terrenos montañosos, tapizados de piedras y rocas, productores de forraje pobre y leñoso. Son esencialmente animales de ramoneo, destacando su capacidad trepadora, tanto de árboles y arbustos como de laderas escarpadas. Además, son capaces de utilizar los matorrales de mayor densidad.

El cerdo es una especie diferente de las anteriores, tanto en lo que se refiere a su anatomía como a su adaptación y comportamiento al medio.

Las praderas subutilizadas por el ganado tienden a deteriorarse, situación que conduce a un disclimax caracterizado por la invasión por especies leñosas constituyentes a estepas, matorrales o bosques, de acuerdo a las condiciones ambientales. Este disclimax se caracteriza por su estabilidad y por su productividad inferior a la de la pradera utilizada moderadamente.

Las praderas sobreutilizadas, de acuerdo a las características del sistema y del proceso pueden seguir dos rutas diferentes. Una es el deterioro de la fitocenosis, a lo cual le sigue la destrucción del ecótopo y finalmente el abandono. En este caso, las poblaciones que se desarrollan tiene carácter transitorio, migrando a otros sistemas a medida que el proceso continua.

La otra alternativa de ruta de retrogradación sistemogénica debido a sobreutilización ocurre cuando se dan las circunstancias para que ello ocurra. El proceso se caracteriza, en una primera etapa, por la reducción de las hemicriptófitas. Luego invaden y se desarrollan las fanerófitas, lo cual trae como consecuencia la ocupación de los territorios de las hemicriptófitas pratenses simultáneamente con la desocupación o desplazamiento de sus nichos. El proceso concluye en un disclimax dominado por especies leñosas bajas, medias o altas, representantes de estepas,

matorrales o bosques, unido a hemicriptófitas subdominantes. En el caso de continuar el proceso de sobreutilización las hemicriptófitas pueden reducirse a su mínima expresión o desaparecer, dando lugar, en algunos casos, a la invasión de terófitas o de algunas hierbas latifoliadas.

Las especies animales adaptadas a estos procesos van degradándose hasta llegar al ovino y caprino. En el caso de continuar el proceso, las especies animales adaptadas pueden ser mamíferos menores silvestres. Las poblaciones humanas de estas etapas son permanentes, pero sus productividades son inferiores a las de la pradera bien manejada.

Cualquiera de estas praderas pueden ser sometidas a operadores de artificialización que les destruyan a través del proceso de remoción del suelo. El suelo removido puede ser resembrado con especies pratenses con el fin de generar una nueva pradera o sembrado con cultivos agrícolas.

Los sistemas de cultivos pueden conducir a un equilibrio, o bien, a una degradación, destrucción del ecótopo, y finalmente abandono. La elección de una u otra ruta alternativa depende de las características ambientales y del manejo del sistema.

De manera análoga, en lugar de sistemas de cultivos puede edificarse sistemas de ecocultivos cuyas rutas y atractores son análogos al proceso anterior.

Los principales atractores del proceso descrito son:

- Pradera climax,
- Suelo removido,
- Pradera disclimax uso-normal,
- Pradera disclimax fanerófitas-hemicriptófitas sobre-  
utilizadas,
- Praderadisclimax leñosas-hemicriptófitas subutilizadas,
- Disclimax cultivos,
- Disclimax ecocultivo, y
- Abandonado. Ecótopo destruido.

## X. CONCLUSIONES

No es pequeño dolor contemplar que siendo aquellos incas gentiles e idólatras tuvieron tan buen orden para saber gobernar y conservar tierras tan largas y nosotros siendo cristianos, hayamos destruido tantos reynos, porque donde quiera que han pasado cristianos descubriendo y conquistando, otra cosa no parece sino que con fuego se va gastando.

Pedro de Sieza  
Siglo XVI

En el presente acápite se incluyen algunas normas y limitaciones ecológicas generales aplicables a la modernización de la agricultura.

### Del hombre y la agricultura

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. Fuera de ello, el crecimiento numérico de la especie, además del incremento de sus necesidades, ha ido elevando los requerimientos de recursos para satisfacer las necesidades de una población cada vez mayor.

La especie humana es sólo un elemento más del ecosistema, caracterizándose por su alto grado de especialización y dominio sobre la materia, energía e información.

Dado que la especie humana es heterotrófica y que el habitat está usualmente en un nivel distinto del óptimo, el hombre esencialmente es un organismo que debe destruir para satisfacer sus necesidades heterotróficas y para optimizar su habitat. Para cada sistema existe un desarrollo óptimo del hombre y un grado optimizado de destrucción, sobre el cual no debe sobrepasarse.

Agricultura en el sentido amplio de la palabra se refiere a cualquier recurso natural renovable incluyendo sistemas forestales, dulceacuícola, marinos, prateros, desérticos, cultivos, o cualquier otro, que frecuentemente se les denomina recurso natural renovable de la ecósfera. Agricultura puede ser definida como: la serie de procesos de artificialización de ecosistemas de recursos naturales renovables con el fin de optimizar la calidad y cantidad de cambio de estado canalizable hacia el hombre y su cosecha por éste.

#### Del ecosistema

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*; Odum, 1972; Maynez, Armijo y Gastó, 1975).

Los componentes del ecosistema para que constituyan una unidad y actuar como un todo deben estar conectados a través del transporte de estos elementos entre los diversos componentes del sistema.

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

- flujos, donde el transporte es direccional y la tasa de recirculación es insignificante dentro de cada ecosistema en particular;
- circulación y recirculación, cuyos elementos son transportados en forma sucesiva a través de los diversos componentes del ecosistema;
- transporte simultáneo de materia y energía.

Ningún sistema ecológico es completamente independiente. Todos ellos reciben recursos y elementos desde afuera, es decir otros ecosistemas y 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 todas las demás. La biósfera del planeta tierra funciona integralmente.

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 silvo-agropecuario puede fluctuar dentro de márgenes muy amplios, pero su organización y manejo debe ser el resultado del estudio determinado de su estado inicial y de su transformación, llevada a cabo con un criterio de optimización antrópica.

En la resolución de problemas ecológicos se requiere definir el conjunto de fenómenos que pertenecen al recurso natural para construir una imagen o modelo y eventualmente delimitar una metodología de trabajo. La transformación del ecosistema-fenómeno en ecosistema-imagen, requiere establecer una cierta relación que permita, luego de determinar los atributos fundamentales del primero, desarrollar una imagen que corresponda al 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.

#### De la arquitectura

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

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

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

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.

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 comportamiento y 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.

#### Del 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  $\Lambda$  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 dominio del tipo de estímulo  $E_i$ ; en otras palabras, representa la variable mediadora.

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 y respuesta.

Los estímulos a los que está condicionado el ecosistema son: materia, energía e información.

Los elementos de mayor incidencia en el funcionamiento del ecosistema son:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , nutrientes sedimentarios y energía luminosa.

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.

Desde el punto de vista de los sistemas incidentes, el ecosistema puede ser de cualquier valor entre abierto y cerrado. Sistemas abiertos son los que reciben la totalidad de las importaciones desde otros sistemas externos y exportan la totalidad del producto, incluyendo contaminantes. En oposición sistemas cerrados son los que no importan estímulos desde otros ecosistemas, ni exportan una parte de la respuesta cosechada. Ciudades y cultivos intensivos presentan mayor apertura que los ecocultivos. El grado de apertura debe estar en armonía con los ecosistemas externos incidentes, tanto con los elementos valiosos como con los contaminantes o desechos.

La magnitud de los estímulos que se apliquen con el fin de mantener el funcionamiento adecuado de la arquitectura debe estar en armonía con los estímulos aplicados a los demás ecosistemas de la región y de la biósfera.

El funcionamiento del 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 del estímulo 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.

#### Del estado del ecosistema

El estado de un sistema es su modo o condición de existir.

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.

El estado del ecosistema está definido por su arquitectura y funcionamiento. En general, es posible definir al ecosistema por el triplete:  $\mathcal{E}$ , estímulos;  $\beta$ , comportamiento; y  $\rho$ , respuesta, dado en las ecuaciones:

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

donde,  $\sigma$  es el arreglo topológico y  $\eta$  el tamaño de los componentes.

Cualquier estudio ecosistémico debe considerar dos aspectos:

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

### De los grados de libertad

Los grados de libertad del fenómeno, correspondientes al nivel de complejidad del sistema ecológico, son los mismos 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.

En el estudio de los recursos naturales y de la elaboración de imágenes debe buscarse establecer una separación entre los factores pertinentes y los no pertinentes o irrelevantes, lo cual constituye el principio del conocimiento.

