DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA REPRESENTACIÓN Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE PREDIOS RURALES*

Juan Gastó, Patricio Rodrigo e Ivonne Aránguiz.

Resumen

Se analiza desde la perspectiva predial la caracterización y ordenación territorial rural. Se presenta el marco teórico de la caracterización y sistematización para la representación y resolución de problemas en el ámbito predial.

Se indican las variables ecológicas y administrativas necesarias para identificar, clasificar y ordenar el territorio en el ámbito predial y construir la imagen que lo represente. Se identifican los objetivos y metas que después de determinar las limitantes y potencialidades del territorio, se caracterizan en una base de datos y cartografía correspondiente, de acuerdo con la jerarquía de las variables y las visiones de la naturaleza y de la ruralidad.

Se descomponen los problemas a través del desarrollo de un sistema de problemas y se complementa con la construcción de una metodología para la determinación de tipologías prediales y la identificación de estilos de predios. Se entregan las herramientas para realizar la caracterización predial y preparación del informe del estado del predio.

Palabras claves: Predio, rural, metodología, representación y resolución de problemas

CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS 111

INTRODUCCIÓN 112

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 112
- ESTRUCTURAS 113
- LINDES 115
- JERARQUÍA DE SISTEMAS 115
- TOMA DE DECISIONES 115
- ESTADO DEL SISTEMA 116
- NECESIDAD DE REPRESENTAR 117
  - *Transformación en Modelo 118*

SISTEMA DE PROBLEMAS 120
- HIPERPROBLEMA 120
- ATRIBUTOS 121
  - *Controlabilidad 121*
  - *Observabilidad 122*
  - *Jerarquía 122*
- DESCOMPOSICIÓN Y COMPOSICIÓN 123

TIPOLOGÍA DE MODELOS 124
- PROCESO DE MODELACIÓN 124
- TIPOLOGÍA DE MODELOS DE PREDIOS 124
  - *Modelos a Escala 124*
  - *Modelo Isomórfico 125*
  - *Modelo Homomórfico 125*
  - *Modelos Matemáticos 126*
  - *Sistemas de Información Geográfica (Modelos SIG) 127*

IDENTIFICACIÓN Y ESTILOS DE PREDIOS 128
- IDENTIFICACIÓN 128
  - *Lindes 128*
  - *Localización 129*
  - *Posición Relativa 129*
  - *Sistemas Externos Incidentes 130*
  - *Meta 131*
  - *Funcionalidad Espacial 133*
  - *Tipologías de Propietarios 134*
  - *Tipologías de Predios 135*

ESTILOS DE AGRICULTURA PREDIAL 138

CARACTERIZACIÓN FÍSICA 139
- HERRAMIENTAS Y TECNOLOGÍAS 139
- CARACTERIZACIÓN 140

CARACTERIZACIÓN HOMOMÓRFICA 142
- CAJA NEGRA 142
  - *Elementos de la Caja Negra 145*
  - *Algunos Modelos 147*

PREPARACIÓN DEL INFORME 147
- INTRODUCCIÓN 147
- ANTECEDENTES 147
- PROBLEMÁTICA 149
- CARACTERIZACIÓN FÍSICA 149
- CARACTERIZACIÓN ADMINISTRATIVA 149
- CARACTERIZACIÓN HOMOMÓRFICA 149
- ESTILO PREDIAL 149
- DIAGNÓSTICO Y RECOMENDACIONES 149

BIBLIOGRAFÍA 149

AGRADECIMIENTOS

La confección de este documento ha contado con la colaboración de numerosas personas e instituciones a los cuales se les agradece su colaboración y disposición. En especial, se agradece a los propietarios de predios que han posibilitado la realización de estudios en sus predios, ya que gracias a ellos este texto ha podido ser elaborado y perfeccionado.

Se agradece en forma especial a los siguientes fundos, estancias, parques, comunidades e hijuelas:

- Mapullay, V Región, Chile
- San Vicente, Litueche, VI Región, Chile
- Jiménez y Tapia, IV Región, Chile
- Santa Adela de Dumuño, V Región, Chile
- Llanos del Noble, Córdoba, España
- Llico, VII Región, Chile

* Gastó, J., P. Rodrigo e I. Aránguiz. 2002. Desarrollo de una metodología para la representación y resolución de problemas de predios rurales. **En**: Gastó, J., P. Rodrigo e I. Aránguiz. Ordenación Territorial, Desarrollo de Predios y Comunas Rurales. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. LOM Ediciones. Santiago, Chile.

- El Sobrante, V Región, Chile
- Valle Hermoso, IV Región, Chile
- Las Blancas, Llay Llay, V Región, Chile
- Río Azufre, VI Región, Chile
- San Francisco, VI Región, Chile
- Chorombo, R. Metropolitana, Chile
- Los Duros, R. Metropolitana, Chile
- Pahuilmo, R. Metropolitana, Chile
- San Jorge, V Región, Chile
- Santa Luisa, R. Metropolitana, Chile
- El Carmen de la Vega, R. Metropolitana, Chile
- Santa Blanca, V Región, Chile
- Quinto del Huerto, Sevilla, España
- Las Monteras, Córdoba, España
- Rincón de Ávila, Santa Fé, Argentina
- Quenehuao, VII Región, Chile
- Los Molles, VI Región, Chile
- Santiago Colla, Patacamallo, Bolivia
- Costa Azul, VII Región, Chile
- Las Pitras, VII Región, Chile
- Línea Nueva, X Región, Chile
- Los Junquillos, VIII Región, Chile
- Baño Nuevo, XI Región, Chile
- Río Cisnes, XI Región, Chile
- Carquindaño, IV Región, Chile
- Yerba Loca, IV Región, Chile
- Belén, Chaco Central, Paraguay
- Sierra de Grazalema, Cádiz, España
- Reserva Nacional Río Cipreses, VI Región, Chile
- Laguna Blanca, XII Región, Chile
- Los Humosos, Córdoba, España
- Pumalín, X Región, Chile
- Cerro El Padre, VIII Región, Chile
- Parque Lauca, I Región, Chile
- Noria de Guadalupe, Zacateas, México
- Huencuecho Norte, VII Región, Chile
- Parcelas San Pedro, Loica, R. Metropolitana, Chile
- Pillán, X Región, Chile

INTRODUCCIÓN

Los problemas de ordenación territorial en escala predial han sido tradicionalmente resueltos en forma intuitiva, por lo cual los resultados, usualmente distan de ser óptimos. Los conflictos de la agricultura son de gran complejidad, debido al número y diversidad de las variables que intervienen y a las dificultades de caracterizar el territorio predial. De ahí que sea necesario contar con una metodología que permita aproximarse a la solución de manera rigurosa y sistemática, con un mínimo esfuerzo y con altas posibilidades de éxito.

El presente trabajo es el resultado de más de 25 años de llevar a cabo estudios de ecosistemas prediales, realizados como tesis de grado y como talleres, en predios de diversos países y con estudiantes graduados y de pregrado de Chile, Alemania, España, Francia, Paraguay, Reino Unido, Bélgica, Italia, Ecuador, Argentina, Bolivia, Perú, Colombia y México.

Se ha estudiado una amplia gama de tipologías prediales y de condicionantes climáticas, geomorfológicas, edáficas y vegetacionales. Además se han podido analizar fundos, parcelas, estancias, cortijos, parques nacionales, comunidades con diferencias en sus objetivos, tamaños y modalidades de gestión. En el desarrollo de la metodología presentada en este estudio han participado numerosos profesionales de diversas disciplinas quienes han hecho sus aportes, lo cual ha permitido finalmente llegar a contar con una metodología rigurosa y sistemática aplicable a la resolución de problemas prediales.

La aplicación iterativa y holística de procedimientos generales provenientes de las más variadas disciplinas tales como climatología, geomorfología, geología, edafología, vegetación, faunación, cartografía politemática, bases de datos, ecología, fotogrametría, fotointerpretación, sistema de información geográfica, sociología, tecnología, diseño y varias otras aplicadas a las más diversas tipologías prediales, ha permitido finalmente llegar a proponer un método aplicable en la escala predial con el fin de describirlas y llegar eventualmente a proponer un diseño y solución, de acuerdo con las condicionantes específicas del propietario y de las características físicas y tecnológicas del espacio predial.

Pretender resolver problemas tan complejos como los prediales con tecnologías parciales de cultivos, ganaderas, de riego, de fertilización o cualquier otra, no es lo más conveniente. Las soluciones prediales deben ser holísticas, por lo cual las tecnologías específicas que se apliquen deben ser referidas al predio como un todo, considerando como una prioridad la dimensión territorial del problema.

El método propuesto incorpora las tecnologías de terreno requeridas para la caracterización del territorio en la escala predial. Incorpora además técnicas de laboratorio tal como la fotointerpretación, los sistemas de información geográfica, los análisis territoriales y la modelación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los problemas de la agricultura y de la ruralidad en general, a pesar de ser de aparente simpleza, son de gran complejidad. Han abundado las soluciones parciales, en tanto que la formalización y rigurosidad científica ha sido escasa. Se ha abusado de procedimientos empíricos que han exagerado la búsqueda de soluciones parciales y repetitivas de algunos de los componentes prediales, en tanto que sus aspectos globales han permanecido ignorados.

La experimentación agrícola practicada en forma rutinaria y aplicada a los problemas más diversos de natu-

raleza meramente sectorial, no como un mecanismo de falsación de hipótesis sino como un simple mecanismo de calibración cuantitativa, no ha permitido lograr grandes avances en este campo. Se han ignorado algunas ramas de la ciencia que podrían contribuir a la resolución de problemas prediales, exagerando la aplicación de otras.

El predio rural debe ser considerado como un sistema, debido a que existen numerosas actividades relacionadas entre sí, donde se integran las labores agrícolas, el trabajo, el capital, los riesgos, la tierra, las construcciones, las obras de ingeniería rural y la capacidad de producir. Son unidades donde se integran el ecosistema (Walter, 1973), con la unidad independiente de actividad económica (Ruthenberg, 1980), la unidad social y la cultural. Es el lugar donde se toman decisiones para el desarrollo agrícola, por lo cual debe ser considerado como un sistema complejo (Figura 1).

En la resolución de los problemas de la agricultura se debe tener información individual de los predios, como asimismo de su conjunto. Se deben reconocer los numerosos fenómenos aparentemente no relacionados que constituyen el predio, lo cual localiza el problema en la teoría general de sistemas (Von Bertalanffy, 1975).

Los diversos especialistas utilizan numerosas formas de definir los sistemas rurales orientados hacia alguna meta específica. La cuenca hidrográfica es el sistema de los hidrólogos, los geógrafos en cambio utilizan la región, los economistas, la empresa y los sociólogos, la aldea o la familia. El predio y el sistema predial no son, por lo tanto, la única forma de analizar la ruralidad y la empresa.

ESTRUCTURAS

El predio ha sido definido por Woermann citado por Ruthenberg (1980) como una unidad organizada de toma de decisiones, en la cual las actividades de producción se llevan a cabo con el propósito de satisfacer las metas del productor. Es por lo tanto, un sistema orientado a alcanzar una meta. Lo más relevante es la meta de quienes toman decisión, que en la mayoría de los casos es el agricultor mismo, o éste y su familia. La sociedad espera que el agricultor, al establecer sus propios objetivos, promueva también el interés común (Ruthenberg, 1980).

Desde un punto de vista operativo, el predio puede ser definido como "una unidad organizada de toma de decisiones, un espacio de recursos naturales renovables, conectados interiormente y limitados exteriormente, cuyo fin es hacer agricultura" (Gastó, Armijo y Nava, 1984; Ruthenberg, 1980). Finalmente, se tiene que el predio (P) está dado por:

$$P = f\ (S, \Sigma, \phi, \sigma_a)$$

Donde:

- S: Espacio-tiempo, $L^3 \times T$ (longitud^3×tiempo)
- Σ: unidades espacio-temporales de recursos naturales renovables, tales como división de un campo de cultivo, o un potrero.
- ϕ: flujo inter o intra de masa, energía o información.
- σ_a: respuesta o output como función de la artificialización.

De esta función se desprende que el predio es un área acotada, legal o consuetudinariamente, lo cual incluye un espacio y posición y un tiempo dado, es decir, que puede ser representado temporal y geográficamente. El recurso natural está dado por la naturaleza contenida en el espacio acotado del predio, el cual ha sido apropiado por el agricultor y sobre el cual ejerce un dominio y control. La naturaleza apropiada, sobre la cual ejerce el dominio, puede ser utilizada y transformada por quien tome las decisiones de artificialización.

Administrativamente, el predio se organiza para su gestión en unidades espacio-temporales conectadas entre sí a través del flujo de masa, energía e información, lo cual implica la existencia de conductos que permitan este transporte y unifiquen al sistema en un conjunto holístico. La respuesta global del sistema, es la resultante del proceso.

