

# RECURSOS RENOVABLES CHILENOS

una visión multidisciplinaria

EDITORES

José Miguel Aguilera • Juan Antonio Guzmán • Max Rutman



EDICIONES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERIA

---

## Índice

---

|  |     |
|--|-----|
| Prólogo  | 7   |
| Introducción   | 9   |
| El Ecosistema<br>Juan Gastó C.   | 11  |
| Recursos de origen marino y su utilización<br>Max Rutman S., Eduardo Bitrán C.                           | 35  |
| Recursos de origen agropecuario y su utilización<br>Fernando Sánchez A.                                  | 49  |
| Análisis y perspectivas de los cultivos industriales<br>Waldo Cerón D.                                   | 63  |
| Recursos forestales y su utilización<br>Ramiro Morales A.  | 73  |
| Modelos matemáticos en recursos renovables: Ejemplo forestal<br>Andrés Weintraub P.                      | 79  |
| Recursos energéticos: Proyección de la biomasa<br>Juan Antonio Guzmán M.                                 | 89  |
| Escenario de los recursos renovables en Chile: Energía solar y eólica<br>Ricardo Riesco I.               | 101 |
| Química de la flora y fauna de Chile<br>Mario Silva O., Fidelina González, Silvio Pantoja                | 111 |
| Alternativas en el uso de recursos renovables como alimentos<br>José Miguel Aguilera R.                  | 133 |
| Utilización de recursos renovables como fuente futura de productos químicos<br>Fernando Acevedo B.       | 145 |
| Posibles aplicaciones de la ingeniería genética al manejo de los recursos renovables<br>Rafael Vicuña E. | 157 |
| Análisis y estrategias en la investigación de recursos renovables<br>Raúl Cañas C., Marilyn Gasman B.    | 169 |
| Nomina de autores  | 183 |

---

---

# **El Ecosistema**

---

**Juan Gasto C.**

---

## Introducción

La unidad ecológica básica es el ecosistema, unidad que es el resultado de la integración e interdependencia ordenada de los elementos vivos y no vivos de la naturaleza. El desarrollo del concepto de ecosistema es un proceso largo y complejo, el cual, luego de pasar por todas las etapas de análisis de cada uno de los elementos integrantes del sistema, se logró finalmente reunir en una sola unidad 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 Markus, holocen, holozón o zon por Thienemann (1939), siendo el término de mayor aceptación en la actualidad el propuesto por Tansley.

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

Desde que se enunció la doctrina del holismo los conceptos parciales, tales como clima, vegetación, suelo, ambiente y comunidad dejaron de tener el valor primitivo que se les asignaba con un criterio analítico. Para que expresen su real valor deben ser considerados con criterio sintetizador o de ecosistema (Fosberg, 1963). Los ecólogos tratan a menudo de evitar el estudio simplificado de las relaciones causa-efecto, debido al sentido holocénico que se le atribuye al ecosistema, tanto respecto a su funcionamiento como a su estructura (West, 1964).

La principal dificultad que emana del concepto de ecosistema es su holismo; el ecosistema es tan complejo que en la práctica se tiende a simplificarlo en exceso (Maelzer, 1965).

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

Algunos de los naturalistas del siglo pasado comprendieron perfectamente que en la naturaleza se integran los elementos que componen los reinos mineral, vegetal y animal, formando una unidad más compleja o ecosistema. El conocimiento científico de la época, no les permitió, sin embargo, continuar progresando sin 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, con un enfoque merológico (Odum, 1972), donde los atributos de cada componente se alejan de las propiedades ecosistémicas cuando éstos actúan holocénicamente.

El esfuerzo intelectual desplegado durante este lapso no se ha perdido, por el contrario, ha entregado valiosa información, que conjugada a la luz de los conocimientos actuales relativos 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 biológico que ha permitido utilizar el enorme acopio científico en la comprensión e interpretación de esta unidad natural.

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

cada uno de los componentes como un elemento más del complejo holocenósico.

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

El procedimiento holístico es, posiblemente, el que ofrece el punto de vista más apropiado para el análisis de los problemas ecosistémicos. La conveniencia de su aplicación a base del uso de herramientas tan útiles y formales como la teoría matemática, cibernética, procesamiento electrónico de datos y otras, permite considerar las posibles consecuencias de las combinaciones de los elementos y arreglos de un sistema.

## Definición

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 definirse puede ser la siguiente:

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

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 del ecosistema.

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 tópico básico en el estudio y resolución de problemas de los recursos naturales, se ha comenzado definiendo y describiendo lo que se entiende por ecosistema. La comprensión y solución 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 más del complejo holocenósico.

El ecosistema consta de dos atributos fundamentales que definen su estado. Uno de ellos es el aspecto anátomo-morfológico o apariencia física, es decir, que representa los aspectos tangibles o de forma y se denomina arquitectura. El otro es el transporte y transformación de materia, energía e información, y corresponde a la fisiología del ecosistema, lo cual se denomina funcionamiento.

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

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 arquitectura 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:

$$\sigma(\eta)$$

donde:

$\sigma$  representa el arreglo topológico denotando tanto los aspectos cualitativos como cuantitativos, y

$\eta$  el tamaño de las variables de estado que le integran, es decir, el vector topológico.

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 corresponde, 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 manera que permitan describir a los vectores de estado del sistema.

El funcionamiento del ecosistema interesa a los especialistas en el manejo de recursos naturales y en ciencias silvoagropecuarias, 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 perfeccionamiento de la arquitectura o del aporte de estímulos al sistema.

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

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

ecosistema son (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 ecosfera del planeta Tierra funciona integradamente.

### Fenómeno e imagen

En la resolución de problemas ecosistémicos se requiere observar el fenómeno de manera de 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 la representación conceptual del fenómeno mismo, sin serlo.

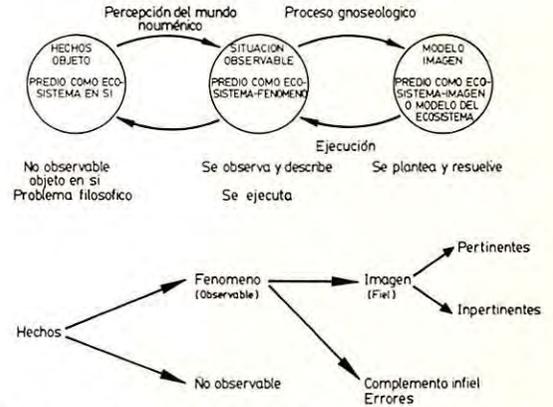
#### Relación fenómeno-imagen

Existen diversos estilos de construir imágenes de un mismo fenómeno, distinguiéndose, en general, por su simpleza y por su capacidad y fidelidad de interpretar el fenómeno. Entre los estilos de imagen se tienen los modelos 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 debe presentar tales características que permitan comprender, plantear y resolver el fenómeno tal como se presenta en la naturaleza. 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:



Figura 1. Diagrama ilustrativo del proceso de transformación del ecosistema como un hecho al fenómeno y a la imagen o modelo.