### De la armonía, estilo y periodicidad

Los componentes y conexiones dentro y entre ecosistemas deben ser armónicos tanto en el espacio como en el tiempo.

Armonía o balance ecosistémico puede ser definida como una conveniente proporción entre los elementos y las conexiones 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 ello 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.

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 y 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.

#### De los valores y deberes

Los tres atributos esenciales del ecosistema: armonía, estilo y periodicidad pueden presentarse en estado distinto del óptimo o igual a él.

Una 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.

Armonía es un atributo propio del sistema que no puede ser modificado de acuerdo a algún objetivo antrópico. 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 antrópico 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 modificados 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, pueden 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 a la respuesta.

A nivel de la biósfera 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, provocada 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 una 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.

La capacidad antrópica de control sobre la materia y energía le permite en la actualidad cosechar elementos de los sistemas de recursos naturales con el fin de satisfacer cualquier necesidad del grupo humano.

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 evaluarse en alguna forma las decisiones que se tomen en torno a ello.

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.

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 conservación del recurso natural, que pretende mantener los elementos vitales del sistema para optimizar su funcionamiento.

Existe una clara diferencia entre el valor de 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 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.



Existe una necesidad de ajustar el estilo de ecosistema a algún propósito antrópico.

Cualquiera que sea el estilo del ecosistema, debe buscarse el establecimiento de un justo equilibrio entre su óptimo y los requerimientos antrópicos. La modernización de la agricultura debe plantearse sobre la base del valor antrópico de los recursos naturales y del efecto de la artificialización y preservación sobre la calidad de vida.

Las generaciones actuales, tienen el deber de compatibilizar el valor de los recursos con las necesidades antrópicas con el fin de optimizar la calidad de vida. La modernización de la agricultura, debe estar contenida dentro del marco de valores y deberes.

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 para la especie al ser cosechados para ser empleados en las etapas tróficas propias de 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.

### Del ecosistema-origen

Es posible definir al ecosistema como la unidad ecológica básica, cuya complejidad es el producto de la integración de cinco subsistemas: biogeoestructura ( $Eb_i$ ), socioestructura ( $Eh_i$ ), tecnoestructura ( $En_i$ ), entorno ( $Ee_i$ ) y sistemas externos incidentes ( $Ec_i$ ) contrareñido por un tipo de complejidad dado por la unidad de referencia. En base a lo anterior, el ecosistema se puede considerar como:

$$E_i^j = \{Eb_i, En_i, Eh_i, Ee_i, Ec_i\}$$

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

No es posible aislar al hombre dentro del contexto de la naturaleza porque en su estructura se encuentran componentes topológicos propios de la naturaleza, por lo cual intrínsecamente es una parte de ella. La naturaleza, a su vez, está contenida en el hombre como unidad socioestructural.

Las situaciones dinámicas que gobiernan la evolución de los fenómenos naturales son básicamente las mismas de las que gobiernan la evolución del hombre y las sociedades.

La interacción de la unidad socioestructural con el recurso natural genera estructuras y arquitecturas diferentes a las propias de cada uno de estos componentes, produciéndose en esta manera arreglos topológicos de baja probabilidad de ocurrencia en el recurso natural, sin la intervención del hombre.

La transformación de la estructura y arquitectura de algunos componentes de la biósfera, diseñados bajo el alero del intelecto humano como elemento rector de la transformación del recurso natural, genera las unidades tecnoestructurales.

### De las enfermedades ecológicas

Enfermedad ecológica puede ser definida como cualquier proceso, en un sistema ecológico, que presente una tendencia destructiva, y que tenga una causa específica y síntomas característicos.

Las enfermedades ecológicas expresan un cierto grado de deterioro ecosistémico, considerando al nivel de las estructuras y superestructuras propias de la materia organizada en la biósfera, donde el hombre evolucionó y se desenvuelve; aunque en otros niveles de integración de la materia, tales como el molecular o el del individuo no constituyen necesariamente enfermedades.

El concepto de salud ecosistémica debe considerar esta armonía entre y dentro de cada uno de los cinco subsistemas que le integran: bio-geoestructura, tecnoestructura, socioestructura, entorno y sistemas externos incidentes.

El mal manejo y transformación del ecosistema genera enfermedades ecológicas que demuestran estados ecosistémicos distintos del óptimo.

El hombre organizado, social, cultural y políticamente se presenta en la actualidad como el principal organismo especializado en incrementar el desorden ecológico de la naturaleza.

Las medidas que se elijan para resolver los problemas del individuo dentro del grupo humano deben estar orientadas a darle una solución satisfactoria a la situación futura y a la del momento y que se resumen en modificaciones de cada uno de los subsistemas del ecosistema, que concluya por generar estados que con el transcurso del tiempo se aproximen al óptimo.

Las acciones provocadas directa o indirectamente por el hombre organizado sobre los recursos naturales, para satisfacer las necesidades originadas en los requerimientos propios del modelo de desarrollo basado en la sociedad de consumo provocan un desequilibrio entre el medio que le rodea y el hombre mismo. Este desequilibrio se expresa en cada uno de los

subsistemas que componen al ecosistema del cual el hombre forma parte, y que planteado al nivel ecosistémico constituye lo que se puede denominar enfermedades ecológicas.

La biogeoestructura ( $Eb_i$ ) corresponde al recurso natural propiamente tal, donde se conjugan los componentes abióticos del sustrato y atmósfera en un solo sistema al integrarse con los componentes bióticos de la fitocenosis y zoocenosis.

Las biogeoestructuras naturales son frecuentemente el residuo o remanente que resulta luego de la cosecha, a menudo descontrolada, del sistema original.

El espacio habitable y los recursos esenciales disponibles en el componente biogeoestructural del ecosistema se reduce, cada vez en una tasa mayor, lo cual equivale a decir que el habitat y territorio disponible per cápita se están agotando y deteriorando constantemente y que los nichos susceptibles de ser ocupados por la especie, son cada vez más inadecuados a sus límites de tolerancia.

Las enfermedades biogeoestructurales más usuales del ecosistema son: la erosión, provocada por la destrucción de la vegetación y otros elementos protectores o estabilizadores del sistema; la pérdida de fertilidad, originada en la utilización intensiva o en la desestabilización del sistema; el agotamiento de reservas minerales, causado por su cosecha excesiva que se origina en la demanda elevada por parte del hombre y su alta capacidad tecnológica de extracción; la destrucción y degradación de fitocenosis y zoocenosis, donde las comunidades vegetales y animales son sometidas a una cosecha indiscriminada y a una intervención antrópica excesiva, son transformadas retrogresivamente, alejándose cada vez más de su óptimo; la depositación de sedimentos, que provocan embancamiento de los ríos y destrucción de sistemas terrestres, proceso que se origina en la desestabilización del sistema por su sobreutilización y mal uso; la reducción

de la capacidad homostásica, por destrucción de los mecanismos cibernéticos naturales; el elevado costo externo de mantención del sistema que se eleva a medida que los mecanismos cibernéticos naturales de control se deterioran, lo cual significa que debe incurrirse en un mayor aporte, desde fuera del sistema, de energía, materia e información; el incremento del costo ecológico de cosecha a medida que se intensifica la extracción de recursos desde la biogeoestructura hasta alcanzar un nivel en que el esfuerzo de captura de los recursos iguala o sobrepasa al producto capturado o cosechado y la desorganización de la unidad natural de la cuenca al alterar la arquitectura y funcionamiento de cada uno de sus componentes.

El hombre organizado ( $Eh_1$ ) en estructuras sociales, culturales, y políticas definidas genera subsistemas cuyo comportamiento en relación a la biogeoestructura puede ser de armonía o bien, estar divorciado de las relaciones de balance que deben existir para el normal funcionamiento ecosistémico.

En su organización espacial, el hombre se ordena en magalópolis, metrópolis, ciudades, pueblos, villorios, casas y otros, cuyo conjunto integrado le dan una actitud diferente frente a la biogeoestructura.

La modalidad de agrupamiento y organización humana, le produce necesidades, deseos y le altera la escala de valores, lo cual posteriormente actúa como fuerza directriz de sus acciones sobre la biogeoestructura.

La evolución socioestructural dentro del marco de la sociedad actual ha conducido a valorar los elementos del medio circundante al hombre y de los cuales puede hacer uso, en una escala relativa divorciada de la escala natural, basada principalmente en su valor de cambio, el cual se regula por la ley de la oferta y la demanda. Esta situación ha conducido a una cosecha indiscriminada de los elementos biogeoestructurales de mayor valor de cambio o de más fácil cosecha con el fin de obtener mayores beneficios económicos.