La agricultura (A), puede ser definida operacionalmente como "el proceso de artificialización de la naturaleza". Simbólicamente se tiene que está dada por:

$$A = f(\Pi_a / \Pi_a : \Sigma_i \rightarrow \Sigma_j)$$

$$con\ a_j > a_i$$

Donde:

- Π_a: conjunto operadores de artificialización
- Σ_n: ecosistema en estado n
- a_n: nivel de artificialización de la naturaleza para el estado n

El término agricultura en el presente trabajo se emplea *sensu lato* en su acepción contemporánea que incorpora el uso múltiple de la tierra con propósitos de producción (cultivos, ganaderos, forestal, de agua, peces y praderas, entre otros), protección (suelos, control de erosión, de fauna, de riberas y de paisajes, entre otros) y de recreación (cabalgadura, canotaje, senderismo, paisajismo, observación de fauna y pesca deportiva, entre otros).

El grado de artificialización de la naturaleza "es la magnitud generalizada entre un estado de referencia E_i y un estado transformado E_j". La artificialización de la naturaleza contenida en el predio es la resultante de la aplicación de operadores de transformación sobre los recursos contenidos en el espacio-tiempo predial. Corresponde a acciones emprendidas en el predio después de la toma de decisiones del gestor, con el fin de lograr

alguna respuesta dada o output del sistema, el cual está representado como ecosistema; que en el caso predial corresponde al ecosistema-origen.

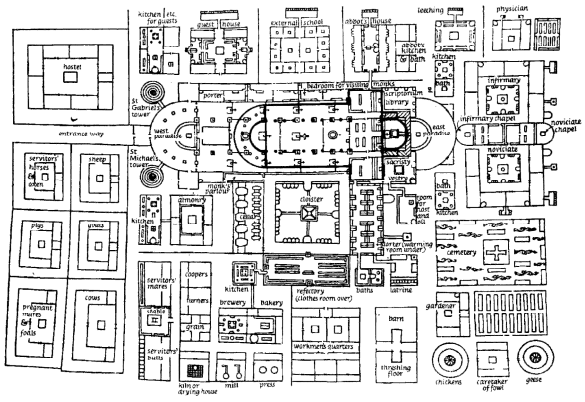


Figura 1. Plano del casco del fundo cooperativo de la abadía del monasterio Benedictino de San Gall, Suiza, c. Ad 850 (Weller, 1982)

El operador de transformación es una operación funcional Π_{ij} de manera tal que el estado E_i del ecosistema sea artificializado al estado E_j. En este proceso interviene la naturaleza con todos sus componentes, la tecnología incorporada y el tomador de decisiones que pretende alcanzar un estado dado, al mismo tiempo que ejecuta las acciones tendientes a alcanzarlo, lo cual está dado por:

$$E_i \xrightarrow{\Pi_{ij}} E_j$$

Donde:

E_i: estado inicial del sistema

E_j: estado final del sistema

Π_{ij}: operador de artificialización

En escala predial, el ecosistema-origen corresponde al ecosistema completo, integrado al nivel de complejidad propio de la naturaleza, lo cual es su centro u origen. Es factible hacer una descomposición del ecosistema-origen definiéndolo como la unidad ecológica básica, cuya complejidad es el producto de la integración de esos subsistemas.

Es factible hacer una descomposición del sistema en dos grandes conjuntos de elementos: Internos (E_I) y

Externos (E_X)

En una primera aproximación se establecen relaciones potenciales y de flujo entre los elementos internos a través de las conexiones con el exterior. Se divide en.

- Internos
  - biogeoestructura (Eb_i)
  - socioestructura (Eh_i)
  - tecnoestructura (En_i)
- Externos
  - sistemas externos incidentes (Ec_i)
  - entorno (Ee_i)

El ecosistema-origen es el elemento básico de estudio, cuya complejidad puede ser analizada como el producto de la combinación de estos cinco subsistemas, constituido por un tipo de complejidad dado por la unidad de referencia (Rodrigo, 1980). Basándose en lo anterior, el ecosistema (E) en estado i se puede considerar como:

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

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

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

La socioestructura Eh_i corresponde al hombre organizado en estructuras sociales, culturales y laborales definidas. No es posible aislar al hombre del contexto de la naturaleza, por lo cual es una parte de ella. La naturaleza está contenida en el hombre como unidad socioestructural.

La tecnoestructura es el componente caracterizado por los elementos tecnológicos generados por el hombre sobre la base de 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.

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

Los sistemas externos incidentes corresponden a las conexiones de flujo entre un sistema dado y los demás. Ningún ecosistema puede ser cerrado, es decir, no tener flujos de masa, energía e información desde o hacia otros sistemas. De acuerdo con la magnitud de las conexiones externas en relación con las internas, se tiene el grado de apertura del sistema.

El ecosistema no es 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 sistema, pueden ocurrir en forma natural hacia la ecósfera y se denominan pérdidas, o bien dirigidos hacia otros sistemas, lo cual corresponde a las exportaciones. La tasa de flujo desde el sistema hacia el exterior depende, al igual que en los aportes, de la diferencia de potenciales entre el sistema y su medio y de la resistencia al flujo.

Desde un punto de vista conceptual y funcional, resulta preferible considerar al hombre como un elemento interno del ecosistema, quien 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 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 y unidades incidentes; constreñido por un tipo de complejidad dado por la unidad de paisaje.

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

$$\rho^j = \rho(\varepsilon, \beta)$$
$$\beta^j = \beta(\varepsilon, \Lambda)$$
$$\Lambda^j = (\eta, \sigma)$$
$$\sigma = \sigma(\eta_1, \eta_2)$$

Estas ecuaciones como expresiones generales determinan el estado del ecosistema-origen (E_i^j) en términos de su estímulo ε, el comportamiento β, y su arquitectura Λ, dada por el tamaño η de sus componentes y el arreglo topológico σ. En otras palabras, el espacio de estado *Eb*, para el subsistema biogeoestructural, está determinado (ε_b, β_b, ρ_b) tales que satisfacen las ecuaciones anteriores. Similarmente para los espacios de estado *Eh*, *En*, *Ee* y *Ec* 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 la relación *R* tal que:

$$R = \{Eb, Eh, En, Ee\ \ yEc\}$$

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

En la transformación del estado E_i del ecosistema-origen representativo del predio a un estado óptimo E_o a través de la aplicación de un operador de transformación π_{io}^e, se requiere que el conjunto de los cinco subsistemas se encuentre en estado E_o, lo cual está dado por el estado E_k de cada uno de los sistemas, con la condicionante que su conjunto sea óptimo:

$$Ei \xrightarrow{\pi_{io}^l} Eo$$

de manera que

$$\{Eb_i, Eh_i, En_i Ee_i, Ec_i\} \xrightarrow{\Sigma_{io}^l} \{Eb_k, Eh_k, En_k Ee_k, Ec_k\}$$

LINDES

Cualquier sistema tiene lindes que lo separan del mundo exterior. En el caso del predio, su frontera medular está dada por el espacio-tiempo establecido por el derecho de propiedad que da al propietario su dominio sobre el recurso. También incluye a los trabajadores y recursos que están bajo el control del tomador de decisiones. Los trabajadores del predio, provienen con frecuencia del mundo rural externo al predio, pero deben ser considerados como parte del sistema. Las unidades de procesamiento controladas por el productor, deben ser incluidas como pertenecientes a ésta. La frontera predial y su medio se definen por la incorporación de sus insumos o inputs y por la dispersión o venta de outputs.

JERARQUÍA DE SISTEMAS

El predio es una categoría jerárquica de un sistema mayor dado por la ruralidad, que contiene varias actividades en sí. Los trabajadores, el ganado, la maquinaria son también sistemas pero con fronteras diferentes. Es una porción de la vida rural que contiene un sistema ecológico, económico, social y político dado, que es diferente y complementario al mundo rural general. Es una división del trabajo y de la toma de decisiones que se integra a la ruralidad como un todo (Ruthenberg, 1980). En la escala administrativa, la comuna o municipio es la jerarquía superior al predio y la provincia superior a la comuna.

TOMA DE DECISIONES

El predio es un sistema donde el propietario, el teniente o el gestor autorizado controla al sistema de acuerdo con sus necesidades y funciones, incorporando además algunos elementos de emocionalidad, tradiciones y a menudo caprichos. La toma de decisiones incorpora como restricciones las limitaciones propias de los recursos naturales y del medio exterior. La racionalidad del tomador de decisiones implica el uso del conocimiento para alcanzar una meta dada. Existen numerosos procedimientos y métodos desarrollados por la ciencia y tecnología para optimizar la toma de decisiones, los cuales pueden ser aplicados al predio.

Ruthenberg (1980) plantea como hipótesis que los agricultores son intencionalmente racionales en la organización del predio, de acuerdo con objetivos preestablecidos. Se plantean tres hipótesis de trabajo:

1. Siempre existe una razón en la gestión predial, la cual no es necesariamente económica.
2. Existe una discrepancia entre el estado real y el ideal del predio, la cual está dada por las posibilidades y las preferencias.
3. Los agricultores tienden a adaptar el sistema a las condiciones cambiantes del entorno para incorporar los beneficios adicionales involucrados.

ESTADO DEL SISTEMA

El concepto de estado y cambio de estado de un ecosistema es importante porque en un momento dado es útil para conocer las condiciones específicas en las que se encuentra el sistema observable y las transformaciones del mismo por unidad de tiempo. El estado del sistema, tal como un predio, se define por sus componentes o arquitectura y sus procesos o funcionamiento.

El estado de un sistema es el modo o condición de existir. En ciencia de sistemas, el estado generalmente está dado por una definición operacional en términos de variables de estado, hallándose definidas por sus partes componentes, atributos observables o agrupamiento arbitrario de partes (Patten, 1971).

El estado de un sistema $E(t)$, según Patten (1971), se define por la siguiente ecuación con n componentes y x_n variables de estado, donde cada variable es una función del tiempo:

$$E(t) = \left[x_1(t), x_2(t), ..., x_n(t)\right]$$

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

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

Similarmente existe una relación entre los vectores E y σ y, cierto subconjunto de variables de estado $\{X\}E$ y $\{X\}_\sigma$, de manera tal que representan particiones de las clases de equivalencia de los historiales de los estímulos.

Los vectores de estado están dados por:

$$\vec{x} = (x_1, x_2, ..., x_n)$$

o bien

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

Los vectores de estado $(\vec{x}_i)$, a diferencia de un conjunto de variables de estado (x_i), tienen un orden definitivo en la enumeración de sus componentes. Las variables de estado pueden corresponder a cualquier aspecto observable del ecosistema, tales como: textura, pendiente, potencial hídrico y densidad de plantas, entre otros. Algunas de estas variables afectan en mayor grado al vector y se les denomina pertinentes; las restantes corresponden a las impertinentes (Reichenbach, 1973).

Si $E(t)$ es el estado o conjunto de vectores de estado de un sistema al tiempo t, lo que a su vez está dado por las variables de estado, entonces el estado futuro, al tiempo t+1 puede ser representado como:

$$E(t+1)$$

Si por lo menos una de las n variables de estado ha cambiado durante este intervalo de tiempo, entonces:

$$E(t) \neq E(t+1)$$

y la ecuación de tasa de cambio para la variable de estado x_i se expresa como:

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

En general, es factible definir el estado E de un ecosistema en términos del triplete (ε, β, ρ) dado en las ecuaciones:

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

$$\beta = \beta(\varepsilon, \Lambda); \frac{\Delta \Lambda}{\Delta t} = M\left(\Lambda(t), \varepsilon(t), t\right)$$

$$\Lambda = \Lambda(\sigma, \eta); \sigma(\eta)$$

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

- su estímulo ε;
- el comportamiento β;
- la respuesta ρ;
- su arquitectura Λ, determinada ésta a la vez por su arreglo topológico σ_n y el número y dimensión de los componentes n;
- la función sistemogénica $M(\Lambda, \varepsilon, t)$, es decir, de cambio simultáneo de estímulo y arquitectura.

Cabe mencionar que tanto ρ, β y ε dependen implícitamente del tiempo y en su acepción más amplia representan procesos estocásticos. La magnitud de los estímulos y de la respuesta se expresa normalmente en forma de tasas.

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

NECESIDAD DE REPRESENTAR

Para comprender los problemas de los recursos naturales en general y del predio en particular y concebir un plan de solución, es necesario describir el fenómeno, el cual puede ser definido como un conjunto de componentes y eventos que se dan en la naturaleza, los cuales pueden ser percibidos por los sentidos o por instrumentos debidamente calibrados (Figura 2). El mundo tecnonatural, que es el entorno del hombre, constituye los hechos o realidad en sí, la cual no puede ser accedida en forma directa, sino que a través de los sentidos y de su cultura. Se establece en esta forma un evento que contiene dos partes: el observador y lo observado.