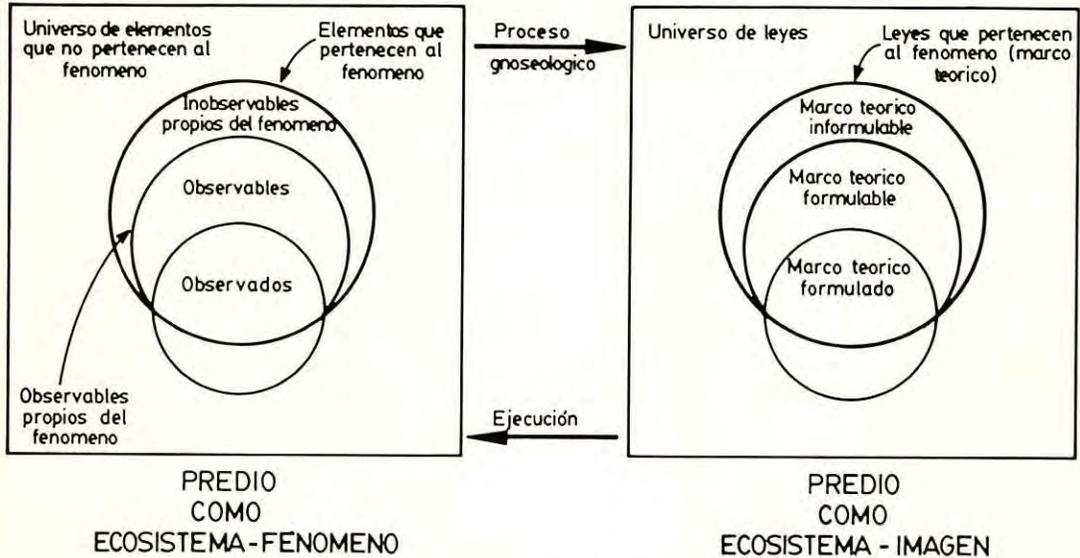
La transformación del fenómeno en imagen requiere establecer una cierta relación que permita, luego de determinar los atributos fundamentales del primero, desarrollar una imagen que corresponda en cierto sentido al fenómeno que en este caso es el recurso natural. Igualmente, esta relación debe permitir que una vez establecida la imagen, exista la posibilidad de contrastación entre imagen y fenómeno. El requisito indispensable para la resolución formal de problemas ecológicos 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).

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.

La profundidad de una teoría depende de la

Figura 2. Relación entre el fenómeno y la imagen o modelo predial (Gastó, 1980).



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 una 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 (Bunge, 1969).

La organización y diseño de ecosistemas debe lograrse a través de la aplicación de principios y 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 sin los cuales no es posible construir su imagen. Al mismo tiempo 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 ecosistema; se denomina hecho, además, a la secuencia temporalmente

ordenada de acontecimientos, lo cual corresponde a los procesos que se desarrollan dentro del ecosistema. Finalmente, el hecho tiene una tercera connotación 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 ecosistema un hecho que puede ser conocido a través de los sentidos o instrumentos, puede llegar a ser un fenómeno. El ecosistema considerado como un hecho contiene, por lo tanto, a tres elementos: acontecimientos, sistemas concretos y procesos.

Un sistema concreto 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  $t$ , es la de funcionamiento del ecosistema. 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 sistema es precisamente la conexión entre sus elementos, sin lo cual deja de serlo. Algunas de las conexiones son naturales y otras antrópicas.

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

### Modelos

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

Los modelos isomórficos 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 la 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 fenómeno y su imagen o modelo.

En el estudio de fenómenos, los modelos isomórficos son a menudo la forma más adecuada de describir el sistema, especialmente en lo que se refiere a modelos de escala o de isomorfismo visual (Figura 3). Un mapa topográfico, si ha sido realizado con exactitud es una imagen isomórfica, en su versión de modelo o escala. En el mapa aparecen representadas cada una de las estructuras relevantes que caracterizan el ecosistema. En igual categoría de modelos isomórficos a escala se tienen las maquetas en que se representa el fenómeno 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.

Figura 3. Esquema de modelo del tipo a escala de un ecosistema, cualquiera.

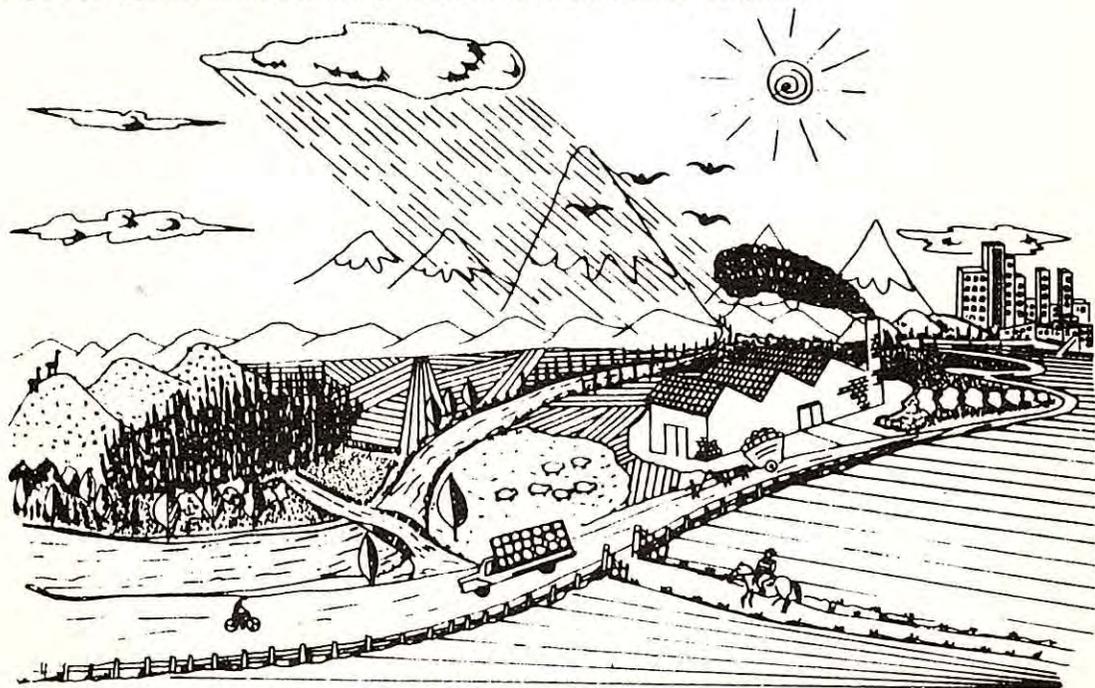
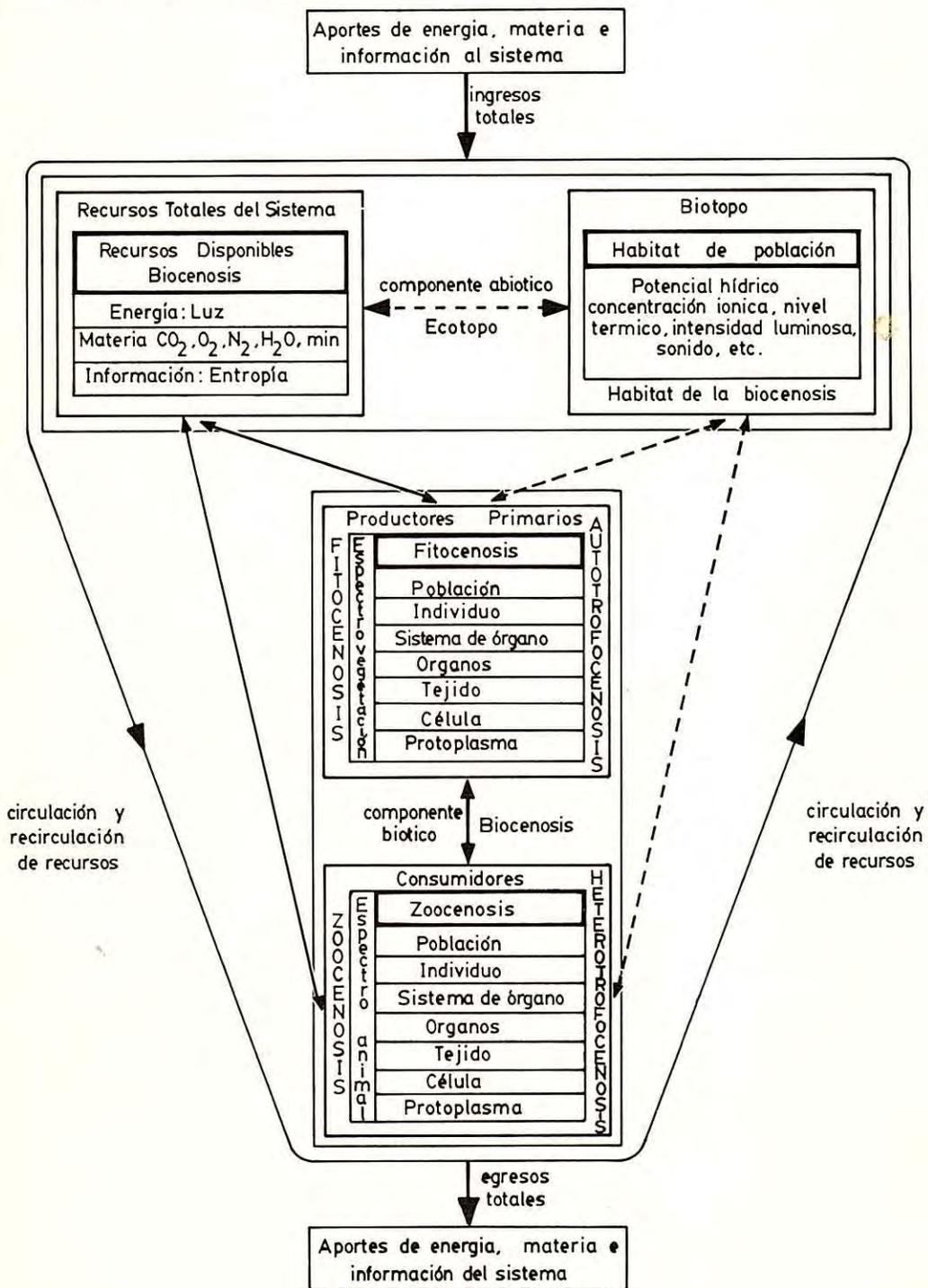