La destrucción descontrolada de la biogeoestructura para satisfacer necesidades temporales genera condiciones adecuadas a una socioestructura diferente a la tradicional o a la óptima, lo cual, unido a la abundancia de bienes de consumo, opera como mecanismo desencadenador de un proceso de crecimiento demográfico descontrolado.

El problema del crecimiento de la población es obviamente de mayor complejidad que la simple diferencia entre el número de personas y la producción de alimentos. En ambos casos se trata del efecto de otras causas mediatas e inmediatas que los generan, por lo cual, su solución no estriba en atacarles directamente, sino que en corregir las situaciones conflictivas que les originan.

Un desarrollo integral de las ciencias sociales y del comportamiento podría o debería facilitar la llegada de una amplia cultura de armonía ecológica.

La tecnoestructura ( $En_1$ ) es una consecuencia de la interacción entre los recursos provenientes de la biogeoestructura y los requerimientos y actitud socioestructural.

El desarrollo de una cierta tecnoestructura requiere, por lo tanto, de la aplicación de tecnología, que no es otra cosa que el dominio del hombre sobre la materia para cambiarle su forma y funcionamiento de manera de hacerle de una cierta utilidad de acuerdo a su escala de valores.

La especie humana se organiza generalmente en pueblos, ciudades, megalópolis y predios, lo cual le permite maximizar u optimizar su capacidad de artificialización.

La tecnología que se desarrolla no tiene valores neutros, lo cual equivale a afirmar que una tecnología definida, similar física y socialmente, es un reflejo de los valores más fundamentales de la cultura que le dió origen y que a su vez, inevitablemente modelarán la cultura a la cual se apliquen exitosamente.

Una alta proporción de la tecnología y de las ciencias físicas necesarias para el desarrollo se encuentra ya disponible y la tecnología intermedia que se requiere para elevar el bienestar de las naciones ya existe o puede ser desarrollada.

No debe confundirse desarrollo tecnológico con progreso.

Desarrollo tecnológico se refiere solamente a la capacidad de ejercer un mayor dominio sobre la materia, generando elementos con nuevas estructuras y funcionamientos. Progreso, en cambio, implica una transformación de los componentes del ecosistema de manera de generar, dentro de un contexto holocenósico condiciones más adecuadas para la salud mental y corporal del hombre, es decir, mejorar la calidad de vida.

La capacidad de construir masivamente tecnoestructuras habitacionales, viales, industriales, agrícolas y otras, generalmente localizadas en los sitios de mayor potencial productivo y para la vida, tiende a reducir a un ritmo creciente las disponibilidades de recursos.

El desarrollo de la tecnoestructura no debe hacerse a expensas del deterioro ecosistémico, sino que de su manejo y transformación optimizadas. No es lícito destruir o deteriorar ecosistemas con el solo fin de generar empleo y lograr un desarrollo tecnoestructural.

La materia prima requerida para provocar un mayor desarrollo tecnológico proviene a su vez de la explotación, a menudo descontrolada de los recursos naturales, lo cual simultáneamente desencadena un mayor desarrollo socioestructural. Tanto el desarrollo tecnológico como el social se presentan acompañados de un incremento del deterioro ambiental.

No es lícito sustraer las mejores tierras de cultivos, praderas o bosques, con el fin de construir ciudades y carreteras a no ser que ello marche acompañado de una mayor armonía entre los sistemas urbanos y rurales que inciden mutuamente.

La sustracción de superficies ocupadas por ecosistemas de la naturaleza con el fin de incrementar la tecnoestructura especialmente urbana y vial debe tender a minimizar el daño al recurso natural y maximizar los beneficios tecnoestructurales, generando una mayor armonía entre ambos y un beneficio ecológico global superior a los provenientes del estado original.

El estilo de desarrollo de la sociedad de consumo se ha basado en el incremento permanente de la tecnología, lo que gradualmente ha pasado a constituir el nicho principal del hombre.

El hombre moderno ha pasado a ser el hombre destructor, pues su supervivencia está basada en su capacidad destructiva de los recursos naturales contenidos en la biogeoestructura, con el objeto de generar tecnoestructuras y de incrementar su heterotrofismo.

El ecosistema se concibe como conectado con su medio a través del transporte de materia, energía e información, que en último término es el Universo. No es posible, por lo tanto, desligarse de los principios y leyes que regulan su organización tales como la ley de conservación de la materia y energía y la segunda de termodinámica, que se refiere al aumento de entropía.

El deterioro del entorno en lo que respecta a contaminación ambiental ( $Ee_1$ ) tiene su origen en tres mecanismos diferentes. El más obvio se produce como consecuencia de la eliminación de subproductos provenientes de la industria elaboradora y transformadora de recursos de la biogeoestructura. Otra fuente de contaminación proviene de los productos empleados en el mantenimiento de arquitecturas biogeoestructurales diseñadas para operar con un alto grado de artificialización, razón por lo cual se requiere de aplicación de operadores más intensivos para mantenerles su operatibilidad. Entre este grupo de contaminantes cabe destacar los insecticidas y herbicidas que se aplican a los cultivos con el objeto de controlar plagas y malezas. Como una tercera fuente de contaminantes se tiene aquellos subproductos provenientes



de actividades relacionadas con la organización humana tal como ocurre con los gases provenientes de los vehículos de transporte y la contaminación por desperdicios humanos.

No existe forma de corregir en su origen los problemas de contaminación. Existe eso si, la posibilidad de aminorar el mal, siempre que se apliquen medidas correctivas lo cual significa desarrollar una infraestructura ad hoc e invertir recursos energéticos y materiales para la solución del problema

La tasa de producción de desperdicios contaminantes no debe ser superior a la capacidad de degradación de éstos por el ecosistema o la biósfera hasta transformarse en compuestos no contaminantes.

Los ecosistemas externos incidentes ( $Ec_i$ ) proporcionan los insumos de materia y energía requeridas para el normal funcionamiento del ecosistema.

La explotación desmesurada de los recursos se logra en una primera etapa con un reducido esfuerzo de captura o de cosecha, pero a medida que la densidad del recurso cosechado se reduce, el costo ecológico de cosecha se incrementa exponencialmente. Ello significa que el nivel tecnológico que debe aplicarse en el proceso y la energía que se debe invertir se incrementa proporcionalmente a medida que las disponibilidades del recurso disminuye, todo lo cual viene acompañado de efectos laterales bien conocidos, tales como un mayor consumo de combustibles fósiles, incremento de la distancia desde el centro de cosecha al de consumo, mayor contaminación provocada por el proceso de extracción, transporte y producción y, finalmente, reducción de la utilidad originada como consecuencia de la diferencia entre el producto cosechado en la biogeoestructura y el costo ecológico de cosecha.

El ecosistema-origen, en estado meta u óptimo ( $E_o^j$ ), luego de corregida la enfermedad, debe corresponder a:

$$E_o^j = \{E_{b_k}, E_{n_k}, E_{h_k}, E_{e_k}, E_{c_k}\}$$

donde, el conjunto se encuentra en estado óptimo, aunque cada uno de los componentes no se encuentre necesariamente en ese estado, sino que en k.

### De la regulación

Los principios reguladores del ecosistema pueden agruparse en las siguientes categorías:

- Ecocibernético
- Holocenosis
- Complejidad y jerarquía
- Orden y memoria
- Persistencia y crecimiento
- Flujo y circulación
- Canalización antrópica
- Óptimo y factores limitantes
- Costos y beneficios ecológicos
- Dinámica del sistema
- Atractores

### De la ecocibernética

El ecosistema tiene mecanismos que regulan su funcionamiento y cambio de estado. La ciencia que estudia el control y la comunicación en los sistemas es la cibernética. Específicamente, la regulación del ecosistema y los diversos mecanismos de control caen dentro del campo de la ecocibernética.

La ecocibernética está relacionada con el diseño y operación de los mecanismos de control de ecosistemas a partir de componentes con propiedades conocidas e integradas de tal forma que sean susceptibles de ser regulados.

Existe un intercambio de información entre el sistema que ejerce el control y el controlado. Además, ambos sistemas son accesibles a la información exterior, tales como efectos y perturbaciones. Control, en el contexto de la teoría de control, significa la aplicación de energía e información, de acuerdo con ciertas normas para hacer que la respuesta de un sistema se aproxime lo más posible a un criterio determinado.