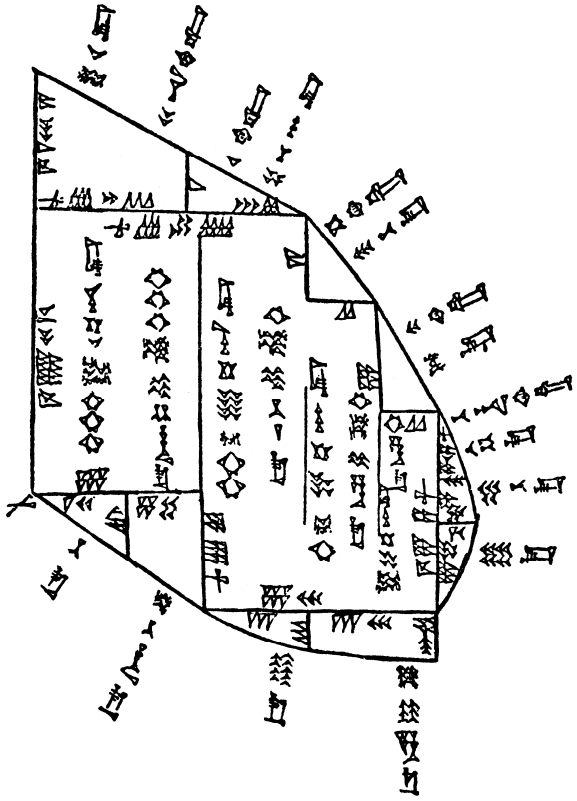


Figura 2. Plano de un predio de la antigua Babilonia (Childe, 1954)

El observador presenta una serie de limitaciones que hacen que perciba una realidad deformada. Los sentidos están limitados físicamente para acceder a la realidad. No perciben el hecho de manera holística, sino que lo descomponen en las diversas variables que lo caracterizan, principalmente a través de la rugosidad y textura de la superficie y de su forma, lo cual corresponde al tacto. La reflexión y definición de las ondas radiantes que chocan sobre la superficie pueden ser percibidas por la vista en algunos casos. La emisión de sustancias volátiles y de partículas que se desprenden desde la superficie del objeto, pueden ser reconocidas por el olfato. Las ondas sonoras que emiten o que rebotan sobre la superficie del objeto, son transportadas hasta el oído. El gusto es el quinto sentido, el cual permite reconocer sabores del exterior del objeto.

La mente integra estos cinco sentido y representa al objeto como una unidad, de manera holística. La percepción que se tiene del objeto sería diferente si la mente no interviniera y el objeto fuera accedido globalmente, sin transformar los atributos de los objetos en ideas. La cultura es un sistema de actividades que posee un sentido, la cual está relacionada con la religión, lenguaje, arte y mito. La percepción de un hecho no sólo está deformada por los sentidos, sino que también por la cultura del observador.

La concepción galileana de la ciencia tiene por objetivo explicar los fenómenos naturales, descubriendo las leyes que los regulan. La causalidad aceptada por Galileo no tiene que ver con propósito metafísico alguno; es una relación entre dos fenómenos, que no implica un conocimiento sobre su significado o sobre los principios. Le interesan las leyes que regulan al fenómeno, pero no la finalidad atribuida al Creador, de acuerdo con el planteamiento aristotélico aceptado hasta la fecha.

La naturaleza, según Galileo, está escrita en lenguaje matemático, sin lo cual es imposible entenderla ni tampoco predecir eventos futuros. La naturaleza no es un conjunto caótico e irracional, sino que está regulada por leyes susceptibles de ser comprobadas. Ella se expresa como hechos empíricos, pero estos hechos solo pueden ser representados en lenguaje matemático. La mera observación empírica, ya presente en el método aristotélico, no basta; es preciso establecer los principios generales que pueden ser confirmados por la experiencia. Es la combinación de lo matemático y racional con lo empírico; es la formulación del método experimental. Se trata de hacer corresponder los numerosos fenómenos, lo cual es la base de la transformación del predio como un fenómeno tecno-natural con representación en lenguaje matemático, regulado por las leyes del universo (Galileo, 1623).

En el proceso de transformar los hechos que componen una realidad dada, debe transformarse el proceso sensorial en un evento cultural de observación. En este proceso interviene su cognición con todos los componentes de percepción, juicio y racionalidad que en mayor o menor grado se presenten. En un comienzo se debe delimitar el fenómeno de lo que no corresponde a éste y los elementos que le son pertinentes, lo cual hace incurrir en numerosos errores. Es una forma de discriminar, de aislar un determinado fenómeno de otros localizados fuera de sus fronteras, ya que numerosos fenómenos independientes pueden ocurrir en un mismo espacio-tiempo.

El observador explora y trata de reconocer las propiedades esenciales de cada uno de los componentes del fenómeno o episteme. Se caracteriza al fenómeno a base de sus propiedades particulares pertinentes, de-

jando de lado las impertinentes, ya discriminadas. Algunos elementos y variables son observables y otros inobservables.

En las actividades de transformación de sus hechos relativos a la naturaleza o la tecnonaturaleza representativa del predio intervine la interpretación de los componentes del fenómeno y la descomposición de sus partes, las cuales en la naturaleza no se presentan como tales. El proceso de discriminar los componentes y luego discretizarlos es un proceso cultural, de gran relevancia para el desarrollo de su ulterior imagen y modelo (Tuan, 1974).

La complejidad de los componentes del fenómeno alcanza los niveles del infinito, por lo cual es necesario simplificarlos para permitir su representación matemática. La transformación del fenómeno en un problema es la forma de simplificarlo, discriminando los componentes impertinentes, y rescatando los pertinentes, los cuales serán utilizados en la resolución del problema. Siendo el predio un fenómeno tecnonatural en el cual se toman decisiones, se debe transformar en una imagen que contenga a todas aquellas variables que permitan caracterizar el problema y eventualmente resolverlo.

Desde una perspectiva heurística el proceso de transformación sigue los pasos que van desde los hechos al fenómeno como un proceso de percepción e interpretación cultural; y desde el fenómeno al problema como un proceso de discriminación de los componentes pertinentes, de manera de simplificarlo y permitir eventualmente su resolución. El siguiente paso es la transformación en su imagen que en el caso del predio corresponde a su representación como ecosistema predial. El cuarto paso es la transformación ecosistémica en el modelo representativo del problema específico, presentado en lenguaje matemático por el conjunto de variables y funciones que lo describan y controlen. En la práctica, es un sistema de ecuaciones que permiten describirlo y resolverlo de acuerdo con la función–objetivo del tomador de decisiones.

Elementos tales como el suelo, el clima o la vegetación, son consecuencias de conductas culturales que permiten descomponer y conceptualizar a la tecnonaturaleza en sus partes, con el fin de conocerla, comprenderla, describirla, plantearla o resolver los problemas relativos a ella. De la calidad de la observación del fenómeno y de su transformación en problema depende la calidad de la imagen y del modelo que puede elaborarse y de ello depende su capacidad heurística de resolver problemas relativos al fenómeno (Tuan, 1974).

Como última actividad de representación se tiene la necesidad de simbolizar los componentes del fenómeno en caracteres que permitan representarlo en forma compacta y abstracta. Son los símbolos que permiten caracterizarlo en su expresión límite tal como los empleados en lenguaje matemático o en lógica simbólica (Rubinstein, 1975).

En el proceso de representación se tiene, por lo tanto, cuatro procesos fundamentales:

1. **Discriminar** los componentes que pertenecen al fenómeno y de las variables que describen su hiperespacio n-dimensional del problema.
2. **Discretizar** los componentes en categorías susceptibles de ser incorporadas al lenguaje matemático del problema.
3. **Simbolizar** los componentes para ser incorporados al lenguaje matemático y de lógica simbólica.
4. **Transformar** el hecho en sí en un lenguaje *ad hoc* que represente al fenómeno a través de los sentidos y cultura y luego en problema, imagen y modelo.

TRANSFORMACIÓN EN MODELO

El proceso de transformación del fenómeno en modelo se lleva a cabo en cuatro etapas:

1. Transformación del hecho en sí en fenómeno

Es un proceso de percepción mediante el cual un observador sano, con los sentidos desarrollados y con ayuda de instrumentos de medición percibe e interpreta hechos que se presentan fuera de sí y los incorpora y representa a través de su cultura. El hecho en sí puede estar contenido en el espacio-tiempo representado por el predio (Figura 3).

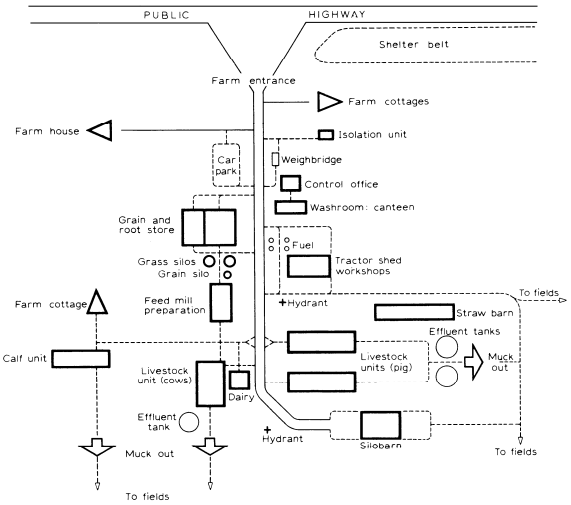


Figura 3. Diagrama del plano de un fundo mixto de Gran Bretaña (Weller, 1982)

2. El ecosistema como expresión límite del fenómeno

Se requiere definir el conjunto de fenómenos que pertenecen al recurso tecnonatural dado por el predio para construir su imagen y eventualmente delimitar una metodología de trabajo.

Para comprender los problemas del predio y concebir un plan de solución, es necesario descubrir el fenóme-

no. Lo anterior significa generar a partir del fenómeno una imagen (Figura 4).

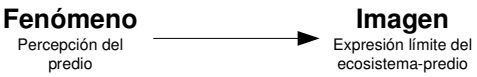


Figura 4. Transformación del fenómeno en imagen

La transformación del fenómeno en imagen requiere establecer una cierta relación que permita luego delimitar los atributos fundamentales del primero; desarrollar una imagen que corresponda en cierto sentido al fenómeno. Igualmente, esta relación debe permitir que una vez establecida la imagen exista la posibilidad de contrastación entre imagen y fenómeno (Figura 5).

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 atributo del sistema es derivable de cualquier otro (Simón, 1965). Un sistema totalmente complejo resulta epistemológicamente trivial (Levins, 1970). La descripción apropiada está regida por condiciones de optimidad y relevancia en las constricciones de interacción.

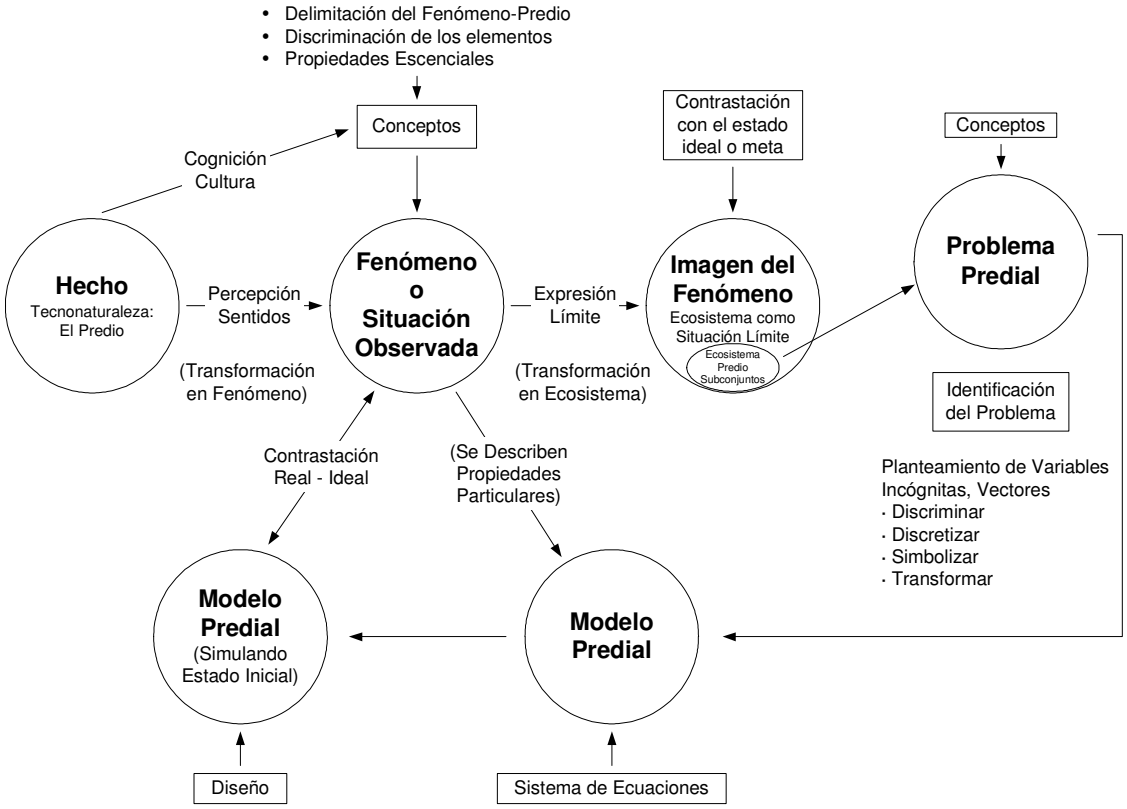


Figura 5. Esquema del proceso heurístico de representación de un predio en un modelo

La imagen es una representación conceptual del fenómeno mismo sin serlo. Existen diversos estilos de construir imágenes de un mismo fenómeno, distinguiéndose por su contenido, simpleza, capacidad de representación, fidelidad de interpretación, precisión y, en general, significado (Figura 6).