Figura 4. Esquema de modelo del tipo isomófico no visual del ecosistema.



Las construcciones agropecuarias también se diseñan en modelos a escala en forma de planos o maquetas donde se analizan, además de su utilización 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 del ecosistema, 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.

Los modelos isomórficos no visuales presentan también una equivalencia de uno a uno, aunque esto no es de naturaleza espacial (Figura 4). Un ejemplo de ello sería el lanzamiento de una piedra verticalmente hacia arriba con una velocidad inicial dada. 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).

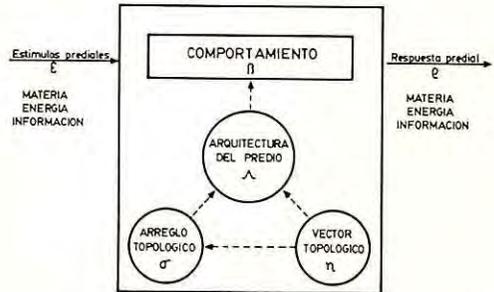
En la descripción de acontecimientos y procesos que ocurren en el sistema predial las imágenes isomórficas no visuales son en general de mayor aplicabilidad que en la descripción de sistemas concretos. En este último caso, es de mayor aplicabilidad el isomorfismo visual.

Dada la complejidad del ecosistema y la complejidad aún mayor del conjunto de ecosistemas que conforman un complejo 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.

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 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 fenómeno puede ser sim-

Figura 5. Esquema de modelo de tipo homomórfico del ecosistema.



plicado en una nueva forma de un modelo cuando sus partes son reducidas adecuadamente. El tratamiento científico de un sistema, 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 donde la complejidad inherente es elevada, se requiere, e incluso es inevitable, el homomorfismo entre el fenómeno y la imagen.

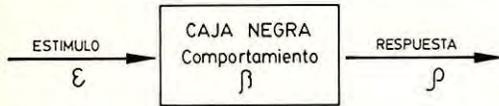
A menudo se asume implícitamente que la información que se tiene sobre el sistema es completa, pero esto no es nunca el caso en situaciones donde la recolección de la información o su almacenamiento lo hacen imposible. Una imagen ecosistémica, dada su complejidad, debe ser homomórfica al modelo. En la construcción de modelos de ecosistemas 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 variables de estado, constituyendo un sistema cualquiera o ecosistema, como si estuviera desprovisto de estructura interna; de manera de considerar sólo su comportamiento global al ser tratado como una unidad simple (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 manera de lograr finalmente establecer su fun-

Figura 6. Teoría del tipo de caja negra que considera al elemento como desprovisto de estructura, donde intervienen variables periféricas  $\epsilon$ ,  $\rho$ ., vinculadas mediante variables intermedias  $\beta$ .



ción 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 de relacionar las variables periféricas de estímulo  $\epsilon$  y respuesta  $\rho$  con la variable mediadora  $\beta$  o función que relaciona a las variables periféricas (Bunge, 1969). La variable mediadora debe corresponder a:

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

La variable mediadora debe resumir las propiedades de la caja negra, pero no se deriva de sus propiedades. La variable 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 incluye un mayor acopio de respaldo teórico y conceptual, de manera de lograrse una mayor comprensión de su contenido y operación, la caja negra se transforma gradualmente en traslúcida (Bunge, 1969).

La variable mediadora 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 en base, a su vez, de 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, la 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 ecosistema predial.

## Ecosistema-Origen

La imagen del sistema ecológico o ecosistema puede realizarse de manera de representar 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 ecosfera, 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 ecosfera o aun 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 el centro u origen, de manera de construir una imagen fiel del fenómeno agrícola, que contenga las variables y atributos propios del sistema agrícola.

El ecosistema-origen corresponde al ecosistema completo, integrado al nivel de complejidad propio de la naturaleza, lo cual es su centro u origen. El fenómeno debe contener todos los elementos propios de los recursos naturales y del hombre organizado como agricultor. Es factible, por lo tanto, al considerar al ecosistema del predio agrícola 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 construye 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 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.

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 ( $E_{bi}$ )  
Socioestructura ( $E_{hi}$ ), y  
Tecnoestructura ( $E_{ni}$ )

Los elementos externos, a su vez, se subdividen en:

Sistemas externos incidentes ( $E_{ci}$ ), y  
Entorno ( $E_{ei}$ )

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, construidos por un tipo de complejidad dado por la unidad de referencia. En base a lo anterior, el ecosistema se puede considerar como:

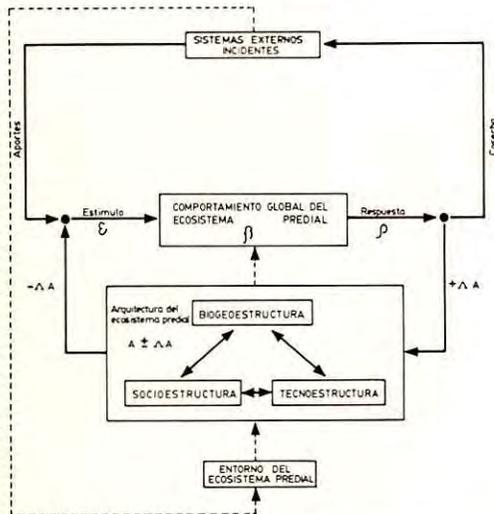
$$E_i = (E_{bi}, E_{hi}, E_{ni}, E_{ei}, E_{ci})$$

tal que los componentes estén conectados entre sí de manera que el conjunto actúe como una unidad (Figura 7).