Los mecanismos de control en los ecosistemas pueden ser parcialmente modificados de manera de llegar a estados disclimáticos más próximos al satisfactum antrópico. Para ello, es necesario conocer los mecanismos cibernéticos del sistema, su sensibilidad, la factibilidad de modificarlos y la relación estímulo-respuesta del sistema al modificarse el mecanismo cibernético.

#### De la holocenosis

Cada uno de los factores o causas en el ecosistema tienen un efecto individual, pero el efecto simultáneo de todos ellos es diferente que la suma de los efectos de cada uno actuando separadamente.

Cuando dos entidades se combinan a un nivel superior de integración, no todas las propiedades de la nueva entidad son una consecuencia lógica o predecible de las propiedades de los componentes.

La teoría del holismo establece que el todo no puede ser analizado sin dejar un residuo en la suma de sus partes. Ello significa que la suma de cada una de sus partes es diferente del total, debido a las múltiples interacciones.

#### De la complejidad y jerarquía

Los caracteres de los seres vivos y de los sistemas ecológicos existen correlaciones constantes, de tal modo que la presencia de uno exige consecuentemente la presencia de otro.

Los caracteres de los seres vivos y de los sistemas ecológicos están jerarquizados de tal modo que algunos de ellos llamados dominantes controlan un número importante de otros llamados subordinados.

Cuando se enfrenta la realidad del medio, se enfrenta superestructuras más bien que los átomos que les forman. Ello es porque los objetos, conceptos e ideas que los científicos usan cuando tratan de comprender lo que ocurre no tienen que ver con los átomos, sino con las estructuras que están directamente involucradas con el fenómeno estudiado.

El ecosistema es una superestructura de naturaleza compleja, donde se conjugan elementos bióticos y abióticos en forma de materia y energía, generando estructuras de niveles de complejidad muy diversas. El conjunto de todas estas estructuras, organizados en forma de arreglos topológicos específicos genera, a su vez, otro nivel de complejidad.

El nivel de complejidad y jerarquía de la unidad de la naturaleza que se estudie debe ser el que corresponda al problema que se pretenda resolver. No basta con enunciar acertadamente el problema y los objetivos e hipótesis de un estudio, es necesario además definir su nivel jerárquico y de complejidad, de manera de aplicar procedimientos que permitan resolverle al nivel que corresponda. Es necesario para ello elegir un centro de origen en torno al cual se analice el problema. Este centro o ecosistema-origen puede ser la cuenca o una porción de ella, o bien una unidad que, además de corresponder a una unidad natural, contenga elementos organizativos antrópicos, lo cual puede corresponder al predio.

La solución de los problemas de los recursos naturales está enmarcada dentro de niveles jerárquicos definidos. Se puede considerar que una primera jerarquía corresponde a las leyes y principios físicos y que restringe los límites de factibilidad en la toma de cualquier decisión. Un segundo nivel jerárquico corresponde al ecológico, el cual, además de las restricciones físicas impuestas contiene restricciones de naturaleza

biológica y fisio-biológica. El tercer nivel jerárquico de toma de decisiones es de naturaleza sociológica, el cual incluye además de las restricciones anteriores, aquellas emanadas de las leyes sociológicas, organizadas y enmarcadas dentro del contexto físico y ecológico. Estas tres restricciones jerárquicas reducen considerablemente el dominio de las alternativas. El último nivel jerárquico, dentro del manejo práctico de los recursos naturales es el económico, el cual debe necesariamente estar supeditado a las restricciones anteriores.

#### Del orden y memoria

Las propiedades del sistema dependen sólo en escasa medida de la materia y energía que lo compone. Ello significa que, desde las partículas subatómicas hasta la comunidad de organismos o la fisiográfica, la materia y energía que componen el sistema son menos relevantes que su ordenamiento o arreglo topológico.

Existe una obvia tendencia de la naturaleza de ir desde el desorden al orden y a la organización. Un organismo que crece tiene la capacidad de crear orden a expensas del medio cuya entropía o desorden aumenta correspondientemente. La tendencia de la biósfera de ir paulatinamente hacia un mayor orden y organización está basada en el aporte permanente de energía desde el sol.

La continuidad del sistema ocurre a través de una memoria que opera por las leyes de la herencia y selección, en el caso de la biocenosis, y por la probabilidad de ocurrencia de eventos más probables, en el caso del componente abiótico.

La repetibilidad del sistema no es total, ya sea que se trate de memoria genética o probabilística. Algunos sistemas son de mayor fidelidad que otros, es decir, que su grado de repetibilidad es mayor.

Los ecosistemas, al aproximarse a su estado climácico, presentan mayor repetibilidad que en las etapas pioneras, pues la tasa de cambio de

estado, es en este último caso, mayor.

El mecanismo que permite no traspasar las fronteras climáticas de organización es el incremento del costo ecológico de mantención de la arquitectura que se provoca a través del aumento de la respiración total y de reposición de las estructuras degradadas del sistema.

#### De la persistencia y crecimiento

El ecosistema tiende a sobrevivir y crecer hacia la máxima biomasa persistente.

Entre las propiedades más sobresalientes de los ecosistemas se tiene:

- Su tendencia a persistir, a pesar de las acciones que se ejerzan sobre éste,
- Su capacidad de continuar creciendo a pesar de las fluctuaciones ambientales, y
- El crecimiento del ecosistema o del nivel respectivo de complejidad es continuado, aunque sus componentes sean de menor longevidad y deban sacrificarse.

El incremento de la severidad o frecuencia de las alteraciones tiende a reducir la máxima biomasa persistente.

La cosecha de los componentes de los recursos naturales renovables con el fin de satisfacer necesidades antrópicas, reduce la máxima biomasa persistente con lo cual se alteran los atributos del ecosistema.

#### Del flujo y circulación

El ecosistema funciona de manera de gastar la energía fácilmente disponible, de tal forma de minimizar las limitantes de nutrientes y agua.

Las tasas en que ocurren los procesos naturales están reguladas por las disponibilidades de nutrientes minerales. Estos procesos requieren de energía para operar, la cual es liberada en la medida de la intensidad del proceso.

La circulación de cada uno de los nutrientes tiene un costo energético diferente. Este costo es lo que integra la energía con los nutrientes o materia, ya que la mayor eficiencia de uno a menudo está acompañado de una menor eficiencia de lo otro.

La energía que llega al ecosistema es relativamente ilimitada, la cual se gasta en la conservación de los limitados recursos nutritivos. La eficiencia ecológica de la energía del sistema tiende a disminuir a medida que se alargan los niveles tróficos de la cadena, lo cual produce una mayor tasa de respiración total del sistema, situación que se explica a través de la segunda ley de la termodinámica.

#### De la canalización antrópica

La transformación ecosistémica, tiene como fin alcanzar estados que optimicen los recursos necesarios para satisfacer el nicho antrópico, simultáneamente con producir los recursos necesarios para mejorar el habitat de la especie.

La cosecha de la biogeoestructura por el hombre, persigue canalizar los componentes de interés para la especie.

La intensificación de los factores ambientales reguladores de un sistema, origina un incremento de su resistencia al factor.

#### De los costos y beneficios ecológicos

La ley de los incrementos decrecientes, o ley de Mitcherlich, establece que los incrementos de la producción correspondientes a cantidades crecientes de un factor de la producción son cada vez menores.

Los estímulos endógenos y exógenos que deben aplicarse al sistema ecológico en el proceso de tecnificación o artificialización de la agricultura son mayores a medida que se intensifica el proceso.

El incremento de la artificialización, eleva exponencialmente los costos de manera que a niveles elevados de tecnología los costos tienden a incrementarse en tasas mayores que los beneficios.

### De la dinámica del sistema

En términos generales, la ecuación que rige la dinámica del sistema está dada por:

$$\frac{d\Lambda(t)}{dt} = M[\Lambda(t), E(t), t]$$

en la cual  $\Lambda$  representa la matriz de arquitectura que define las variables de estado,  $E(t)$  representa el vector de estímulos controlables o que son ajustables por el diseñador del sistema y  $t$  indica la dependencia temporal que existe entre el sistema y el ambiente.

La dinámica del sistema está regulada por el ambiente antrópico que le rodea al interactuar con los mecanismos ecocibernéticos propios del sistema, hasta alcanzar el estado más probable para cada ambiente dado.

El hombre, al modificar el ambiente biótico y abiótico afecta los mecanismos endógenos y exógenos de manera de provocar cambios en la tasa de cambio, en la dirección y en el estado de equilibrio o metaequilibrio que logre alcanzar el sistema. De acuerdo con la escala relativa de tiempo, los cambios que se produzcan pueden ser graduales o abruptos, debiendo en cada caso seleccionarse el que corresponda.