Se requiere, por lo tanto, definir el conjunto de fenómenos que pertenecen al predio como un fenómeno tecnonatural para construir la imagen y de este modo establecer una metodología de trabajo. El paradigma es el siguiente:

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

El ecosistema puede ser definido como un arreglo de componentes bióticos y abióticos que están conectados o relacionados, de manera que constituyen una unidad o un todo. Conexión y relación en cualquier sistema dinámico significa transporte de masa, energía o información (Becht, 1974; Distefano *et al*., 1967; Odum, 1972). Puede ser de varios tamaños y características tal como un tubo de ensayo, un acuario, un cultivo, un campo con ganado, una represa, un bosque, una aldea,

un país entero o incluso todo el globo terráqueo. El predio es también un ecosistema, con componentes y estructuras propias de éste (Nava, Armijo y Gastó, 1996).

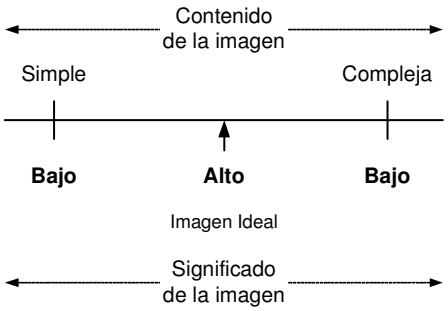


Figura 6. Esquema de los atributos de la imagen en relación con su contenido y significado

3. Transformación de la imagen en problema

Un problema puede ser definido como una pregunta sin solución en un instante dado. La representación del predio en su imagen ecosistémica constituye un avance hacia la resolución de cualquier problema atingente a ella, pues ha sido incorporada y localizada como un caso particular de la teoría general de sistemas. El paso siguiente consiste en transformar el ecosistema-predio en un problema, del cual debe buscarse una solución. Esto significa reducirlo a un subsistema donde se tiene una incógnita y una amplia información de la cual debe seleccionarse el conjunto de datos que permita eventualmente resolver el problema. Las restricciones dadas para encontrar la solución emergen tanto del tomador de decisiones como de los principios generales emanados de la arquitectura y funcionamiento del ecosistema.

4. Transformación del problema en modelo

El concepto de modelo es tan fundamental en la resolución de problemas, que está presente en todas las etapas, desde la definición del problema a su solución. Los modelos están en todas partes: en nuestras palabras, en los sentidos, en nuestras acciones. Un modelo puede ser definido como una representación abstracta del mundo real, es una representación simple de formas, procesos y funciones más complejas de fenómenos físicos o de ideas (Rubinstein, 1975).

El objetivo de representar el predio como un modelo es consolidar la experiencia lograda en varias disciplinas del saber y unificar esos elementos de los procesos de modelación que se presentan como más productivos para resolver problemas (Rubinstein, 1975). Los modelos pueden clasificarse en varias categorías, aplicables a los diferentes campos y fenómenos, pudiendo incluso llegar a ser un sistema de ecuaciones.

SISTEMA DE PROBLEMAS

HIPERPROBLEMA

Los problemas prediales son de naturaleza tan compleja que es menester adoptar una perspectiva tal que permita manejarlos de manera que sea factible llegar a la solución. Los problemas que presentan este nivel de complejidad se denominan hiperproblemas y se pueden definir de la manera siguiente: "Es una situación compleja y difusa que tiene una solución posible, pero que no puede ser resuelta en forma directa, es decir, en su estructura primitiva".

Es factible representar el problema predial como un hiperproblema *Hp*, que se encuentra a un nivel de complejidad *N*; el cual se puede transformar a través de un proceso de análisis *F*, en un conjunto finito de problemas específicos (*Pi*), que por lo tanto, se transforman en discretos.

Los ligamientos entre cada uno de los elementos que conforman un problema específico deben ser más fuertes entre sí, que los ligamientos entre distintos problemas específicos. Esta es la característica que permite descomponer el problema en los diversos problemas que contiene (Figura 7).

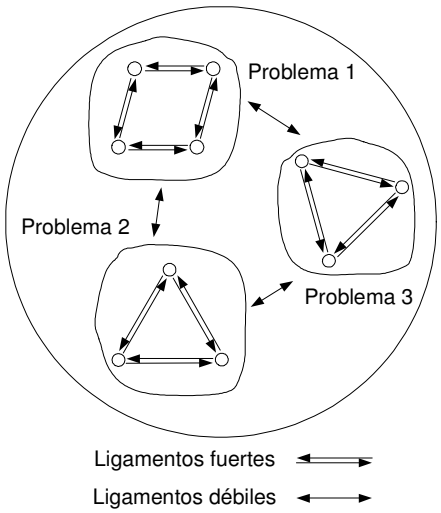


Figura 7. Ligamientos intra e inter elementos de un Hiperproblema, basado en el esquema de Rubinstein (1975)

La solución holística del problema predial, requiere transformar, en una siguiente etapa, mediante un proceso de síntesis *G*, los problemas específicos en un sistema de problemas *Sp*, lo cual constituye la solución holológica del problema.

Es posible, en forma alternativa, concebir una transformación que lleve desde *Hp* a *Sp* en forma directa vía *H*. Este proceso implica una actividad simultánea de análisis y síntesis, lo cual es altamente complejo, desde un punto de vista metodológico (Kahman, Farb

y Arbib, 1969). Para cierta clase de hiperproblemas; y una vez resuelto es factible aplicar soluciones de rutina, a problemas análogos. Esto implicaría que una vez conocidos los procesos *G* y *F*, el proceso *H* puede establecerse como la conjunción de *G* con *F* (Figura 8), es decir:

$$H = G \times F$$

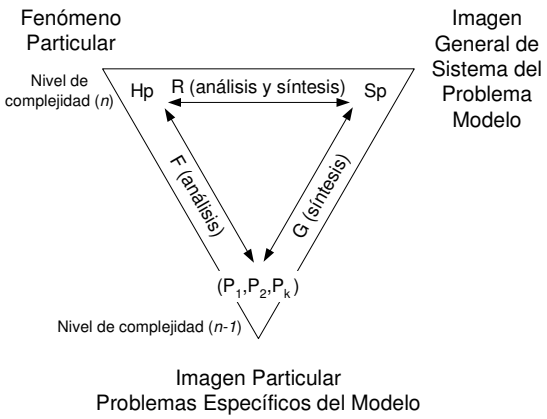


Figura 8. Esquema ilustrativo de la transformación del fenómeno predial en su imagen de sistema de problemas prediales (Gastó, Armijo y Nava, 1984)

Como un ejemplo de lo anterior se tiene el problema de producción ovina en fincas del altiplano del Titicaca en Puno (Aguilar *et al.*, 1985), lo cual constituye el hiperproblema (*Hp*). Como tal se encuentra a un nivel de complejidad *N* y no puede ser resuelto en su estructura original (Figura 9).

La figura 9 es una representación del Hiperproblema y conjunto de problemas, que luego se transformó en un modelo Homomórfico matemático en forma de un sistema de ecuaciones interrelacionadas.

Se debe transformar a través de un proceso de análisis (*F*) en un conjunto finito de problemas específicos (P_i) al nivel *n–1* que, por tanto se transforman en discretos. En este caso se los ha transformado en seis problemas específicos a resolver:

- P_1 Consumo
- P_2 Producción leche
- P_3 Reproducción
- P_4 Producción de lana
- P_5 Producción de corderos
- P_6 Pradera

Cada uno, a su vez, puede transformarse en varios problemas específicos, tal como el problema P_5 se descompone en:

- $P_{5.1}$ Nacimiento de corderos
- $P_{5.2}$ Crecimiento al predestete
- $P_{5.3}$ Ganancia de peso

ATRIBUTOS

El sistema de problemas prediales comprende el modelo del predio. Es fundamental que dicho modelo permita lograr el máximo de controlabilidad de la imagen que representa al fenómeno predial (Gastó, Armijo y Nava, 1984).

CONTROLABILIDAD

La controlabilidad puede ser definida como la capacidad de un sistema de ser conducido desde un estado inicial dado a otro estado meta arbitrario, a través de una secuencia finita de operaciones. Dentro del contexto del problema predial, la controlabilidad del sistema de problemas permite generar una secuencia de soluciones que converjan en la solución del problema predial.

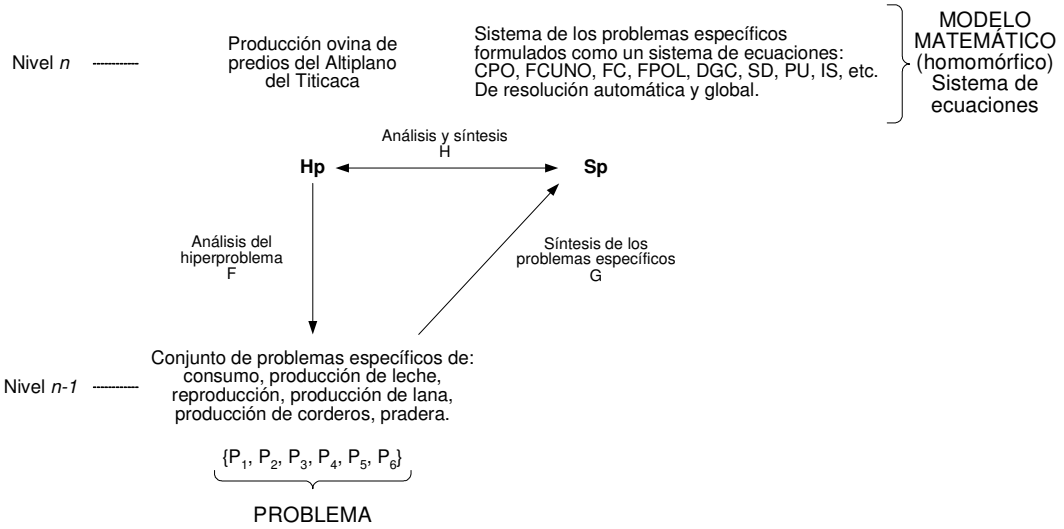


Figura 9. Esquema del modelo de producción ovina en el altiplano del Titicaca (Interpretación de los autores basado en el estudio de Aguilar *et al*., 1985)

El problema predial (*Hp*), en su dimensión fenomenológica es de alta complejidad y se caracteriza por tener aspectos impertinentes que dificultan la comprensión y controlabilidad de la solución del problema. Es por ello que se debe pretender reducirlo a la mínima expresión, sin perder ninguno de sus atributos pertinentes o de control de la solución del problema.

OBSERVABILIDAD

El proceso de reducción del problema y su transformación en un sistema de problemas requiere satisfacer la condición de observabilidad, lo cual implica que el conjunto de soluciones de los problemas que integran el sistema de problemas sea suficiente para permitir identificar la solución total del problema. Todo lo anterior, conduce a postular que un sistema de problemas, para que sea soluble, requiere satisfacer las condiciones de controlabilidad y observabilidad. La condición de observabilidad, alude a la característica de fidelidad que se necesita garantizar durante el proceso de transformación y modelaje.

JERARQUÍA

La jerarquía de un sistema es la organización de las partes en totalidades, de diversos niveles con la característica de contener al inferior y estar contenido en el superior.

Es posible denotar los niveles jerárquicos por *n–1*, *n*, *n+1*, arreglados en una estructura *j*.

La distinción nítida de los niveles jerárquicos evita paradojas lógicas, las cuales surgen al no distinguirse entre los elementos de un conjunto con el conjunto de los elementos. Esta distinción es la base de la teoría de Bertrand Russell (Casti, 1979).