El predio agrícola, como fenómeno, puede ser representado en su imagen o modelo que está dado 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 al 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. Al mismo tiempo, 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 el predio y otros fenómenos inciden-

Figura 7. Subsistemas del ecosistema, analizado al nivel de complejidad y jerarquía propios del predio agrícola.



tes sobre el mismo, es decir, los estímulos y respuestas 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 reciben importaciones, 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 ecosfera 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.

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.

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 que 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 componentes 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 subsistemas: biogeoestructura, socioestructura, tecnoestructura, entorno predial 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:

$$\begin{aligned}\rho^j &= \rho(\epsilon, \beta) \\ \beta^j &= \beta(\epsilon, \Lambda) \\ \Lambda^j &= \Lambda(\eta, \sigma); \quad \sigma = \sigma(\eta_1, \eta_2)\end{aligned}$$

Estas ecuaciones generales determinan el estado del ecosistema-origen ( $E_1^j$ ) en términos de su estímulo  $\epsilon$ , el comportamiento  $\beta$  y su arquitectura  $\Lambda$ . En otras palabras, el espacio de estado  $\rho_b$ , para el subsistema biogeoestructural está determinado por  $(\epsilon_b, \beta_b, \rho_b)$  tales que satisfacen las ecuaciones anteriores. Similarmente para los espacios de estado  $E_h$ ,  $E_n$ ,  $E_c$  y  $E_c$  que denotan las clases de elementos hombre organizado, tecnoestructura, entorno y unidades incidentes, respectivamente.

El espacio de estado del ecosistema origen  $E_1^j$  está determinado por la relación R, tal que:

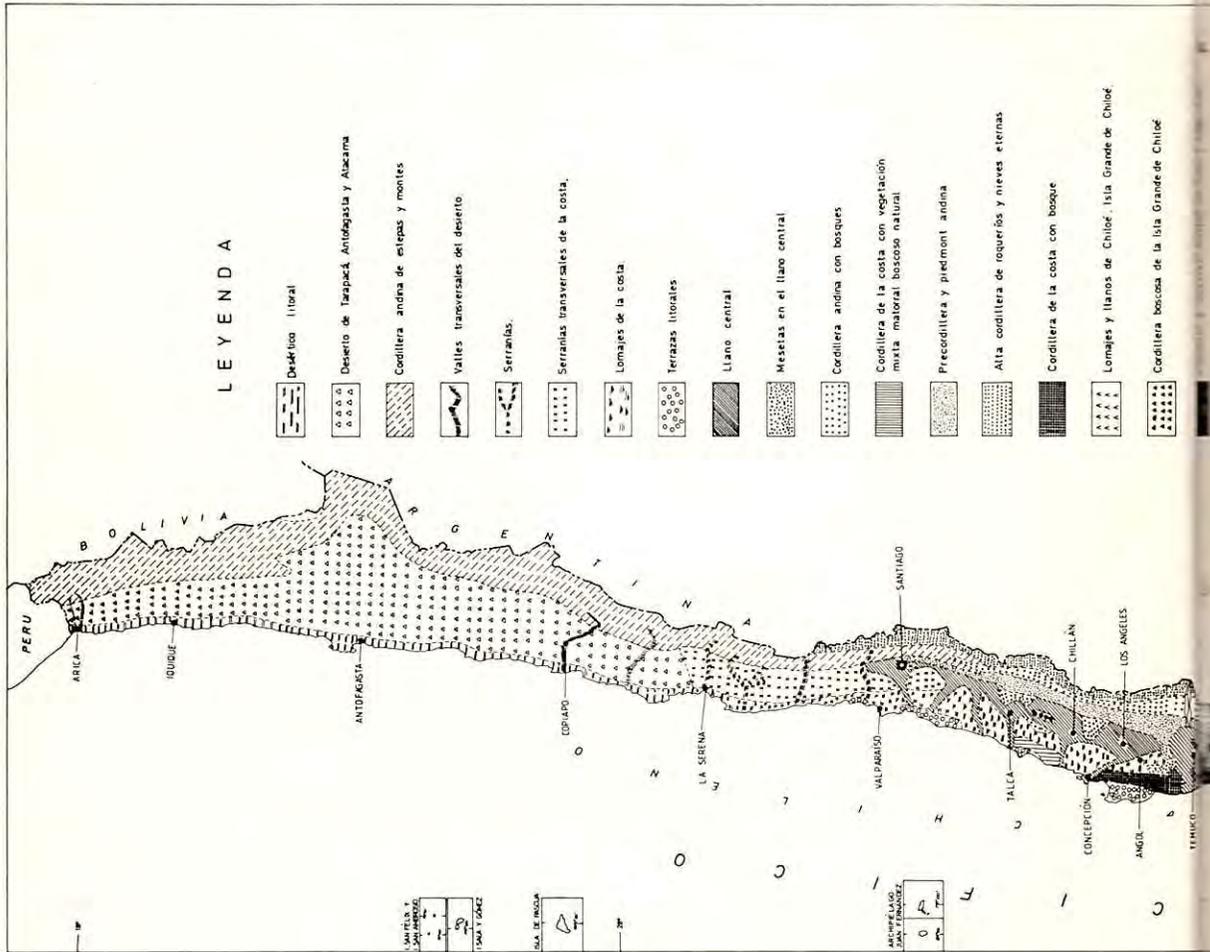
$$R = (E_b, E_h, E_n, E_c, E_c)$$

que expresa al conjunto de espacios de estado de cada uno de los subsistemas relacionados, de manera de generar un nuevo espacio de estado.

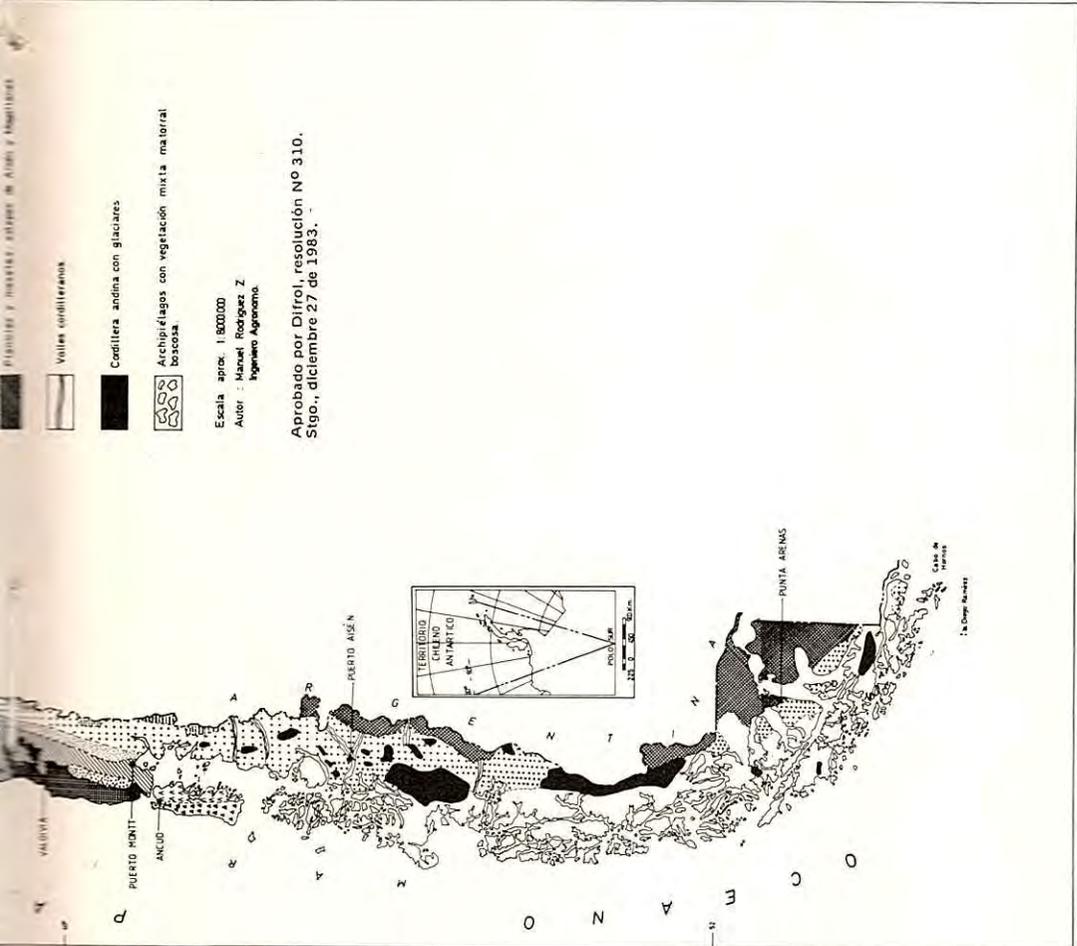
En la resolución de problemas prácticos relacionados con los recursos naturales se requie-

