

MONOGRAFIA
TECNICO - CIENTIFICA

Gastó

EL PREDIO COMO UN ECOSISTEMA

Roberto Armijo T.
Roberto Nava C.
Juan Gastó C.

volumen 8
número 1

enero
1982



saltillo
mexico

**MONOGRAFIA
TECNICO-CIENTIFICA**

serie

recursos naturales

VOLUMEN 8 NUMERO 1

EL PREDIO COMO UN ECOSISTEMA

Roberto Armijo T.
Roberto Nava C.
Juan Gastó C.

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

Enero 1982 Saltillo, México

El presente estudio fue terminado dentro del proyecto "Investigación y extensión para el desarrollo ecológico de las zonas áridas de México" del programa de Recursos Naturales de la Universidad de las Naciones Unidas (UNU).

INDICE

	Página
INTRODUCCION	1
FENOMENO E IMAGEN	4
Relación fenómeno-imagen	4
Modelos previos	10
Caja negra	16
ECOSISTEMA-ORIGEN	23
COMPLEJIDAD Y JERARQUIA	26
PREDIO	48
Definición	48
Elementos y utilidades	51
Límites y post	53
AGRADECIMIENTOS	64
ELEMENTOS	64
Los autores desean dejar constancia y agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Comisión Nacional de Zonas Aridas (CONAZA) por su apoyo para la realización de este estudio.	67
Sistemas matemáticos	68
UNIDAD	91
Unidades de refracción	61
Grupos de unidad	94
RESUMEN Y CONCLUSIONES	98
SUMMARY	99
BIBLIOGRAFIA	100

INDICE

	Página
INTRODUCCION	1
FENOMENO E IMAGEN	4
Relación fenómeno-imagen	4
Modelos prediales	10
Caja negra	16
ECOSISTEMA-ORIGEN	23
COMPLEJIDAD Y JERARQUIA	36
PREDIO	48
Definición	48
Elementos y unidades	51
Límites y posición	55
ELEMENTOS	64
Elementos de referencia	64
Biogeoestructura	74
Socioestructura	81
Tecnoestructura	84
Entorno	87
Sistemas externos incidentes	88
UNIDADES	91
Unidades de referencia	91
Grupos de unidades	94
RESUMEN Y CONCLUSIONES	98
SUMMARY	99
BIBLIOGRAFIA	100

EL PREDIO COMO UN ECOSISTEMA*

Roberto Armijo T., Roberto Nava C., y Juan Gastó C.**

INTRODUCCION

En la resolución de problemas agrícolas se requiere contar con un marco de referencia que permita centrar y plantear formalmente el problema. Este marco debe de ser el sistema ecológico o ecosistema, limitado en el tiempo y en el espacio, en una dimensión dada, establecida por el predio.

Durante los últimos años han aparecido diversos estudios relacionados con el ecosistema, lo cual ha permitido darle una mayor precisión y formalización al concepto. Estos estudios, sin embargo, han sido realizados principalmente por naturalistas, con el objetivo primordial de comprender y analizar los recursos naturales y su funcionamiento, más bien que con algún objetivo antrópico de transformación y optimización.

El enfoque predial del sistema ecológico le da otra dimensión al problema, circunscribiéndolo a un espacio y tiempo limitado dentro de un medio social y cultural del hombre. Aún cuando el tema ha interesado a los diversos especialistas relacionados con el desarrollo del sistema predial, este no ha recibido un tratamiento riguroso y formal. Su enfoque para resolver el problema ha sido más bien de administración de empresas agrícolas, sociológico, económico, de extensión, estadístico,

* Proyecto conjunto Departamento de Recursos Naturales Renovables, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y Programa de Recursos Naturales de la Universidad de las Naciones Unidas (UNU).

** Físico-Matemático, Ph.D. Ingeniería de Sistemas; Ing. Agrónomo, M.C. Profesor de Ecología e investigador en Ecología y Pastizales; e Ing. Agrónomo, Ph.D., Profesor e investigador en Ecología y Manejo de Pastizales. Pontificia Universidad Católica de Chile. Fellow (UNU).

de prácticas de cultivo, u otras, pero de ninguna manera como un sistema ecológico.

El beneficio que reportaría el contar con este marco conceptual merece ser considerado. Los obstáculos que se presentan en la resolución de problemas agrícolas son de tal magnitud que hacen pensar en la necesidad de estudiarles desde un ángulo sistémico. Los problemas del desarrollo agrícola se presentan ante la mirada de los gobernantes y del hombre urbano, como en extremo simples y de sencilla solución. Se trata, a menudo, de establecer relaciones causativas del tipo de causas simples efectos múltiples. Es decir, se pretende resolver el problema a través de la aplicación de medidas parciales y sencillas, en lugar de tratarse como un sistema complejo.

El desarrollo agrícola es un problema multifacético que requiere de la participación de grupos multidisciplinarios de trabajo. En la resolución de este problema se requiere, por lo tanto, centrarle dentro de un marco ecosistémico completo donde se incluya a los subsistemas y estructuras que le integran y le conecte con los sistemas externos incidentes al predio (Rodrigo, 1980).

El objetivo principal del presente estudio es analizar al predio como un sistema con el fin de transformarle y diseñarle de tal forma que pueda optimizarse su arquitectura y funcionamiento. El presente estudio constituye una mayor aproximación a un problema que ha sido abordado por los autores durante varios años.

Dentro de la línea de trabajo que se ha seguido durante muchos años, se ha pretendido eventualmente llegar a contar con un marco científico que permita llegar a diseñar predios, de manera análoga a lo que se hace en otras disciplinas de la ingeniería. Se considera que este estudio, cuyo fin es plantear formalmente al predio como un ecosistema, constituye una etapa fundamental de aproximación al diseño de predios.

El material contenido en este trabajo proviene en una alta proporción de estudios anteriormente publicados por los

autores. Se ha considerado, sin embargo, su publicación por cuanto, los conceptos se analizan dentro de un contexto diferente. Se espera que, eventualmente, esta línea de trabajo presente una mejor aproximación al desarrollo de la ingeniería del ecosistema predial, con el fin de diseñar predios que permitan optimizar la agricultura, y en esta forma contribuir al desarrollo agrícola.

FENOMENO E IMAGEN

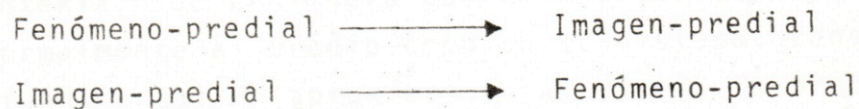
En la resolución de problemas prediales se requiere observar el fenómeno para poder predecir su comportamiento ante circunstancias diversas. Para el hombre el proceso cognoscitivo se logra a través de la elaboración de imágenes que no son otra cosa que una representación conceptual del fenómeno mismo, sin serlo.

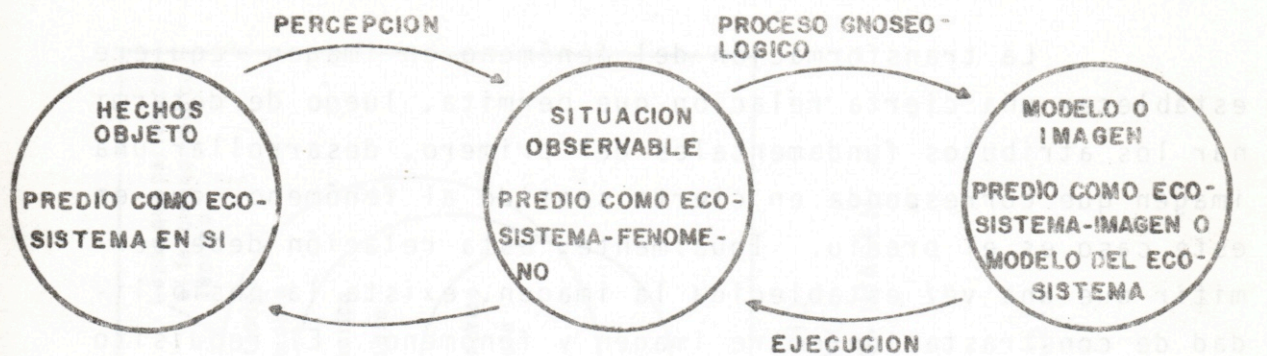
Relación fenómeno-imagen

Existen muchos estilos de construir imágenes de un mismo fenómeno distinguiéndose, en general, por su simpleza y por su capacidad y fidelidad de interpretar al fenómeno. Entre los estilos de imagen se tienen los modelos a escala, isomórficos y homomórficos. El ecosistema-modelo es una imagen del ecosistema-fenómeno, el cual a su vez tiene alguna relación con los hechos reales.

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

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





NO OBSERVABLE
OBJETO EN SI
PROBLEMA FILOSOFICO

SE OBSERVA Y DESCRIBE
SE EJECUTA

SE PLANTEA Y RESUELVE

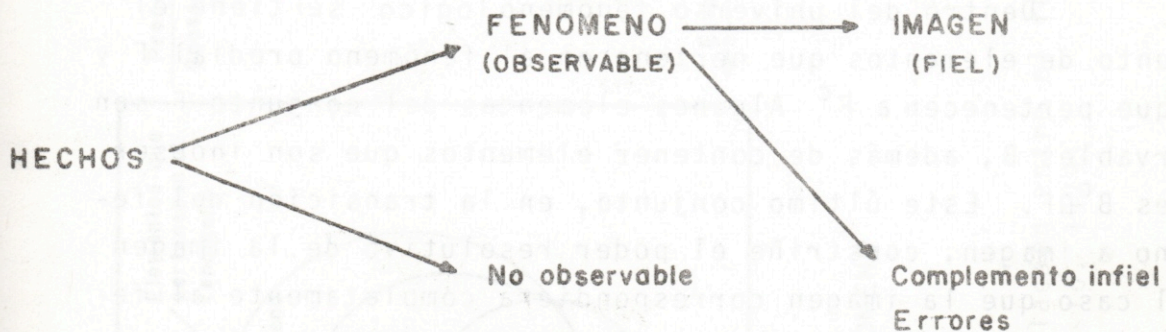


Figura 1. Diagrama ilustrativo del proceso de transformación del predio como un hecho al fenómeno y a la imagen o modelo predial (Gastó, 1979).

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

La imagen es una representación más o menos fiel de algunos de los elementos del fenómeno. La imagen que se construye de un fenómeno predial puede ser una representación que esté contenida dentro de una graduación de ajustes al fenómeno actuante, del cual sólo algunos atributos son los observables (Figura 2).

Dentro del universo fenomenológico se tiene el conjunto de elementos que pertenecen al fenómeno predial F y los que pertenecen a F^C . Algunos elementos del conjunto F son observables B , además de contener elementos que son inobservables $B^C \cap F$. Este último conjunto, en la transición del fenómeno a imagen, constriñe el poder resolutivo de la imagen. En el caso que la imagen correspondiera completamente al fenómeno, su poder predictivo podría llegar a ser isomórfico.

Para lograr lo anterior se requiere que el marco teórico donde se ubique la imagen predial corresponda al nivel de detalle, profundidad y precisión de las variables relevantes de manera que sea susceptible de establecer retroactivamente el fenómeno predial a partir de su imagen. El marco teórico debe permitir elaborar imágenes que sean a la vez predictivas y explicativas, lo cual depende en un alto grado de la profundidad teórica de la construcción.

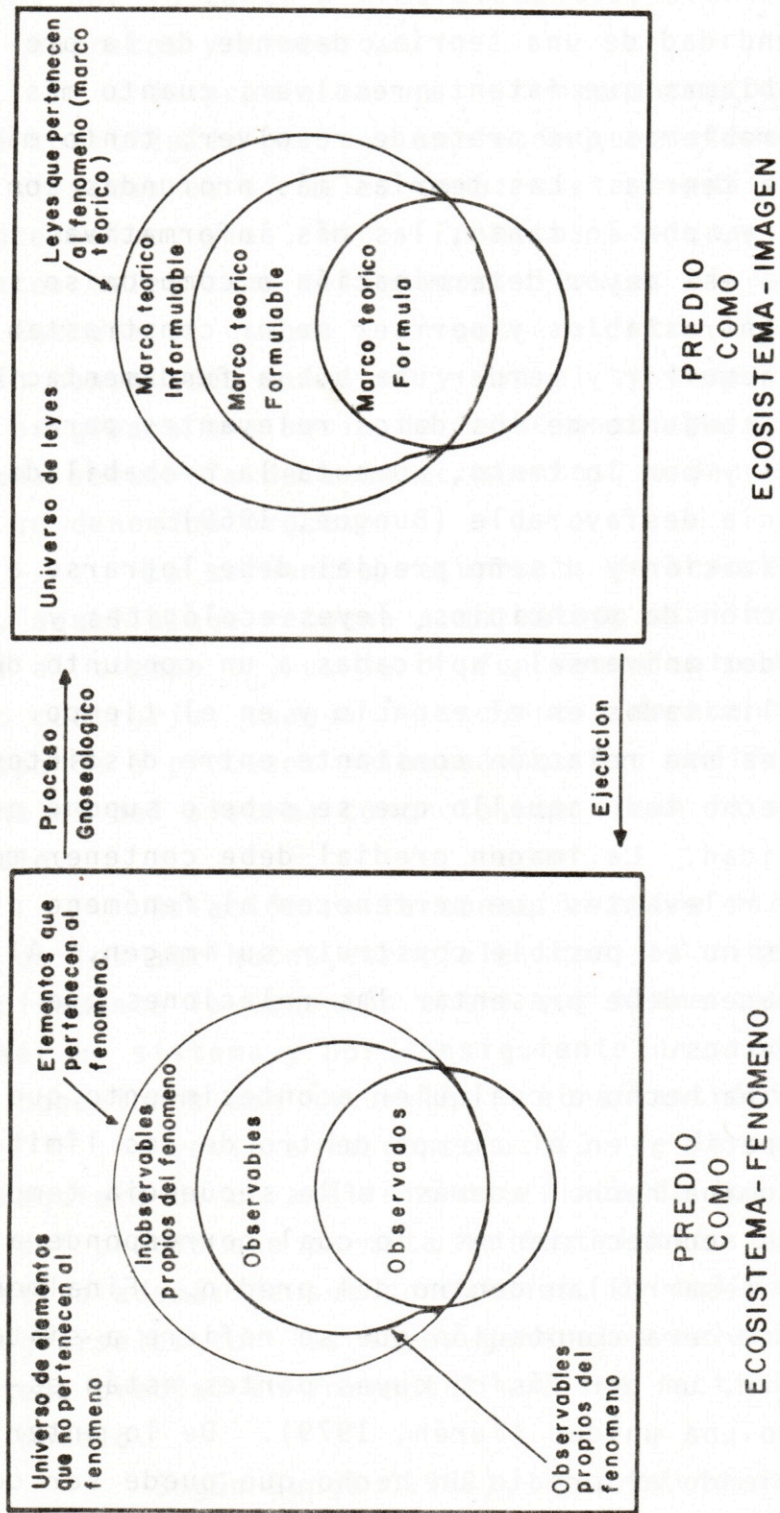


Figura 2. Relación entre el fenómeno y la imagen o modelo predial (Gastó, 1979)

La profundidad de una teoría, depende de la profundidad de los problemas que intenta resolver; cuanto más profundos son los problemas que pretende resolver, tanto más profunda debe ser la teoría. Las teorías más profundas son las más específicas y, por lo tanto, las más informativas. Como consecuencia de esa mayor determinación o compromiso son también las mejor contrastables y por ser mejor contrastables son más aptas para adquirir y perder una buena fundamentación empírica, o sea, el conjunto de los datos relevantes para ellos es más variado y por lo tanto, aumenta la probabilidad de que surja evidencia desfavorable (Bungue, 1969).

La organización y diseño predial debe lograrse a través de la aplicación de principios, leyes ecológicas y agronómicas de validez universal, aplicadas a un conjunto de recursos naturales limitados en el espacio y en el tiempo.

Una ley es una relación constante entre distintos hechos; siendo un hecho todo aquello que se sabe o supone que pertenece a la realidad. La imagen predial debe contener todos aquellos hechos relevantes que pertenecen al fenómeno predial, sin los cuales no es posible construir su imagen. Al mismo tiempo, su imagen debe presentar las relaciones que existen entre los hechos.

Se denomina hecho a cualquier acontecimiento que se produce en el espacio y en el tiempo dentro de los límites del predio. Se denomina hecho, además, a la secuencia temporalmente ordenada de acontecimientos, lo cual corresponde a los procesos que se desarrollan dentro del predio. Finalmente, el hecho tiene una tercera conotación que se refiere a sistema concreto, es decir, un ser físico cuyas partes están estructuradas formando una unidad (Yurén, 1979). De lo anterior se desprende que, siendo el predio un hecho que puede ser conocido a través de los sentidos o instrumentos, puede llegar a ser un fenómeno. El predio considerado como un hecho con-

tiene, por lo tanto a tres elementos; acontecimientos, sistemas concretos y procesos.

Un predio es un sistema concreto, el cual a su vez está constituido por una serie de subsistemas, que son a la vez sistemas en sí tales como: sistema edáfico, hidrográfico, fitocenósico, vial, etc. En estos sistemas ocurren acontecimientos tales como relámpagos, lluvia, riego, segadura, aradura, entrada de ganado a un potrero, etc. Los acontecimientos están conectados entre sí y con el sistema concreto, conexión que origina a una serie de relaciones causativas que concluyen en una secuencia de acontecimientos, ordenados en el tiempo, que se denomina proceso.

La secuencia recurrente de acontecimientos, es decir, aquella que retorna a un estado similar al estado inicial al tiempo t_0 , es la de funcionamiento del predio. En caso contrario, cuando la secuencia de acontecimientos corresponde a procesos relacionados con modificaciones direccionales del sistema concreto, se tiene la sistemogénesis del predio.

Relación es la conexión entre partes de un sistema. Uno de los atributos esenciales que describen un predio es precisamente la conexión entre sus elementos sin lo cual deja de ser un sistema y por consiguiente un predio. Algunas de las conexiones son naturales y otras antrópicas.

Previo a la construcción de la imagen del predio se requiere de un análisis detallado de los hechos pertinentes del predio que permita su descripción cualitativa y cuantitativa además de sus conexiones, de tal manera que pueda integrárseles con las leyes generales relacionadas con el ecosistema predial en forma tal que sea factible la elaboración del modelo.

Según Bunge (1969), la profundidad de las teorías puede caracterizarse por la posición de tres atributos:

La presencia de construcciones de alto nivel,
 La presencia de un mecanismo, y
 Una intensa capacidad de explicación.

Las tres propiedades están íntimamente vinculadas: sólo introduciendo conceptos de alto nivel, es decir empíricos puede formularse hipótesis sobre mecanismos inobservables, y sólo lo que por hipótesis ocurre en las profundidades puede explicar lo que se observa en la superficie. Esta idea la explica este autor en la siguiente definición: una teoría T_1 es más profunda que una teoría T_2 si y solo si (i) T_1 contiene construcciones de nivel más alto (inobservables) que T_2 (aspecto epistemológico); (ii) esas construcciones se presentan en mecanismos hipotéticos subyacentes a los hechos a que se refiere T_2 (aspecto ontológico); y (iii) T_1 explica lógicamente a T_2 , o sea $T_1 \implies T_2$ (aspecto lógico).

Modelos prediales

La imagen del ecosistema predial puede ser representada en modelos de dos tipos: isomórficos y homomórficos.

Los modelos isomórficos del predio se refieren a su imagen elaborada a partir del fenómeno con la característica de corresponder aproximadamente a la misma figura o forma. Estos modelos son de mayor importancia en aquellas materias en que la forma juega un papel importante en el comportamiento del objeto (Ashby, 1956). El enfoque isomórfico significa establecer relaciones de uno a uno entre el predio como fenómeno y su imagen o modelo.

En el estudio de predios, los modelos isomórficos son a menudo la forma más adecuada de describir el sistema, especialmente en lo que se refiere a modelos a escala o de

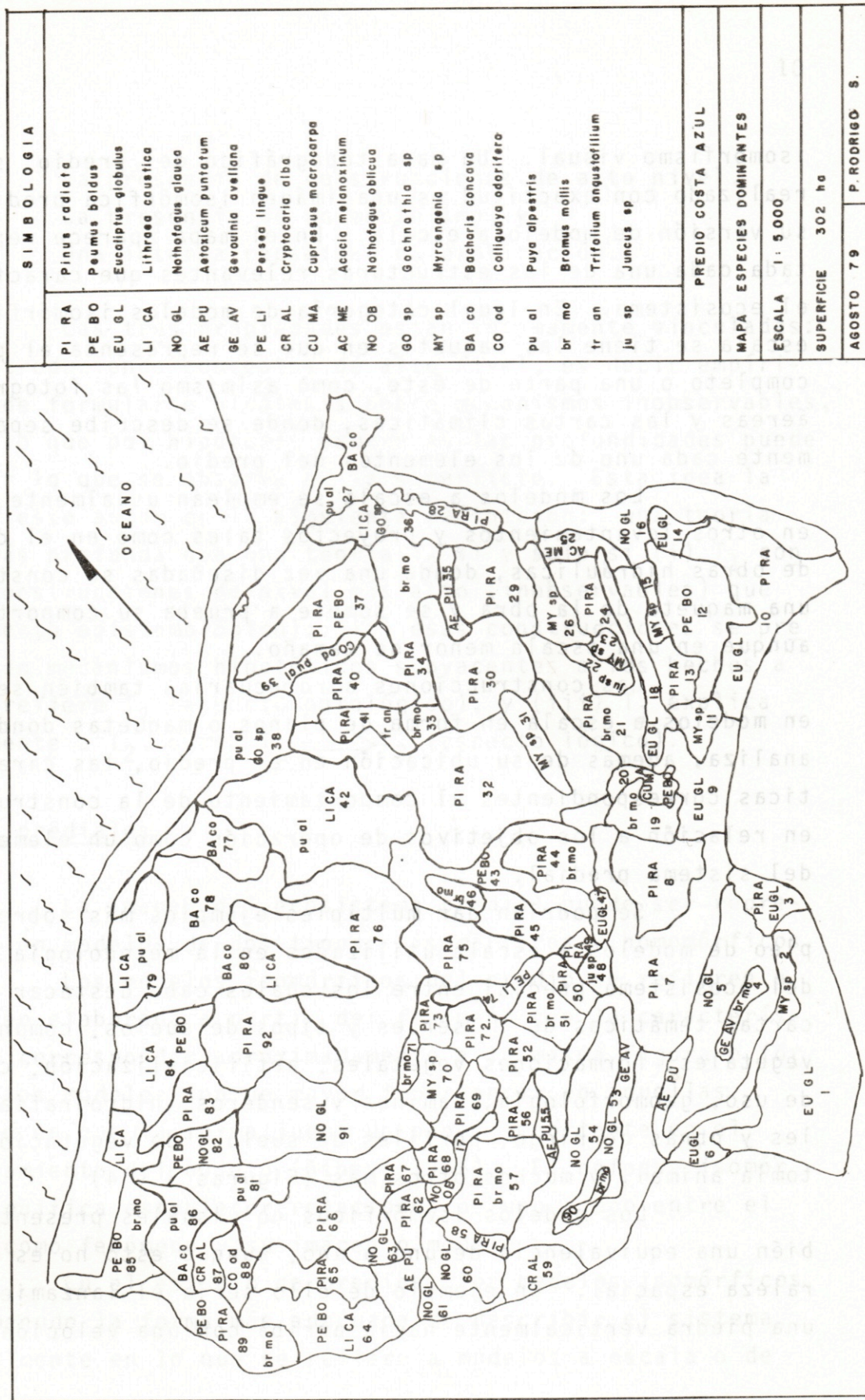
isomorfismo visual. Un mapa topográfico del predio, si ha sido realizado con exactitud es una imagen isomórfica predial, en su versión de modelo a escala. En el mapa aparece representada cada una de las estructuras relevantes que caracterizan el ecosistema. En igual categoría de modelos isomórficos a escala se tiene las maquetas en que se representa el predio completo o una parte de éste, como asimismo las fotografías aéreas y las cartas climáticas, donde se describe separadamente cada uno de los elementos del predio.