Es posible establecer los dos postulados de jerarquía aplicable a los sistemas de problemas en consideración: la necesidad y la complejidad.

Necesidad

La presencia de un sistema en un nivel jerárquico dado implica necesariamente la presencia de otro a un nivel jerárquico superior.

Este postulado está relacionado con el teorema de Gödel, de la indecibilidad, el cual establece que todas las formulaciones matemáticas existentes incluyen proposiciones indecibles, generándose problemas de autorreferencia, que conducen a contemplar a un nivel jerárquico diferente.

Para los propósitos del presente trabajo se ha establecido, convencionalmente, que un nivel jerárquico es aquel cuyos principios, leyes, sistemas, problemas, elementos, etc., contienen a otras, las cuales se les denomina inferiores.

Complejidad

Para un mismo nivel jerárquico, la complejidad está dada en términos de la variación de sus componentes y del patrón de conexiones.

Si θ representa una función con valores reales, definiendo la complejidad de un sistema Σ, se pueden establecer los siguientes cinco axiomas de complejidad:

1º. **Transformación** (Interjerárquica). Cuando dos sistemas de un mismo nivel jerárquico, se integran para formar un sistema resultante de una jerarquía superior, la complejidad de este último sistema es menor o igual que la complejidad total de sus partes.

Simbólicamente se tiene que:

$$\theta\left(\Sigma^{j}\right) \leq \theta\left(\Sigma_{1}^{j-1} o \Sigma_{2}^{j-1}\right)$$

Donde:

θ: es una función real que mide la complejidad
Σk: es un sistema a nivel de jerarquía k
o: operación de integración

2º. **Composición** (Interjerárquica). Cuando dos sistemas de un mismo nivel jerárquico se conectan en paralelo, el sistema resultante tiene una complejidad dada por el sistema más complejo. Simbólicamente se tiene que:

$$\Sigma^{j} = \Sigma_{1}^{j} o\ \Sigma_{2}^{j}$$

$$o\left(\Sigma^{j}\right) = \max\left(o\left(\Sigma_{1}^{j}\right), o\left(\Sigma_{2}^{j}\right)\right)$$

3º. **Residuo**. La complejidad de un subsistema dentro de un nivel jerárquico dado, es menor o igual a la del sistema del cual es parte. Simbólicamente se tiene que:

$$\theta\left(\Sigma_{0}^{j}\right) \leq \theta\left(\Sigma^{j}\right)$$

4º. **Dominio**. El dominio de la complejidad de un sistema del nivel jerárquico inferior está sujeto a las restricciones del nivel jerárquico superior.

Formalmente se tiene que si D_k denota el dominio de la función real θ sobre Σ^k, entonces:

$$\theta\left(\Sigma^{j-1} o \Sigma^{j}\right) \theta D_{j-1}^{1}$$

con:

$$D_{j-1}^{1} = D_{j} \cap D_{j-1}$$

5º. **Organización**. Las propiedades de un sistema, a un nivel de jerarquía y complejidad dado, dependen de la organización de sus partes y, sólo en escasa medida, de la materia y energía que lo componen.

El axioma de la transformación establece que en la resolución de problemas prediales, hay que ubicarse en

los diversos niveles jerárquicos, de manera tal que la complejidad sea menor; es decir, comenzar resolviendo los niveles jerárquicos superiores (Prigogine, 1976). En la resolución de problemas localizados en un mismo nivel jerárquico, la complejidad del problema resultante es igual a la complejidad del problema más complejo, cuando la relación entre los problemas se hace en paralelo. Esto permite, en el primer caso, localizar el problema en forma temática; y en el segundo, dimensionarlo en cuanto a su magnitud.

La esencia del axioma del residuo fue enunciada por Aristóteles al afirmar que el todo es mayor que la suma de sus partes, siendo el residuo igual a esta diferencia. Es importante resaltar que esto es válido solamente dentro de un mismo nivel jerárquico, puesto que el axioma de la transformación se refiere a los cambios interjerárquicos, por lo cual no se contradicen.

El axioma del dominio establece que los problemas de los niveles jerárquicos inferiores están restringiendo a los del nivel superior que los contiene. Este axioma está estrechamente relacionado con el principio de Jussieu (Meringo, 1952), el cual establece que los caracteres de los seres vivos y de los sistemas ecológicos están jerarquizados en tal forma que algunos de ellos, llamados dominantes, controlan un número importante de otros denominados subordinados.

DESCOMPOSICIÓN Y COMPOSICIÓN

El procedimiento de descomposición del hiperproblema predial considera la variedad de los elementos y la intensidad de los ligamientos (Rubinstein, 1975). Los conjuntos de elementos más fuertemente ligados constituyen una pieza o problema específico que puede ser analizado como un sistema. Los ligamientos entre piezas son, obviamente, de menor intensidad que los presentados dentro de cada pieza.

La descomposición del hiperproblema busca, en una primera etapa, determinar las piezas que conforman cada parte del problema. Estas piezas constituyen unidades con un cierto grado de complejidad. Las etapas del proceso de análisis (F) que pretende la descomposición del hiperproblema, deben ajustarse a una secuencia gradual orientada a identificar los grupos jerárquicos de ligamientos más intensos (Booth, 1967).

Cada uno de los problemas específicos deben ser planteados en forma jerárquica. En la primera etapa del proceso resolutivo que considera a un complejo independientemente de los demás, se pretende encontrar una parte de la solución que es independiente del problema global. En la segunda etapa de este proceso, se busca la integración del problema del complejo específico con otros complejos, de manera de plantear y resolver los proyectos relacionados con el problema global (Figura 9).

Dentro del proceso de descomposición del hiperproblema, se debe atender a las siguientes tres condiciones:

- Los ligamientos intracomponentes de un conjunto que constituyen un complejo dado, deben ser más intensos que entre los complejos, cada uno de los cuales constituye un problema específico.
- El número de subproblemas identificados debe ser el mínimo requerido para lograr una descripción fiel del problema original, es decir, que la descomposición sea canónica; y
- En el proceso de descomposición jerárquico del problema, el número y características de los niveles debe permitir una compatibilidad de las jerarquías inmediatas, es decir, que la cualidad de la respuesta de una jerarquía se convierte en el estímulo de la siguiente.

En el proceso G de descomposición los problemas específicos P_i, se procede estableciéndose las conexiones entre los diversos problemas específicos, explicitándose la identificación de los datos (D), los cuales corresponden al estímulo o entrada al problema. Además, las restricciones del problema (R) generan la estructura a través de la cual los datos se transforman y adquieren una organización tal que permite identificar las incógnitas (I), lo cual corresponde a la respuesta del sistema (Figura 9).

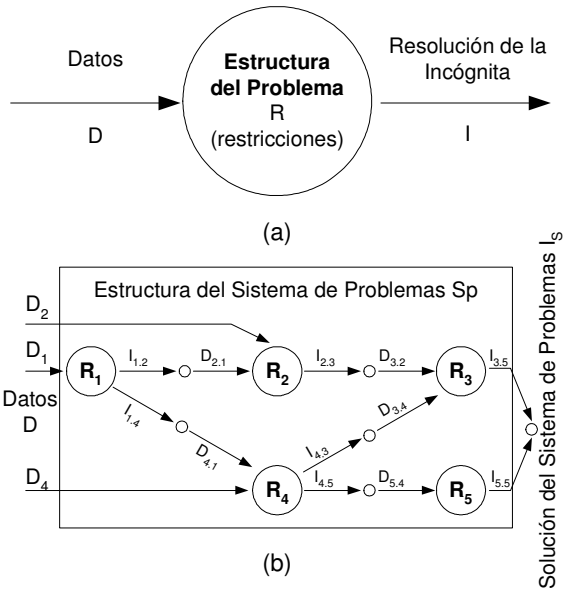


Figura 10. Esquema general de la estructura del procedimiento resolutivo de problemas específicos (gráfico superior (a)) y de la estructura del sistema de problemas (gráfico inferior (b))

El conjunto de problemas específicos se transforma en un sistema de problemas cuando se hace coincidir las respuestas de cada problema específico con los datos o estímulos de los problemas específicos. El sistema de problemas, al ser considerado globalmente, desprovisto de estructura interna, es decir, como una caja negra,

permite transformar diversos tipos de datos (D_i) en un conjunto de incógnitas que implican (I_r) la solución del problema.

TIPOLOGÍA DE MODELOS

Un modelo "es una representación abstracta del fenómeno real; pero no es un fenómeno en sí mismo". Los modelos se construyen con el fin de facilitar la comprensión y mejorar la predicción. Se comprende como un evento o una idea cuando se logra identificarlo como una fracción de un marco superior de estructura, relaciones funcionales, relaciones causa-efecto, o como una combinación de estos (Rubinstein, 1975). Cuando se logra identificar las relaciones entre los eventos fenomenológicos a través de la generación de modelos, se está en condiciones de predecir la ocurrencia de futuros eventos. Es por ello que el predio debe ser representado como un modelo del fenómeno predial.

PROCESO DE MODELACIÓN

La modelación del predio, luego de caracterizado el fenómeno, desarrollada la imagen y enunciado el problema, consiste en las siguientes cinco etapas preliminares (Rubinstein, 1975):

1. Establecer el propósito del modelo.
2. Identificar el fenómeno y listar los posibles elementos (observaciones, ideas, mediciones) relacionados con el propósito, aunque sea remotamente.
3. Seleccionar los elementos de la etapa 2, relevantes al propósito de la etapa 1.
4. Relacionar los elementos que pueden ser agrupados en virtud de conexiones funcionales, estructurales o interactivas entre ellos. En cierta forma, es una clasificación de ellos.
5. Repetir la etapa 4 hasta que el modelo consista en no más de siete, más menos dos grados.

TIPOLOGÍA DE MODELOS DE PREDIOS

MODELOS A ESCALA

Son aquellos que presentan una apariencia similar a la del fenómeno. La realidad, aunque se presenta con una proporción de tamaño más conveniente, es de apariencia visual similar al fenómeno (Figura 11).

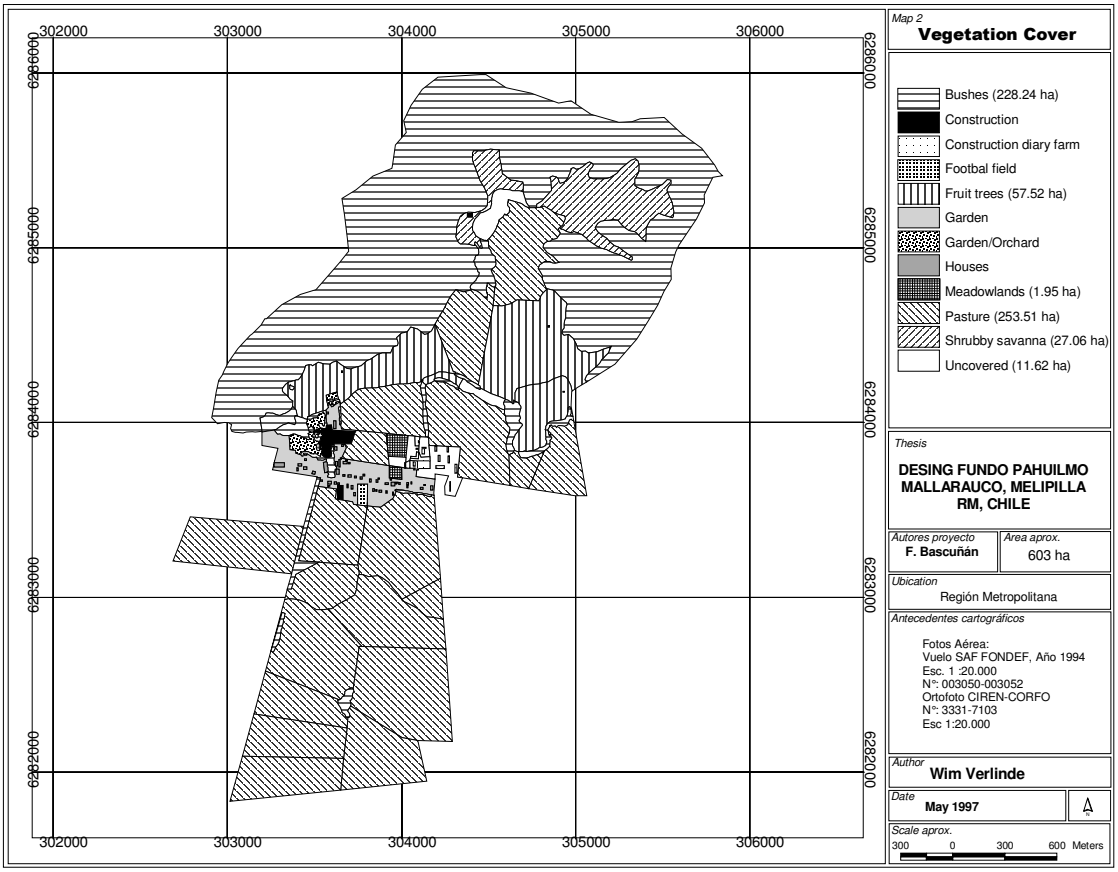


Figura 11. Modelo a escala de la cobertura vegetal del fundo Pahuilmo (Verlinde, 1997)

Sin embargo, el fenómeno se presentan en escalas espacio-temporales diferentes, lo que permite estudiar problemas que en la escala real no tendrían solución.