### De los atractores

Todos los posibles cambios bruscos entre puntos de equilibrio estático, denominados atractores, están determinados por catástrofes elementales.

Un atractor, en el caso más simple, está dado por un solo estado estable.

Bajo la influencia de un atractor el sistema adquiere un estado de equilibrio estático.

Los ecosistemas de recursos naturales pueden variar endógenamente su estado. No todos los estados posibles de un sistema ecológico presentan



iguales probabilidades de ocurrencia. Algunos estados son más probables que otros. Los estados más probables son los más frecuentes, en tanto que los menos probables raramente se encuentran en forma natural.

Explotación y manejo de recursos naturales, difieren no sólo de la intensidad de cosecha, sino que de su ritmicidad, estabilidad, homeostasis y de la armonía que se logra entre componentes y conexiones ecosistémicas, además de corresponder a atractores diversos. En el caso de la explotación, la probabilidad del atractor ocurre accidentalmente; en cambio en el caso del manejo, los estímulos adicionados corresponden a los requeridos para maximizar un determinado atractor.

### De la estabilidad

La estabilidad interna del sistema es uno de los atributos más importantes en la definición del criterio de óptimo.

El grado de estabilidad del sistema es una función de sus componentes y conexiones y, por lo tanto, puede ser modificado. La estabilidad del sistema debe ser igual o mayor que la inestabilidad del medio. El cambio de estado del sistema a través de su manejo, cosecha o artificialización, no debe llevar la estabilidad interna a niveles inferiores a la del medio.

Cuatro atributos del sistema ecológico están relacionados con su estabilidad:

1. Establecimiento de una base energética,
2. Desarrollo de reservas energéticas,
3. Recirculación de elementos, y
4. Tasa de regulación.

Los organismos autótrofos presentan adaptaciones que les permiten optimizar el uso del agua y luz, proporcionando las bases para el desarrollo de los organismos heterótrofos.

En ambientes fluctuantes, existe una combinación de organismos rápidos de pequeño tamaño, que se comportan como oportunistas y grupos de organismos grandes de reacción lenta a las fluctuaciones ambientales, los cuales le dan estabilidad y persistencia al sistema.

Los mecanismos de control y circulación de elementos regulan su reciclaje en el sistema. La recirculación de elementos es esencial para optimizar el uso de elementos escasos o de difícil obtención en estado aprovechable. Una fracción importante de la energía disponible en el sistema se emplea en la conservación y recirculación de esos elementos.

Al existir niveles adecuados de suministro de agua y energía, el nivel de la máxima biomasa persistente está determinado por el suministro

de elementos esenciales los cuales, en un alto grado, su presencia se debe a la elevada tasa de recirculación.

En circunstancias en que el agua y la energía son limitativas al desarrollo ecosistémico, la tasa de recirculación se reduce ya que no es posible mantener funcionando una biomasa compatible con los requerimientos de recirculación.

El reciclaje lento de base energética alternante, maximiza la eficiencia de conservación de los elementos del sistema.

El contenido energético de la máxima materia orgánica persistente corresponde a los requerimientos de mantención a largo plazo. La acumulación de materia orgánica inactiva representa un costo energético, que asegura la disponibilidad de elementos esenciales.

La presencia de elementos almacenados en la biomasa no asegura de por sí la persistencia del sistema. Se requiere, además, de mecanismos que liberen y hagan recircular a los elementos, mecanismo que se centra principalmente en los descompositores, los cuales son liberados en estados y tasas que les hagan aprovechables nuevamente en el sistema.

Algunas de las transformaciones y estados ecosistémicos son de mayor permanencia que otras que son más circunstanciales. El mejoramiento de los ecosistemas debe considerarse un adecuado balance entre los atributos permanentes y circunstanciales del sistema.

De acuerdo al mecanismo de su operación, el tiempo de residencia del componente en el sistema puede ser variable, aunque una mayor residencia puede venir acompañado de mayores costos energéticos.

La utilización de las reservas energéticas y de elementos está regulada por diversos mecanismos que alternativamente les atan y liberan.

El mecanismo de regulación del reciclaje evita un despilfarro de elementos, energía y agua, de manera de permitir la continuidad del funcionamiento normal del sistema.

El deterioro ambiental ecosistémico si no sobrepasa una cierta frecuencia e intensidad puede ser autoreparable, o bien, en el caso de sobrepasar los límites de la capacidad de autoreparación natural, desencadenar un proceso degradativo del sistema que tienda a empeorar progresivamente al medio antrópico.

### De la diversidad

La noción de diversidad en ecología tiene sus raíces en la riqueza de especies y variedades y depende de la capacidad de discriminar entre individuos, especies, genotipos y otros.

La eficiencia del sistema aumenta a medida que la complejidad organizada se eleva.

Aún cuando el macroambiente original tenga un cierto grado de homogeneidad, la incorporación de organismos lo diversifica creando variedad de microhabitats y nichos.

La acción de los organismos sobre el medio es una de las causas principales de la generación de heterogeneidad, lo cual crea nuevos habitats y nichos que pueden ser ocupados por organismos adaptados a ellos.

La complejidad genera estabilidad.

A medida que las alternativas de cauces de flujo energético se incrementan la estabilidad del sistema también se mejora.

El aumento de la diversidad está íntimamente relacionado con la homeostásis del sistema.

Los sistemas incoherentemente organizados o inestables se modifican o destruyen fácilmente; sólo perduran los sistemas coherentemente organizados o estables.

En la naturaleza, los sistemas más diversos son a menudo más estables.

Los mecanismos de selección del sistema, tales como la selección natural y el principio de orden desde el orden aumentan la información y lo mantienen dentro de un sistema coherente.

La reunión de componentes diversos en un sistema puede tener variados significados, pues puede tratarse de comunidades bien organizadas, capaces de autopertuarse en un biótomo o una simple unión casual de organismos.

El orden alcanzado por un sistema tiende a extenderse y, a través de la selección natural, se prolonga a un sistema más simple.

Aunque la diversidad se presenta como una propiedad instantánea, es la resultante del funcionamiento prolongado del sistema.

En sistemas silvoagropecuarios, donde el origen último o mediano de la regulación es antrópico, se persigue a menudo alcanzar un grado mínimo de diversificación.

La cosecha selectiva del hombre, retira sistemáticamente los elementos de su interés, con lo cual desorganiza el sistema natural con cierto grado de madurez o desarrollo, y deja un remanente incoherentemente organizado, que además es de menor productividad y estabilidad.

La sola cosecha del sistema viene acompañado de un cierto grado de destrucción y desorganización, dependiendo del valor de los elementos cosechados y de la intensidad y frecuencia de cosecha. Cosecha debe ser reemplazado por manejo, proceso en el cual se busca el balance conveniente entre los intereses antrópicos y el funcionamiento normal del ecosistema sobre una base del satisfactum antrópico.

#### De la adaptación

La adaptación de la biocenosis está gobernada por el principio de la integración, que constituye la antítesis de la ley de los factores limitantes, que restringe a los organismos a aquellos ambientes en que su rango de tolerancia se encuentra restringido entre los límites en que está capacitado para vivir. Dado que el ambiente cambia constantemente, el principio de la integración, establece la forma en que los organismos

individuales, las poblaciones, la biocenosis y el ecosistema se adaptan consecuentemente de manera de lograr el mejor ajuste entre la biocenosis y el ecótopo.

El principio de la integración establece que la adaptación de la biocenosis al ecótopo está gobernada por cinco procesos importantes: respuesta a estímulos, respuesta morfogénica, evolución, sucesiones ecológicas y migraciones.

El desarrollo de biocenosis con características estructurales definidas no es fruto del azar, sino que el resultado de un largo proceso de adaptación de la biocenosis al medio. Las sucesiones ecológicas son una de las estrategias más importantes en el proceso de adaptación al medio.

Los ecosistemas maduros, que han evolucionado en ambientes estables, no tienen necesariamente mecanismos homostásicos que permitan compensar las variaciones externas. La evolución en ambientes irregulares y variables ha convergido en el desarrollo de mecanismos homostásicos centrados en el individuo, población, sinusia o, incluso, en el ecosistema completo. La acción del hombre tiende, en general, a reducir la complejidad y estabilidad del sistema.

En sistemas antrópicos, la adaptación de la biocenosis debe incluir, además, alta productividad y calidad, de acuerdo a estándares de interés humano.

#### De las alternativas de optimización

Previamente a la aplicación de operadores de artificialización debe definirse el criterio ecológico de óptimo o satisfactum y los atributos de este estado de manera que el operador produzca un acercamiento al óptimo.