*psicogeografía*

Figura 9. Mapa de Chile. División regional del país basada en caracteres fisiológicos.



Planicie y marisqueo estero de Agua y Magallanes



Volcan cordilleranos

Cordillera andina con glaciares

Archipiélagos con vegetación mixta maorai boscosa

Escala aprox. 1:800000

Autor: Manuel Rodríguez Z.  
Ingeniero Agrónomo.

Aprobado por Difrol, resolución Nº 310.  
Sigo., diciembre 27 de 1983.

J. A. Oyarzun

re en una primera etapa plantear el nivel de complejismo en que se debe trabajar y el tipo de arquitectura que mejor se adapte al problema práctico, de manera de optimizar el nivel de resolución. Corrientemente este nivel de ubicación corresponde al ecosistema-origen, al nivel del predio.

La interacción de los elementos socioestructurales 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 pueden citar: los caminos, redes eléctricas, casas habitaciones, bodegas, cercas y alambradas, tractores, bordos, represas, etc.

Estas tres unidades estructurales, básicas en el manejo de los recursos naturales, están contenidas en otra unidad que corresponde al entorno o hábitat predial que actúa como catalizador sobre el fenómeno y del cual es a su vez un componente. 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 sólo 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 en forma eficiente algunos problemas de naturaleza física, pero su poder resolutorio 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.

## Agricultura

Agricultura ha sido definida como la artificialización del ecosistema. Los ecosistemas naturales existen en la biosfera terráquea desde antes de la aparición del hombre sobre el planeta y se desarrollan actualmente, además, en lugares donde el hombre no vive ni ejerce su influencia. No basta, sin embargo, que exista un ecosistema natural para que se desarrolle la agricultura, se requiere además de la intervención del hombre sobre el recurso natural, generando su transformación o artificialización.

Los recursos naturales que existen actualmente en la biosfera terráquea, son el resultado de un largo proceso de adaptación de los organismos al medio abiótico que les rodea. Esta adaptación, sin embargo, no es necesariamente la óptima para la especie humana. Es, a menudo, necesario transformar y adaptar los recursos naturales para adecuarlos a satisfacer las necesidades del hombre.

El hombre para subsistir requiere de un medio ambiente adecuado a satisfacer sus requerimientos de recursos naturales y de condiciones ambientales compatibles con los límites de tolerancia de la especie. Los recursos naturales proporcionan al hombre los elementos necesarios que requiere, entre los que destacan los alimentos para su nutrición, las fibras requeridas para su vestuario, el agua, para la bebida, la madera

para la vivienda, además de otros productos requeridos para la industria.

Las categorías principales de productos para los cuales se manejan los recursos naturales son:

- Productos vegetales: granos, frutos, hojas, tallos, corteza, madera, leña, raíces, tubérculos, savia, mantillo, polen, néctar, flores, estambres, forraje.
- Productos animales: carne, cuero, grasa, leche, lana, pelo, mantequilla, cuernos, huesos, dientes, vísceras, estiércol, trabajo de tracción.
- Fauna silvestre de caza y pesca: producción de alimentos, actividad recreativa, deportes.
- Producción de agua, aire limpio, oxígeno.
- Producción de partículas de suelo.
- Producción de cambios microclimáticos.
- Uso urbano-industrial-vial.
- Producción de belleza escénica y recreación.

Los estilos de agricultura que existen actualmente en la ecosfera son el resultado de un largo proceso evolutivo del sistema donde el hombre vive y del cual usufructa. En el transcurso del tiempo la capacidad modificadora de los recursos naturales de parte del hombre, a través del desarrollo tecnológico e industrial y del uso de los combustibles, se ha intensificado notablemente. En la actualidad, es posible transformar cualquier ecosistema natural con el fin de hacer agricultura.

El estilo de agricultura que se practica en la actualidad ha permitido incrementar la productividad de alimentos, de mejorar considerablemente las condiciones de la población y de incrementar la capacidad sustentadora del sistema. No es posible dejar de reconocer el éxito alcanzado por el hombre en materia de productividad agrícola en algunos ecosistemas de la ecosfera.

El desarrollo de las ciencias agrícolas, especialmente durante las últimas décadas, ha permitido tener un conocimiento cabal del sistema que sustenta al hombre. La tecnología disponible en la actualidad permite aplicar operadores de transformación, de manera de optimizar el ecosistema, al menos desde un punto de vista antrópico. A pesar de que es factible ejecutar cualquier transformación ecosistémica, tendiente a hacer agricultura e incrementar la productividad, no siempre se tiene en claro la naturaleza de las transformaciones, ni cuál debe ser el estado óptimo del sistema.

El término agricultura en el presente trabajo se emplea en sentido amplio que se refiere a cualquier recurso natural incluyendo sistemas forestales, dulceacuícolas, marinos, pratenses, desérticos, de cultivo, o cualquier otro que frecuentemente se le denomina recurso natural renovable de la ecosfera (Gastó, 1979).

Los objetivos de la agricultura, sin embargo, pueden ser muy variados, tales como optimizar:

- Producción de alimento.
- Producción de madera, leña.
- Producción de materia prima para construcción y vestuario.
- Producción de elementos para exportar.
- Generación de utilidades económicas.
- Generación de empleo.
- Hermoseamiento del paisaje.
- Recreación.
- Cosecha de agua.
- Producción de fauna silvestre.
- Preservación de la fauna silvestre.
- Conservación del recurso.
- Producción de estiércol y mantillo.

#### Capacidad de uso de la tierra

Cualquier uso que se le dé a la tierra tiene que cumplir tres requisitos: conservación del recurso natural renovable, adaptación de la fitocenosis y zoocenosis a las condiciones ambientales de suelo y clima, y obtención de un elevado grado de productividad (Gastó y Gastó, 1970).

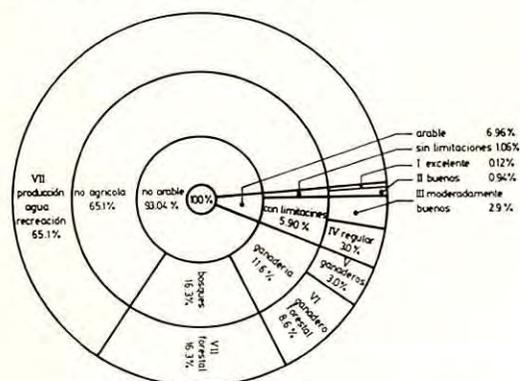
Capacidad de uso es la posibilidad de producir de un suelo conservándolo o mejorándolo y generando beneficios ecológicos, sociales y económicos óptimos con respecto a cualquier otro uso que se pudiera dar.