Los modelos a escala se emplean usualmente, además en otros levantamientos y proyectos tales como en el diseño de obras hidráulicas, donde una vez diseñadas se construye una maqueta de la obra y se somete a prueba su comportamiento, aunque en una escala menor de tamaño.

Las construcciones agropecuarias también se diseñan en modelos a escala en forma de planos o maquetas donde se analiza, además de su ubicación en el predio, las características correspondientes al comportamiento de la construcción en relación a los objetivos de operación como un elemento más del sistema predial.

Se podrían dar múltiples ejemplos más sobre el empleo de modelos a escala utilizados en la metodología clínica del ecosistema predial entre los cuales cabe destacar las cartas temáticas de : series y tipos de suelos, comunidades vegetales, formaciones vegetales, artificialización, capacidad de uso, geomorfología, caminos y senderos, hidrografía, canales y obras de riego, perfiles de suelo y de vegetación, anatomía animal, y muchos otros más (Figuras 3 y 4)

Los modelos isomórficos no visuales presentan también una equivalencia de uno a uno, aunque esto no es de naturaleza espacial. Un ejemplo de ello sería el lanzamiento de una piedra verticalmente hacia arriba con una velocidad inicial



SIMBOLOGIA

PI RA	Pinus radiata
PE BO	Peumus boldus
EU GL	Eucaliptus globulus
LI CA	Lithraea caustica
NO GL	Nothofagus glauca
AE PU	Aetoxicum punctatum
GE AV	Gevounia avellana
PE LI	Persea lingue
CR AL	Cryptocaria alba
CU MA	Cupressus macrocarpa
AC ME	Acacia melanoxinum
NO OB	Nothofagus oblicua
GO sp	Gochnathia sp
MY sp	Myrcangenia sp
BA co	Bacharis concava
CO od	Colliguaya odorifera
pu al	Puya alpestris
br mo	Bromus mollis
tr an	Trifolium angustifolium
ju sp	Juncus sp

PREDIO COSTA AZUL

MAPA ESPECIES DOMINANTES

ESCALA 1 : 5 000

SUPERFICIE 302 ha

AGOSTO 79 P. RODRIGO S.

Figura 3. Modelo isomórfico visual de un predio.

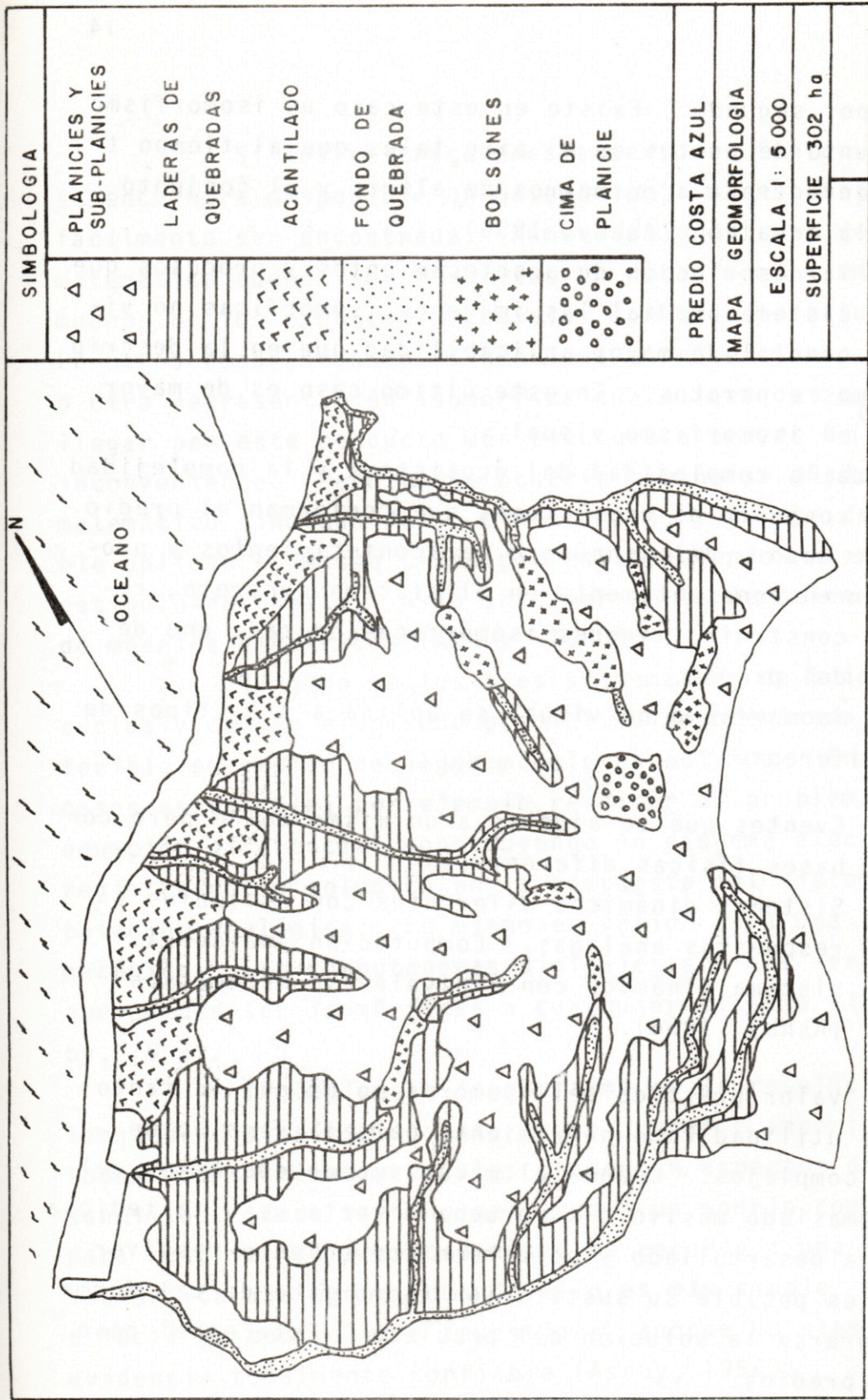


Figura 4. Modelo isomórfico visual de las unidades geomorfológicas de un predio.

de 50 metros por segundo. Existe en este caso un isomorfismo entre el conjunto de puntos en el aire tales que al tiempo t la piedra se encontraba a h metros de altura y el conjunto de puntos de la ecuación (Ashby, 1956).

En la descripción de acontecimientos y procesos que ocurren en el sistema predial las imágenes isomórficas no visuales son en general de mayor aplicabilidad que en la descripción de sistemas concretos. En este último caso es de mayor aplicabilidad el isomorfismo visual.

Dada la complejidad del ecosistema y la complejidad aún mayor del conjunto de ecosistemas que conforman el predio en un instante dado y del sinnúmero de acontecimientos y procesos que ocurren constantemente en el sistema concreto, resulta difícil construir imágenes isomórficas de cada uno de los elementos del predio.

El isomorfismo no visual se aplica a tres tipos de situaciones diferentes:

- Eventos que se ajustan a un mismo molde pero con bases físicas diferentes,
- Sistemas dinámicos diferentes con estímulos y respuestas análogas. Computación analógica.
- Sistema dinámico con equivalencia matemática (Ashby, 1956).

El valor práctico del isomorfismo es por lo tanto de manifiesta utilidad como herramienta para la resolución de problemas complejos. Cuando el mecanismo de operación del sistema es demasiado masivo o su prueba directa resulta tediosa o aun no se ha desarrollado y no parece conveniente resolver el fenómeno, es posible su sustitución isomórfica de tal forma que pueda lograrse la solución del problema. Este es el caso usual de los predios.

Si las restricciones anteriores fueran el caso, y se encuentra disponible un matemático, la respuesta puede fácilmente ser encontrada. Numerosos problemas de física matemática pueden ser resueltos en esta forma isomórfica y muchos de los problemas prediales son de esta naturaleza. En otros casos, cuando el problema permite el uso de un mapa, o otra representación isomórfica cualquiera, es preferible llegar por este conducto más bien que a través de una realidad inconveniente. Pero puede ocurrir que no se disponga de un matemático sino que de un electrónico, y en ese caso es posible aplicar el mismo principio estableciendo relaciones de estímulo-respuesta. A lo anterior se le denomina construcción de modelos eléctricos (Ashby, 1956).

Ninguno de los tres sistemas es de prioridad o exclusividad en el diseño predial, siendo en cada caso preferible en empleo de algún modelo específico. En algunos casos es posible, por ejemplo resolver el problema de una ecuación diferencial construyendo un sistema eléctrico y registrando la solución en la respuesta del sistema, o computación analógica. Lo mismo es válido para una analogía mecánica. Las computadoras digitales son más versátiles porque pueden ser isomórficas a cualquier sistema dinámico (Ashby, 1956).

El empleo de isomorfismo en la resolución de problemas prediales es, en esta forma, usual e importante, ya que todos los sistemas prediales presentan aspectos difíciles y sencillos. Cada vez que se llega a un modelo complicado para resolver el fenómeno mismo se recurre a una solución isomórfica analógica, cuando ello es más simple, comprensible o fácil de controlar o investigar, aunque no siempre da una evidencia totalmente confiable (Ashby, 1956).

Existe homomorfismo cuando se presenta una equivalencia de varios a uno, lo cual corresponde a la reducción de una situación más compleja a una isomórfica con la más simple. Dos sistemas prediales pueden relacionarse homomórficamente, lo cual ocurre cuando en el sistema más complejo se realiza una transformación del tipo varios a uno de manera de lograr una equivalencia, isomórfica con el más simple (Figura 5).

Puede existir homomorfismo entre un fenómeno y su imagen si se retienen las características esenciales de éste. Un predio puede ser simplificado en una nueva forma de un modelo cuando sus partes son reducidas adecuadamente. El tratamiento científico de un sistema predial, que es de naturaleza compleja, no requiere que se distinga cada una de sus partes. A esta relación, de muchos a uno, se le denomina homomórfica (Ashby, 1956).

En sistemas prediales, donde la complejidad inherente es elevada se requiere, e incluso es inevitable el homomorfismo entre el fenómeno y la imagen.

A menudo se asume implícitamente que la información que se tiene sobre el sistema es completa, pero esto no es nunca el caso en predios donde la recolección de la información o su almacenamiento lo hacen imposible. Una imagen predial, dada su complejidad, debe ser homomórfica al modelo. En la construcción de modelos prediales debe necesariamente efectuarse una reducción homomórfica de un gran número de partes, las cuales pueden globalmente ser consideradas como cajas negras.

Caja negra

Las teorías del tipo de caja negra consideran al elemento, que puede ser una variable de estado o conjunto de

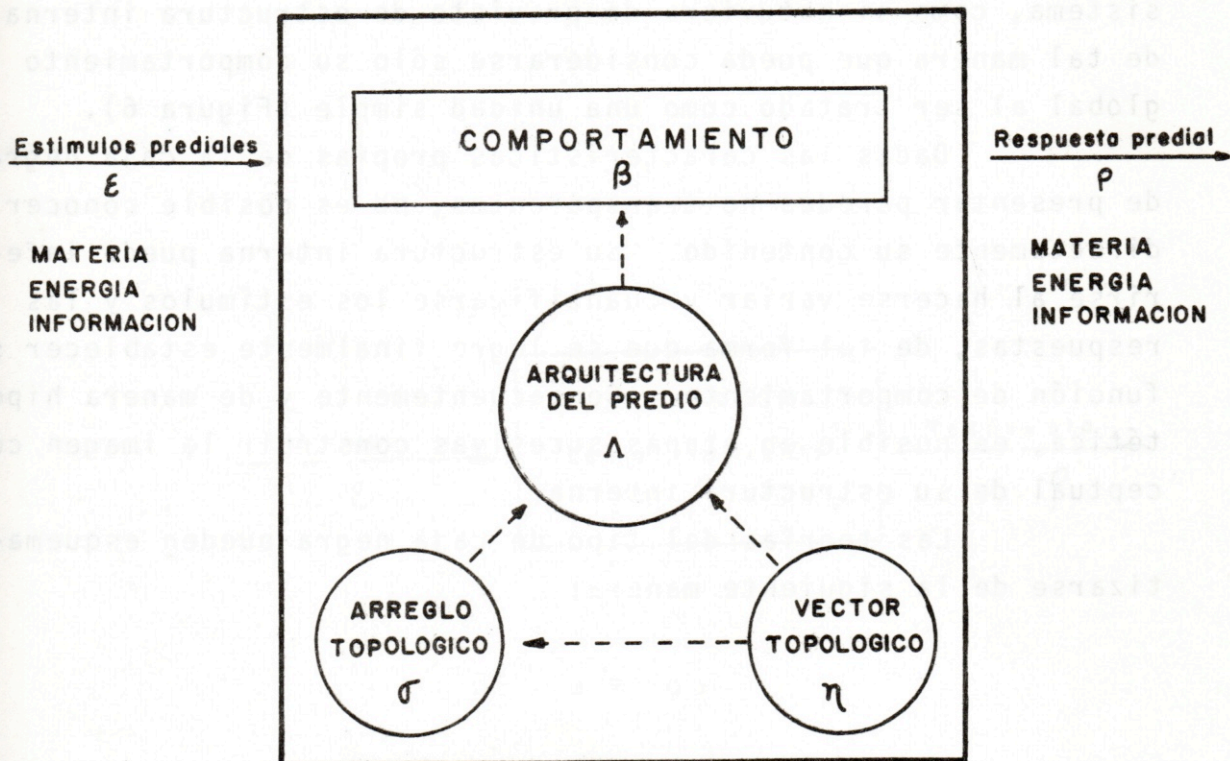


Figura 5. Modelo homomórfico de un predio representado como una caja negra.

variables de estado constituyendo un sistema cualquiera o ecosistema, como si estuviera desprovisto de estructura interna; de tal manera que pueda considerarse sólo su comportamiento global al ser tratado como una unidad simple (Figura 6).

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

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

$$\rho = \epsilon \cdot \beta$$

De tal forma que se relacionen las variables periféricas de estímulo ϵ y respuesta ρ con la variable mediadora β , o función que relaciona a las variables periféricas (Bunge, 1969). La variable mediadora debe corresponder a:

$$\beta : \epsilon \rightarrow \rho$$

La variable mediadora β debe resumir las propiedades de la caja negra pero no se deriva de sus propiedades. La variable β es sólo un vínculo sintáctico que permite establecer relaciones particulares o generales entre los estímulos y respuestas. Las teorías del tipo de caja negra consideran variables mediadoras sin su correspondiente interpretación. En la medida que se vaya logrando una mayor interpretación de la variable, donde se incluya un mayor acopio de respaldo teórico y conceptual de tal manera que pueda lograrse una mayor comprensión de su contenido y operación, la caja negra se transforma

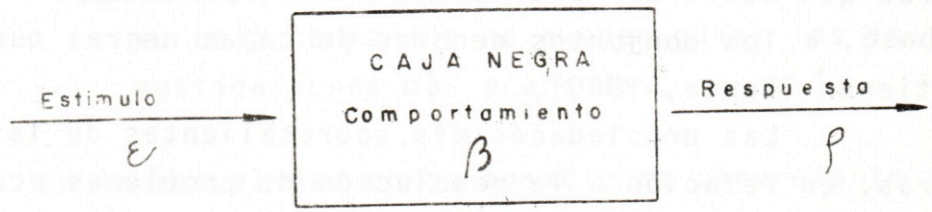


Figura 6. Teoría del tipo de caja negra que considera al elemento como desprovisto de estructura, donde intervienen variables periféricas ϵ , ρ , vinculadas mediante variables intermedias β .

gradualmente en traslúcida (Bunge, 1969).

La variable mediadora β puede ser mejor conocida en las teorías de tipo traslúcida o representacional, pero no por ello debe constituir un mecanismo representable mecánica ni intuitivamente; la teoría debe permitir contener un conjunto de variables internas que permitan caracterizar su interior. La caja traslúcida es sólo un conjunto de cajas negras que deben ser analizadas e interpretadas a su vez, en base, a los conjuntos menores de cajas negras que a su vez contienen (Bunge, 1969).

Las propiedades más sobresalientes de las cajas negras, en relación a la resolución de problemas ecosistémicos, según el mismo autor citado, son:

Su alta generalidad, siendo coherentes con un número ilimitado de mecanismos de la más diversa índole,

Su holismo y capacidad de resolver problemas globales, sin prestar atención a detalles de su contenido interior,

Su sencillez epistemológica, lo cual permite resolver eficientemente problemas no observables, y

Su precisión, pues a través del ajuste y reajuste de parámetros que permiten cubrir mayor cantidad de información que las teorías representacionales, y su mayor seguridad, debido a la falta de explicitación acerca de los mecanismos interiores de la caja negra.

Las teorías del tipo de caja negra son más empleadas en las etapas iniciales de desarrollo científico, es decir

cuando se trata de sistematizar más bien que de interpretar, como es el caso del sistema predial,

Las desventajas de las teorías del tipo de caja negra son, según Bunge (1969), las siguientes:

Escaso contenido en relación a las teorías representacionales,

Menor contrastabilidad, y

Escasa potencia heurística, pues debido a su bajo contenido no pueden guiar las investigaciones más profundas,

En la actualidad no es posible ni conveniente pretender resolver en forma pragmática problemas prediales complejos que requieren, a menudo, comprender algunos de esos mecanismos con un alto grado de detalle y precisión. Las soluciones superficiales, basadas solamente en interpretaciones que consideren al predio como una sola caja negra concluyen por conducir a un oscurantismo científico que a la larga no permiten siquiera resolver los problemas más sencillos. Lo opuesto es también válido, es decir tratar de resolver la totalidad del problema predial con un isomorfismo total en el cual se exagera la cantidad de detalle requerido para la resolución del problema. Lo anterior, lejos de contribuir a la solución, incrementa solamente el datismo de variables irrelevantes, las que a menudo son además redundantes, las cuales no contribuyen a una mejor comprensión del problema. Las teorías representacionales, sin embargo, son a la larga las de mayor valor, las más predictivas y las que permiten resolver un mayor número de problemas de naturaleza práctica (Bunge, 1969).

En la resolución de problemas prediales debe buscarse la óptima combinación de isomorfismo y homomorfismo, resolviendo una serie de problemas excesivamente complejos como cajas negras. Estos, combinados con otros resueltos isomórficamente, pueden llevar a una solución global.

Puesto que el estudio de predios, bajo el concepto de caja negra, entrega al investigador cierta información, y cuando las parejas estímulo-respuesta estén especificadas, de la caja negra no se puede esperar más. En este caso la imagen del fenómeno vista como caja negra, está identificada, a lo sumo en forma isomórfica (Ashby, 1956).

El procedimiento fundamental empleado en la resolución de problemas de caja negra debe seguir las siguientes etapas (Klir, 1969).

Las variables periféricas o cantidades externas al sistema se observan o miden en el tiempo en el nivel de resolución respectivo y todos los resultados obtenidos se ordenen en la forma de una sola actividad o un conjunto de actividades separadas,

La actividad lograda se procesa de tal manera que puedan descubrirse las relaciones invariantes en el tiempo o comportamiento entre cantidades,

Se investiga el interior del predio considerado como caja negra de tal forma que se logre tanta información de su contenido como sea posible o necesario,

Se determina su comportamiento o se elabora una hipótesis en base a los resultados obtenidos, y

Se determina su arquitectura o se plantea hipotéticamente en base a su comportamiento y de otras evidencias conocidas del sistema.

ECOSISTEMA-ORIGEN

Una de las mayores dificultades que encuentran los especialistas en recursos naturales y ciencias silvoagropecuarias, es definir y delimitar la unidad ecológica con la cual se trabaja. Ello es en sí un problema básico que debe ser resuelto con anterioridad al estudio detallista de cada uno de los elementos que componen esta unidad. El hombre, a pesar de tener una larga historia evolutiva como integrante de la biósfera, no ha logrado aún adquirir un conocimiento cabal del papel que le corresponde desempeñar en la naturaleza, ni del efecto que su acción produce sobre los recursos naturales. A diferencia de otros organismos, la adaptación del hombre al medio, o ecosistema, es más bien a través del desarrollo especializado de su cultura, en lugar de sufrir modificaciones biológicas de adaptación de la especie (Golom y Eder, 1964).

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

generalidad (Boulding, 1956).

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

El término ecosistema fue originalmente propuesto por Tansley en 1935. Otros autores con anterioridad o posterioridad lograron desarrollar el mismo concepto de Tansley e incluso propusieron términos que involucran la misma idea. Según Evans (1956) y Fosberg (1963) en 1887 se propuso el término microcosmo por Forbes, naturkomplex o complejo natural en 1926 por Markux, holocen, holozon o zon por Friederichs (1930), biosistema y biogeocenosis por Sukachev (1950), siendo el término de mayor aceptación en la actualidad el propuesto por Tansley.

El objetivo del presente estudio es definir el conjunto de fenómenos que pertenecen al recurso natural y al predio para construir una imagen-modelo y eventualmente delimitar una metodología de trabajo. El conjunto de premisas o paradigma es el siguiente:

- los fenómenos del recurso natural son eminentemente dinámicos,
- la dinámica no es caprichosa ni enteramente al azar,
- la imagen que representa la unidad básica de estudio es el ecosistema,
- el ecosistema se caracteriza por su arquitectura y funcionamiento,

existe una interdependencia entre su funcionamiento y arquitectura, expresada en su cambio de estado, y es factible actuar sobre la arquitectura y modificar el funcionamiento y viceversa.

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

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

El ecosistema es un arreglo de componentes bióticos y abióticos, o un conjunto o colección de elementos que están conectados o relacionados de tal manera que actúan o constituyen una unidad o un todo. Conexión y relación en cualquier sistema dinámico significa transporte de materia, energía e información (Becht, 1974; Distefano et al, 1967; Odum, 1972; Nava, Armijo y Gastó, 1979).

El ecosistema puede corresponder a diversas unidades, desde muy pequeñas, tal como ocurre con un tubo de ensayo, un acuario, o mayores, como cultivos, campos de ganado, represas, bosques, e incluso un predio, o los recursos ocupados por un país entero o por un continente. Desde el punto de vista analítico-conceptual resulta, a menudo, conveniente trabajar con unidades pequeñas. El mínimo de tamaño debe ser tal que

no se destruya esta unidad compleja y, por lo tanto, que mantenga todos los elementos básicos que constituyen el sistema. El ecosistema como concepto e imagen de una realidad está desprovisto de una dimensionalidad espacial, es decir, no es factible atribuirle ningún tamaño.