Son de utilidad en la modelación de predios, especialmente en lo relativo a descripción física del territorio a través de cartas temáticas tales como: cobertura vegetal, geoformas, tecnoestructura e hidroestructura. Las maquetas son también modelos a escala del predio o de una parte de éste.

MODELO ISOMÓRFICO

Son aquellos en que existe una equivalencia total entre los elementos del modelo con los del fenómeno. La equivalencia entre ambos es biunívoca; lo cual indica que para cada elemento existe un elemento correspondiente en el modelo (Figura 12). La relación entre ambos no es visual (Korshunov, 1976), pero es de uno a uno (Ashby, 1976), pudiendo corresponder a una ecuación o a una representación abstracta tal como un número o un dato cualquiera, o en una base de datos

Caracterización Fenomenológica	Código del Modelo Isomórfico	Superficie del Código del Modelo Isomórfico (ha)
Natural	4	228,24
Sabana arbustiva	3	27,06
Pastura	4	253,51
Cultivo frutal	10	57,52
Descubierto	13	11,62
Pradera	7	1,95
Parques y jardines	17	T
Caminos, edificios	18	T

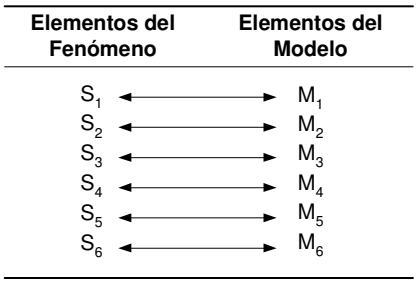


Figura 12. Esquema de las relaciones entre los elementos del fenómeno y los del modelo isomórfico (Rubinstein, 1975)

El concepto de isomorfismo resulta de la existencia de similaridad de patrones entre el fenómeno y el modelo. Puede ser una relación tal como los procesos que describen su comportamiento o bien a una representación abstracta tal como un símbolo o un número que representa una magnitud. En cierta medida es una forma de simplificar la representación del fenómeno como un modelo (Figura 13).

Los códigos de clasificación del predio como un fenómeno, corresponden a categorías isomórficas de representación. Así se tiene, en el caso de la biogeoestructura, los códigos de la cobertura vegetal (COBE), que son:

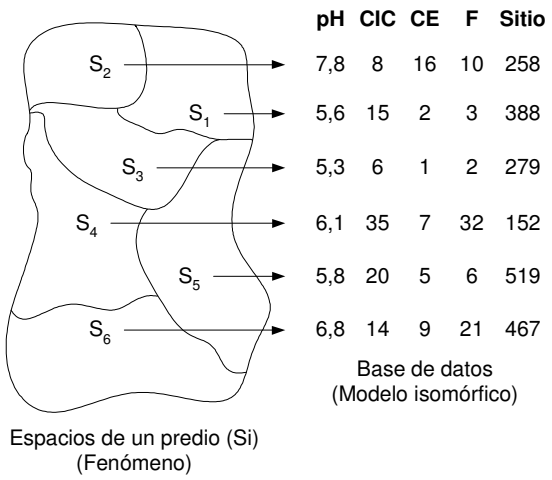


Figura 13. Esquema de las relaciones isomórficas de un predio cualquiera donde para cada espacio homogéneo de suelo existe una determinada composición del suelo tal como pH, CIC, CE y F

MODELO HOMOMÓRFICO

Se denominan homomórficos aquellos modelos, algunos de cuyos elementos sólo corresponden a grandes partes del fenómeno o sistema real y en los cuales falta la correspondencia total entre los elementos del modelo y del fenómeno. La correspondencia entre grupos del fenómeno es unilateral (Korshunov, 1976). El proceso de agregación conduce a la generación de modelos homomórficos (Figura 14). Cuando esta relación es planteada por un observador que discrimine con mayor detalle los patrones del fenómeno, pero que los agrupe en categorías en el modelo, se concluye que existe una relación de muchas a unos entre el fenómeno y el modelo. A esta relación de muchos a uno se le denomina homomórfica (Ashby, 1976).

Dada la complejidad de los fenómenos que se presentan en los predios, resulta con frecuencia, en extremo complejo e irrelevante desarrollar modelos que no sean homomórficos y que representen al fenómeno.

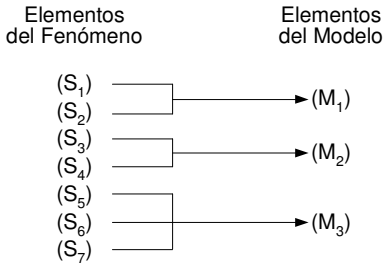


Figura 14. Esquema de las relaciones entre los elementos del fenómeno y los del modelo homomórfico basado en Rubinstein (1975)

En la formulación de modelos de predios, por tratarse de fenómenos en extremo complejos, se recurre con frecuencia al empleo de modelos homomórficos que agregan numerosos atributos o variables en una sola categoría.

Tal es el caso del componente edafoambiental, que se agrupa como "sitio", e integra a todos aquellos sustratos que pueden producir o soportar vegetación de similar cualidad y magnitud (Gastó, Cosio, Panario, 1993). La relación de varios a uno se puede representar en la siguiente forma (Figura 15), a través del análisis de características fenomenológicas pertinentes del sustrato edáfico de un sitio cualquiera:

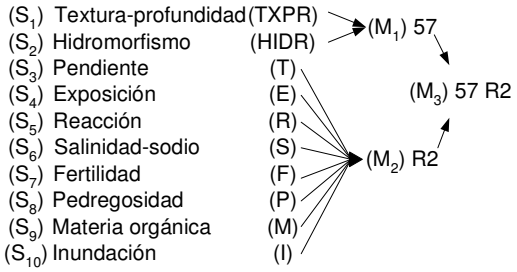


Figura 15. Relación de varios a uno representada a través del análisis de características fenomenológicas pertinentes del sustrato edáfico de un sitio cualquiera

En manejo de praderas la descripción de sus características también se lleva a cabo de manera homomórfica. Se integran en este caso los componentes fenomenológicos del sustrato, tal como se ha indicado en el ejemplo anterior, conjuntamente con los de la condición de la pradera y con los de la tendencia de la condición tal como lo indicado en la Figura 16.

La Figura 16 es un esquema de un modelo homomórfico representativo de una pradera donde se indica la clase de sitio (M_1) y la variedad de sitios (M_2) ambos se integran produciendo el modelo M_3, todo lo cual integra los caracteres edáficos del recurso. Las especies decrecientes (M_4), acrecentantes (M_5) e invasoras (M_6) se agrupan en la condición de la pradera (M_7). La tendencia de la condición se representa en M_8. El modelo global de la pradera integra M_3, M_7 y M_8, generando M_9, el cual puede representar un solo valor tal como la capacidad sustentadora dada por el sitio, la condición y la tendencia, lo cual podría representarse (por ejemplo) en una pradera dada como 58P3R↑.

MODELOS MATEMÁTICOS

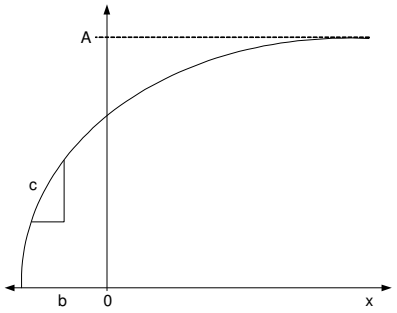
El modelo matemático no territorial del predio es una representación en lenguaje matemático del fenómeno. Es un sistema de ecuaciones ordenado de tal forma que represente o que simule al fenómeno o a una parte de éste. Algunos procesos pueden ser representados por una sola ecuación tal como:

a. Curva de incrementos decrecientes de un cultivo al recibir un estimulo de fertilizantes (Ley de Mitcherlich):

$$y = A\left(1 - e^{-c(b+x)}\right)$$

Donde:

- A: capacidad sustentadora máxima del sistema;
- c: pendiente de la curva;
- x: magnitud del estímulo adicionado;
- b: cantidad original del estímulo en el sistema (Gastó, 1980).

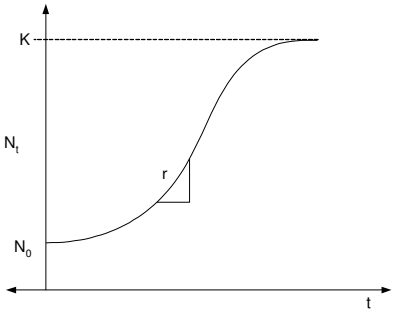


b. La curva logística de crecimiento de una población en ambiente limitado, al tiempo t, de acuerdo con el modelo de Verhulst.

$$N_t = \frac{K}{1 + \left(\frac{K - N_0}{N_0}\right)e^{-rt}}$$

Donde:

- K: capacidad sustentadora del sistema;
- r: tasa de cambio de la población;
- t: tiempo;
- N_t: densidad población al tiempo t;
- N_0: densidad población al tiempo cero.



c. Modelo de descarga de la pradera por el herbívoro (Gastó, 1982).

$$Q = (Q_0 - C)e^{-kv} + C$$

Donde:

- Q_0: carga total presente al momento de iniciación del proceso;
- C: carga presente no cosechable;
- k: tasa intrínseca de descarga;
- v: intensidad de pastoreo.

d. Producción ovina en el altiplano de Puno, Provincia Secoestival Esteparia Transicional "Titi-

caca" (3203-000), basado en Aguilar *et al.* (1985).

$$CPO = 90 \times TA^{-0,75}$$

- (Consumo potencial y M.S.día^{-1})

$$FACUNO = 1.0059 + 0.19201 * DILACT - 0.00021967 * DIL$$

- FACUNO = Factor corrección día lactante
- DILACT = Día de lactancia

$$FC = 1 - EXP(-0,0029 * DD)$$

- FC = Factor de corrección consumo por disponibilidad
- DD = Disponibilidad pradera (kg. MS ha^{-1}d^{-1})
- 0,0029 = Constante pradera natural

$$CPOL = CPO * FACUNO$$

- CPOL = Consumo potencial ovejas lactantes

$$DGC = DG * IS$$

- DGC = Digestibilidad MS consumida
- DG = Digestibilidad media MS pradera
- IS = Índice de selección

$$SD = 0,2 - 0,625 * DG$$

- Si 0,4< DG < 0,8
- SD = 0 cuando DG > 0,8
- SD = Corrección selectividad por digestión
- Entre otros.

El modelo está basado en un sistema de ecuaciones que describen:

- Consumo;
- Producción de leche;
- Reproducción;
- Producción de lana;
- Producción de corderos;
- Pradera;
- Validación.

Se le puede clasificar como un modelo matemático

- erudito y complejo;
- con información difusa discretizada e incompleta;
- analítico;
- respuesta global con información parcial integrada.

Los modelos matemáticos analizados, en sentido estricto son modelos homomórficos, que representan al fenómeno sin incorporar su estructura como ocurre con los modelos a escala o sin establecer una relación biunívoca como ocurre con los isomórficos.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (MODELOS SIG)

El territorio posee una dimensión espacial y temporal junto con atributos que lo caracterizan. Por lo tanto, para dar cuenta de su estado y poder realizar gestión sobre él, se requiere contar con una representación que dé cuenta de estas dimensiones. Un Sistema de Información Geográfica se constituye en una herramienta esencial para la representación, integración y modelación de las variables espaciales de interés para la gestión de un espacio geográfico dado.