Cuando se decide la utilización del recurso natural debe considerarse que siempre existen diversas opciones, entre las cuales se debe elegir. Esta decisión no debe ser en ningún caso al azar, puesto que existen principios bien fundamentados que deben considerarse para su correcta utilización. La primera consideración que debe tomarse al planificar el uso de la tierra es conservacionista, en el sentido de preservar o mejorar las condiciones del suelo, vegetación y fauna, con los cuales se trabaja. En relación con esta idea, las tierras han sido clasificadas internacionalmente en ocho grupos de capacidades de uso.

De las 75.695.000 hectáreas que posee el

país en el continente americano, solamente el 0,12% corresponde a Clase I de capacidad de uso; el 0,94% a Clase II, 2,90% a Clase III, y 3,00% a Clase IV. El resto, no son arables y suman 93,04% del total nacional. El 3,00% es de Clase V; 8,60% Clase VI; 13,60% Clase VII y 65,10% Clase VIII. La Clase VIII representa a los suelos no agrícolas, aptos solamente para recreación y producción de agua (Figura 8).

Figura 8. Distribución potencial de la superficie de Chile americano, clasificada según su capacidad de uso (Gastó y Gastó, 1970).



Las clases de capacidad de uso de los suelos son las que a continuación se indican:

### Suelos de riego

**Clase Ir.** Son suelos sin limitaciones de uso y de muy buena productividad; planos o con pendientes muy ligeras y sin dificultades para el riego. Se adaptan sin limitaciones a todos los usos, por ser profundos. La fertilidad natural es buena y las condiciones de textura, permeabilidad y aireación son favorables. No tienen problemas de pedregosidad, erosión, salinidad y drenaje.

**Clase Iir.** Suelos con sólo ligeras limitaciones en su uso y de buena productividad, planos o con ligera pendiente que pueden requerir cuidados especiales al ser regados. Se adaptan sin limitaciones a todo uso; son profundos. La textura puede variar entre extremos algo más arcillosos o arenosos que en la clase anterior. No tienen problemas de salinidad como tampoco de drenaje, pero pueden estar expuestos a la erosión, en el caso de ser ligeramente inclinados, a menos que se empleen prácticas adecuadas de riego.

**Clase IIIr.** Suelos con limitaciones moderadas de productividad natural, en general de regular calidad, aun cuando pueden ser buenos para cultivos específicos. La topografía suele variar de plana a moderadamente inclinada lo cual puede dificultar el riego. Se destinan a todos los cultivos, pero dadas sus limitaciones, los rendimientos, por lo general, son medios.

**Clase IVr.** Suelos con serias limitaciones para los cultivos. Las limitaciones pueden originarse en: exceso de pendiente que dificulta el riego, escasa profundidad, excesiva pedregosidad, baja fertilidad, napa de agua artificial, textura muy arenosa o muy arcillosa, salinidad, riesgos de inundación, etc.

### Suelos arables de secano

**Clase I.** Suelos que se adaptan a todos los cultivos propios de la región, cuando la disponibilidad de lluvias es adecuada. Son planos o ligeramente inclinados, profundos, de buena textura y permeabilidad, adecuados para el regadío si hay posibilidades de ello, no erosionables, sin ninguna limitación que afecte su uso.

**Clase II.** Suelos planos o moderadamente inclinados, susceptibles de erosionarse pero aún no dañados, de profundidad media, de buena textura y permeabilidad, pudiendo variar a extremos ligeramente más arcillosos y arenosos que la clase anterior. Puede haber presencia de piedras, pero sin constituir un obstáculo el cultivo.

**Clase III.** Suelos cuya topografía dominante son los lomajes, con pendientes moderadas, susceptibles de erosionarse al no ser bien manejados, medianamente profundos, con substrato de naturaleza variable, pero que admite la penetración de las raíces. La fertilidad natural de estos suelos hace indispensable el uso de fertilizantes para asegurar rendimientos medios, los suelos de esta clase tienen un uso casi exclusivo para el cultivo de cereales en rotación con pastos naturales o artificiales.

**Clase IV.** Son suelos que, debido a la pendiente, erosión, pedregosidad, drenaje, clima, etc., están limitados a cultivos de cereales y pastos con rendimientos marginales. En general, esta clase representa el límite en que es posible cultivar el suelo con rendimientos remunerativos.

### Suelos no arables de secano

Los suelos pertenecientes a este grupo han quedado excluidos de los de categoría de arables,

por tener limitaciones extremas en sus características de pendiente, erosión, drenaje, clima y otros, que limitan el desarrollo de los cultivos. Su uso en cultivos implica riesgos serios de erosión, de allí que estén limitados al pastoreo, a la explotación forestal y a usos indirectos como la mantención de la vegetación para proteger las cuencas hidrográficas, la flora y la fauna naturales.

*Clase V.* Suelos planos, no cultivables en un instante dado, pero con condiciones potenciales para serlo. Las limitaciones que impiden su cultivo pueden originar deficiencias de drenaje, inundaciones frecuentes, excesiva pedregosidad, salinidad, etc., las que son posible de resolver a través de inversiones específicas. También se consideran en la Clase V, los suelos planos o ligeramente inclinados, que por factores de clima no tienen posibilidades de ser destinados a cultivos anuales, pero en cambio poseen buena aptitud para la producción de pastos naturales durante todo el año, o una buena parte del mismo.

*Clase VI.* Incluye todos los suelos en los cuales la pendiente y el consiguiente riesgo de erosión, el clima y otras causas, impiden en forma permanente su cultivo no habiendo, además, posibilidades de modificar estas condiciones.

Según el régimen de lluvias, pueden constituir suelos con uso exclusivamente ganadero y si las lluvias son suficientes, pueden dar lugar a la explotación forestal o ganadero-forestal. En las zonas semiáridas o subhúmedas pueden tener un período de pasto natural que permita la crianza de ganado. En regiones con mayor precipitación, donde se desarrolla el bosque natural, estos suelos tienen características potenciales para la producción de maderas aserrables. Sin embargo, también tienen condiciones potenciales para la explotación ganadera por tener pendientes moderadas y adecuada fertilidad para el desarrollo normal de pastizales o artificiales.

*Clase VII.* En los suelos de esta clase se acentúan las características que imposibilitan su uso en cultivos. De acuerdo a las características del régimen de lluvias, son aptos para el pastoreo estacional y tienen serias limitaciones para la reforestación, a menos que las plantaciones se rieguen en sus primeros años de desarrollo.

Los pastos naturales no tienen posibilidades de mejoramiento debido a la pendiente y rocosidad y su período de pastoreo es limitado. En

regiones de mayor precipitación, de más de 1.000 mm al año, ofrecen riesgos de erosión. El uso ganadero resulta también muy restringido, debiendo preferirse conservar los bosques naturales como una forma de explotación permanente y de protección de terreno.

*Clase VIII.* Comprende a todos los suelos con serias limitaciones de uso, debido a la topografía, clima, erosión, etc. Esta clase agrupa a los terrenos sin valor agrícola, ganadero o forestal, y están constituidos por roqueríos, nevados o glaciales en la alta cordillera, por pantanos no drenables, dunas, desiertos sin posibilidades de regadío, terrenos destruidos por la erosión, etc.