Cada unidad constituye un microecosistema, los cuales se pueden integrar en otros de tamaño cada vez mayor hasta formar el macroecosistema. Se podrían incluso considerar que todos los sistemas de un país funcionan en último término como un macroecosistema nacional. La unión de todos los sistemas del globo terrestre en funcionamiento simultáneo e interdependiente constituyen la ecósfera.

El concepto de un sistema ecológico integrador de la materia viva con la inerte, a pesar de haberse propuesto desde hace casi un siglo ha sido de amplio uso y aceptación sólo a partir de los últimos años, aproximadamente desde la década de 1960. En la actualidad, no sólo se le emplea con frecuencia sino que constituye el concepto básico en el estudio e interpretación del funcionamiento de la naturaleza. Una población, o conjunto de organismos de una especie, o una comunidad, o grupo de poblaciones, no existen en la naturaleza como tales. Son sólo el producto del estudio de una unidad más compleja que incluye, además, el medio donde se desarrollan.

Algunos naturalistas del siglo pasado comprendieron que en la naturaleza se integran los elementos que componen los reinos mineral, vegetal y animal, formando una unidad más compleja o ecosistema. El conocimiento científico de la época nos les permitió, sin embargo, continuar progresando hasta conocer más a fondo esta unidad ecológica integradora. La tendencia general, en cambio, fue hacia la disección de esta unidad en fragmentos y componentes cada vez más pequeños (Odum, 1972), donde los atributos de cada componente se alejan de las propiedades ecosistémicas cuando estos actúan holocénicamente.

El esfuerzo intelectual desplegado durante este lapso no ha sido perdido, sino que al contrario, ha entregado valiosa información, que conjugada a la luz de los conocimientos actuales en torno a la unidad ecológica fundamental, el ecosistema, puede contribuir a comprender e interpretar los principios que regulan su funcionamiento y arquitectura. Durante los últimos años, sin embargo, la tendencia general del estudio de la naturaleza ha tenido un enfoque integracionista y holológico, lo cual ha permitido utilizar el enorme acopio científico en la comprensión e interpretación de esta unidad natural.

Desde que se enunció la doctrina del holismo, los conceptos parciales tales como clima, vegetación, suelo, ambiente y comunidad dejaron de tener el valor primitivo que se les asignaba con un criterio analítico. Para que expresen su valor real deben ser considerados con criterio sintetizador o de ecosistema (Fosberg, 1963). Los ecólogos tratan, a menudo, de evitar el estudio simplificado de las relaciones de causa-efecto, debido al sentido holocénosico que se le atribuye al ecosistema, tanto en lo que se refiere a su funcionamiento como a su estructura (West, 1964). Desde el punto de vista filosófico, la principal dificultad que emana del concepto de ecosistema es su holismo. El ecosistema es tan complejo que en la práctica se tiende a simplificarlo en exceso (Maelzer, 1965). En la descripción de un sistema existen dos extremos: la postulación de una máxima simplicidad o la de una máxima complejidad. Un sistema simple es completamente irredundante; es decir, ningún aspecto del sistema es derivable de cualquier otro (Simon, 1965). Un sistema totalmente complejo resulta epistemológicamente trivial (Levins, 1970). La descripción apropiada está regida por consideraciones de optimalidad y relevancia en las constricciones de interacción.

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

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

El método holístico, considerado conjuntamente con ciertos elementos de su arquitectura, es posiblemente el que ofrece el punto de vista más apropiado para el análisis de los problemas ecosistémicos. La conveniencia de su aplicación, en teoría matemática, cibernética, teoría general de sistemas y otras, permite considerar las posibles consecuencias de las combinaciones de los elementos y arreglos de un sistema.

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

Por tratarse de un t6pico b6sico en el estudio y resoluci6n de problemas de los recursos naturales y de los predios se ha comenzado este capitulo definiendo y describiendo lo que se entiende por ecosistema; La compresi6n y soluci6n de los problemas de los recursos naturales renovables se inicia con el conocimiento detallado e integral del ecosistema donde se considera a cada uno de los componentes como un elemento m6s del complejo holocen6sico.

El ecosistema consta de dos atributos fundamentales que definen su estado. Uno de ellos es el aspecto an6tomo-morfol6gico o apariencia f6sica, es decir que representa los aspectos tangibles o de forma y se denomina arquitectura. El otro es el transporte y transformaci6n de materia, energ6a e informaci6n, y corresponde a la fisiolog6a del ecosistema, lo cual se denomina funcionamiento.

Una forma de estudiar el modelo ecol6gico de la naturaleza es separ6ndolo en dos partes: arquitectura y funcionamiento. Cualquier clasificaci6n que se haga es, sin embargo, selectiva y por ello es, tambi6n, arbitraria (Hospers, 1954). Esta forma de estudio es an6loga a la que se sigue en biolog6a, donde los organismos se estudian desde un punto de vista fisiol6gico o de su funcionamiento y an6tomo-morfol6gico o de su arquitectura.

La ecolog6a ha sido definida como el estudio de la estructura y funcionamiento de la naturaleza (Odum, 1972). El significado que se le ha dado al t6rmino funcionamiento, en el presente trabajo es m6s restringido que el asignado por el autor citado, pues no incluye a la regulaci6n del funcionamiento de parte de la arquitectura del modelo. El concepto de arquitectura, en cambio, es m6s amplio y espec6fico que el que se le d6a a estructura, aunque en los aspectos fundamentales son equivalentes.

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

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

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

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

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

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

$$\sigma(\underline{\eta})$$

donde: σ representa el arreglo topológico, que incluye tanto los aspectos cualitativos como cuantitativos, y

$\underline{\eta}$ es el vector topológico que incorpora el tamaño (número y dimensión) de los componentes.

Un sistema ecológico está integrado por organismos y ambiente y se caracteriza por tener un número considerable de propiedades y atributos, algunas de las cuales no corresponden, bajo algunas circunstancias, ser estudiadas. Cualquier variable de estado que se seleccione entre las mínimas necesarias para la descripción homomórfica del sistema puede denominarse observable. El complejo de observables puede denominarse estado del sistema. (Maelzer, 1965). En el caso que los observables cuantificados correspondan a las variables y a los estados y cambios de estado, el sistema se puede representar numéricamente en funciones algebraicas (Harre, 1960), de tal forma que permitan describir a los vectores de estado del sistema.

Por definición de arquitectura Λ se tiene que:

$$\Lambda = \Lambda(\underline{\eta}, \sigma) = f(\sigma(\underline{\eta}))$$

y para un conjunto de variables de estado con cardinalidad de n , se tiene que:

$$\text{Card} \{ \sigma(\underline{\eta}) \} = n$$

por lo que:

$$\text{Card } \Lambda \leq n$$

dependiendo del tipo de función f empleada.

Con el objeto de simplificar la notación, el vector topológico $\underline{\eta}$ se escribirá sin subrayarse, sin alterarse su significación.

El conjunto $\sigma(\eta)$ que contiene n elementos, se puede particionar en dos subconjuntos mutuamente excluyentes, tales que:

$$\{\sigma(\eta)\}_n = \{\sigma_R(\eta)\}_k + \{\sigma_V(\eta)\}_{n-k}$$

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

$$\{\sigma_R(\eta)\} + \{\sigma_V(\eta)\} = \{\sigma_R, \sigma_V\}_n$$

pudiéndose escribir la ecuación como sigue:

$$\Lambda(\eta, \sigma) = \{\sigma_R, \sigma_V\}_n$$

Los componentes reales σ_R se pueden a su vez subdividir en tres subconjuntos, a saber:

$$\{\sigma_R\} = \{\sigma_A\} + \{\sigma_B\} + \{\sigma_E\}$$

representando el conjunto de variables de estado del abiotopo, autotrofocenosis y heterotrofocenosis respectivamente.

El conjunto virtual σ_V representa el conjunto de variables de estado que actúan por presencia sobre las otras, sin intervenir de una manera directa, es decir, se comportan como catalizadores del ecosistema; en otras palabras el conjunto de elementos virtuales de arquitectura está dado por el subconjunto de elementos del habitat.

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

El funcionamiento y la mantención de la arquitectura de los ecosistemas no es una resultante del azar sino que está regido por mecanismos propios de control. La ciencia que estudia

estos mecanismos es la cibernética. Es posible aplicar los principios generales de la cibernética al estudio de los procesos de control de los ecosistemas en cuyo caso corresponde a la cibernética.

Ningún ecosistema es absolutamente independiente de los demás y su funcionamiento y arquitectura están regulados por la tasa de aportes y pérdidas de elementos desde o hacia los ecosistemas circundantes o el hombre organizado. El cambio de estado de los componentes del sistema ocurre a través del intercambio de estímulos. Los estímulos a los que está condicionado el ecosistema son (Becht, 1974): masa, energía e información. La respuesta del ecosistema corresponde a la antítesis de los estímulos y, como tal, debe también ser masa, energía e información.

Los sistemas ecológicos no son independientes de los demás, pues reciben estímulos desde otros ecosistemas y liberan recursos que van a otros ecosistemas del globo (Evans, 1956). No es válido, por lo tanto, referirse a sistemas abiertos en oposición a sistemas cerrados pues los límites entre una unidad de microecosistema en relación a las vecinas no son nítidos y, por lo tanto, lo que ocurre a uno afecta, en alguna forma a todos los demás. La ecósfera del planeta tierra funciona integradamente.

La imagen del sistema ecológico o ecosistema puede realizarse de tal manera que pueda representarse al fenómeno en cualquier nivel de complejidad y jerarquía. Se requiere por lo tanto establecer un marco de referencia y un centro de origen que permita, a partir de éste, representar al fenómeno. En los estudios macroecológicos el centro es usualmente la ecósfera, un continente, un país entero o alguna región dentro del país.

En contraste con los estudios macroecológicos, el centro u origen en microecología puede ser una célula o una molécula y desde este centro comenzar a integrar hasta llegar a la ecósfera o aún sobrepasarle, o bien analizarle hasta llegar a las partículas elementales.

Es importante elegir adecuadamente este centro pues cada vez que se incrementa el nivel de complejidad y jerarquía en que se estudia un sistema aparecen atributos emergentes diferentes a los del sistema analizado en niveles inferiores de complejidad y jerarquía; simultáneamente con perderse otros. Los complejos no sólo son sistemas de partes, procesos y fuerzas, o sea simples complejos dinámicos, sino también complejos de complejos, totalidades de partes que son a su vez igualmente totalidades naturales (Hartman, 1960).

En la resolución de problemas del agro, a menudo se ha abusado del enfoque macroecológico. Los planificadores nacionales, continentales o mundiales, han analizado en este nivel el problema. Por otro lado, los científicos, que estudian los recursos naturales, usualmente lo hacen a niveles microecológicos, elaborando imágenes detallistas de acontecimientos, sistemas concretos y procesos en escalas y detalles incompatibles con la naturaleza de los problemas del agro.

Las variables y los atributos del sistema, analizados en escalas macroecológicas y microecológicas son diferentes de los mismos cuando el módulo se construye en una escala mesoecológica. En la resolución de los problemas del agro debe establecerse cuidadosamente y con precisión al centro u origen, de tal forma que se pueda construir una imagen fiel del fenómeno agrícola, que contenga las variables y atributos propios del sistema agrícola. Este centro debe ser el predio.

El ecosistema-origen corresponde al ecosistema completo, integrado al nivel de complejidad propio de la naturaleza, lo cual es su centro u origen. El predio contiene todos los elementos propios de los recursos naturales y del hombre organizado como agricultor. Es factible, por lo tanto, al considerar al predio como fenómeno, elaborar, a partir de ello imágenes homomórficas o isomórficas que: contengan construcciones de alto nivel, describan los mecanismos y sean de una intensa capacidad de explicación. La imagen que se construya del fenómeno planteado al nivel predial debe contener los acontecimientos,

sistemas y procesos propios de la agricultura. Se considera en esta forma que el predio, cualquiera que sea su tamaño, constituye el fenómeno ecosistémico y como tal debe ser el centro de origen para la elaboración de imágenes, pues corresponde al sistema completo y al nivel propio de la agricultura.

COMPLEJIDAD Y JERARQUIA

El hombre organizado, social, cultural y laboralmente se presenta en la actualidad como el principal organismo especializado en incrementar el desorden ecológico de la naturaleza, a diferencia del objetivo esencial del hombre que es de naturaleza mental y espiritual. Este aumento de la entropía del medio en que el hombre vive, amenaza con traspasar sus límites biológicos y mentales de tolerancia, con lo cual pone en peligro su desarrollo mental y espiritual, además de su propia subsistencia. La tendencia actual de transformación de la naturaleza hace pensar que le conduce hacia un abismo; sólo es materia de tiempo (Albrecht, 1956).

Existe una obvia tendencia de los recursos naturales de ir desde el desorden a la organización. Es posible, por lo tanto, preguntarse si esta tendencia está en contradicción con la segunda ley de termodinámica que establece que el desorden debe aumentar en la naturaleza. La ley dice que la entropía, la medida del desorden, debe crecer en cualquier sistema natural. Vale la pena señalar que la tendencia hacia las jerarquías mayores está en completo acuerdo con la segunda ley; y en verdad es una consecuencia de ella cuando la materia no se encuentra aislada de su medio (Weisskopf, 1977).

El predio corresponde a un conjunto de elementos y unidades de naturaleza compleja. Los elementos que constituyen el predio no pueden ser modificados en sus partes sin afectar en alguna forma a la totalidad. Esta totalidad tan compleja que constituye el predio no puede ser modificada, diseñada u organizada dentro de un contexto de un número alto de variables, pues está contenida dentro de complejos superiores en jerarquía y a su vez se encuentra sobrepuesta a otros complejos inferiores a los cuales también afecta.

El diseño predial debe, por lo tanto, estar constreñido dentro de un contexto externo superior que determina los grados

de libertad del sistema y restringe finalmente la solución a sólo una, la cual el profesional que diseña el modelo debe encontrar. Es factible precisar el concepto de grado de libertad de un problema predial en la forma que a continuación se indica. Para un modelo $M(j)$ a un nivel de complejidad j , sea X^j el conjunto (canónico o mínimo) de variables de estado que lo describen, entonces los grados de libertad (λ_j) de un problema dado y planteado dentro del contexto de M esta dado por:

$$\lambda_j = (\text{Card } X_{R_j}) - 1 \text{ con}$$

$$X_{R_j} = \{x: x \in X^j, x \in R(j)\},$$

en el cual $R(j)$ representa el conjunto de relaciones existentes entre las variables de estado al nivel j de complejidad. No se trata por lo tanto, de elegir algún diseño por alguna razón de preferencia personal sobre los demás. Se trata, en cambio, de seleccionar aquella solución que más se aproxima a la solución, la cual debe ser necesariamente sólo una. En este tipo de problemas se trata de llegar por aproximaciones sucesivas a la solución del problema.

De no ser en esta forma, los problemas prediales tendrían infinidad de soluciones posibles, las cuales no serían comparables pues estarían al arbitrio del profesional que diseñe del predio optimizado y no inventar una solución o diseño de acuerdo a alguna preferencia personal. Es en esto que se fundamenta la ingeniería agronómica como una ciencia que busca resolver los problemas de los recursos naturales dentro, de un marco antrópico. De no ser así, dejaría de ser ciencia y se transformaría en un arte, no teniendo en ese caso un carácter resolutivo sino creativo.

El diseño predial está, por lo tanto, contenido dentro del marco de la heurística que busca la resolución de problemas con restricciones en las condiciones para su resolución, condiciones que se encuentran circunscritas en los niveles jerárquicos superiores al problema.

Un sistema, y en particular un sistema ecológico, representa algún nivel en una jerarquía. El sistema está compuesto de subsistemas, siendo el 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 observa (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 a 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 un predio 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 comportan holocenósicamente y que, como tales, no pueden ser resueltos merológicamente. Dentro de esta categoría se encuentra el ecosistema predial 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 relacionado con problemas prediales, 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 realizados a nivel predial. Estos estudios permitirían integrar los resultados provenientes de investigaciones analíticas en planteamientos sintetizadores tendientes a utilizar el gran acopio de información ya existente.

El nivel de complejidad y jerarquía de la unidad de la naturaleza que se estudia 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 tal manera que se apliquen 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.

El alejamiento del nivel de complejidad y jerarquía del problema que se pretende resolver aleja las probabilidades de solución. Un problema o un sistema de problemas, como es el caso de lo que ocurre con el predio debe ser resuelto al nivel de complejidad propio del sistema al cual se centra, lo cual corresponde al del ecosistema-origen. La resolución de partes del problema a niveles jerárquicos y de complejidad inferiores al del problema que se pretende resolver contribuye en escasa medida a la resolución del problema global, a no ser que ello sea necesario para resolver algún problema complementario al problema central. Lo mismo es válido cuando el nivel de resolución está en jerarquías y complejidades superiores al del ecosistema-centro u origen.

En agricultura, esta situación ha sido la tradicional. Los problemas del campo, dada su incidencia en la economía y sociología general del país se han planteado jerárquicamente a niveles nacionales, continentales y mundiales, ya que han sido estudiados, generalmente, dentro de un contexto macroeconómico y social. Se propone como primer nivel jerárquico el metafísico

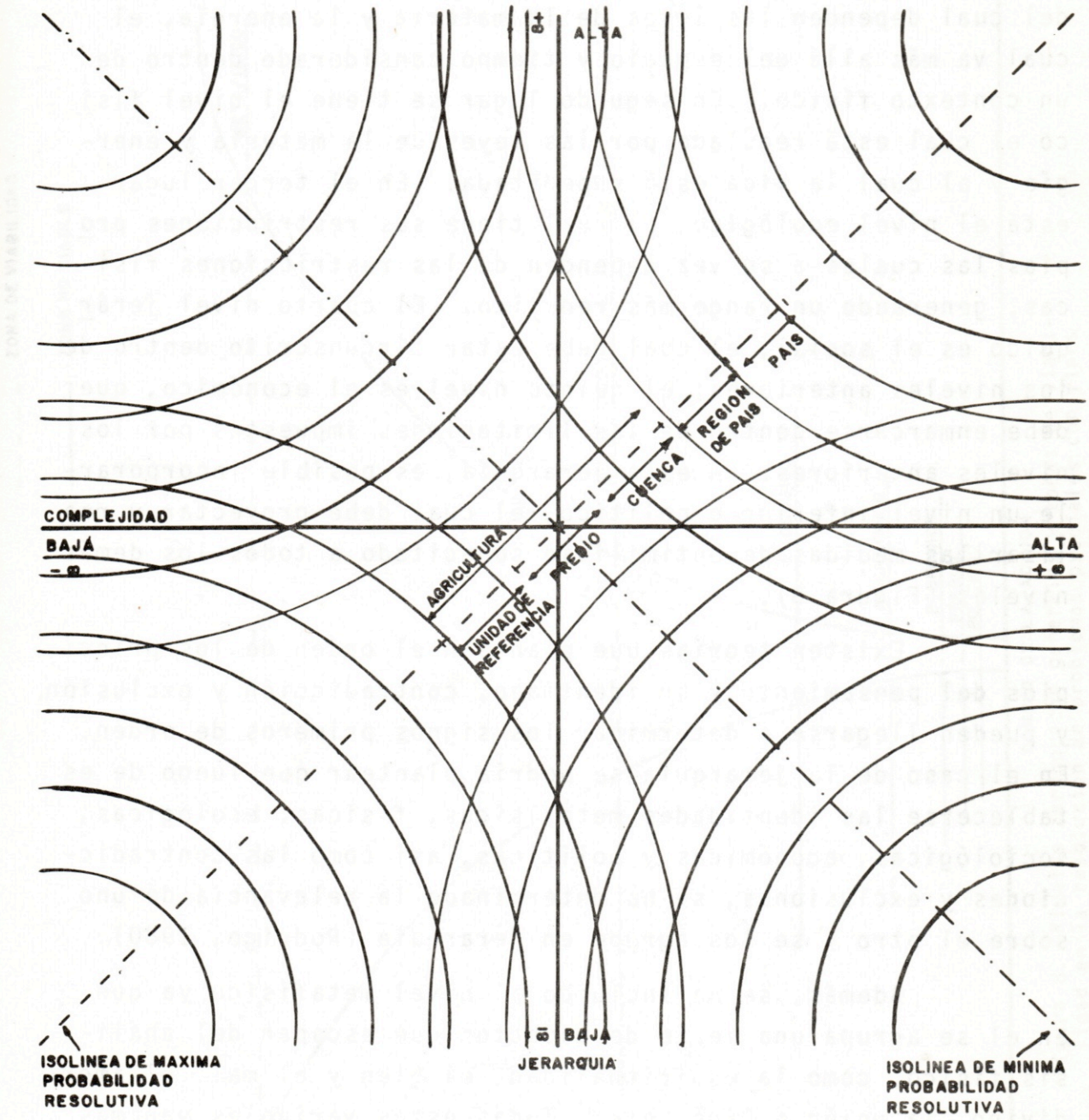


Figura 7. Representación de las relaciones de nivel de complejidad y jerárquico en la resolución de problemas prediales.

del cual dependen las leyes de la materia y la energía, el cual va más allá del espacio y tiempo considerado dentro de un contexto físico. En segundo lugar se tiene el nivel físico el cual está regulado por las leyes de la materia y energía y al cual la vida está supeditada. En el tercer lugar está el nivel ecológico, el cual tiene sus restricciones propias las cuales a su vez dependen de las restricciones físicas, generando un rango más reducido. El cuarto nivel jerárquico es el social, el cual debe estar circunscrito dentro de los niveles anteriores; el quinto nivel es el económico, que debe enmarcarse dentro de las limitaciones impuestas por los niveles anteriores. A esta jerarquía, es posible incorporarle un nivel inferior o político, el cual debe proyectar y realizar las medidas de optimilidad supeditado a todos los demás niveles (Figura 8).

Existen teorías que plantean el orden de los principios del pensamiento y su identidad, contradicción y exclusión, y pueden llegarse a determinar los signos primeros de orden. En el caso de la jerarquía se podría plantear que luego de establecerse las identidades metafísicas, físicas, ecológicas, sociológicas, económicas y políticas, así como las contradicciones y exclusiones, se ha determinado la relevancia de uno sobre el otro y se los agrupe en jerarquía (Rodrigo, 1980).

Además, se ha incluido al nivel metafísico ya que en el se agrupa una serie de aspectos que escapan del análisis físico, como la espiritualidad, el bien y el mal, el amor divino, la unión a Dios, etc. Todas estas variables van más allá del problema insoluble de la física de hoy, de la relatividad del tiempo y del espacio. Laplace plantea un espíritu del mundo que lo penetra enteramente en un momento y sostiene la materia y energía a través de su fuerza holística (Rodrigo, 1980).