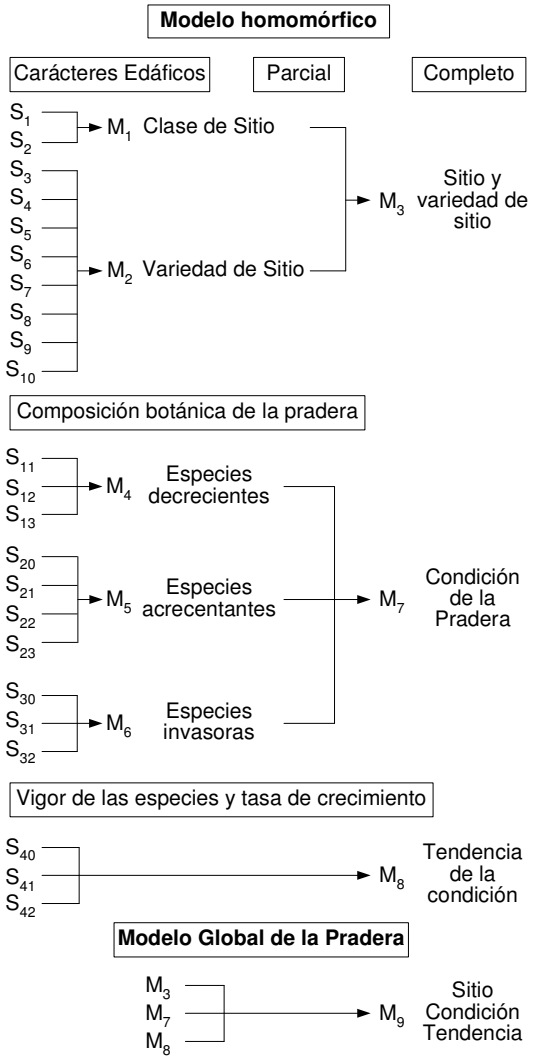


Figura 16. Esquema de un modelo homomórfico representativo de una pradera (Basado en la metodología del Sistema de Clasificación de Ecorregiones de Gastó, Cosio y Panario, 1993)

Los sistemas de información geográfica, al procesar información cartográfica que maneje, por una parte, la georeferenciación de los elementos del territorio y sus interrelaciones topológicas; y, por otra, los datos de atributos que identifican y describen sus características, se han constituido en una herramienta de primer orden para la definición y gestión de un territorio y sus recursos.

En la actualidad, los SIG's han evolucionado desde la mera capacidad de producción cartográfica y de respuesta a consultas específicas de tipo métrico o de localización, hasta transformarse en herramientas para ser empleadas en el proceso de toma de decisiones. Su potencial alcanza hoy a constituirse en herramientas que facilitan resolver problemas de asignación de recursos, permitiendo modelar escenarios y efectos

espaciales en el complejo proceso de toma de decisiones.

Todo esto demuestra que los SIG's son una tecnología en pleno avance y maduración y, que con los desarrollos actuales, es creciente la tendencia a la integración de ellos con modelos de simulación en el ámbito de la modelación de ecosistemas, modelos de crecimiento urbano, modelos hidrológicos y meteorológicos, por nombrar algunos.

Un SIG permite el manejo en un mismo ambiente, de los atributos propios de un objeto con su representación y localización espacial. Esto brinda la posibilidad de analizarlos en referencia a sus atributos y posiciones y a las relaciones que existen entre ellos (vecindad, distancia e intersección, entre otros).

La definición más simple sería que SIG es un conjunto de herramientas informáticas para gestionar datos geográficos.

Los datos, en el SIG, son considerados en dos dimensiones: por un lado, se tiene su posición en el espacio y, por el otro, sus atributos asociados. La posición se determina por las coordenadas donde ocurre y, los atributos son las características específicas que tiene cada posición. Generalmente se usa el término "información o datos espaciales" cuando se refiere a las características que no necesariamente son cartografiables.

Se entiende por percepción remota un conjunto de herramientas que constituyen una tecnología de punta, basada en la adquisición a distancia, de los objetos, así como de sus variaciones temporales, espaciales y espectrales. Tales registros son adquiridos por sensores que van desde los tradicionales (como las cámaras aéreas) hasta los modernos barredores multiespectrales a bordo de plataformas satelitales.

La percepción remota es una tecnología en evolución hacia más y mejores sistemas tanto de captura como de proceso de las imágenes. Existe una importante cantidad de proyectos de varios países para poner en órbita sensores de mayor resolución espacial y espectral.

Datos e información de interés a los objetivos del Estudio y posible de obtener a partir de sensores remotos pasivos y diseñados para la prospección ambiental o de recursos naturales es la siguiente:

- Uso del suelo;
- Obtención de índices como el Índice Normalizado de Vegetación e Índice de Superficie Foliar;
- Catastro de recursos forestales, agrícolas y superficies de praderas para ganadería;
- Degradación de recursos;
- Monitoreo de sistemas lacustres y reservas de agua;
- Crecimiento urbano.

IDENTIFICACIÓN Y ESTILOS DE PREDIOS

IDENTIFICACIÓN

La identificación del predio se inicia con la identificación del propietario que ejerce su acción sobre una determinada área de terreno. Su título de propiedad es el documento que avala su dominio sobre ésta. Él es quien toma las decisiones relativas a su organización y gestión (Figura 17).

La propiedad está identificada con un código numérico o alfanumérico, establecido, en el caso de Chile, por el Ministerio de Hacienda con fines tributarios conocido como rol y registrada en el conservador de Bienes Raíces. En el país no existe, sin embargo, una organización catastral de las propiedades como en otros países tal como España, que cuenta con la Oficina del Catastro, que organiza los archivos y cartografía de predios rurales y de sus características. CIREN–CORFO mantiene un registro de predios rurales y delimitación de predios sobrepuesta a las ortofotos, lo cual puede ser consultado para identificar y localizar una propiedad cualquiera (Figura 18). También se puede consultar acerca de la información general de la zona relativa al predio. Según el último censo (INE, 1997), el número de propiedades privadas que actualmente existen en el país es de 329.563. Los predios públicos no están registrados en esta cartografía.

En Uruguay, se mantiene una base catastral de predios organizada como base de datos computarizada, la cual puede ser consultada con facilidad. El sistema proporciona información relevante del predio, en relación con su superficie total y de cada sitio, así como la caracterización de cada uno de ellos, de su uso, sus potencialidades y su superficie.

El procedimiento regular para identificar un predio consiste en lo siguiente:

1. Consultar con el propietario:
   - el código del rol de la propiedad;
   - la región, provincia y comuna donde ésta se encuentra;
   - el nombre del propietario.
2. Buscar en los archivos de CIREN la posición geográfica del predio
3. Identificar el predio en la ortofoto con información catastral.

LINDES

Como una actividad fundamental de caracterización del predio se tiene que delimitar el espacio en dos conjuntos: lo que está dentro de la finca y lo que se encuentra fuera de ésta (Rubinstein, 1975). Para lograr este objetivo deben cumplirse varios pasos (Figura 19);

- Delimitar el espacio físico del predio dado por la ubicación georreferenciada de los lindes.

- Determinar el área ocupada por éste.
- Establecer la naturaleza del dominio que ejerce sobre el área interior y sobre los elementos que la integran.
- En el tiempo, a través de su posición histórica.

LOCALIZACIÓN

El predio debe localizarse en relación con tres ejes fundamentales que los identifican en su posición espacio–temporal; ellos son: longitud, latitud y altitud. Debe luego localizarse en el sistema de:

- clasificación de ecorregiones.
- clasificación administrativa.

POSICIÓN RELATIVA

Es la ubicación relativa del predio en relación con otros elementos del mundo exterior, tal como las distancias y direcciones en relación con ciudades y pueblos, donde se pueden adquirir insumos y vender los productos (Gastó, Cosio, Panario, 1993). La distancia en relación con estaciones de ferrocarril, puentes, balnearios, son también de importancia; como asimismo, las conexiones camineras, y con otros predios y áreas naturales, pueden también ser relevantes. Es por ello que debe caracterizarse esta relación en una base de datos y con la cartografía correspondiente (Figura 20).

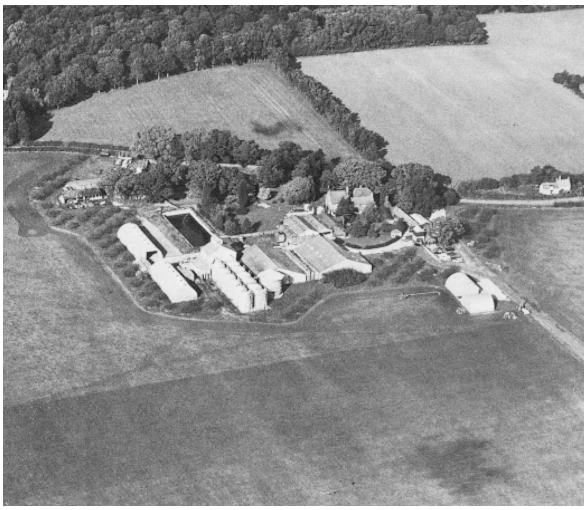


Figura 17. Fundo Norward de agroturismo Weeley Healthy, Essex 1974. Demuestra que los fundos modernos se estructuran en bloques rectangulares alrededor del camino de acceso (Weller, 1982)

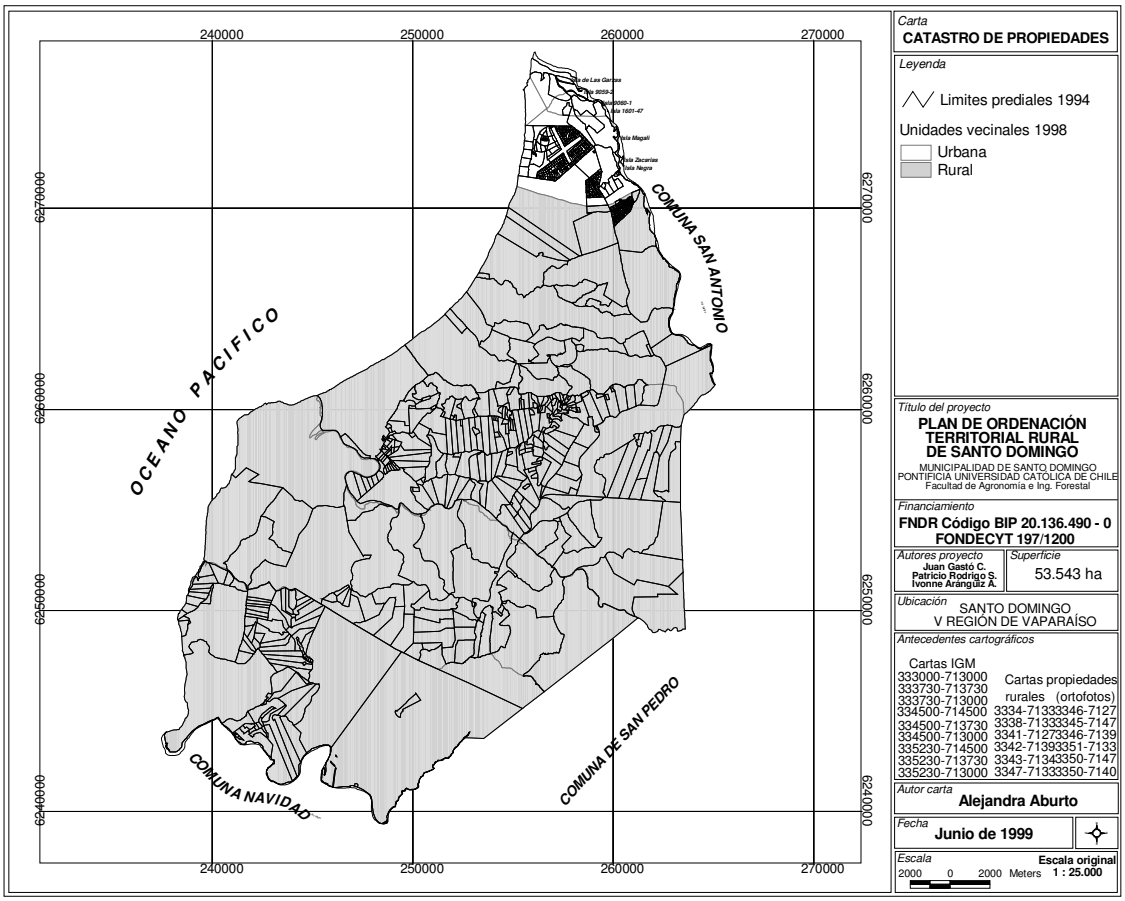


Figura 18. Carta del Catastro de Propiedades de la Comuna de Santo Domingo, V Región, Provincia de San Antonio, Chile (Gastó, Rodrigo, Aránguiz, 1998)

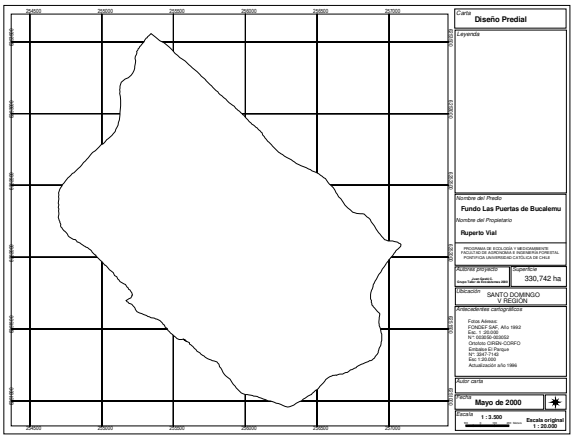


Figura 19. Lindes de un predio cualquiera de la comuna de Santo Domingo: Fundo Las Puertas de Bucalemu, Provincia de San Antonio, V Región, Chile

Es la caracterización que se hace en gabinete utilizando la cartografía politemática general de la zona y las bases de datos. El entorno predial está dado por las características del hábitat que le rodea, por lo cual no es controlable por el gestor del predio y debe considerarse como cambiante. De ahí que en la gestión y diseño debe plantearse una adecuación a sus limitantes y condicionantes generales del área del entorno.