## Regiones naturales de Chile \*

### Región de la Cordillera Andina

La región de la Cordillera Andina, evidentemente constituye una unidad natural caracterizada por la fuerte incidencia que tiene el relieve y la altitud (Figura 9). Estas características dominantes de relieve y altitud son modificadas por el efecto que tiene la latitud en el clima, sobre todo en un sistema que se inicia en el paralelo 18 L.S. y se prolonga hasta el paralelo 55 L.S. Se distinguen las siguientes subregiones:

*Alta cordillera de roqueríos y nieves eternas.* Constituye esta subregión las áreas que sobrepasan en altura a la "línea de vegetación", sobre la cual desaparecen las formas arbórea y arbustiva, reemplazándose por plantas de tipo cojín o aparragadas. Gran parte de esta región, de acuerdo con la altitud y latitud, está ocupada por roqueríos, nevados y glaciales de desarrollo local.

### *Cordillera de los Andes de estepas y montes arbustivos*

Entre los paralelos 18 L.S. y el 21 L.S. y siguiendo una faja de norte a sur paralela a la anteriormente descrita, la alta cordillera está ocupada por una subregión que se inicia con vegetación con carácter de estepa y que desaparece, en transición al desierto, cuando se desciende hacia el oeste a alturas inferiores a 3.000 m.

\* Extracto del trabajo de M. Rodríguez Z. (1959-60).

*Cordillera andina con bosques*

Entre los paralelos 35 L.S. y 37,30 L.S. en las altitudes que sobrepasan de los 800 m.s.n.m., se encuentra que la precipitación anual excede de los 1.000 mm y la sequía de verano es inferior a tres meses; dando lugar a la iniciación de la subregión ocupada por bosques. Estos desaparecen si se asciende sobre la línea de nieves, o se desciende a menos de 800.

*Cordillera andina con glaciales continentales*

Corresponde esta subregión a la zona de la cordillera en que la interacción de la latitud y la altitud da lugar a la formación de nevados y vestisqueros que ocupan extensiones que cubren algunos centenares de km<sup>2</sup>.

Esto ocurre en forma cada vez más extensa al sur del paralelo 43 L.S. descendiendo los ventisqueros hasta los lagos andinos y aun al mar en muchos lugares.

**Región del Desierto**

Esta región incluye la zona en la cual prácticamente no existen precipitación y vegetación. En su demarcación se ha considerado que abarca a la región que queda bajo la isoyeta de 100 mm de promedio anual y se extiende desde el paralelo 18 al 30 L.S. Las características desérticas impuestas por esta ausencia de lluvia durante varios años consecutivos, establece de por sí una condición única, que se expresa por la ausencia total o casi total de vegetación.

Se exceptúan los pequeños valles regados que se han incluido en el grupo denominado Valles.

**Región de las Serranías y Lomas con vegetación arbustiva xerófila**

Comprende esta región a la subregión de Serranías, con alturas y relieves intermedios entre los lomajes de la Cordillera de la Costa y los más escarpados de la región de la Cordillera Andina. También incluye a la subregión de Lomajes de la Cordillera de la Costa, y a la subregión del Piedmont-Andino.

*Serranías*

Abarca la zona comprendida entre los paralelos 30 y 34 L.S. Se caracteriza por un sistema de serranías con fuertes pendientes, de 30°/o a

50°/o, alturas que fluctúan de 1.000 a 2.000 m.s.n.m., vegetación arbustiva-xerófila y pradera anual que crece siguiendo el ciclo del corto período de lluvias. Esta última alcanza a un mínimo de 100 mm en el límite con la zona desértica y llega hasta 700 mm en el extremo sur del área. La temperatura media anual oscila entre 17 y 18 grados C. y la sequía de verano se prolonga de 6 a 9 meses.

*Lomajes de la Costa*

Comprende esta subregión a la Cordillera de la Costa comprendida entre los paralelos 30 y el 37 L.S. Tiene una altitud media que fluctúa entre 300 a 500 m; topografía ondulada; pendientes de 8 a 20°/o, vegetación arbustiva-xerófila asociada a pradera anual, la que germina y se desarrolla con las lluvias invernales y produce semilla al término de la primavera, de octubre a noviembre según la latitud. La precipitación fluctúa entre un mínimo de 200 mm y un máximo de 1.000 mm, caracterizándose por la total ausencia de lluvias de verano y escasa lluvia de primavera, teniendo el período de sequía 5 a 9 meses de duración de norte a sur. La temperatura media anual fluctúa entre 15 y 13 grados C.

*Precordillera y "Piedmont" Andino*

Representa el paso entre el llano central y la región andina interior y la alta cordillera. Este sector se prolonga desde el paralelo 33,30 L.S. hasta el paralelo 41,30 L.S. Está formado por sucesiones de conos de rodados y hacia el sur del paralelo 35 L.S. por sedimentos glaciales de piedmont. La topografía se caracteriza por lomajes con pendientes de 8 a 30°/o como promedio y la altitud sobre el nivel del mar no es mayor de 800 m. Dada la extensión de esta subregión, la latitud influye en la vegetación natural, la que es de carácter arbustivo hasta el paralelo 36 L.S. y arbórea hacia el sur.

**Región de los Valles y Llanos**

Esta región está constituida por diferentes valles y por el gran llano longitudinal. Se caracteriza por el predominio de la topografía plana, o ligeramente ondulada, debido al modo de formación el que corresponde a una sedimentación aluvial o fluvio-glacial.

Considerando los factores climáticos de alti-

tud y otros, esta región se ha subdividido para su mejor interpretación en cuatro subregiones.

#### *Valles transversales del desierto*

Incluye este subgrupo a los valles asociados a la región del desierto, con influencia de clima litoral en una faja que alcanza a 10 km, al interior de la costa. La precipitación en estos valles es prácticamente inexistente y sólo se manifiesta por las neblinas. La temperatura media anual es de 17 a 19 grados C, libre de heladas durante todo el año. Los suelos de estos valles están constituidos por estratas aluviales que crean una gran variedad de asociaciones y tipos de suelo, con manifestaciones evidentes de salinidad en la zona en que el valle llega al mar y se producen afloramientos de napas subterráneas con alta concentración salina.

#### *Valles transversales de las serranías*

Estos valles están asociados a la subregión de las serranías, en la que desaparece el clima desértico pasándose gradualmente a un clima semiárido. Siguen su curso de cordillera a mar por el fondo de las depresiones tectónicas que han sido rellenadas por los aluviones de los ríos, cuyas hoyas hidrográficas nacen en la región andina. El curso de estos valles se caracteriza por la presencia de varios niveles, terrazas, que dejan planicies escalonadas en las cuales se desarrolla la agricultura de riego.

#### *Llano central*

Se caracteriza fisiográficamente por ser una fosa tectónica rellanada con sedimentos aluviales y fluvio-glaciales; tiene un ancho variable de 15 a 40 km, pendiente suave, de 1 a 20/o de oriente a poniente, y que se prolonga en forma casi continua de norte a sur, entre los paralelos 33,30, y 41,30 L.S.

Este extenso llano, abarca un área que comprende ocho grados de latitud. Las alturas medias del llano van bajando de norte a sur, fluctuando entre 500 y 300 m.s.n.m. en el extremo norte y centro para bajar de Cautín al sur a 100 m.s.n.m. Considerando tan amplia latitud la precipitación aumenta progresivamente de norte a sur. Se inicia con una precipitación media de 300 mm en la latitud 35 L.S. y va aumentando progresivamente hacia el sur; 780 mm en San Fernando; 1.000 mm en Linares; 1.285 mm en Los Angeles; 1.345 mm en Temuco; 1.330

en Osorno, y 2.000 mm en Puerto Montt.

#### *Valles cordilleranos*

La Cordillera Andina constituye la hoya hidrográfica de los ríos que cursan la región del desierto, los valles transversales y el llano central del país.