En cada nivel se han desarrollado ciencias que se especializan en estudiarlo y entregan un marco teórico conceptual circunscrito a su nivel y en relación con los demás. Luego, se

--- ZONA DE VIABILIDAD
— ZONA NO VIABLE

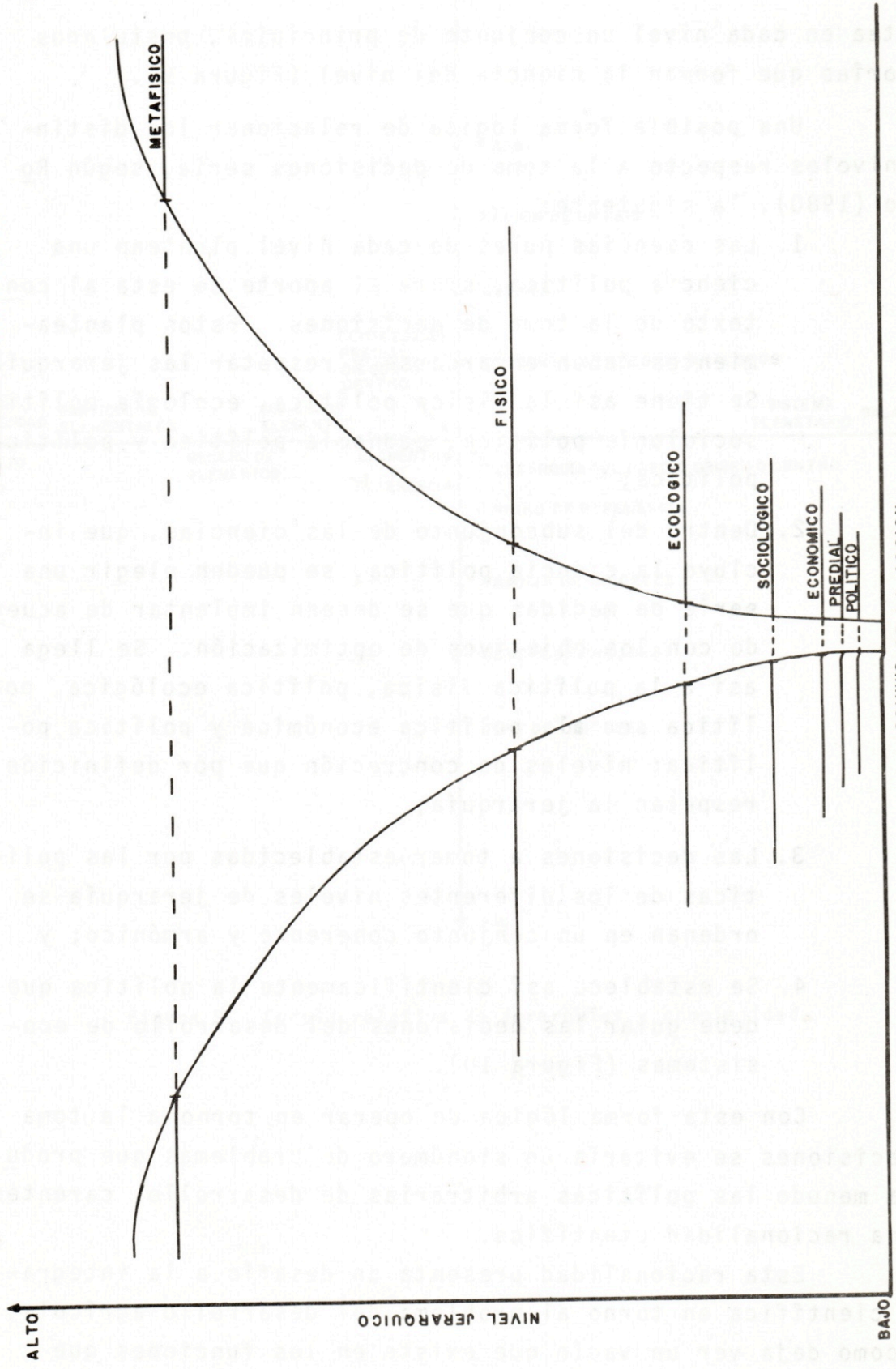


Figura 8. Niveles jerárquicos generales y zonas de viabilidad en la resolución de problemas prediales con fines de diseño.

plantea en cada nivel un conjunto de principios, postulados y teorías que forman la ciencia del nivel (Figura 9).

Una posible forma lógica de relacionar los distintos niveles respecto a la toma de decisiones sería, según Rodrigo (1980), la siguiente:

1. Las ciencias puras de cada nivel plantean una ciencia política, sobre el aporte de esta al con texto de la toma de decisiones. Estos planteamientos deben enmarcarse y respetar las jerarquías. Se tiene así la física política, ecología política, sociología política, economía política y política política;
2. Dentro del subconjunto de las ciencias, que incluye la ciencia política, se pueden elegir una serie de medidas que se deseen implantar de acuerdo con los objetivos de optimización. Se llega así a la política física, política ecológica, política social, política económica y política política; niveles de concreción que por definición respetan la jerarquía;
3. Las decisiones a tomar establecidas por las políticas de los diferentes niveles de jerarquía se ordenan en un conjunto coherente y armónico; y
4. Se establece así científicamente la política que debe guiar las decisiones del desarrollo de ecosistemas (Figura 10).

Con esta forma lógica de operar en torno a la toma de decisiones se evitaría un sinnúmero de problemas que producen a menudo las políticas arbitrarias de desarrollo, carentes de una racionalidad científica.

Esta racionalidad presenta un desafío a la integración científica en torno al problema del desarrollo agrícola, así como deja ver un vacío que existe en las funciones que

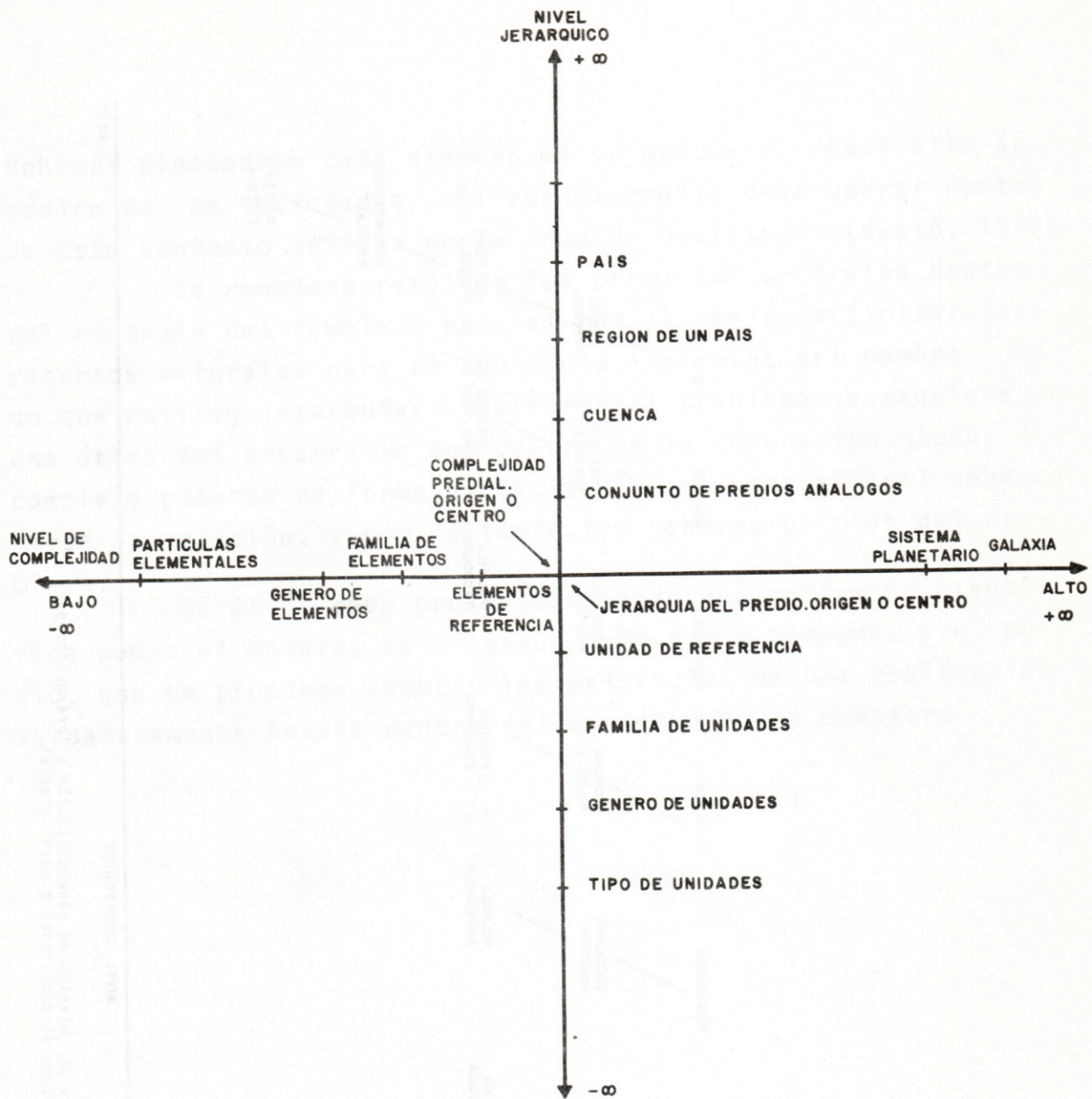


Figura 9. Escala relativa de jerarquías y complejidad

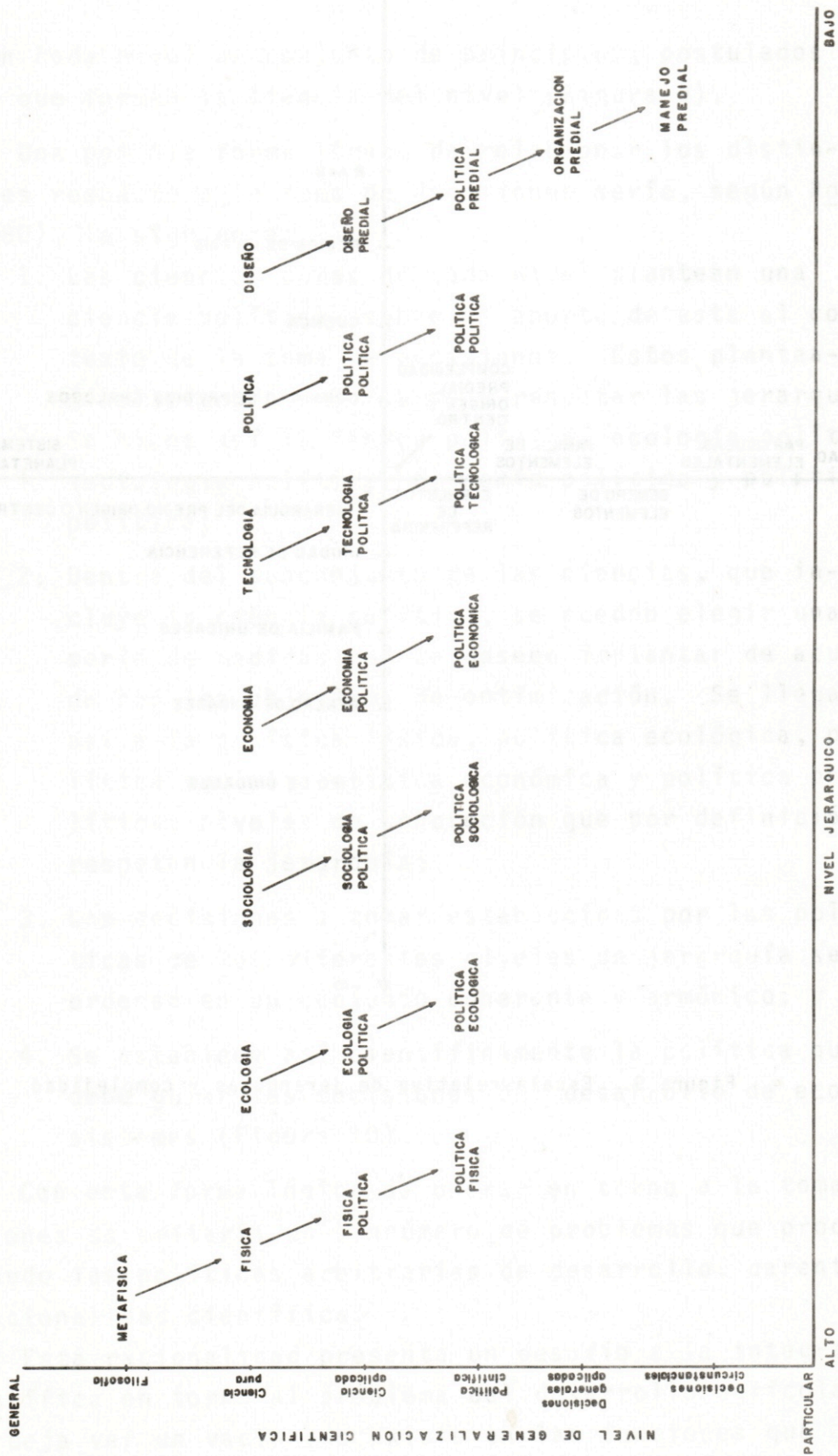


Figura 10. Niveles de generalización y Jerárquicos para la toma de decisiones a nivel predial.

debiera plantearse cada ciencia en su aporte al desarrollo armónico de las sociedades. El ecodesarrollo debe operar dentro de este contexto unitivo en la toma de decisiones (Gastó, 1979).

Se requiere resolver los problemas prediales dentro del contexto del complejo natural con el fin de optimizar los recursos naturales para el beneficio sostenido del hombre. Dado que existen jerarquías superiores al problema se requiere de una ética del desarrollo que dentro de la concepción global del complejo plantee en forma explícita los valores al cual debe ceñirse la solución, y por lo tanto los deberes propios del problema.

La ética debe presentarse como una reflexión científica sobre el hombre, considerado como ser y persona, y el medio, que se proponga deducir las exigencias de una realización verdaderamente humana dentro del contexto de la ecósfera.

PREDIO

Definición

El predio puede ser definido como un espacio de eco sistemas de recursos naturales renovables conectados interiormente y limitados exteriormente, cuyo fin es hacer agricultura.

Los conceptos básicos de esta definición que requieren ser analizados con mayor detalle son los siguientes: espacio, ecosistema, recurso natural renovable, conexión interior, limitado exteriormente, agricultura.

El término espacio se refiere a un volumen de recurso natural renovable, es decir a una superficie de ésta, ubicada en el límite entre la atmósfera y litosfera, de un espesor relativamente pequeño que abarca unos pocos metros sobre y bajo la superficie terrestre. La extensión horizontal del predio es también limitada. Su forma puede ser cualquiera, aunque usualmente es irregular. El predio es de un espacio definido tanto en su volumen como en su forma y ubicación. Ello implica, además, que este espacio es tridimensional y que, además está limitado. Su ubicación puede ser en cualquier lugar de la ecósfera.

El concepto de ecosistema, de acuerdo a la definición incluida en el presente estudio, indica que contiene componentes bióticos y abióticos conectados internamente y constituyendo una unidad. Los componentes bióticos son aquellos de la autotrofocenosis y de la heterotrofocenosis. Los abióticos son aquellos del ecotopo, tanto los correspondientes al medio edáfico como al atmosférico.

El ecosistema, dentro de este contexto, contiene conexiones entre los elementos que le integran, conexiones que permiten un flujo de materia, energía e información, entre ellos. Por claridad conceptual es conveniente distinguir dos tipos de partes en un predio: elementos y unidades. Una unidad contiene elementos de diversos tipos mientras que los elementos son sistemas en si. Ello le da la dimensión intrasistema, otra dimensión de ello son las interunidades, para lo cual se requiere establecer conexiones entre las diversas unidades que

constituyen al predio, lo cual permite la ocurrencia de flujos entre las diversas unidades de ecosistemas.

El recurso natural renovable es la naturaleza sometida a un grado de artificialización cero. Ello corresponde al recurso natural en la etapa sistemogénica correspondiente al tiempo t_i dado. El estado del recurso natural sin la intervención del hombre es usualmente cercano al clímax o algún estado avanzado de madurez sistemogénica.

Los recursos renovables, en oposición a los no renovables, tienden a converger en un mismo estado de equilibrio, el climásico. Los recursos no renovables, no tienden a reproducir el estado inicial de equilibrio. La cosecha de un recurso natural no renovable no estimula una génesis hacia el mismo estado inicial. El predio está constituido por un conjunto de unidades de ecosistemas de recursos naturales renovables, lo cual le da un carácter dinámico y convergente, estableciendo la necesidad de manejar esta dinámica de tal forma que se llegue al estado de equilibrio de mayor interés antrópico.

El predio, por representar un espacio conteniendo recursos renovables, debe ser diseñado para que permita la conservación del recurso de tal manera que retorne a su óptimo. El objetivo de la organización predial es hacer agricultura, lo cual necesariamente implica destruir o degradar algunos elementos. Esta retrogradación debe venir acompañada del tiempo y estímulos necesarios para permitir que la génesis del sistema conduzca al predio nuevamente a su estado óptimo.

Agricultura ha sido definida 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. El término agricultura, en el ecosistema predial se emplea en sentido amplio, que se refiere a cualquier recurso natural, incluyendo sistemas forestales, dulceacuícolas, marinos, pratenses, desérticos, o cualquier otro (Gastó, 1979).

Las unidades prediales están conectadas entre sí, a través de conexiones más fuertes que las extra prediales. En esta forma se tiene que el flujo de materia, energía e información entre las unidades del predio es mayor que el que ocurre entre éstas y el exterior. El límite externo del predio puede ser real o virtual, y discreto o gradual, pero en cualquier caso, las conexiones intraprediales deben ser más fuertes y de mayor flujo que las extraprediales.

De una manera más formal el predio puede representarse como caracterizado por un vector cuádruple denotado por:

$$P = (S, \Sigma_T, \Phi, O_a)$$

con:

$S = L^3 \times T$, espacio-tiempo físico,

Σ_T = conjunto de unidades de ecosistemas de recurso natural renovable,

Φ = relaciones de flujo del predio con su exterior e intraunidades,

O_a = vector de respuesta predial (O) dependiente del grado de artificialización (a) del predio,

tal que satisfaga las siguientes propiedades:

i.- Φ intrapredial $>$ Φ interpredial

ii.- $a > 0$ y $O \geq 0$

La definición de agricultura puede expresarse de la manera siguiente:

$$A = \{ \Pi_a : \Sigma_i \rightarrow \Sigma_j, d_j(q) \leq d_i(q) \}$$

para un E^* dado y $a > 0$

con:

$$d(q) = \{ (x-x^*)^q + (y-y^*)^q \}^{1/q} \quad \text{con } x, y \in E; x^*, y^* \in E^* \text{ para cualquier valor de } q > 0;$$

E^* = representa el estado óptimo definido con un criterio dado;

Π_a = conjunto de operadores de transformación para un grado de artificialización a ;

Σ = un ecosistema arbitrario de recursos naturales renovables;

a = índice de artificialización que supone que si $a_1 > a_2$
 $\implies a_1$ representa un grado mayor de artificialización

Elementos y unidades

En el proceso de organización y diseño de predios, se requiere conocer en detalle cada una de sus partes, de tal manera que se comprenda el sistema y los acontecimientos y procesos que en él ocurren, y en esta forma proponer transformaciones y mejoras (Figura 11).

Dado que en el predio, existen estructuras y superestructuras de gran tamaño, y complejidad y diversidad no puede pretenderse realizarse estudios detallistas completos, hasta llegar a las partículas elementales más simples que la tecnología moderna permita analizar, o hasta las unidades más pequeñas que sea posible de dividir el predio. Ello sería un esfuerzo enorme, el cual en muchos casos no se justificaría y la información que de ello se lograra no sería de utilidad ni para comprender el funcionamiento predial ni para optimizar su organización y diseño.

El estudio de las partes de un ecosistema predial debe hacerse en dos dimensiones: una de complejidad y otra de jerarquía. La dimensión relacionada con la complejidad predial se refiere a la acepción tradicional del concepto (Nava, Armijo y Gastó, 1979). Los elementos contenidos en cada una de las unidades de referencia se descomponen o analizan hasta el nivel que se considere apropiado de acuerdo al problema que se desee resolver. El proceso opuesto también se efectúa, es decir, el de combinar o efectuar la síntesis de los elementos analizados. Este proceso de análisis y síntesis se

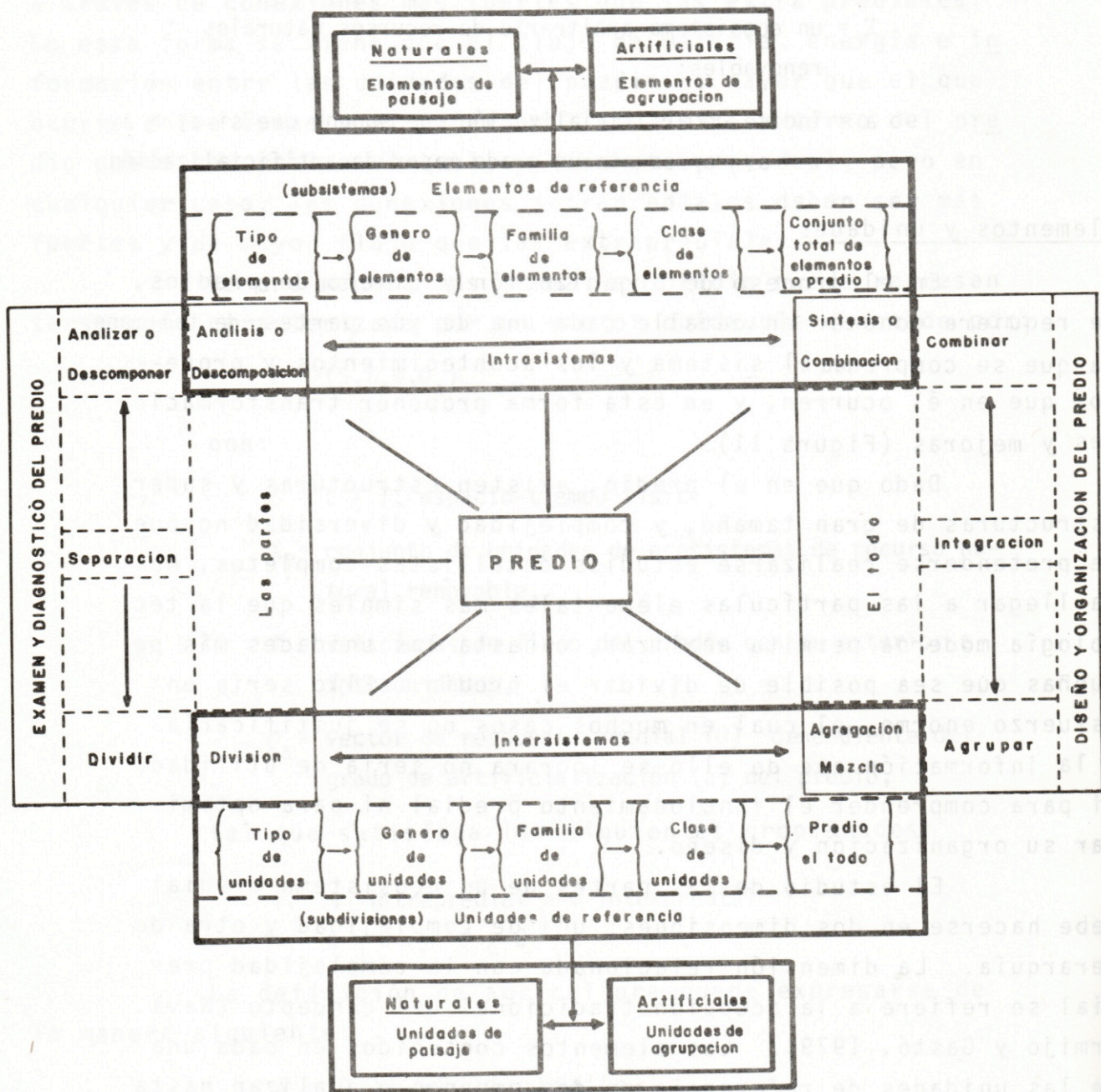


Figura 11. Esquema conceptual general de la separación e integración de los elementos y unidades del predio.

efectúa con el propósito de determinar el grado de complejidad que deben contener los elementos de referencia con que se trabaje.