La elección de una de las posibles alternativas de estado del sistema dentro del universo de alternativas, debe hacerse dentro del contexto de la teoría de decisiones con criterios múltiples.

Las soluciones a los problemas de los recursos naturales y del hombre sólo pueden lograrse sobre la base jerárquica natural que se ajusta de mayor a menor en lo físico, ecológico, social y económico. La transgresión de esta jerarquía natural provoca eventualmente el fracaso del estado alcanzado.

El problema de la toma de decisiones con criterios múltiples contiene tres subproblemas:

- La búsqueda de alternativas de estados atractores del ecosistema,
- La creación o invención de nuevas alternativas de estados ecosistémicos, y
- La toma de decisión que permita elegir la alternativa que se ajuste a algún criterio de optimalidad.

#### De los criterios de óptimo

Algunos de los criterios o combinaciones de criterios de óptimo son los siguientes:

- eficiencia del trabajo
- eficiencia del fertilizante
- productividad por área
- eficiencia del uso del agua
- eficiencia del capital
- número de propietarios
- utilidad neta
- máxima eficiencia de maquinaria
- productividad del momento o a largo plazo
- generación de un ambiente estético
- ajuste de valores humanos a jerarquía natural
- maximización de la conservación
- productividad de un conjunto de rubros
- estabilidad y homeostasis del sistema.

En un desarrollo sano de sociedades ecológicas debe llegarse a estados estabilizados que permitan productividades sostenidas optimizadas y poblaciones humanas permanentes.

### De la artificialización

Cualquier operador de artificialización ( $\tilde{\Pi}^1_{i0}$ ) que se le aplique al ecosistema debe permitir un acercamiento a su estado meta u óptimo, de manera que el estado inicial ( $E_i$ ) tienda al estado meta óptimo ( $E_0$ ), luego de aplicado el operador.

$$E_i \xrightarrow{\tilde{\Pi}^1_{i0}} E_0$$

La capacidad antrópica actual de dominio sobre la materia, energía e información permite artificializar, en diversos grados, a cualquier ecosistema. El grado de artificialización debe ser, sin embargo, resuelto dentro de la teoría de decisiones, pues existen conflictos de intereses, de manera que la decisión sea optimizada.

El grado de artificialización que se le dé a un ecosistema debe ser decidido en primer lugar con un criterio ecológico.

Los estímulos externos artificiales no deben sobrepasar el nivel óptimo de funcionamiento del ecosistema.

En la resolución de problemas prediales y regionales se presentan tres etapas definidas: planeación de la ingeniería del sistema propuesto, ejecución de la transformación y administración del sistema transformado. En cada una de ellas, debe aplicarse soluciones de naturaleza física, ecológica, social y económica, ajustándose a la jeraquización natural del fenómeno.

El desarrollo de la especie tendiente a optimizar su heterotrofismo y su habitat implica necesariamente un grado de artificialización diferente al que se presentaría de no existir la especie.



Artificialización implica necesariamente, a la vez, como subproducto natural un incremento del deterioro ambiental.

La artificialización de los recursos naturales debe estar circunscrita dentro de los límites del satisfactum antrópico.

El alto grado de artificialización que caracteriza a los recursos naturales intensamente manejados, viene acompañado de aplicaciones masivas de pesticidas, fertilizantes, energía, agua de riego y tecnología de la más diversa índole, necesarias para mantener al sistema en estados diferentes del natural. La aplicación continuada de esa tecnología va dejando como remanente residuos o efectos laterales que a la larga concluye por degradarla.

Toda transformación genera como subproducto desechos que pueden afectar a la especie, además de dejar como remanente un ecosistema degradado en algunas de las variables de estado.

La artificialización del sistema tendiente a generar un nuevo estado no debe provocar un deterioro estético del paisaje.

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

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

#### De la preservación y conservación

Dado que la agricultura artificializa al sistema y la preservación de la naturaleza se optimiza cuando ésta no se interviene, existe un conflicto de intereses entre preservación y agricultura. Para cada ecosistema e instante dado existe una artificialización satisfactum.

Conservación implica uso racional de los recursos sobre una base sostenida y optimizada tanto ecológica como antrópicamente. Preservación en cambio, implica el no uso de los recursos, por parte del hombre.

Algunos sectores, de tamaños compatibles con el propósito, deben ser preservados como reservas de la biósfera o como parques nacionales, los cuales en este último caso pueden producir, además, recreación. La mayor parte de los recursos no deben ser preservados sino que conservados.

Todo ecosistema tiene un costo ecológico de mantención, el cual representa una inversión de materia, energía e información con el fin de mantener el estado del ecosistema. Este costo se incrementa con la artificialización del sistema.

#### De la cosecha

Los sistemas intensamente cosechados presentan un comportamiento diferente del de los sistemas naturales, comportamiento que a menudo provoca procesos de retroalimentación positiva que concluyen por degradar o incluso destruir al sistema ecológico, provocando en esta forma enfermedades ecológicas del ecosistema.

El manejo del ecosistema debe ser optimizado. La cosecha de los componentes más valiosos no debe ser conflictiva con el manejo que tienda a aproximar y mantener el estado del sistema en el óptimo.

La fracción de la arquitectura cosechada no debe retirar del sistema los elementos necesarios para mantenerse en estado óptimo de funcionamiento ni alejar el arreglo topológico  $\sigma(\eta)$  de su óptimo.

La tasa de cosecha del ecosistema puede ser igual, mayor o menor que su productividad. En el primer caso se produce una situación de equilibrio, en tanto que en el segundo caso el sistema decrece y en el último su arquitectura se incrementa.

El costo ecológico de cosecha depende de la densidad ecológica del producto cosechado y de las características del cosechador. La densidad inicial y final de cosecha debe permitir un rango de cosecha que sea superior al costo ecológico invertido en la operación de cosecha.

### De la cuenca

Las mezclas de componentes, ya sean sólidos, líquidos o gaseosos, se ordenan en estratas que presentan atributos diferentes que las sustancias originales. Existe, un nivel mayor de complejidad que el de la estratificación, el cual es el de la cuenca. Los sólidos se organizan en una geoforma diferente que la natural, lo cual corresponde a la fisiografía del terreno o geoforma, lo cual incluye, además, todos los niveles inferiores de complejidad. Los líquidos, de igual manera, se organizan también en este nivel de complejidad dando lugar a la hidroforma. Las masas gaseosas existentes en la cuenca se organizan también fisiográficamente dando lugar a la aeroforma.

Estos tres componentes, no presentan límites discretos entre ellos, produciéndose en su zona un contacto o bordes con atributos muy definidos entre ellos, a saber:

aire-suelo,  
 agua-suelo,  
 aire-agua, y  
 aire-suelo-agua

En el caso del aire y agua, dada la mayor conductividad del sistema, la materia puede fluir con mayor facilidad, por lo cual la estratificación presenta un mayor dinamismo que en el caso de los sólidos. No debe, sin embargo, confundirse dinamismo con desorden.

La unidad espacial natural de biogeoestructura es la cuenca, donde se integran los componentes sólidos, líquidos y gaseosos formando unidades definidas de ocupación del espacio. El conjunto de cuencas constituye una región.

En cuencas con cierto grado de madurez avanzada, el ordenamiento de los recursos, habitat, fitocenosis y zoocenosis conduce a un modelo generalizado de arquitectura espacial, con sus respectivos componentes y conexiones.

- Las consecuencias negativas de la actividad humana sobre el ambiente antrópico se reducen al mínimo.
- Se prefieren formas naturales actuales de combustibles sobre los combustibles fósiles.
- Se considera un estilo tecnológico particularmente adaptado a una sociedad en armonía con su medio.
- El componente necesario de las estructuras participantes de la planificación y administración está presentado por una educación que prepare para ello.
- El ecodesarrollo debe permitir seleccionar entre los diversos estados del hombre y su medio aquel que le permita optimizar su relación de manera de lograr una armonía permanente entre ambos.

La sociedad de consumo, en la forma concebida en la actualidad con un criterio puramente materialista y económico se presenta como una alternativa capaz de producir un bienestar temporal muy favorable.

Siendo la biósfera de capacidad limitada no es posible pensar en un crecimiento ilimitado sin afectar la armonía de la biogeoestructura.

El desarrollo se considera como un proceso de sistemogénesis que no incluye necesariamente un aumento de tamaño.

La socioestructura debe estabilizarse en un tamaño tal que las disponibilidades de recursos y condiciones ambientales le permitan lograr un desarrollo material óptimo, el cual en muchos casos se ha alcanzado o sobrepasado, de manera de generar condiciones permanentes para lograr un mejoramiento mental y espiritual continuado.