Es difícil, en consecuencia, tratarla como una unidad distinta a la de los valles de estos ríos, en su curso inferior. Sin embargo, al analizar los factores de uso de la tierra, existen diferencias sustanciales entre el curso superior de los ríos, su curso medio e inferior. En consecuencia, se consideran aquí las características de los valles andinos en su curso superior, es decir, antes que abandonen la región andina propiamente tal.

#### **Región de la Cordillera de la Costa con bosques**

Se ha distinguido como una región natural característica a la región de la Cordillera de la Costa, con bosques, la cual, por factores de altitud y latitud da lugar a condiciones ecológicas que favorecen el desarrollo de las especies forestales, tal como sucede en la región de la Cordillera de los Andes, pero diferencias de clima dan a la vegetación forestal de la Cordillera de la Costa ciertas características simples.

Esta región se ha dividido en dos subregiones, en atención a que es clara la existencia de un sector de transición entre el río Maule y el río Itata, alcanzando su pleno desarrollo forestal desde la provincia de Arauco al sur.

#### *Cordillera de la Costa con vegetación mixta de matorral y bosques*

A partir de la latitud 35 a 36,30 L.S. se encuentra en la Cordillera de la Costa una zona de mayor altitud y precipitación, que corresponde a la formación geológica de pizarras y micaesquisto de edad paleozoica que se interpone entre las planicies litorales y los lomajes interiores en un ancho de 15 a 20 km, entre los ríos Maule y Biobío. Estos cambios se reflejan por la presencia de especies forestales asociadas a los arbustos xerófitos dándole una fisonomía arbustivo - arbórea. La precipitación anual se eleva de 1.000 a 1.200 mm de promedio; la temperatura media anual es de 14 grados C. y la altura de este cordón pasa de 600 m; lo que

da lugar a que el frente occidental sea más lluvioso y húmedo que el frente oriental.

#### *Cordillera de la Costa con bosques*

Al sur del paralelo 37 L.S., provincia de Arauco, por efecto de la latitud y la altitud que alcanza la Cordillera de la Costa, presencia de la Cordillera de Nahuelbuta, encontramos al bosque como expresión ecológica del medio. La precipitación es muy elevada, no bajando de 1.200 mm de promedio anual y alcanzando en la cumbre de estos cordones de 3.000 a 4.000 mm de lluvia anual. El relieve es pronunciado en la zona de la Cordillera de Nahuelbuta, alcanzándose alturas de 1.500 m.s.n.m., lo que da lugar a que el frente occidental sea muy lluvioso y húmedo y relativamente más seco los faldeos que miran hacia el oriente.

#### **Región de Terrazas y Mesetas Litorales**

Se incluye en este grupo a una región que se caracteriza por tener una topografía casi plana o ligeramente ondulada; y que por su modo de formación y clima difiere de los valles y del llano central.

#### *Terrazas Litorales*

En la región de la costa se encuentra frente a la zona litoral y de extensiones que alcanzan a una profundidad hasta de 15 km planicies litorales cortadas por profundas quebradas y que forman un farellón frente al Océano Pacífico. Su origen está relacionado con formaciones sedimentarias marinas que han experimentado solevantamientos. Sus características de suelo, clima y topografía la señalan en forma particular. Se extienden en forma discontinua entre los paralelos 30 a 38 L.S. y posee un clima marítimo por su proximidad al mar.

#### **Región Insular de Chiloé, Aisén y Magallanes**

Entre los paralelos 42 y 56 L.S. el llano central y región de la Cordillera de la Costa continúa hacia el sur en un sistema de islas que constituyen una región natural de por sí, muy característica, y que se ha subdividido en las siguientes subregiones:

#### *Isla Grande de Chiloé*

La región oriental de la isla de Chiloé presenta

todas las características topográficas del clima, de suelo y vegetación que caracterizan el llano central en la región de Llanquihue y puede considerarse como su continuación si no fuera por su condición insular.

#### *Cordillera boscosa de la isla Grande de Chiloé*

Se observan las mismas características de relieve, clima, vegetación y suelos de la región rocosa de la costa, diferenciándose por su carácter insular.

#### *Archipiélagos con vegetación mixta boscosa-matorral*

Al sur de la isla Grande de Chiloé, paralelos 44 al 56 L.S., se extiende un conjunto de islas que constituyen el archipiélago de Chiloé, Aisén y Magallanes. La alta precipitación y alta nubosidad que caracteriza a esta zona, lluvia anual de 3.000 a 7.000 mm, unida a las condiciones de menor temperatura media anual, que baja de 10 a 5 grados C, determina que la vegetación natural difiera, tomando un aspecto arbustivo-forestal, de mediano a escaso desarrollo, encontrándose asociada con pantanos y turbales llegando a una ausencia total de suelo y vegetación en el frente occidental de las islas.

#### **Región de planicies y mesetas de Aisén y Magallanes**

Frente a los paralelos 45 y 47, región Balmaceda, y entre los paralelos 51 y 54 L.S., el territorio se extiende en el lado oriental de la Cordillera de los Andes hacia el Atlántico, gozando, en consecuencia, de las características propias de las planicies y mesetas de la región conocida como Patagonia. La vegetación es de pradera asociada con monte arbustivo y adquiere un aspecto estepario a medida que se avanza hacia la zona más árida del Atlántico. El clima es frío y semiárido, la temperatura anual fluctúa entre 5 y 6 grados C y en invierno desciende de 10 a 20 grados C bajo cero. La precipitación es de 700 mm al pie de la zona andina y desciende a 200 mm próxima al Atlántico.

#### **Referencias**

- Armijo T., R.; Nava, C. y Gastó C., J. 1976. *Fundamentos de Transformación de Ecosistemas*. Univ. Auton. Agraria Antonio Narro. Monog. Técnico-Científica. 2: 1-57. Saltillo, Coahuila, México.

- Ashby, W.R. 1956. *An Introduction to Cybernetics*. Chapman and Hall, University Paperbacks. Londres, 295 pp.
- Becht, G. 1974. System theory. The key to holism and reductionism. *Bioscience* 24: 569-579.
- Bunge, M. 1969. *La Investigación Científica*. Ariel. Barcelona. 955 pp.
- Caswell, H.; Koenig, H.E.; Resch, J.A., and Ross, Q.E. 1972. *System Analysis and Simulation in Ecology*. Vol. 2. Academic Press. N.Y.
- Distéfano, J.J.; Stebberud, A.R., and Williams, I.J. 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.
- Friederichs, K. 1930. *Die Grundfragen and Gestezmäßigkeiten 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 medio ambiente en América latina. 179 pp.
- Gastó C., J. 1980. Ecología. *El Hombre y Transformación de la Naturaleza*. Universitaria-Santiago.
- Gastó C., J. y Gastó C., J. 1970. Uso de la tierra. *El Campesino*, Abril.
- Harre, R. 1960. *An Introduction to the Logic of the Sciences*. Macmillan. N.Y.
- Hartman, F. 1960. *Ontología*. Fondo de Cultura Económica. México. 576 pp.
- 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.
- Locker, A. 1973. Systemogenesis as a paradigm for biogenesis. En: A. Locker (Ed.). *Biogenesis, Evolution, Homeostasis*. A symposium by correspondence. Springer Verlag. N.Y.
- Maelzer, D.A. 1965. A discussion of componentes of environment in ecology. *J. Theoret. Biol.* 8: 141-162.
- 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.
- 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.
- Rodríguez Z., M. 1959-1960. *Regiones Naturales de Chile y su Capacidad de Uso*. *Agricultura Técnica*. 19 y 20: 309-399.
- 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.
- 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 pp.