El análisis debe planearse dentro del contexto del nivel de complejidad correspondiente al nivel del ecosistema-origen, donde se sitúa el predio. La acumulación de información excesiva en relación a la composición predial se transforma a la larga en un obstáculo para la resolución del problema. El análisis excesivo contribuye a un desmenuzamiento del problema hasta niveles tales, que a la larga sólo contribuyen a hacer perder la visión de conjunto al alcanzarse una excesiva acumulación de datos, lo cual, en investigación científica se conoce como datismo (Bunge, 1969).

En el análisis predial, debe procederse en la primera etapa a buscarse el nivel de complejidad al cual se está trabajando, el cual corresponde al del ecosistema-origen, al nivel predial. El ecosistema-origen consta de cinco subsistemas, los cuales deben conocerse y describirse en todos sus detalles relevantes al nivel de complejidad del sistema predial.

Cada uno de los subsistemas contiene a la vez un conjunto de partes esenciales, las cuales deben ser conocidas en sus atributos. Estas partes esenciales pueden a la vez ser descompuestas aún más, para conocer los elementos que las integran. Cada una de estas descomposiciones significa llegar a niveles inferiores de complejidad con lo cual se avanza en el conocimiento de la estructura interna de los elementos que constituyen el predio, pero se aleja del problema mismo. La información que se logra tiende a ser cada vez de menor relevancia para la resolución del problema predial global.

En el análisis y síntesis del predio, con el fin de estudiar los elementos que le componen, debe definirse el elemento de referencia que sea de mayor conveniencia estudiar en el predio. Dado que es factible estudiar las estructuras a niveles de complejidad alto o bajo, el nivel de -

complejidad que se elija para el análisis predial constituye el elemento de referencia, es decir, que el elemento de referencia puede ser cualquier estructura. Los elementos de referencia de mayor complejidad en que usualmente se descompone el predio son: biogeoestructura, socioestructura, entorno, sistemas internos incidentes y entorno. Cada uno de ellos, a la vez se descomponen en elementos de referencia de menor complejidad.

No basta analizar el predio para conocerlo en detalle, pues se requiere, además, dividirlo en cada una de las unidades que se agrupan de tal forma que se constituya el todo. El predio puede dividirse en unidades de referencia, las cuales pueden corresponder a cualquier nivel jerárquico de la unidad, que en los niveles inferiores corresponde a un espacio uniforme y muy pequeño de una encierra o bien, hasta el potrero completo o conjunto de potreros.

Las unidades mayores de referencia pueden, a la vez, subdividirse en unidades menores que presentan una mayor uniformidad interna y, así sucesivamente. Estas subdivisiones pueden continuarse hasta niveles menores aún, hasta llegar a un límite en que la subdivisión se transforma en descomposición. Es decir, cuando el sistema empieza a perder su unidad y se separan los elementos que la integran, con lo cual deja de ser ecosistema.

En la organización y diseño predial se requiere a menudo agrupar o dividir en unidades de manejo diversas unidades de referencia, de tal manera que se logren superficies de tamaño compatible con el tamaño total del predio. Este agrupamiento permite manejar simultáneamente sectores contiguos que presentan características diferentes, con lo cual la organización global de predio puede mejorar considerablemente, aunque cada una de las unidades no se encuentre en su óptimo.

Sea cual fuere la situación, en un predio usualmente existen unidades de referencia que no coincidan con las unidades de agrupación. Dicho en otros términos, equivale a afirmar

que las divisiones naturales no coinciden con las artificiales, lo cual presenta sus ventajas e inconvenientes desde un punto de vista de funcionamiento del ecosistema y del manejo del predio considerado con un objetivo antrópico.

En la definición de ecosistema se considera que los componentes bióticos y abióticos que integran una unidad están conectados entre sí y que conexión en cualquier sistema significa transporte de masa, energía e información. Los elementos que constituyen un ecosistema cualquiera están conectados de tal manera que constituya un todo. Dentro de este contexto las conexiones permiten integrar los elementos de referencia dentro de cada unidad.

Existe, en un predio, otra modalidad de conexión que es el agrupamiento de unidades de referencia en unidades mayores y de conjuntos de éstas. Estas conexiones permiten el flujo de masa, energía e información desde una unidad de referencia a otra de manera que actúen como un todo.

Las conexiones de combinación y agrupamiento de elementos y unidades de un predio pueden ser naturales o artificiales, de tal forma que se logre un diseño que permita optimizar la organización predial (Figura 12), a través de la optimización de las conexiones y de las unidades de agrupación.

Límites y posición

Dentro del esquema de separación de las partes del predio en dos dimensiones, una de complejidad y otra de jerarquía se establecen niveles de estudio. La complejidad de los elementos que se distinguen puede variar entre extremos muy amplios, denominándose a cualquiera de las estructuras que se elijan como elementos de referencia. En igual forma ocurre con la dimensión jerárquica, cuyas unidades también varían entre extremos muy amplios, rango cuyas unidades se denominan análogamente, unidades de referencia.

Cada uno de estos ejes puede dimensionarse en forma discreta, en cuyo caso debe definirse explícitamente

		DESCOMPOSICION DE ELEMENTOS					Familia	
		INTRAPREDIAL			EXTRAPREDIAL			Genero
		BIOGEOESTRUCTURA	TECNOESTRUCTURA	SOCIOESTRUCTURA	ENTORNO	INCIDENTES		
DIVISION DE UNIDADES	FAMILIA B DE UNIDADES	UNIDAD B - 2						
		UNIDAD B - 1						
	FAMILIA A DE UNIDADES	UNIDAD A - 3						
		UNIDAD A - 2						
		UNIDAD A - 1						
		UNIDAD A - 1						

Figura 12. Esquema general de la descomposición y división predial en elementos y unidades.

los límites entre las clases. En el caso de las unidades puede establecerse en forma general una gradiente de elementos que va desde menor complejidad hasta una mayor complejidad en los cuales se van agrupando los conjuntos de elementos de la clase menor, y así respectivamente.

Con el propósito de sistematizar el problema, los elementos de referencia pueden denominarse en la siguiente forma, respectivamente ordenados, de acuerdo a su mayor complejidad: tipo de elemento, elemento, género de elementos, familia de elementos, clase de elementos, y conjunto total de elementos o predio.

La posición espacial de los elementos en el sistema, usualmente recibe escasa atención o bien es simplemente irrelevante, por lo cual frecuentemente se ignora. A pesar de ello es en general conveniente hacer esta descripción, lo cual se logra a través de la arquitectura del sistema. Es, a menudo, conveniente describir el arreglo topológico de los elementos y su tamaño n , lo cual corresponde a la descripción de la arquitectura (Nava, Armijo y Gastó, 1979). En diversos estudios se ha descrito la arquitectura de la fitocenosis, lo cual permite conocer mejor su funcionamiento y eventualmente optimizarlo (Shinozaki *et al*, 1964; Gastó y Olivares, 1979; López, Gastó y Nava, 1981). La arquitectura del edafotopo se describe también al realizarse perfiles del suelo. También es factible describir la zoocenosis.

La descripción de la arquitectura de los elementos del sistema puede hacerse a cualquiera de los niveles de complejidad de las unidades de referencia. Las descripciones, excesivamente detallistas que llegan hasta los elementos más simples, a menudo son redundantes o le dan una complejidad excesiva a éste, lo cual dificulta su solución. Se requiere establecer límites definidos entre los elementos y conjuntos de elementos requeridos para la descripción de la complejidad del sistema predial.

En una primera etapa se realiza el análisis de los elementos de cada una de las unidades del sistema a través de

un examen detallado de éstos. Luego, una vez descrito y comprendido el problema, se procede a establecer los límites entre cada una de las unidades de referencia de acuerdo a la naturaleza del problema y de la solución esperada. Para la resolución del problema se requiere realizar luego, la síntesis de los elementos analizados construyendo ad hoc los conjuntos de elementos que permitan optimizar la solución, lo cual implica necesariamente establecer rangos y clases de complejidad.

La descripción de los elementos y su complejidad debe tener una dimensión de tamaño del elemento (η) en sus variables de masa, energía e información, y otra dimensión de posición espacial o arreglo topológico (σ). En este contexto se aplican los conceptos analizados por Nava, Armijo, y Gastó, (1979). El arreglo topológico debe formalizarse en una dimensión espacial tridimensional.

En la dimensión jerárquica se requiere describir su posición espacial y los límites, tanto del predio como un todo, como asimismo de cada una de las unidades de referencia. La localización espacial del predio debe establecerse formalmente desde un punto de vista de la posición geográfica general, como asimismo, de su dimensión topológica espacial, en relación a su posición tridimensional que describa su espacio.

Su ubicación espacial se establece en base a un sistema de coordenadas que determinan su posición en términos de latitud, longitud y altitud (Figura 13). Ello permite posteriormente establecer relaciones con puntos de interés conectados o conectables en alguna forma con éste; es decir, se establece la relación entre el sistema interno o predio con los sistemas externos incidentes. Además, permite posteriormente describir la trayectoria espacio-temporal del predio. Estos puntos pueden referirse a mercados posibles para los egresos del predio o bien a fuentes susceptibles de proveer los estímulos requeridos para el normal funcionamiento predial.

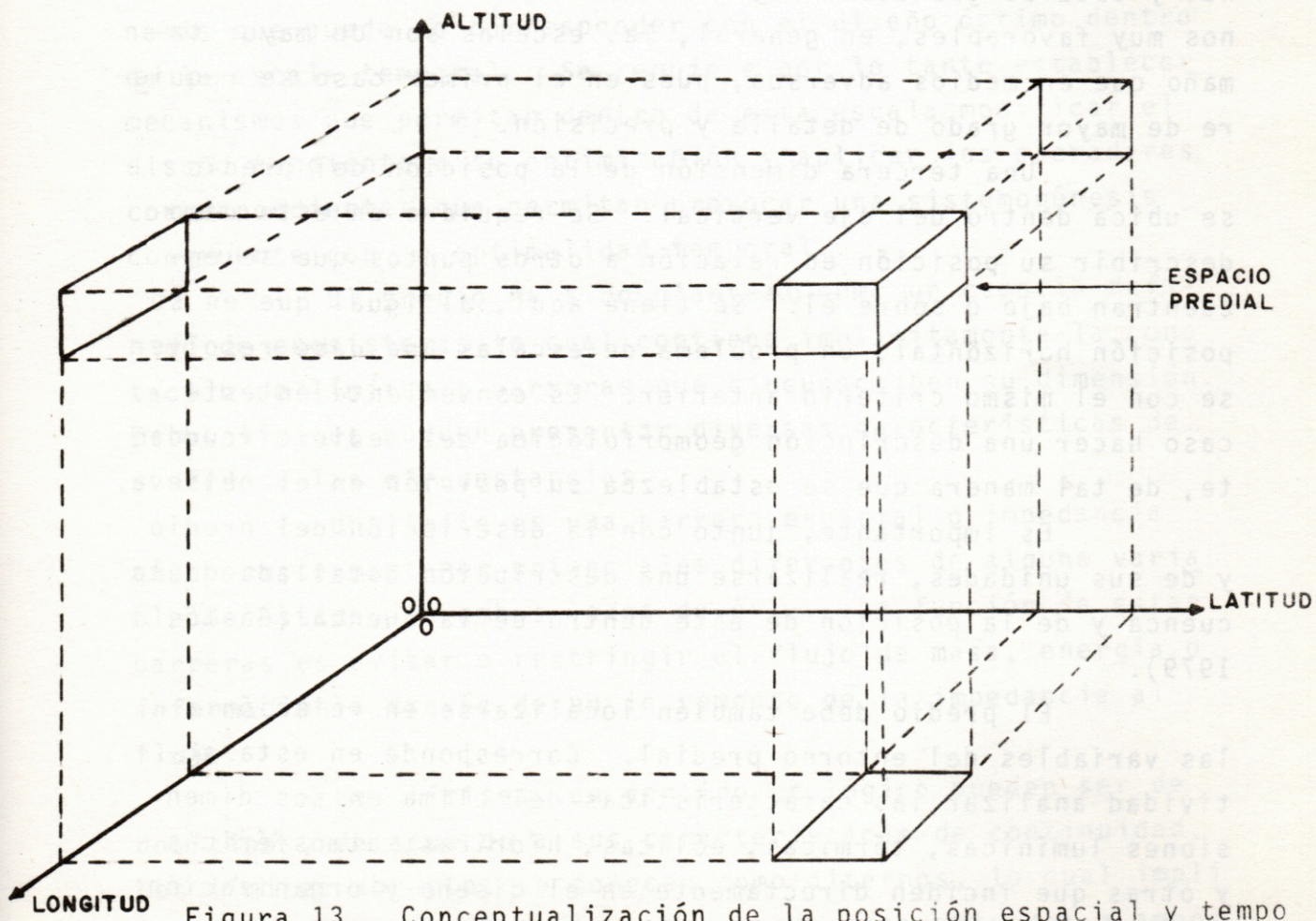
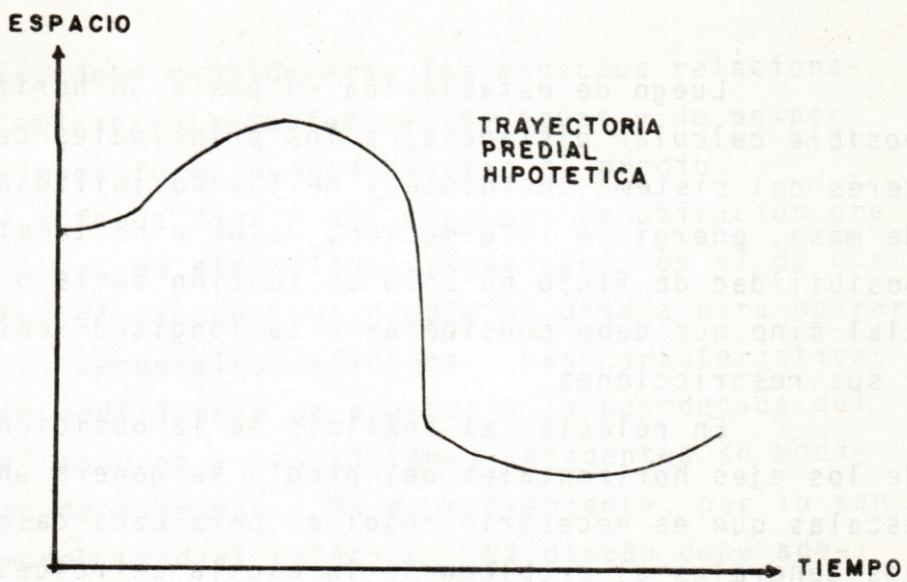


Figura 13. Conceptualización de la posición espacial y temporal del predio. Para cada posición se tiene un estado diferente.

Luego de establecida su posición horizontal es posible calcular distancias a los principales centros de interés del sistema incidente y de las posibilidades de flujo de masa, energía e información, desde o hacia el predio. La posibilidad de flujo no sólo es función de la distancia espacial sino que debe considerarse la longitud real de las vías y sus restricciones.

En relación al análisis de la posición espacial de los ejes horizontales del predio se genera un problema de escalas que es necesario resolver para cada caso. En términos generales el problema de la escala se resuelve modificándola de acuerdo a la distancia desde el punto al predio. En general se emplean escalas pequeñas cuando se analiza su ubicación a nivel nacional; escalas intermedias a nivel regional y escalas grandes o muy grandes a nivel local. En entornos muy favorables, en general, las escalas son de mayor tamaño que en medios adversos, pues en el primer caso se requiere de mayor grado de detalle y precisión.

Una tercera dimensión de la posición del predio se ubica dentro del eje vertical. Se requiere en este caso describir su posición en relación a otros puntos que se encuentran bajo o sobre él. Se tiene aquí, al igual que en su posición horizontal, un problema de escalas que debe resolverse con el mismo criterio anterior. Es conveniente en este caso hacer una descripción geomorfológica del medio circundante, de tal manera que se establezca su posición en el relieve.

Es importante, junto con la descripción del predio y de sus unidades, realizarse una descripción detallada de la cuenca y de la posición de éste dentro de la cuenca (Gastó, 1979).

El predio debe también localizarse en relación a las variables del entorno predial. Corresponde en esta actividad analizar las características del clima en sus dimensiones lumínicas, térmicas, eólicas, hídricas, atmosféricas y otras que inciden directamente en el diseño y organización

predial. Además, debe considerarse los aspectos relacionados con la contaminación atmosférica, de aguas y de desperdicios que en alguna forma pueden afectar al predio.

Otro enfoque dentro del contexto de ubicación predial, además de las tres dimensiones espaciales, es el de una cuarta dimensión, el tiempo. Un predio se diseña para operar dentro de límites temporales definidos. Las características del diseño deben modificarse de acuerdo a la coordenada del tiempo ya que el entorno y los sistemas incidentes se modifican a lo largo de este eje. No es conveniente, por lo tanto diseñar un modelo predial estático. El diseño debe adecuarse a cada instante dado y dentro de límites definidos.

Además de la variación del medio circundante al predio en lo relacionado con el entorno y los sistemas incidentes, el predio en sí presenta internamente una sistemogénesis que puede no corresponder con el diseño óptimo dentro de la escala temporal. Se requiere por lo tanto establecer mecanismos que permitan dentro de esta escala modificar el diseño tendiente a su optimización y aplicar los operadores correspondientes que permitan provocar una sistemogénesis congruente con la optimalidad temporal.

El predio ha sido planteado como un espacio definido de ecosistemas lo cual contiene implícitamente la conotación de límites o barreras que circunscriben su dimensión. Estos límites pueden presentar diversas características de acuerdo a las circunstancias.

Un límite es una barrera espacial o impedancia que permite mantener potenciales diferentes de alguna variable de estado, en ambos lados de éste. La función de estas barreras es evitar o restringir el flujo de masa, energía o información a través de un incremento de la impedancia al flujo.

Los límites, en sentido ecológico pueden ser de dos tipos, de acuerdo a sus características de continuidad. Los límites abruptos se conocen como alternos, lo cual implica una transición discreta entre dos puntos ubicados a ambos

costados de la barrera. Tal es lo que ocurre, por ejemplo, con la distribución del ganado cuando éste se encuentra limitado por una cerca, o en la distribución del agua, cuando esta se encuentra contenida en un estanque impermeable.

Los límites prediales raramente son discretos; usualmente son continuos, con la característica de ajustarse a transiciones graduales en el espacio y en el tiempo. En este caso se denominan ecotonos, haciéndose referencia a las tonalidades o gradaciones del cambio.

En la prácticas, los tipos de límites pueden ser cuatro:

Ambiente continuo	-	límite gradual
Ambiente continuo	-	límite discreto
Ambiente discreto	-	límite continuo
Ambiente discreto	-	límite discreto

Los mecanismos que constituyen barreras o impedancias prediales o entre unidades pueden ser de tres tipos - principales: abióticos, bióticos y psíquicos. Entre los del primer grupo se destacan los obstáculos naturales que separan sistemas. Entre ellos cabe destacar, a manera de ejemplo, los ríos que separan dos áreas de tierra, los mares y lagos que limitan islas, penínsulas o superficies de tierra y los acantilados que provocan una discontinuidad fisiográfica. Entre las barreras de origen biológico se tiene los cercos vivos que impiden el paso de animales o gente, las cortinas cortaviento que reducen el paso de masas de aire, los perros guardianes que ocupan un territorio impidiendo el paso de otros organismos de su especie o de otros al territorio por el ocupado. Entre las barreras psíquicas se tienen las normas escritas que establecen prohibiciones o regulaciones que restringen el movimiento de las personas más allá de ciertas líneas o puntos, la territorialidad de algunos animales y plantas que controlan ciertas áreas y las tradiciones regionales que restringen el flujo de organismos a ciertos territorios.

En relación a la naturaleza de las barreras se tienen las naturales, es decir las que existen o han existido sin la acción del hombre y las artificiales, que son aquellas construídas por la acción del hombre. Estas últimas pueden ser tecnoestructuras como ocurre con una barda, o biogeoestructuras como ocurre con un cerco vivo o un río.

Existe una relación geométrica definida entre volumen del espacio predial y sus límites. Dado que los límites son de importancia en relación al grado de control predial, lo cual afecta su organización, es necesario establecer relaciones de optimización entre ambos y, de acuerdo al diseño predial. Estas relaciones deben considerar los siguientes aspectos:

Volúmen del espacio predial - perímetro predial
Perímetro predial - resistencia al flujo

En forma análoga a los límites prediales debe establecerse límites entre las unidades de referencia. Dado que las unidades de referencia pueden ser de distinta jerarquía, la naturaleza del límite entre dos unidades, debe ser igualmente de diferentes jerarquías.

ELEMENTOS

Elementos de referencia

Es factible hacer una primera descomposición del ecosistema origen a nivel predial en dos grandes conjuntos exhaustivos y mutuamente excluyentes de elementos:

internos (E_I), y
externos (E_X)

En una primera aproximación se establecen relaciones de potenciales y de flujo entre los elementos internos, a través de las conexiones del predio con el exterior.

Los elementos internos pueden subdividirse en:

biogeoestructura (E_{b_i})
socioestructura (E_{h_i}), y
tecnoestructura (E_{n_i})

Los elementos externos, a su vez se subdividen en:

sistemas externos incidentes (E_{c_i}), y
entorno (E_{e_i})

El ecosistema - origen es el elemento básico de estudio, el cual constituye el predio, cuya complejidad puede ser analizada como el producto de la combinación de estos cinco subsistemas, contruidos por un tipo de complejidad dado por la unidad de referencia. En base a lo anterior, el ecosistema se puede considerar como:

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

tal que los componentes estén concentrados entre sí de tal manera que el conjunto actúe como una unidad (Figura 14).