#### De la retrogradación y progresión

Para cada ecosistema existe un estado de equilibrio natural o climax y varios posibles estados de equilibrio antrópico o disclimax, además de etapas intermedias de baja probabilidad de ocurrencia.

### De los estilos de sociedades

Desde un punto de vista ecológico, la acción de la socioestructura sobre la biogeoestructura, tecnoestructura, entorno y sistemas incidentes, puede categorizarse en dos grandes grupos de sociedades: transitorias y estabilizadas.

Las sociedades transitorias se caracterizan por presentar una socioestructura cuyo balance final concluye por provocar un catastrofismo que conduce a la destrucción del sistema.

Las sociedades transitorias se basan en la cosecha indiscriminada de algunos de los componentes del sistema de manera de provocar un deterioro progresivo, simultáneamente con una demanda cada vez mayor.

El proceso retrogresivo, característico de una retroalimentación positiva se acelera gradualmente hasta concluir en su destrucción o en una degradación pronunciada.

Una vez que el proceso catastrófico del ecosistema-origen ha llegado a su fin, corresponde al componente socioestructural, usualmente aún no deteriorado completamente, migrar a otro ecosistema aún no conquistado por la socioestructura.

El proceso de migración, luego de la destrucción de la biogeoestructura, puede repetirse innumerables veces, perdurando mientras persista su capacidad de destrucción y migración o hasta que la socioestructura se destruya.

Las sociedades estabilizadas, en oposición a las transitorias, son aquellas que mantienen el estado del ecosistema, ya sea en forma permanente o cíclicamente.

Las sociedades estabilizadas, pueden clasificarse, de acuerdo al grado de artificialización, en tres grupos:

- naturalistas o primitivas, con artificialización mínima
- ecosociedades, con artificialización óptima, y

- de consumo, con artificialización superior de óptimo armónico de la biósfera.

Las sociedades naturalistas o primitivas se caracterizan por mantener el ecosistema en estados que se aproximan a su estado natural, debido al efecto simultáneo de una tasa mínima de cosecha y a la baja o nula aplicación de estímulos adicionales al sistema.

Las sociedades de consumo, bajo algunas circunstancias generan ecosistemas estabilizados, aunque en un nivel de artificialización superior al óptimo.

Las ecosociedades pretenden mantener un grado de artificialización satisfactum, en el cual la intensidad de cosecha del ecosistema sea compatible con el mantenimiento de la arquitectura que produzca un comportamiento optimizado del sistema.

El ecodesarrollo es un estilo de desarrollo que busca con insistencia en cada región natural soluciones específicas a los problemas particulares, habida cuenta de los datos ecológicos, pero también culturales, así como de las necesidades inmediatas y a largo plazo.

Las características fundamentales del ecodesarrollo son las siguientes:

- En cada región natural el esfuerzo se dirige al aprovechamiento de sus recursos para satisfacer las necesidades fundamentales de la población en materia de salud, alimentación, alojamiento, y educación, sobre una base realista, de manera de evitar distorsiones.
- Siendo el hombre lo más valioso, el ecodesarrollo debe permitir ante todo su realización.
- La identificación, valoración y manejo de los recursos se lleva a cabo con una perspectiva de solidaridad diacrónica con las generaciones futuras.

La sistemogénesis es un proceso natural de cambio de estado que conduce al ecosistema por una ruta probable de estados a un estado meta único o climax. Los operadores de artificialización provocan cambios de estados que aproximan (progresión) o alejan (retrogradación) al sistema de su estado natural más probable o climax. Cualquier operador de artificialización que se aplique debe presentar un cierto grado de aproximación o alejamiento al proceso natural, grado que puede ser óptimo o distinto del óptimo.

El proceso de transformación antrópica de los ecosistemas se ajusta a un modelo generalizado de retrogradación, en el cual se encuentran algunas etapas intermedias inestables y diversas etapas posibles terminales que operan como atractores.

En el proceso natural de retrogradación y artificialización, dentro de un conjunto de posibles estados atractores debe elegirse aquellos que correspondan al óptimo.

Considerando globalmente el proceso de retrogradación de ecosistemas forestales se desprende que puede generar sistemas de utilización y manejo de recursos naturales muy diferentes, los cuales se pueden agrupar en tres grandes categorías: forestales, agrícolas y ganaderos.

Las poblaciones humanas que se generan para cada biogeoestructura tienen atributos socioestructurales diferentes, unido a una tecnoestructura muy diversa. Además, la acción sobre el entorno ecosistémico es también diversa y el grado de apertura exterior a través de los sistemas incidentes es también diverso de acuerdo al grado de artificialización.

Los principales atractores, dentro del proceso sistemogénico forestal artificializado son:

- climax forestal, cuando la artificialización es cero;
- ecocultivo forestal;
- renewal;

disclimax cultivo forestal;  
ecocultivo pratense;  
disclimax de cultivo agrícola;  
abandono por destrucción del ecótopo, y  
disclimax pastizal.

En ambientes cuya etapa climácica corresponde a pradera el proceso general de retrogradación se ajusta a rutas y etapas sistemogénicas definidas.

Los principales atractores del proceso sistemogénico de la pradera son:

pradera climax;  
suelo removido;  
pradera disclimax uso-normal;  
pradera disclimax fanerófitas-ermicrfitófitas sobre-utilizadas;  
pradera disclimax leñoso-hemicrfitófitas subutilizadas;  
disclimax cultivos;  
disclimax ecocultivo;  
abandonado, ecótopo destruido.

Los atractores, en un proceso sistemogénico particular, cambian de acuerdo a su posición relativa en la cuenca.



Nos encontramos en un cruce de caminos. Podemos retornar a la animalidad o, rompiendo nuestros últimos obstáculos llevarnos, no hacia un superhombre imposible, sino que hacia una sobrehumanidad, afable y fraternal. Caminamos en una luz incierta de un día titubeante que nos conduce al fuego del crepúsculo o a las promesas del alba.

Jacques Ruffié, 1976

## 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, México.

Armijo T., R., Nava C., J., Medina, T. y Dávila H., H. 1977. Ecodesarrollo como un proceso de transformación de ecosistemas. Univ. Autónoma Agraria Antonio Narro. Monog. Técnico-Científica 3: 305-393. Saltillo, Coahuila, México.

Braun, R., Candia, R., y Gastó, J. 1979. Planteamiento metodológico de la investigación para el ecodesarrollo del árido argentino. DESERTA. Mendoza, Argentina. (En prensa).

Candia, R., G., Gastó C., J., Armijo T., R., y Nava C., R. 1976. Estrategias de transformación del ecosistema árido. Operadores algoritmos. Univ. Autónoma Agraria Antonio Narro. Monog. Técnico-Científica 2: 250-364. Saltillo, Coahuila, México.

Gastó C., J. 1977. Manejo del ecosistema como estrategia del desarrollo. En, Orrego V., F. Escasez mundial de alimentos y materia primas. Instituto de Estudios Internacionales, Univ. de Chile: 143-179. Edit. Universitaria. Santiago, Chile.

Se ha consultado, además, las siguientes publicaciones:

Armijo T., R., Duckstein, L., y Nava C., R. 1978. Aspectos decisionales en el manejo de los recursos naturales; enfoque de multicriterios. Univ. Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México, 36 p. (Mimeo).

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, México.

Ashby, W.R. 1965. An introduction to cybernetics. Chapman and Hall. Univ. Paperbacks, Londres. 295 p.

Becht, G., 1974. Systems theory. The key to holism and reductionism. Bio-Science 24: 569-579.

- Berg, A.I. 1964. Kibernetica-nauka ob optimalnim upravlienii. (La cibernética, ciencia del control óptimo). Original no consultado. En, Parin y Baievsky, 1969.
- Caswell, H., Koenig, H.E., Resch, J.A. y Ross, Q.E. 1972. En, B.C. Patten (ed). System analysis and simulation in ecology. Vol. 2. Academic Press, N.Y.
- Clark, J.W. 1970. Facing the crisis of intellectual poverty. International Associations 22(3): 166-168.
- Clarke, G. 1974. Sheep and swine in the husbandry of prehistoric Europe. Antiquity 21: 122-136.
- Childe, V.G. 1954. What happened in history. C. Nicholls and Co. Gran Bretaña.
- Davis, W.D. 1974. The gospel and the land. Univ. Calif. Press.
- Decker, B.J. 1970. Interdisciplinary educational experiences. International Associations 22 (10): 490-495.
- Detwyler, T.R. 1971. Modern man and environment. En, Detwyler, T.R. (ed.) Man's impact on environment: 2-9. McGraw-Hill. N.Y.
- Duvigneaud, P. 1971. Productivity of forest ecosystems. UNESCO. Paris.
- Elton, C. 1946. Competition and structure of ecological communities. J. Animal Ecol. 15: 54-68.
- Fertig, F. 1970. Child of nature. The american indian as an ecologist. Sierra Club Bull. 55: 4-7.
- Gastó C., J. y Gastó C., J. 1975. Etapas del desarrollo ecológico en Chile. Portada 54: 5-17.
- Gastó C., J., Nava C., R., Armijo T., R. 1976. El ecosistema silvoagropecuario. Entificación y atributos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Monog. Técnico-Científica 2: 180-240. Saltillo, México.
- Greenswood, J.W. 1970. Nature and importance of systems education. International Associations 22(10): 3-5.
- Guthrie, D.A. 1971. Primitive Man's relationship to nature. Bio-Science 21: 721-723.

- Hartmann, F. 1960. *Ontología*. Fondo de Cultura Económica. México. 576 p.
- Heady, E.O. 1976. The agriculture of the United States. *Sci. Amer.* 235: 107-127.
- Hooker, H.D. 1917. Liebig law of minimum in relation to general biological problems. *Science* 46: 197-204.
- Hooper, W.D. 1976. The development of agriculture in developing countries. *Sci. American* 235: 197-205.
- Hull, A.C. y Holmgren, R.C. 1964. Seeding southern Idaho rangelands. U.S. Forest Service Res. Paper INT-10. 32 p. Illus.
- Klir, G.J. *An approach to general systems theory*. Van Nostrand Reinhold, N.Y.
- Kolmogorov, A.N. y Fomin, S.V. 1970. *Introductory real analysis*. Prentice-Hall, Londres.
- Lawes, J.B. 1947. On agricultural chemistry. *J. Roy Agric. Soc. England* 8: 226-260.
- Leff, E. 1976. (ed). *Ecodesarrollo. Primer simposio sobre ecodesarrollo*. Asoc. Mexicana Epistemología. 230 p.
- Levins, R. 1970. *Toward a theoretical biology*. En, Waddington, C.H. (ed). *Drafts*, Edinburg Univ. Press.
- Liebscher, G. 1895. Untersuchungen über die Bestimmung des Dungerbedürfnisses der Ackerboden und Kulturpflanzen. *Jour Landwirtsch* 43: 49-216.
- Lieth, H. 1972. Modeling the primary productivity of the world. *Turk Biyoloji Dergisi* 22: 85-88.
- Locker, A. 1973. Systemogenesis as a paradigm for biogenesis. En, Locker, A. (ed). *Biogenesis, evolution, homeostasis. A symposium by correspondence*. Springer-Verlag. N.Y.
- Love, R.M. 1961. The range-natural plant communities or modified ecosystems. *J. British Grass. Soc.* 16: 89-99°
- MacArthur, R.H. 1957. On the relative abundance of bird species. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.* 43: 293-295.

- Malin, J.C. 1953. Soil, animal and plant relations of the grassland, historically reconsidered. *Sci. Month.* 76: 207-220.
- Margalef, R. 1968. *Perspectives in ecological theory.* Univ. Chicago Press. Chicago, 112 p.
- Margalef, R. 1974. *Ecología.* Omega. Barcelona. 976 p.
- Maximov, N.A. 1929. *The plant in relation to water.* Allen & Unwin. Londres. 451 p.
- Mayr, D. 1961. Cause and effect in biology. *Science* 134: 1501-1506.
- Medina T., J. 1978. Science in México. A case study on the renewable natural resources. Paper presented in the course, Natural Resources Paradigms, Group Study. Colorado State Univ.
- Meringo. A. de. 1952. *Lógica y ética.* Lumen. Lima, Perú. 168 p.
- Mulholland, R.J. y Sims, C.S. 1976. Control theory and the regulation of ecosystems. En, Patten, B.C. (ed). *Systems analysis and simulation in ecology.* Academic Press. N.Y.
- Nava C., R., Armijo T., R. y Gastó C., J. 1979. *Ecosistema. La unidad de la naturaleza y el hombre.* (Libro en prensa, México).
- Odum, E.P. 1972. Ecosystem theory in relation to man. En, Wiens, J.A. (ed). *Ecosystem structure and function.* Oregon State Univ. Press: 11-24.
- Parin, V.V. y Baievsky, R.M. 1969. *Introducción a la cibernética y a la computación médica.* Siglo XXI. México.
- Patten, B.C. 1971. A primer for ecological modeling and simulation with analog and digital computers. En, Patten, B.C. (ed). *System Analysis and Simulation in Ecology.* Vol. 1. Academic Press. N.Y.
- Pechanec, J.F., Stewart, G., Plummer, A.P., Robertson, J.H., y Hull, A.C., Jr. 1954. Controlling sagebrush on rangelands. U.S. Dept. Agric. *Farmers Bull.* 2072. 36 p.
- Pimentel, D. 1961. Species diversity and insect population out-breaks. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 54: 76-86.
- Pimentel, D. 1968. Population regulation and genetic feedback. *Science* 159: 1432-1437.
- Prado C., C. 1979 *Artificialización de ecosistemas. Planteamiento teórico para su transformación y optimización.* Tesis Ing. Agrónomo. (En preparación).

- Reichle, D.E. 1975. Advances in ecosystem analysis. *Bio-Science* 25: 257-264.
- Reichle, D.E., O'Neill, R.V., y Harris, W.F. 1975. Principles of energy and material exchange in ecosystems. En, Van Dobbsen, W.H. y Lowe-McConnell, R.H.. *Unifying concepts in ecology*: 27-43. Dr. W. Junk. The Hague.
- Roding, L.E. y Basilev, N.I. 1965. Dynamic of the organic matter and biological turnover of ash elements and nitrogen in the main types of the world vegetation. Nauka, Moscú.
- Rozas, R., Cañas, J. R., Gastó, C., J., y Friedli, C. 1978. Costo ecológico de cosecha de alimento de ovinos a pastoreo. IV Conferencia Mundial de Producción Animal. Buenos Aires. (En prensa). 21 p.
- Roszak, T. 1969. *The making of a counter culture*. Doubleday and Co. Garden City, N.Y. 303 p.
- Ryszkowski, L. 1975. Energy and matter economy of ecosystems. En, van Dobben, W.H. y Lowe-McConnell, R.H. *Unifying concepts in ecology*: 109-126. Dr. W. Junk. The Hague.
- Ruffié, J. 1976. *De la biologie a la culture*. Flammarion. Paris. 594 p.
- Sachs, I. 1974. Ambiente y estilo de desarrollo. *Comercio Exterior* 24: 360-368.
- Schumacher, E.P. 1973. *Small is beautiful*. Harper and Row.
- Singer, M., y Braken, P. 1977. Análisis de la brecha entre los ricos y pobres. *Facetas* 10(3): 32-37.
- Starr, M. y Greenwood, H. 1977. Normative generation of alternatives with multiple criteria evaluation. En, Starr, M. y Zeleny, M. (ed). *Multiple Criteria Decision Making*. Bol. 6. North Holland Publ. Co. N.Y. 111-127 p.
- Stebbins, L. 1966. *Processes of organic evolution*. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. 191 p.
- Thom, R. 1975. *Structural stability and morphogenesis*. W.A. Benjamin, Inc. Reading, Mass. 339 p.
- Villar, H. del. 1929. *Geobotánica*. Labor. Barcelona 330 p.

- Volobuyev, V.R. 1974. Vvedenie v energetika pochvoobrazovanya. Nauka, Moscú. (Original no consultado. Citado por Ryszkowski, 1975).
- Weiss, P.A. 1971. The basic concept of hierarchic systems. pp. 1-44. En, Weiss, P.A. (ed.). Hierarchically organized systems in theory and practice. Hafner, N.Y. 263 p.
- Weiskopf, V.F. 1977. The frontiers and limits of science. Amer. Sci. 65: 405-411.
- Weyl, H. 1969. Filosofía de las matemáticas. U.N.A.M. México.
- Wiener, N. 1948. Cybernetics. John Wiley and Sons. N.Y.
- Wilson, J.A. 1968. Increasing entropy of biological systems. Nature 219: 534.
- Watt, K.E. 1973. Principles of environmental science. McGraw-Hill N.Y. 319 p.
- Woodwell, G.M. y Pecan, E.V. (ed.). 1973. Carbon and the biosphere. USAEC. Springfield.