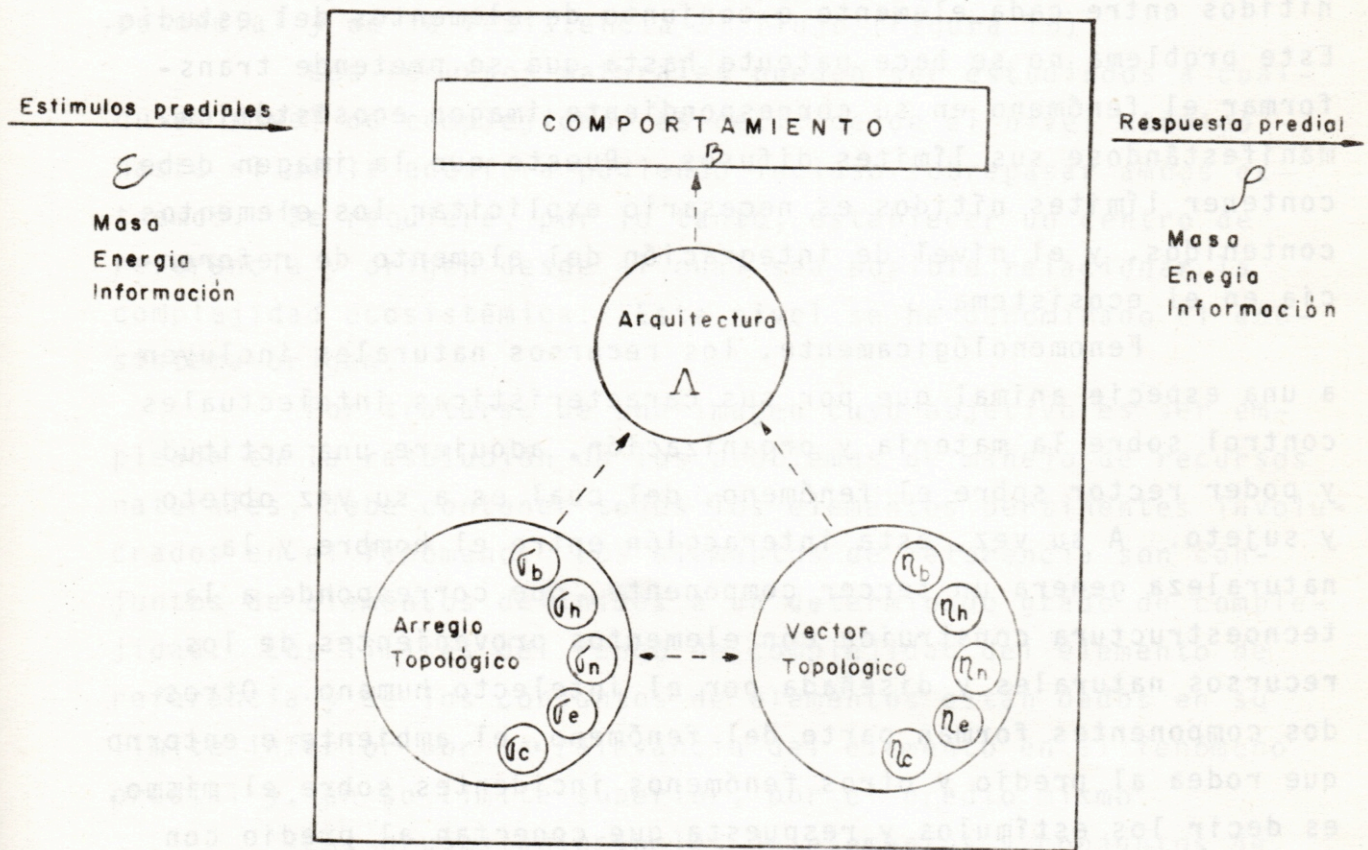


Figura 14. Representación conceptual del ecosistema-origen y sus elementos que le componen.

El predio como fenómeno, puede ser representado en su imagen o modelo que está dada por el ecosistema. Los fenómenos, tal como se presentan en la naturaleza, se manifiestan en forma difusa, por lo cual no es posible establecer límites nítidos entre cada elemento o conjunto de elementos del estudio. Este problema no se hace patente hasta que se pretende transformar el fenómeno en su correspondiente imagen ecosistémica, manifestándose sus límites difusos. Puesto que la imagen debe contener límites nítidos es necesario explicitar los elementos contenidos, y el nivel de integración del elemento de referencia en el ecosistema.

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. A su vez, esta interacción entre el hombre y la naturaleza genera un tercer componente, que corresponde a la tecnoestructura construida con elementos provenientes de los recursos naturales y diseñada por el intelecto humano. Otros dos componentes forman parte del fenómeno, el ambiente o entorno que rodea al predio y otros fenómenos incidentes sobre el mismo, es decir los estímulos y respuesta que conectan al predio con el exterior, y que constituyen los sistemas externos incidentes.

El predio no es un sistema cerrado, caracterizándose por su grado de apertura y conexiones con el exterior. Los sistemas incidentes entregan aportes naturales al predio o bien se reciben importaciones desde el exterior, provenientes desde otros sistemas o predios. En ambos casos existe un flujo de masa, energía e información estimulado por una diferencia de potenciales y restringido por los mecanismos de resistencia al flujo.

Los egresos del predio, pueden ocurrir en forma natural hacia la ecósfera y se denominan pérdidas, o bien dirigidos

hacia otros predios o sistemas, lo cual corresponde a las exportaciones. La tasa de flujo desde el predio hacia el exterior depende, al igual que en los aportes, de la diferencia de potencial y de la resistencia al flujo (Figura 15).

Los recursos naturales pueden ser estudiados a cualquier nivel de complejidad, es decir desde el nivel atómico hasta el de la ecósfera pudiendo incluso sobrepasar ambos extremos. Se requiere, por lo tanto, establecer un centro de referencia y origen desde el cual sea posible relacionar la complejidad ecosistémica. Este nivel se ha denominado el ecosistema-origen.

Por tratarse de una imagen cuyo objetivo es ser empleada en la resolución de los problemas de manejo de recursos naturales, debe contener todos los elementos pertinentes involucrados en el fenómeno. Los elementos de referencia son conjuntos de elementos definidos a un determinado grado de complejidad. Los límites del rango de complejidad del elemento de referencia y de los conjuntos de elementos están dados en su límite inferior por la relevancia del elemento en el fenómeno predial y, en su límite superior, por el predio mismo.

Los grupos principales de elementos y conjuntos de elementos en que se descomponen los elementos de referencia del predio son, de mayor a menor, las siguientes:

- Clase,
- Familia,
- Genero, y
- Tipo.

Desde un punto de vista conceptual y funcional resulta preferible considerar al hombre como un elemento interno del ecosistema, el cual en alguna forma dirige, modifica y planifica las acciones que se pueden ejercer sobre el sistema, del cual espera una respuesta determinada. El concepto de ecosistema-origen parte de la necesidad de definir un nivel de organización e integración, que permita enmarcar los componen-

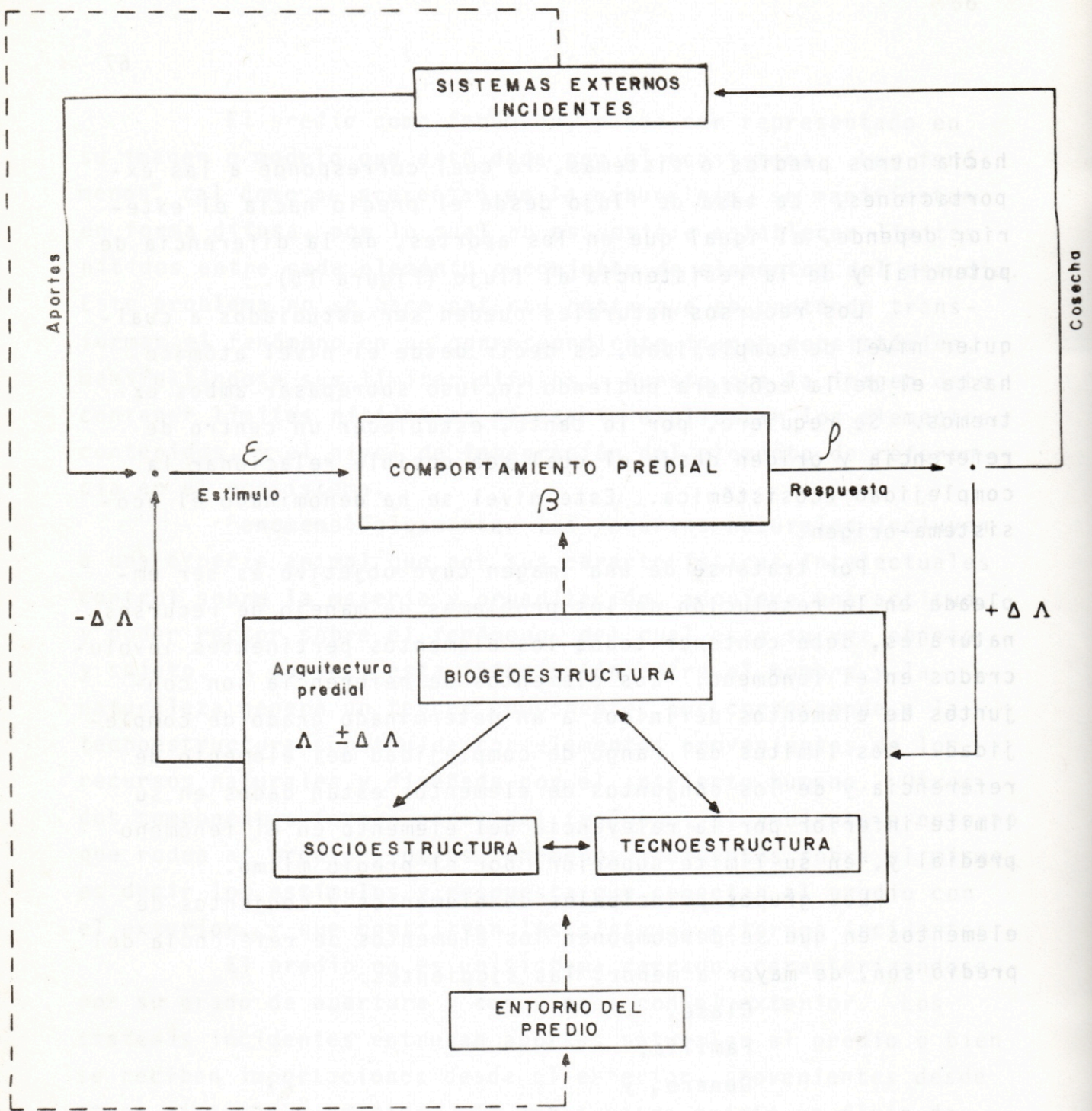


Figura 15. Géneros de elementos del ecosistema predial.

tes que caracterizan a los sistemas complejos en los que interviene el hombre. El ecosistema-origen puede ser considerado como la unidad básica de los recursos naturales en la que se centra la acción de cualquier disciplina.

Es posible, por lo tanto, definir el ecosistema-origen como la unidad ecológica básica, cuya complejidad es el producto de la integración de cinco elementos que son sistemas en sí: biogeoestructura, socioestructura, tecnoestructura, entorno-pre dial y unidades incidentes; constreñido por un tipo de complejidad dado por las unidades de paisaje.

Cada uno de los subsistemas anteriores está regido por las formas funcionales dadas por:

$$\rho^j = \rho(\varepsilon, \beta)$$

$$\beta^j = \beta(\varepsilon, \Lambda)$$

$$\Lambda^j = \Lambda(\eta, \sigma); \sigma = \sigma(\eta_1, \eta_2)$$

Estas ecuaciones generales determinan el estado del ecosistema origen (E_i^j) en términos de su estímulo ε , el comportamiento β , y su arquitectura Λ . En otras palabras el espacio de estado E_b , para el subsistema biogeoestructural, está determinado por $(\varepsilon_b, \beta_b, \rho_b)$ tales que satisfacen las ecuaciones anteriores. Similarmente para los espacios de estado E_h, E_n, E_e y E_c que denotan a las clases de elementos hombre organizado, tecnoestructura, entorno y unidades incidentes, respectivamente.

El espacio de estado del ecosistema origen E_i^j está determinado por:

$$E_i^j = E_b X E_h X E_n X E_e X E_c$$

con $j = 0$ expresando el nivel de complejidad origen o central (Figura 16).

La estructura del ecosistema-origen está definida por su nivel de complejidad, la cual a este nivel, se manifiesta con los cinco componentes descritos. La variación en el nivel de complejidad estructural implica cambios en el número y tipo de subsistemas involucrados, es decir, no todos los subsistemas se presentan en todos los niveles de complejidad y jerarquía (Figura 16).

La disminución de la complejidad, bajo este enfoque, puede lograrse a través de dos mecanismos diferentes. Uno de ellos es la reducción en el número de subsistemas que se consideran al generar la imagen. El otro mecanismo se refiere a la reducción del número de elementos contenidos en cada subsistema.

En la resolución de problemas prácticos relacionados con los recursos naturales se requiere en una primera etapa plantear el nivel de complejidad en que se deba trabajar y el tipo de arquitectura que mejor se adapte al problema práctico y optimizar, de esta forma, el nivel de resolución. Corrientemente este nivel de ubicación corresponde al ecosistema-origen.

La interacción de los elementos socioestructurales y con la biogeoestructura 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 de algunos componentes de la biogeoestructura, diseñados bajo el alero del intelecto humano como elemento rector de la transformación del recurso natural, genera las unidades tecnoestructurales. A manera de ejemplo de unidades tecnoestructurales se puede citar los caminos, redes eléctricas, casas habitaciones, bodegas, cercas y alambradas, tractores, bordos, represas, etc. (Figura 17).

Estas tres unidades estructurales, básicas en el manejo de los recursos naturales, están contenidas en otra unidad que corresponde al entorno o habitat predial que actúa como catalizador sobre el fenómeno y del cual es a su vez un componente.

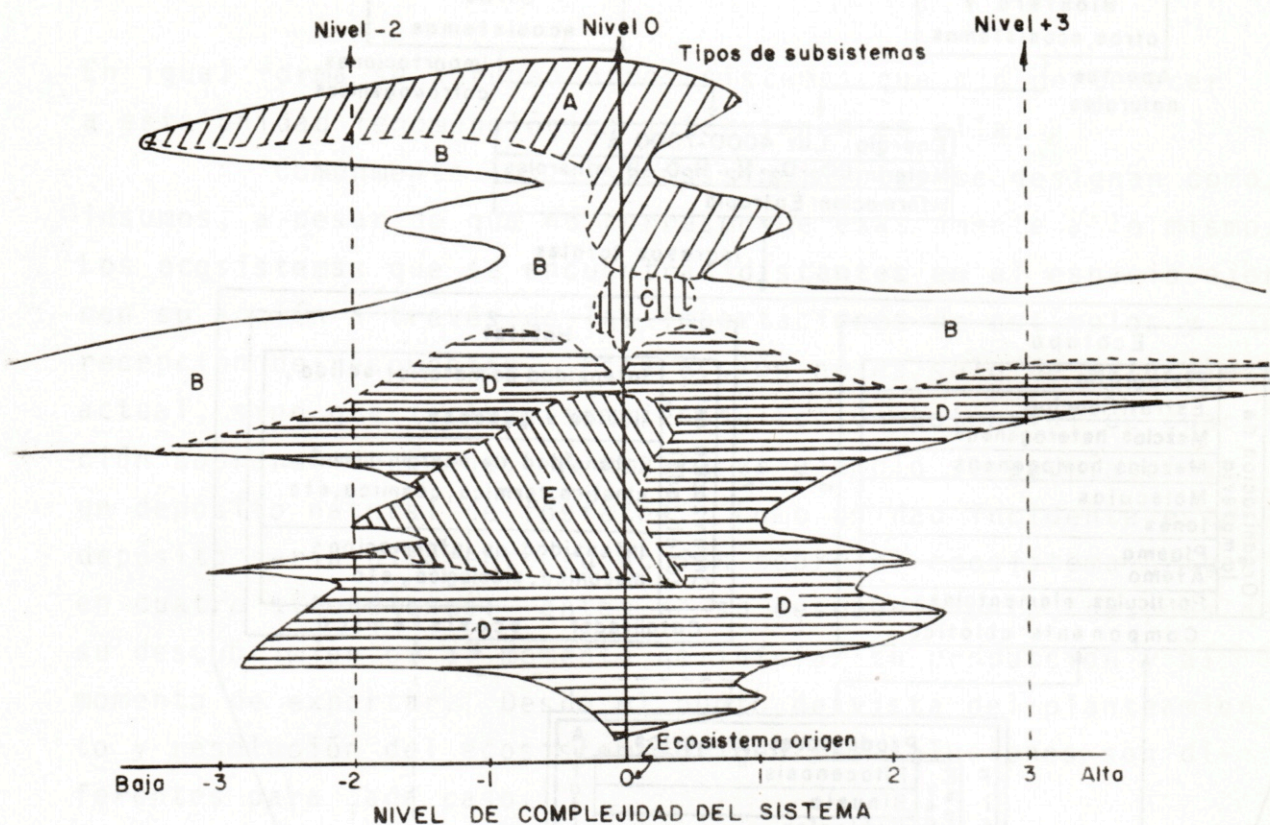


Figura 16. Relación entre nivel de complejidad y la definición de los diversos elementos de referencia que generan la unidad fenomenológica. Se muestran a manera de ejemplo tres niveles de complejidad de los cuales el nivel 0 contiene todos los conjuntos de elementos definidos en este capítulo: biogeoes-estructura, socioestructura, tecnoestructura entorno, y sistemas incidentes; las letras podrían representar a cualquiera de ellos.

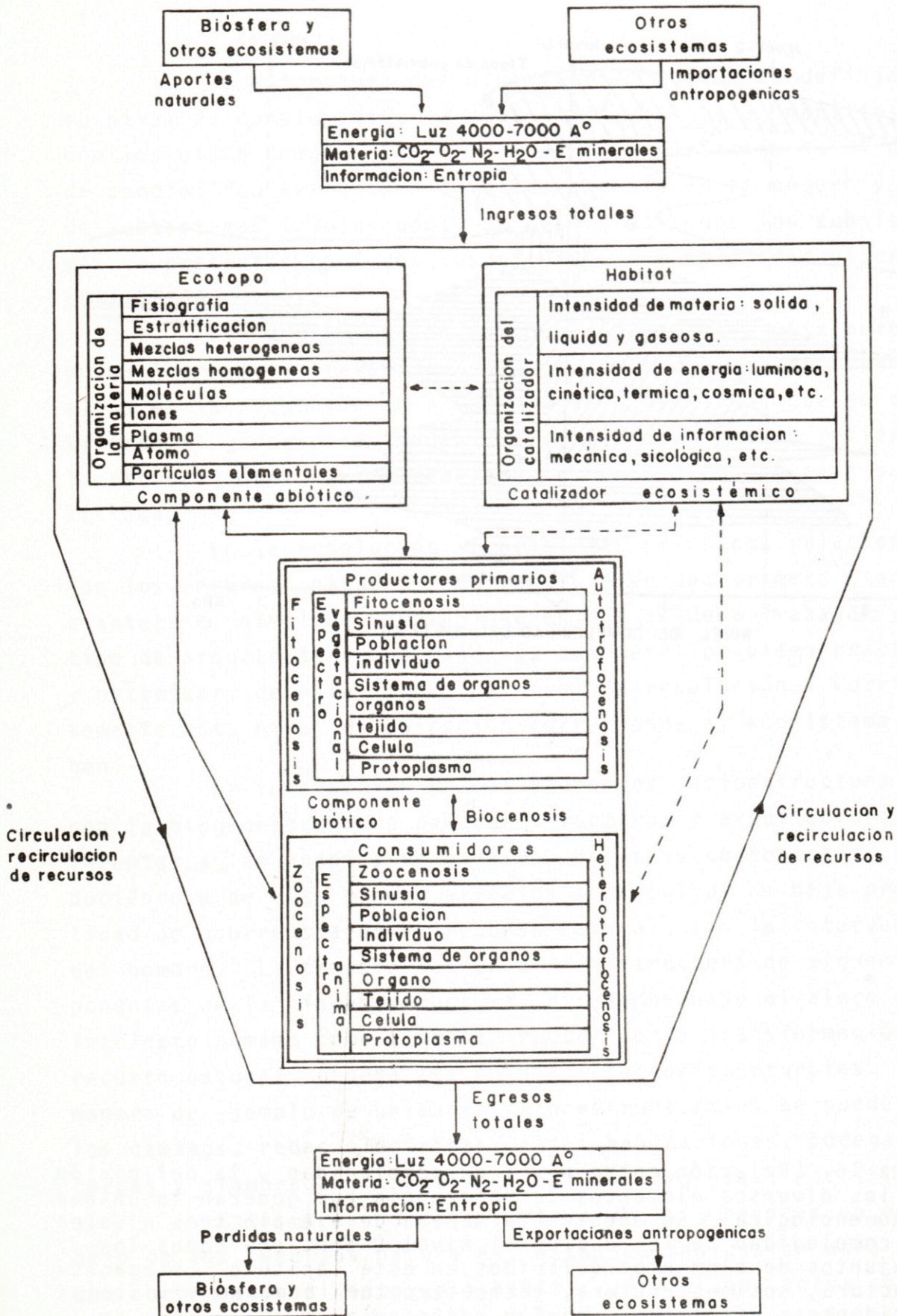


Figura 17. Modelo isomórfico de la biogeoestructura del eco-sistema.

En igual forma se agrupan otros sistemas que sin pertenecer a esta unidad fenomenológica intervienen en ella.

Comúnmente los sistemas incidentes se designan como insumos, a pesar de que no corresponde exactamente a lo mismo. Los ecosistemas que se encuentran distantes en el espacio ejercen su acción a través de las importaciones de estímulos y recepción de respuestas. Esta acción no es solo de naturaleza actual, sino que incluye también su acción potencial de coacción sobre el fenómeno. A manera de ejemplo se podría citar un depósito natural de fosfatos. Como unidad incidente este depósito sería diferente su acción sobre el ecosistema origen en cuatro situaciones: antes de su descubrimiento, después de su descubrimiento, al momento de iniciar su producción y al momento de exportar. Desde el punto de vista del planteamiento y resolución del ecosistema-origen las soluciones son diferentes para cada caso.

Sería factible plantear los problemas de los recursos naturales en otros niveles de complejidad distintos del que se ha presentado para el ecosistema-origen. Un nivel podría ser el subatómico. Este nivel de complejidad estructural permitiría posiblemente resolver eficientemente algunos problemas de naturaleza física, pero su poder resolutivo al nivel de los recursos naturales se reduciría considerablemente. Otro extremo en el nivel de complejidad sería el galáctico. Es posible plantear un problema predial y pretender su resolución a partir de esta complejidad, pero las probabilidades de resolución se reducen considerablemente o bien el esfuerzo que se requiere es tan elevado que lo hace inconveniente.

Los ejemplos mencionados en los párrafos anteriores son extremos y frecuentemente no se presentan. En la práctica, sin embargo, lo más usual es encontrar planteamientos y estrategias de resolución que se inician en niveles de complejidad que no corresponde al del predio.

Biogeoestructura

La biogeoestructura corresponde al recurso natural propiamente tal, donde se combinan los elementos abióticos del sustrato y atmósfera en una sola familia al integrarse con los elementos bióticos de la fitocenosis y zoocenosis (Figura 17).

La familia biogeoestructura, que puede ser considerada como un ecosistema en sí, corresponde a la integración del componente biológico o biocenosis con otro de la materia inerte o ecotopo. Es el fenómeno que en la práctica se observa como paisaje, es decir, es el recurso natural mismo en su acepción común. Dentro del marco conceptual no es éste el ecosistema-completo sino que es sólo una fracción, la más obvia, dentro de un conjunto mayor, o ecosistema-origen, que a su vez contiene otras familias de elementos.

La arquitectura de la biogeoestructura está definida por el conjunto de componentes topológicos σ_i , los cuales a su vez pueden agruparse en cuatro subconjuntos de tipos de elementos:

- σ_A conjunto de variables de recursos abióticos ó abiótoto
- σ_T conjunto de variables de organismos fotosintetizadores o autotrofocenosis
- σ_E conjunto de variables de organismos consumidores de otros organismos o heterotrofocenosis
- σ_H conjunto de variables del ambiente físico o habitat.

Los tipos $\{\sigma_A\}$, $\{\sigma_B\}$ y $\{\sigma_E\}$ constituyen otro subconjunto de las variables de estado reales σ_R . El subconjunto σ_H representa la parte virtual de la arquitectura σ_V .

El abiótoto σ_A es el conjunto de elementos inorgánicos, organizados en diversos niveles de integración abiótica. Los niveles generales de integración de la materia inanimada son los siguientes:

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

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

La materia en sí, en este componente del ecosistema, se puede encontrar en diversos estados de organización. El atómico por ejemplo: representa un estado complejo donde intervienen los electrones, protones, neutrones y otras partículas elementales comportándose en forma compleja, representando el conjunto, un alto grado de organización (Frank-Kamenetski, 1970).

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

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

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

La organización de partículas rocosas en su estado natural o transformada por procesos de intemperización u otros, conduce al nivel siguiente de organización que corresponde al de estratificación de las mezclas, dando origen a conjuntos más complejos, como ocurre con la organización del perfil edáfico. Esta organización, además de los atributos propios de la roca, cristal, moléculas, etc., manifiesta atributos emergentes propios, característicos de este nivel topológico de integración. Entre las características que definen la organización edáfica, destacan los horizontes o estratas definidas de grupos de partículas rocosas y la estructura edáfica u organización de micropartículas en macropartículas con características diferentes a las de sus componentes. El agua y el aire,

al igual que el suelo, presentan también una organización en estratás.

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

Los niveles anteriores, integrados en un sistema y comportándose como un todo, constituyen el componente abiótico del ecosistema. Más, sin embargo, no constituye el ecotopo, pues este último necesita estar asociado a la vida organizada dentro del ecosistema.

El habitat $\{\sigma_H\}$ o constricciones de la materia, energía e información, es el conjunto de variables de estado eminentemente pasivas, que actúan por presencia en los vectores del estado. Lo anterior significa que el habitat es el catalizador de los procesos de funcionamiento del ecosistema. Se le considera como tal pues no interviene en forma activa.

Los elementos principales del habitat son los siguientes:

Materia

potencial hídrico
 concentración iónica
 densidad de partículas
 resistencia de partículas

Energía

nivel térmico o temperatura
 presión barométrica
 intensidad de sonido
 energía cinética atmosférica
 energía cinética de cuerpos sólidos
 fuerza de gravedad
 intensidad luminosa

Información

potencial de tensión psicológica
 potencial de tensión mecánica

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

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

La comunidad de organismos autótrofos es el resultado de la integración de organismos fotosintetizadores en los

diversos niveles de integración u organización de la materia en seres vivos. Los diversos niveles del espectro son:

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

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

El organismo individual, denominado organismo o individuo no puede vivir aislado en un ambiente, por no tener alguna de las propiedades necesarias para su sobrevivencia, las que presentan las poblaciones. La tasa de natalidad, mortalidad, crecimiento y otras, son atributos de las poblaciones que les permite adaptarse y perpetuarse en un ambiente determinado. A medida que los organismos mueren pueden ir siendo reemplazados por otros, en forma tal que la población se mantenga en la trofocenosis correspondiente. Las formaciones de forma vital similar se agrupan en unidades mayores donde se conjugan los organismos que, además ocupan nichos similares, denominándoseles sinusia. El nivel de complejidad superior al de las sinusias fotosintetizadoras es el de la autotrofocenosis.

La comunidad vegetal de productores o autotrofocenosis tiene, en cada ecosistema, una estructura individual, poblacional y sinusial característica además de su composición florística propia. Ello es el resultado del proceso de adaptación al

ecosistema en su conjunto, donde se integra el abiotopo, hábitat, autotrofocenos y heterotrofocenos. La acción directa del usuario de este recurso, el hombre, modifica holocénicamente la arquitectura y funcionamiento del ecosistema y con ello se altera su productividad y estabilidad.

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

protoplasma
 célula
 tejido
 órgano
 sistemas de órganos
 población
 sinusia
 heterotrofocenos

Los consumidores o heterótrofos pueden agruparse en diversas formas, de acuerdo al objetivo que se persiga. Pragmáticamente pueden clasificarse de acuerdo al reino a que pertenecen en: animales y vegetales. Los vegetales heterótrofos corresponden principalmente a plantas parásitas y vegetales detritófagos desprovistos de clorofila, tales como hongos.

De acuerdo al tamaño del consumidor y a la forma de digestión, ya sea interna o externa, los heterótrofos pueden clasificarse en: macro y microconsumidores. Los macroconsumidores corresponden a organismos de digestión interna, en tanto que los microconsumidores se caracterizan por su digestión externa. Los microconsumidores son, a menudo, referidos como desintegradores.

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

Algunos de los atributos biogeoestructurales $\{\alpha_{bio}\}$ más importantes son los siguientes:

- Homostasis
- Estabilidad y fragilidad
- Resiliencia
- Armonía
- Periodicidad
- Estilo
- Longevidad
- Productividad
- Memoria
- Costo de conservación
- Costo de operación
- Reposición
- Metabolismo y metastrofismo
- Especialización

Socioestructura

La socioestructura corresponde al hombre organizado en estructuras sociales, culturales y de trabajo definidas. No es posible aislar al hombre dentro del contexto de la naturaleza, por el 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).

Desde un punto de vista conceptual y funcional el hombre es un elemento interno del sistema el cual en alguna forma dirige, modifica, planifica o pretende planificar las acciones que se pueden ejercer sobre el sistema, del cual espera una respuesta determinada.

Cualquier estudio socioestructural, al igual que los biogeoestructurales, deben considerar, por lo tanto dos aspectos:

- el estado del subsistema socioestructura, definido a través de su arquitectura y funcionamiento
- el cambio de estado.

El subsistema socioestructura sólo consta de un componente de su arquitectura que es el hombre mismo organizado en elementos o estructuras sociales, culturales y laborales, en una gradiente de niveles de complejidad y jerarquía (Figura 18).

El funcionamiento de la arquitectura del sistema socioestructural puede ser igualmente:

- social
- cultural
- laboral

El aspecto social se refiere a las relaciones humanas tanto en aspecto de interacciones como en el jerárquico ó político. En el aspecto laboral se refiere tanto al trabajo productivo como al recreativo, dentro del cual se incluyen los deportes. En el aspecto cultural se incluyen las artes, humanismo, ciencia, religión y otras relacionadas con el tema.

Algunos de los atributos básicos de la socioestructura están dados por:

- estáticos: estructura por edades
- estructura por sexos
- longevidad

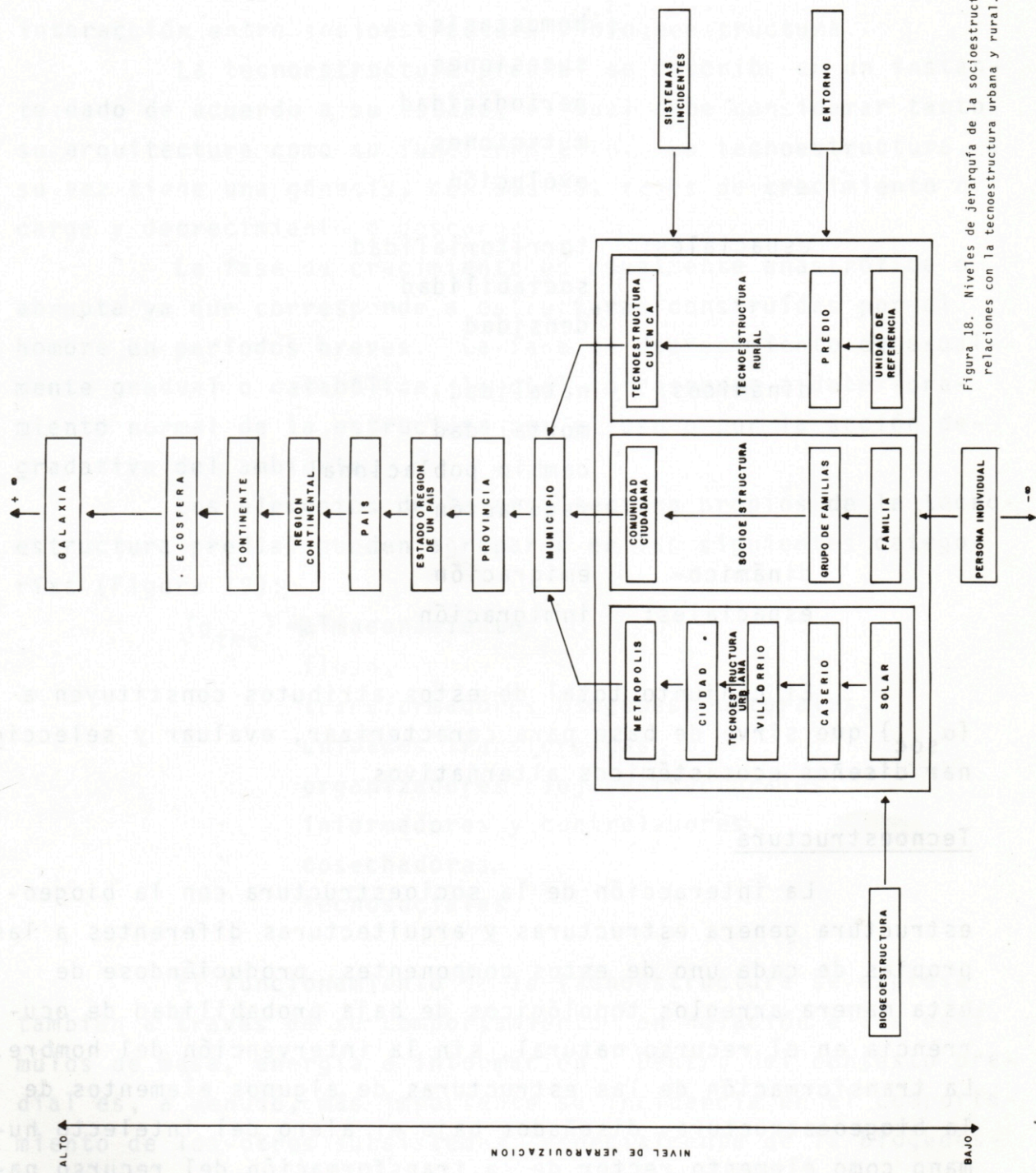


Figura 18. Niveles de jerarquía de la socioestructura y sus relaciones con la tecnestructura urbana y rural.

temporales:	estabilidad homostasis sucesiones periodicidad mutaciones evolución
espaciales:	territorialidad sociabilidad densidad
dinámicos:	natalidad mortalidad cambio poblacional regulación
dinámico- espaciales:	emigración inmigración

El conjunto total de estos atributos constituyen a $\{\alpha_{soc}\}$ que sirve de base para caracterizar, evaluar y seleccionar diseños ecosistémicos alternativos.

Tecnoestructura

La interacción de la socioestructura con la biogeoeestructura 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 las estructuras de algunos elementos de la biogeoeestructura, diseñados bajo el alero del intelecto humano como elemento rector de la transformación del recurso natural, genera los elementos tecnoestructurales.

La tecnoestructura es la familia de elementos 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 biogeoestructura. Esta transformación es, por lo tanto, fruto de la interacción entre socioestructura y biogeoestructura.

La tecnoestructura predial se describe en un instante dado de acuerdo a su estado, el cual debe considerar tanto su arquitectura como su funcionamiento. La tecnoestructura, a su vez tiene una génesis, con sus dos fases de crecimiento ó carga y decrecimiento o descarga.

La fase de crecimiento es usualmente anastrófica o abrupta ya que corresponde a estructuras construídas por el hombre en períodos breves. La fase de decrecimiento es usualmente gradual o catabólica, la cual corresponde a deterioramiento normal de la estructura por el uso o por la acción degradativa del ambiente.

Los elementos de la arquitectura propios de la tecnoestructura predial pueden agruparse en las siguientes categorías (Figura 19):

$\{\sigma_{tec}\} = \{$ almacenamiento,
 flujo,
 transformadores biogeoestructurales,
 unidades transformadas,
 organizadores biogeoestructurales,
 informadores y controladores,
 cosechadores,
 tecnosociales $\}$

El funcionamiento de la tecnoestructura se expresa también a través de su comportamiento en relación a los estímulos de masa, energía e información. Dentro del contexto predial es, a menudo, más importante su incidencia en el comportamiento de los otros subsistemas, especialmente de la biogeoestructura y socioestructura.

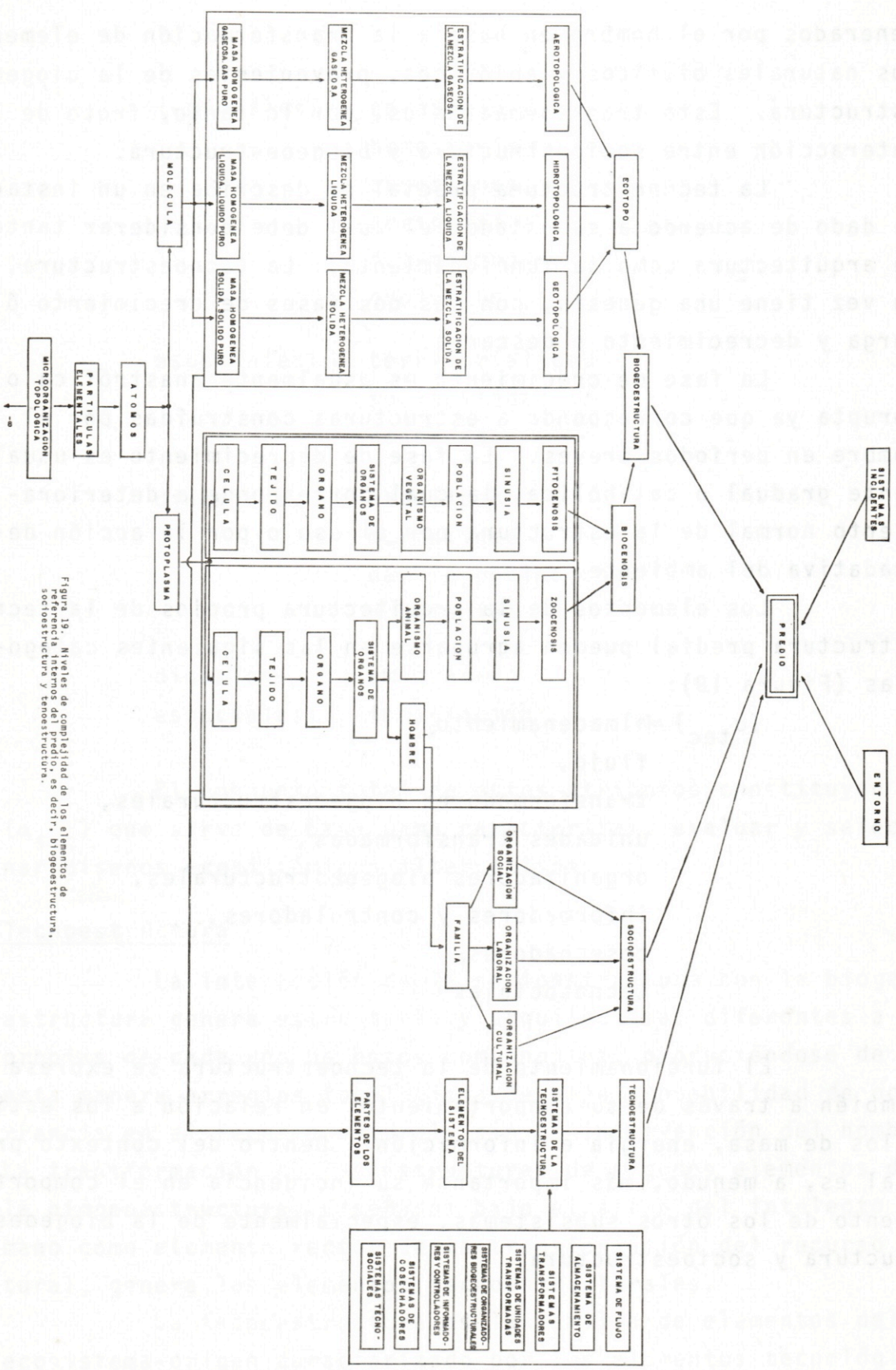


Figura 19. Niveles de complejidad de los elementos de las pre-estructuras de las socioestructuras y de las bioestructuras.

Los atributos principales de la tecnoestructura $\{\alpha_{tec}\}$ son:

$\{\alpha_{tec}\} = \{$ armonía entre los elementos y con las demás,
 familias de elementos,
 estabilidad,
 homostásis,
 estilo,
 longevidad,
 costo de conservación,
 costo de operación,
 especialización}

Entorno

El subsistema entorno representa al medio ambiente externo o habitat predial, lo cual es análogo al biotopo en el sentido que le da Udvardy (1959).

Corresponde al concepto de habitat dado para la bio-geoestructura, pero en este caso incluido dentro de un contexto de microhabitat predial. Es por lo tanto, una medida de potencial o nivel de las variables de estado que circundan al predio. No tiene, por consiguiente una connotación de flujo desde o hacia el predio, como es el caso de los sistemas externos incidentes, el cual tiene una dimensión de tasa de flujo. El entorno predial es por lo tanto el catalizador de los procesos de funcionamiento del predio.

Los elementos principales del entorno-predial son:

materia

potencial hídrico
 concentración de partículas
 densidad de partículas
 resistencia de partículas

energía

nivel térmico o temperatura
 presión barométrica
 intensidad de sonido
 energía cinética atmosférica
 energía cinética cuerpos sólidos
 fuerza de gravedad
 intensidad luminosa

información

nivel de información
 potencial de tensión mecánica

El predio en su proceso de funcionamiento no utiliza ninguno de estos elementos. Su funcionamiento, sin embargo, depende del potencial o nivel de las variables de estado del entorno predial en relación al nivel interno del predio.

El flujo de masa, energía e información del predio, sólo ocurre cuando existe una diferencia positiva de potenciales, lo cual establece la magnitud del flujo. Ello fija a su vez los límites de tolerancia predial.

Por no constituirse como una parte integrante del predio o no ser incorporado como elementos de las estructuras que le circundan sino que como su entorno, no se le considera recurso o sistema incidente, sino que catalizador del predio.

Sistemas externos incidentes

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

Los sistemas externos incidentes corresponden a las conexiones de flujo entre un sistema dado, que en este caso corresponde al predio y los demás sistemas externos que inciden sobre el predio. Ningun ecosistema predial puede ser cerrado, es decir, no tener flujo de masa, energía e información tanto hacia el predio, en forma de estímulos como desde el predio en forma de respuestas. De acuerdo a la magnitud de las conexiones y flujos de estímulos y respuestas se tiene el grado de apertura del ecosistema predial.

Los estímulos que recibe el predio pueden ser aportes naturales que arriban de la ecósfera del predio en forma natural, sin ninguna acción explícita de canalización antrópica de su flujo hacia el predio. Por otro lado se tienen los aportes artificiales o importaciones que provienen como producto de la canalización artificial del hombre hacia el predio o importaciones.

Los egresos del ecosistema predial o respuesta del sistema, se canalizan a su vez en forma análoga hacia la ecósfera en general, en forma de pérdidas o hacia otros sistemas en forma antrópica, lo cual constituye las exportaciones prediales (Figura 20). De ésto, una parte puede ser cosechada, lo cual corresponde a ser extraída del sistema, o bien, puede ser reingerida por él, lo cual corresponde a su crecimiento.

Las relaciones de estímulos-respuestas en todas sus facetas son las que regulan tanto las modalidades de crecimiento o de decrecimiento predial y sus magnitudes. El predio puede acumular carga de energía generalizada o perder, de acuerdo a su organización y a los mecanismos ecocibernéticos de control. Según sea su balance neto, por lo tanto, el predio crece o decrece. La productividad del predio ρ depende, por lo tanto de:

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

siendo ϵ los estímulos y β su comportamiento.

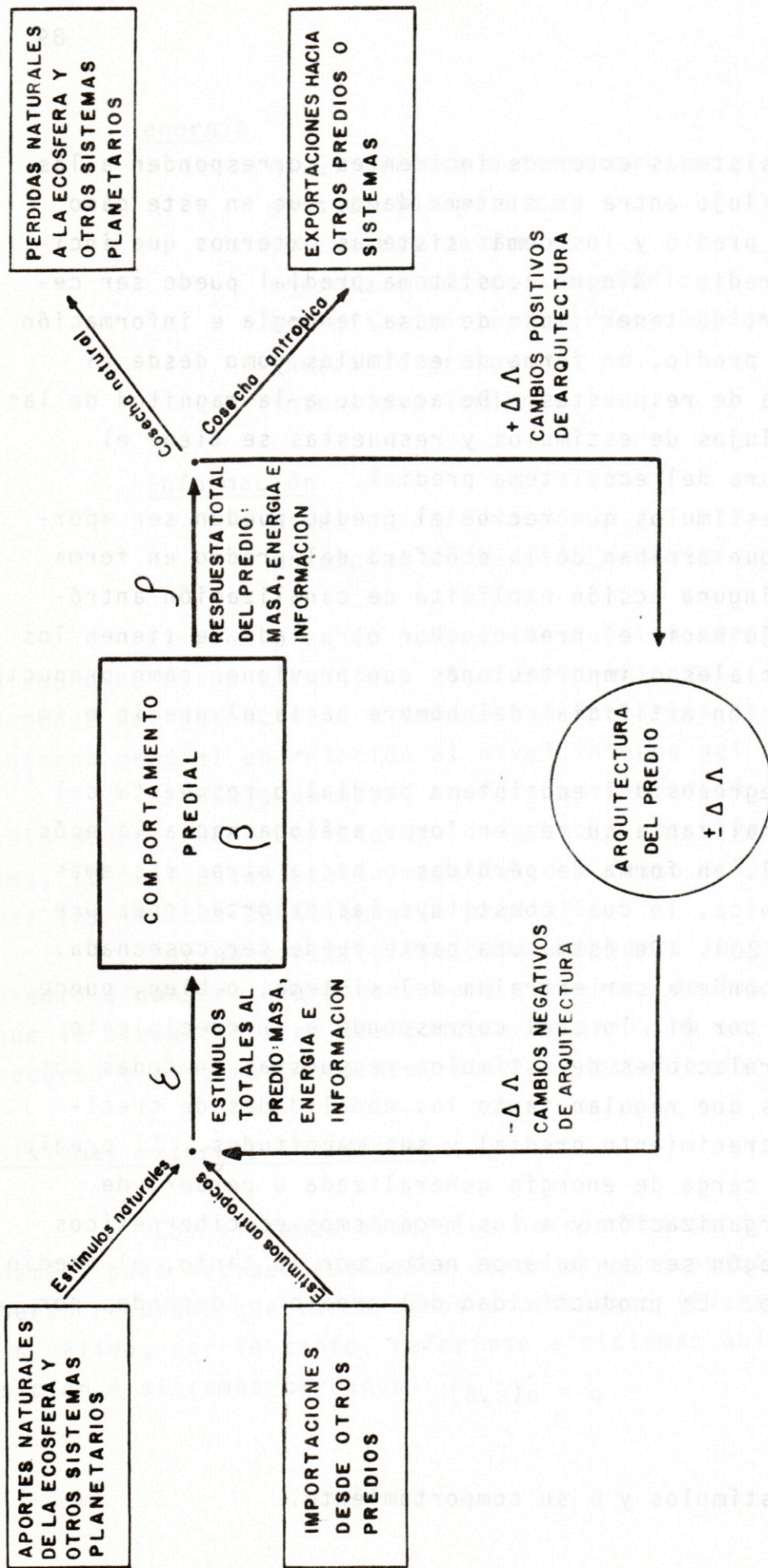


Figura 20. Relaciones de estimulo-respuesta a nivel predial.

UNIDADES

Unidades de referencia

En la resolución de problemas prediales, desde la etapa de examen, diagnóstico, planteamiento y diseño del predio se requiere seleccionar y agrupar al nivel jerárquico correspondiente las unidades de referencia que permitan resolver el problema.

En un contexto jerárquico discreto las unidades en que se puede dividir el predio pueden establecerse a niveles diversos dentro de las unidades de referencia. El nivel que se elija para la elaboración de la imagen del fenómeno y eventualmente llegar a encontrar una solución, debe ser cuidadosamente estudiado.

Una unidad de referencia es una fracción de espacio-físico predial, compuesta por los elementos del recurso natural renovable, con conexiones intraunidades mayores que las interunidades la cual es solo una parte de un todo donde se hace agricultura. Más formalmente se tiene que una unidad de referencia esta determinada por:

$$E = (V_s, \Sigma, \Phi, \rho_e),$$

con:

- V_s un subconjunto del espacio físico $S = L^3XT$,
- Σ sistema de recurso natural renovable con elementos ,
- Φ flujo de materia, energía e información,
- ρ_e vector de respuesta de la unidad

Los elementos anteriores satisfacen las siguientes condiciones:

$$(a) \quad \Phi_{intra} \geq \Phi_{inter}$$

$$(b) \quad \rho_{e_i} = \epsilon_j + \rho_j$$

$$\rho_{predio} = \sum_{i=1}^L \rho_i \quad \text{con } L > 1$$

En una primera etapa es necesario dividir el predio en cada una de las unidades y conjuntos de unidades, para describir y conocer las partes de éste, con el fin de elaborar su imagen. La división del predio en unidades debe ser una operación lógica en la cual la extensión del concepto divisible se distribuye en ciertas unidades desde el punto de vista de un determinado fundamento de división (Gorski y Tavanants, 1960).

No debe confundirse la división del predio en sus unidades con la operación de desintegración del predio en sus elementos. En ambos casos se trata de separar las partes del predio a través de su examen detallado de este, pero en uno de los casos se divide en sus unidades y en el otro se analizan los elementos, con el fin de posteriormente, al contruir la imagen homomórfica o isomórfica del predio, agrupar las unidades y combinar los elementos.

Dentro del contexto de metodología clínica del ecosistema predial se tiene dos etapas que operan iterativamente; la de examen y diagnóstico predial, logrado a través del estudio y separación de sus partes, y la de organización y diseño del predio, que se logra a través de la integración de los elementos y unidades del predio en una imagen.

En el proceso de dividir el predio en sus unidades, con el fin de llegar eventualmente a elaborar su imagen, debe considerarse la extensión del concepto divisible en su nivel jerárquico correspondiente. Las clases o categorías de unidades que se obtienen como resultados del proceso de la división se denominan miembros de la división. Las referencias que se consideran en el proceso de división para dividir el concepto en las subclases correspondientes se denomina fundamento de la división (Gorski y Tavanants, 1960).

Los autores anteriores, plantean que en el proceso de división debe regirse las siguientes cuatro reglas:

- 1) La división ha de ser proporcionada; es decir que la extensión del concepto divisible debe ser igual a la suma de las extensiones de los miembros de la división. Entre los errores más usuales que se cometen, en este respecto, se tiene las divisiones incompletas y aquellas con miembros superfluos.

- 2) La división debe realizarse partiéndose de una sola fundamentación, es decir deben hacerse en base a un solo criterio.
- 3) Los miembros de la división deben ser mutuamente excluyentes; es decir, que ninguna de las partes debe pertenecer simultáneamente a más de una categoría, y
- 4) La división debe ser continua; es decir, no se deben cometer saltos.

La clasificación es la distribución de los objetos o unidades en clases de acuerdo a la semejanza que exista entre ellos. En la clasificación, la distribución de las unidades o conjuntos de unidades se realiza de tal manera que cada clase ocupe un lugar fijo o exactamente determinado en relación a las demás clases (Gorski y Tavanants, 1960). Luego de establecidos el concepto para delimitar las unidades y divisiones de unidades deben definirse los límites de las clases que permitan clasificarlas en las categorías dadas.

El fenómeno predial que contiene un elevado número de unidades y elementos, debe ser sucesivo e iterativamente simplificado, de tal manera que en el paso desde el fenómeno a la imagen se pierdan gradualmente las partes y variables irrelevantes, para llegar a establecer un homomorfismo que represente al fenómeno predial y que sea de mayor simpleza que éste.

En el diseño y organización predial, las etapas de diagnóstico y diseño del nuevo modelo, se ejecutan principalmente en base a la imagen del fenómeno. Un buen diseño sólo puede lograrse si se trabaja con imágenes fieles, simples y relevantes del fenómeno. Las imágenes isomórficas, o en exceso detallistas, que contienen un sin número de elementos y unidades irrelevantes, conducen a la larga a confusiones, dificultan el diseño y entregan soluciones erróneas.

Además del problema del diseño en sí, existen los problemas clásicos de los cultivos, ganadería, o de manejo, utilización y transformación del recurso natural en sí, sin lo cual resulta imposible diseñar un predio.

En el contexto de dividir el predio en sus unidades, es factible establecer categorías diversas, que pueden ser, de

mayor a menor jerarquía, las siguientes unidades y conjuntos de ellas:

Clases
Familias
Géneros, y
Tipos

La división del predio en unidades, puede hacerse en forma natural o artificial. Las unidades artificiales en que se divide un predio se han denominado unidades de agrupación, las que usualmente corresponden a la división del espacio en potreros o encierras (Gastó, Armijo y Nava, 1975). Este es uno de los aspectos más importantes en la organización y manejo predial (Maynez, Armijo y Gastó, 1975).

Los estudios de inventarios de recursos naturales, han dedicado mayor atención a las divisiones naturales del predio en unidades y conjuntos de unidades. Las unidades inferiores, usualmente denominados stands, se agrupan en conjuntos de unidades análogos y así sucesivamente hasta llegar a agrupar la totalidad de ellas en el predio.

En el proceso de diseño predial, no siempre se sigue las agrupaciones naturales. Las formas geométricas regulares son usualmente de mayor interés y valor que las irregulares. Es por ello que, debe buscarse soluciones intermedias que, además de ajustarse a las formas geométricas regulares, no transgredan las normas de agrupación de unidades de diversa naturaleza.

Grupos de unidades

Dentro del contexto de la metodología clínica de ecosistemas prediales, una de las primeras etapas consiste en el examen predial. En la primera fase del examen se identifican y localizan las unidades elaborándose imágenes isomórficas del predio, usualmente como cartas temáticas que describen los elementos de mayor relevancia.

La sobreposición de las cartas temáticas de cada uno de los elementos de mayor relevancia del predio genera una imagen que delimita las unidades prediales. En la figura 21 se presenta un ejemplo de un predio donde aparecen las unidades homólogas prediales.

En la elaboración de cada una de las cartas temáticas se debe definir los límites de las clases y la precisión del muestreo. De acuerdo al rango que se aleja, y a la variabilidad que se presente para esa variable en el predio, se tiene el número de divisiones que aparecerán en esa carta. En esta forma es factible trazar las líneas que delimitan los límites espaciales de cada variable.

Cuando los rangos correspondientes a la variable son muy estrechos y la amplitud de las magnitudes en que la variable se presenta en el predio es muy amplia, el número de subdivisiones es elevado. Lo opuesto ocurre cuando se establecen rangos amplios para cada clase, además de presentarse un predio de magnitudes estrechas de cambio entre las variables; en este caso el número de divisiones para el atributo más pequeño.

La sobreposición de cartas temáticas muy detallistas genera un número elevado de unidades elementales, la ventaja de ello es que permite elaborar imágenes más precisas del predio, pero el acopio de información puede ser excesivo y, lejos de contribuir a una mejor solución del problema, complicando en tal forma que dificulte su solución.

Las unidades elementales que se generan deben agruparse en conjuntos que contengan a grupos de los conjuntos elementales, de acuerdo a conceptos de mayor jerarquía y así sucesivamente hasta llegar a agrupar a todas las unidades del predio.

Las jerarquías mayores agrupan a los conjuntos de unidades más diversas, las cuales, en manejo y organización predial usualmente deben mantenerse como unidades separadas. Una forma natural de agrupar unidades biogeoestructurales, ordenadas de mayor a menor jerarquía, podría ser en torno a las

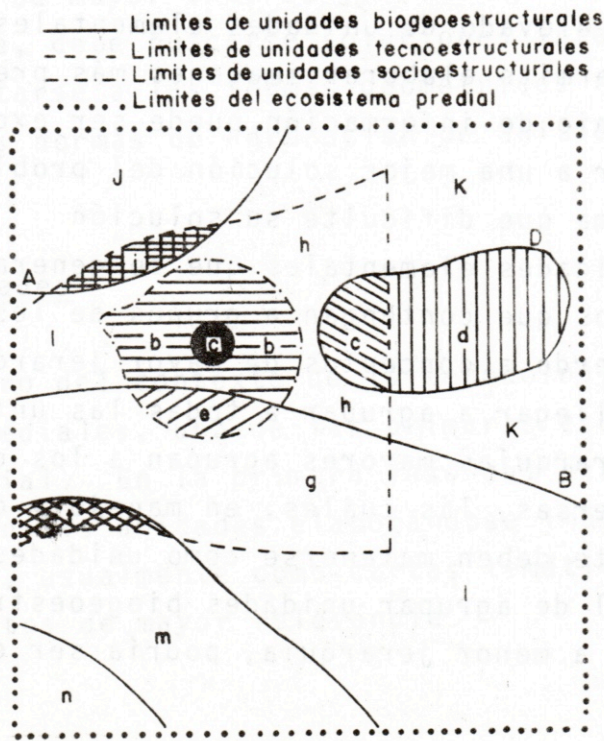
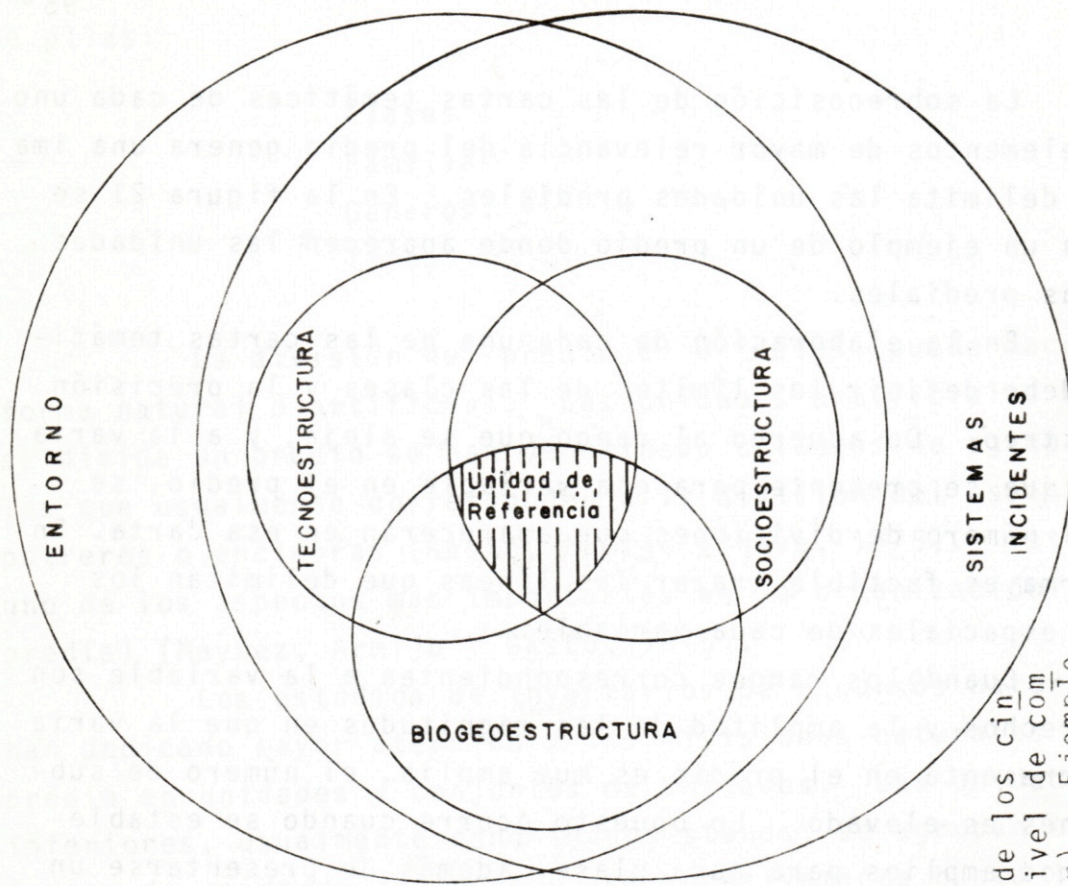


Figura 21. Esquema conceptual de la intersección de los cinco elementos de referencia que se presentan al nivel de complejidad del ecosistema predial (gráfico superior). Ejemplo de un caso práctico de intersección en un predio cualquiera de los elementos biogeográficos, socioestructurales y tecnológicos. Por razones de claridad no se incluyen explícitamente todos los elementos. La figura corresponde a una superficie de terreno donde se sobrepone especialmente unidades homogéneas restringidas dentro de límites definidos. Las letras minúsculas representan unidades de referencia o intersecciones (gráfico inferior).

siguientes variables:

- Clima
- Geoforma
- Suelo
- Formación vegetal
- Especie dominante
- Asociación
- Utilización

En los estudios prediales debe definirse el nivel de precisión en la elaboración de las cartas temáticas. En otras términos, equivale a definir escalas de trabajo ad hoc, de acuerdo a la naturaleza del problema.

En estudios regionales, usualmente se emplean escalas pequeñas, de 1:200 000 ó menores. Ocasionalmente se llega hasta escalas de 1: 50 000, pero raramente mayores. En estudios prediales el nivel de resolución y detalle debe ser mayor, por lo cual se prefieren escalas de 1:10 000 ó incluso mayores. Ocasionalmente es factible emplear escalas mas pequeñas, especialmente cuando se trata de ambientes adversos, tales como zonas desérticas, o de montañas. Los detalles del procedimiento pueden encontrarse en textos sobre la materia.

RESUMEN

En el presente estudio se analiza y plantea formalmente al predio considerado como un sistema ecológico. En este análisis se le considera en el nivel de complejidad y de jerarquía propio del predio. El objetivo principal del estudio es establecer un marco científico que permita diseñar, organizar y manejar predios, de manera análoga a lo que se hace en otras disciplinas de la ingeniería.

El estudio ha sido dividido en seis partes. En la primera de ellas se analiza la relación entre el predio considerado como un hecho o fenómeno y su imagen o modelo predial. Luego, se plantea el centro u origen del modelo ecosistémico, tanto en lo referente a su nivel jerárquico como de complejidad.

En la cuarta parte del estudio se define el significado del concepto de predio y se analizan los elementos que contiene, simultáneamente con dividirse en las unidades que corresponde, dentro de sus límites y posición espacial.

En la quinta parte del estudio se analizan detalladamente cada uno de los elementos en que se descompone el predio a saber: biogeoestructura, socioestructura, tecnoestructura entorno y sistemas incidentes. Finalmente, en el último acápite, se divide el predio en las unidades y grupos de unidades de referencia.

SUMMARY

In this present work, the ranch, farm, or any agricultural unit considered as an ecological system, is been formally analyzed. It is considered at the level of complexity and hierarchy, proper of the agricultural unit ecosystem. The main purpose of this study is to establish a scientific frame to design, organize and manage agricultural unit, in an analogous way to other branches of engineering.

The study has been divided in six parts. In the first, the agricultural unit, considered as a phenomenon, is analyzed in relation to its image or model. Then, the center or origin of the ecosystemic model is stated, both in relation to its hierarchy, as well as its complexity.

In the fourth part of the study, the meaning of the agricultural unit concept is defined and its elements are analyzed, as well as the units in which it can be divided within its limits and spatial position.

In the fifth part of the study each one of the elements in which it can be divided biogeostucture, sociostructure technostructure, environment and incidents systems are analyzed in detail. Finally, in the last chapter, the agricultural unit is divided into parts and groups of reference units.

BIBLIOGRAFIA

- Albrecht, W.A. 1956. Physical, chemical and biochemical changes in the soil community. En W.L. Thomas. Man's role in changing the face of earth. Univ. Chicago Press.
- Ashby, W.R. 1956. An introduction to cybernetics. Chapman and Hall, University Paperbacks. Londres, 295 p.
- Becht, G. 1974. System theory. The key to holism and reductionism. Bioscience 24: 569-579.
- Boulding K.L., 1956. General system theory. The skeleton of science. Management science 2:198-199.
- Bunge, M. 1969. La investigación científica. Ariel. Barcelona. 955 p.
- Caswell, H. H.E. Koenig, J.A. Resch y Q.E. Ross. 1972. System analysis and simulation in ecology. Vol 2. Academic Press. N.Y.
- Distefano, J.J., A.R. Stebberud e I.J. Williams. 1967. Feedback and control systems. Shaum Publishing Co. N.Y.
- Evans, F.C. 1956. Ecosystems, the basic unit in ecology. Science 123:1127-1128.
- Forbes, S.A. 1887. The lake as a microcosm. Peoria Sci. Assoc, Bull. Reimpresión: Illinois Nat. History Survey Bull. 15:537-550. 1925.
- Fosberg, F.R. 1963. The island ecosystem. En: Man's place in the island ecosystem. Tenth Pacific Science Congress, Honolulu, Hawaii. 1961. Bishop Museum Press.
- Frank-Kamenestski, D.A. 1970. El plasma, cuarto estado de la materia. Mir, Moscú, 253 p.
- Friederichs, K. 1930. Die grundfragen and gestezmasigkeiten der land und fortwistshaftlichen zoologie. 2 vols. Berlin.
- Gastó C., J. 1979. Bases ecológicas de la modernización de la agricultura. Seminario Regional CEPAL sobre estilos de desarrollo y medioambiente en América Latina. 179 p.
- Gastó C., J. y A. Olivares E. 1979. Análisis cuantitativo de la arquitectura de *Atriplex repanda*. Fac. Agron. Univ. Chile. Bol. Tecn. 34:25-40.
- Gastó C., J., R. Armijo T. y R. Nava C. 1975. Cálculo de la eficiencia de apotreramiento. Tamaño y forma de potreros. Univ. A.A. Antonio Narro. Monog. Técnico-Científica. 1:137-177.

- Golom, B.Y. y H.M. Eder. 1964. Land forms made by man. *Landscape* 14: 4-7.
- Gorski, D.P. y P.V. Tavanants. 1960. *Lógica*. Grijalbo. México. 316 p.
- Harre, R. 1960. An introduction to the logic of the sciences. Macmillan. N.Y.
- Hartman, F. 1960. *Ontología*. Fondo de Cultura Económica, México. 576 p.
- Hospers, J. 1954. An introduction to the philosophical analysis. Rantlege and kegan. Londres.
- Klir, G.J. 1969. An approach to general systems theory. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Levins, R. 1970. Toward a theoretical biology. En: Washington, C.H. (ed.) *Drafts* 3:73 Edimburgh Univ. Press.
- Locker, A. 1973. Systemogenesis as a paradigm for biogenesis. En: a Locker (ed). *Biogenesis, evolution, homeostasis. Asymposium by correspondence*. Springer Verlag. N.Y.
- López G., J., J. Gastó C. R. Nava C. 1981. Análisis cuantitativo de la arquitectura de en poblaciones naturales. Univ. A.A. Antonio Narro, Monografía Técnico-Científica 3:135-169. Lemaire
- Maelzer, D.A. 1965. Environment, semantics and system theory in ecology. *J. Theor. Biol.* 8:395-402.
- Markus, E. 1926. Naturkomplexe. *Sitzber. Naturforsch. Ges. Univ. Tartu* 21:79-94.
- Maynes del R., F., R. Armijo T. y Gastó C. 1975. Clínica ecosistémica silvoagropecuaria. Fundamentos y metodologías Univ. Autónoma Agr. "Antonio Narro". Monog. Técnico-Científica 1:72-136. Saltillo, Coahuila.
- Nava C., R., R. Armijo T. y J. Gastó C. 1979. Ecosistema. La unidad de la naturaleza y el hombre. Universidad A.A. Antonio Narro. Serie Recursos Naturales. Saltillo 332 p.
- 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.
- Rodrigo S., P. 1980. Desarrollo de un planteamiento metodológico clínico de ecosistemas para el ecodesarrollo. Pontif. Univ. Católica de Chile. Fac. Agronomía. Tesis M. Produc. Animal 283 p.
- Shinozaki, K., K. Yoda, J. Hosumi y T. Kira. 1964. A quantitative analysis of plant form. The pipe model theory. *Japanese Jour. Ecol.* 14:97-105.
- Simon, H.A. 1965. *General systems* 10:63.

- Sukachev, V.N. 1950. Biogeozonose. Bolshaia sovetskaia Entisiklopediia (Gran Enciclopedia Soviética) 5:180-181. Moscú.
- Tansley, A.G. 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. Ecology 16:284-307.
- Thom, R. 1975. Structural stability and morphogenesis. Benjamin Ing. Reading, Mass.
- Udvardy, M. 1959. Notes on the ecological concepts of habitat, biotope and niche. Ecology 40:727-728.
- Weisskopf, V.F. 1977. The frontiers and limits of science. Amer. Sci. 65:405-411.
- Weiss, P.A. 1971. Basic concept of hierarchic systems. pp. 1-44 En, P.A. Weiss (ed). Hierarchically organized systems in theory and practice. Hafner N.Y. 263 p.
- West, N.E. 1964. Contribution of plant synecology to pure and applied biology. The biologist. 46:73-80.
- Yurén C., M.T., 1979. Leyes, teorías y modelos. Trillas, México. 95 p.