En municipios bien informados, la caracterización del entorno se hace automáticamente, utilizando las bases de datos almacenadas en los archivos comunales. En caso contrario debe reunirse en lo cartográfico al análisis de la cartografía politemática, cartas regulares, ortofotos, imágenes satelitales y fotografías aéreas del sector. En relación con la información general, se recurre a las tablas de datos y a la literatura pertinente. La escala de trabajo se determina de acuerdo con el tamaño y tipología de propiedades, las características generales del medio físico y los elementos que se pretenden identificar y caracterizar.

Las características más relevantes son las propias de la escala comunal, las cuales corresponden a lo siguiente (Gastó, Rodrigo, Aránguiz, 1998):

- Geoformas y distritos: geoformas, distritos, vertientes y topografía.
- Clima: zonas climáticas y estaciones meteorológicas.
- Suelos: capacidad de uso, series de suelos y sitios
- Hidroestructura: fuentes de información hídrica, hidrología superficial e hidrología subterránea.
- Vegetación: cobertura vegetal.
- Faunación: especies, comunidades.
- Borde costero: borde y zonificaciones.
- Uso del territorio: uso múltiple, apertura de tierras, uso del suelo, cultivos, ganadería y bosques.
- Tecnoestructura: red vial, electricidad, líneas telefónicas, cercos y construcciones públicas.
- Socioestructura: demografía, educación, salud, grupos sociales, organizaciones de la comuna, actores sociales, poblamiento prehispánico, evidencias arqueológicas, asentamientos humanos, antecedentes sobre patrimonio cultural y normativas.
- Catastro de propiedades: catastro predial, tipología de propietarios, tipología de propiedades, grupos de propiedades.
- Incidencias ambientales: incendios, desechos sólidos, desechos de jardines, influencia de los ríos, sistema de alcantarillados, otros tipos de contaminación.
- Riesgos: teoría de probabilidades, incendios, inundaciones, avalanchas, pestes.

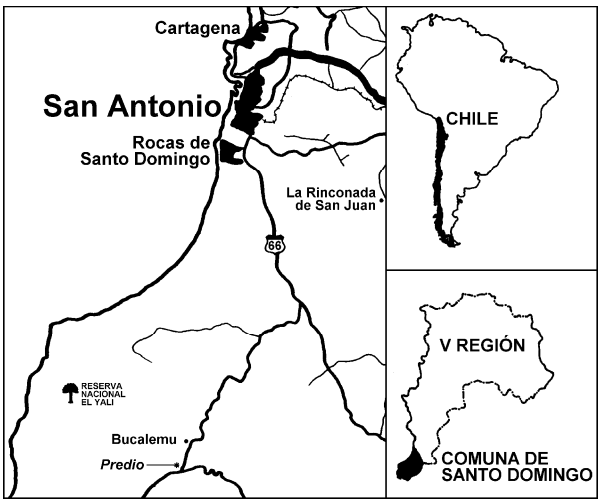


Figura 20. Posición relativa del Fundo Las Puertas de Bucalemu, Comuna de Santo Domingo, Provincia de San Antonio, V Región, Chile (Gastó, Cosio y Panario, 1993)

SISTEMAS EXTERNOS INCIDENTES

Ningún sistema ecológico es cerrado. Todos reciben insumos desde el exterior y eliminan desechos y productos como outputs hacia el exterior. Siendo el predio un sistema ecológico, sus conexiones con el exterior deben ser analizadas como input–output.

Los predios agrícolas, normalmente están ecológicamente subvencionados para su producción y gestión. Las categorías principales de subvención, son inputs y corresponden a las siguientes:

- Cinco M (manejo)
  - Fertilizantes
  - Agua de riego
  - Biotecnología
  - Pesticidas
  - Cuidados
- Maquinaria e implementos nuevos;
- Ganado para engorda;
- Alimentos concentrados y toscos;
- Materiales de construcción.

Los egresos del predio corresponden a los outputs y se agrupan en las siguientes categorías principales:

- Cultivos;
- Ganado;
- Madera;
- Maquinaria e implementos usados;
- Desechos de cultivos: rastrojos y destríos;
- Desechos contaminantes: fertilizantes, pesticidas, biotecnología;
- Agua de escorrentía;
- Estiércol, purines, animales enfermos, ganado muerto;
- Escombros y desechos de construcción;
- Basura casera;
- Chatarra.

META

En la toma de decisiones relativas a la ordenación del territorio de un predio se requiere, primeramente, establecer el estado–meta que se desea alcanzar. La meta es el fin último al cual se dirigen las acciones o deseos de una persona o de un grupo de personas o de una sociedad entera. El estado final de un sistema también puede alcanzarse en forma natural o espontánea, sin que exista un proceso planificado para alcanzarlo. La representación que se haga de un predio debe ser tal que contenga la información, modelación y estructura de base de datos que permita eventualmente determinar la meta y lograr llevar a cabo las etapas para alcanzar ese estado.

La meta es el estado final más probable de un sistema, en este caso el predio, que evoluciona internamente bajo la acción de fuerza externas. En forma natural, sin la intervención del hombre, la naturaleza evoluciona modelando su geoforma por la acción combinada de la geodinámica externa, dada fundamentalmente por la radiación solar, precipitaciones y la temperatura; y por la geodinámica interna dada por la gravedad, lo tectónico y el transporte de materiales. De esta forma se generan las diversa cuencas que caracterizan la superficie de la tierra. Simultáneamente, los procesos sistemogénicos que ocurren en la cubierta terrestre van evolucionando direccionalmente hacia el estado de mayor desarrollo, representado por el clima. La naturaleza evoluciona, por lo tanto, independientemente de la acción del hombre hacia un estado–meta dado por la cuenca y una cobertura dinámica (Figura 21).

La segunda meta está dada por el predio como empresa que busca fundamentalmente optimizar el negocio relativo al uso del territorio, para lo cual se requiere incorporar tecnología al sistema y, simultáneamente, extraer o modificar los elementos naturales. Es, por lo tanto, conflictiva e incluso antagónica con la meta de la naturaleza. La meta de la sociedad como un todo, está dada por la ocupación del territorio para satisfacer las necesidades vitales de la población, que en el caso del predio es fundamentalmente el propietario y el sector social con incidencia predial.

Los objetivos se formulan con el fin de establecer los propósitos o actividades que se deben llevar a cabo para alcanzar una meta dada. Los atributos pueden definirse como los valores asignados para la toma de decisiones, cuyo fin es alcanzar algún objetivo específico dado. La valorización del atributo se hace independiente de los anhelos o deseos de quien toma la decisión y puede ser representada como una función matemática cualquiera, relativa a la variable decisional (Romero, 1993). El atributo puede ser ecodiversidad del espacio, conectividad o estabilidad del sistema. Dado un atributo, el objetivo representa la dirección del mejoramiento del objetivo dado.

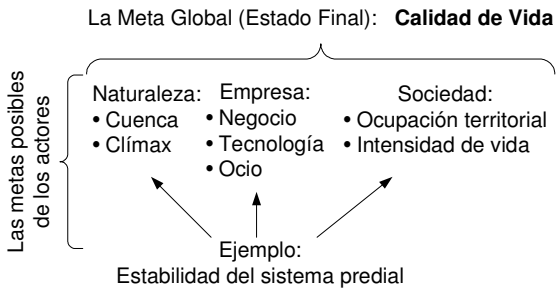


Figura 21. Las tres metas principales que se dan de acuerdo con el contexto de ocurrencia. En el caso del predio, la meta se establece por el propietario de acuerdo con los condicionantes generales y del entorno (Gastó *et al.*, 1998)

El mejoramiento del sistema puede ser referido al incremento o decremento de un atributo dado, aproximándolo al estado meta establecido.

La meta que se pretende alcanzar en un predio cualquiera está dada por cuatro elementos fundamentales:

- Las características físicas del predio dadas por la superficie total que éste ocupa y por su receptividad tecnológica.
- La racionalidad del propietario dada por la percepción de sus necesidades, funciones, y caprichos.
- La tecnología aplicada, condicionada por la receptividad tecnológica del predio y por la racionalidad del propietario (Figura 22).
- La capacidad de llevar a cabo las acciones que permitan aproximarlo al estado–meta buscado.

La superficie total del predio es la primera limitante que percibe el productor cuando inicia el proceso de búsqueda del estado meta que debe alcanzar. Pero no es ésta el objeto directo de su búsqueda, sino que tres elementos relacionados con ello que afectan su capacidad sustentadora, a saber: las características físicas del espacio acotado, las características del entorno y, las conexiones de input–output con los sistemas externos.

En el interior del predio existen numerosas clases de ámbitos y cada uno difiere en sus limitantes, contricciones y potencialidades, es decir, existe una heterogeneidad de espacios. Las diferencias entre ellos están dadas fundamentalmente por las geoformas (distritos), ámbitos edafoambientales (sitios) y cobertura vegetal y animal. Las posibilidades de combinaciones entre ellas son también enormes. El espacio físico sobre el cual el propietario ejerce su dominio es el escenario del predio y constituye por lo tanto la condicionante de primera jerarquía para la determinación de la meta.

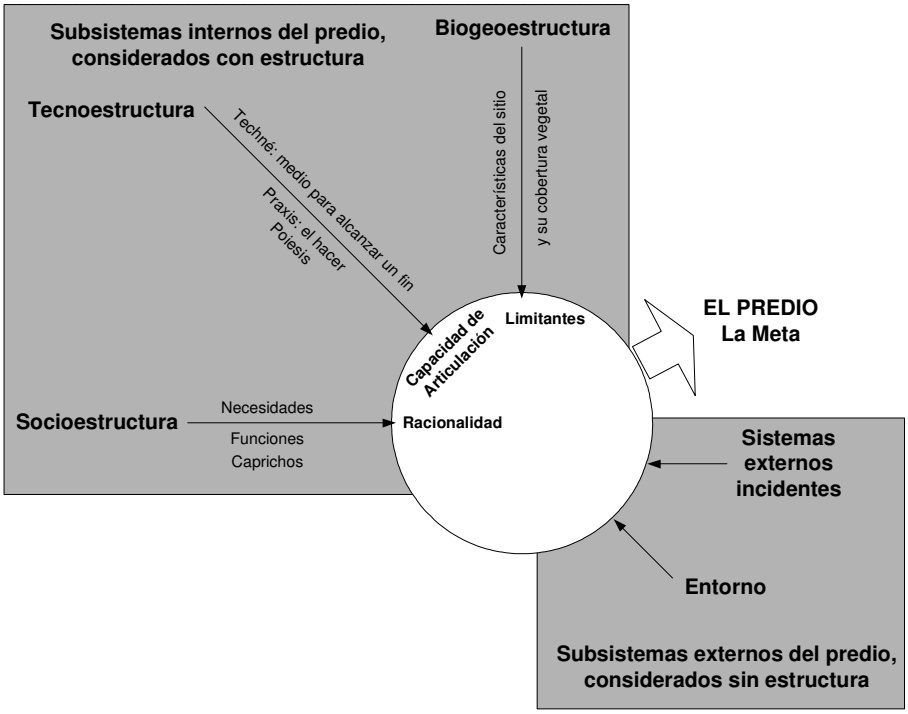


Figura 22. Componentes fundamentales para la determinación del estado–meta del predio

Por lo anterior, un examen detallado de los elementos físicos y territoriales de los predios rurales en general es la etapa fundamental de su caracterización. En la tecnología actual es factible caracterizar objetivamente la estructura física de cualquier predio rural. Vos y Fresco (1994) consideran al paisaje en un territorio dado como un arreglo espacial característico de las cualidades de la tierra en combinación con los agrosistemas específicos.

En relación con la racionalidad del propietario como tomador de decisiones se tiene en primer lugar las necesidades existenciales. Se agrupan en cuatro clases, una parte de las cuales pueden ser satisfechas por el predio, de acuerdo con la percepción del propietario y las condicionantes físicas para alcanzar una meta dada.

El tamaño y la forma del espacio afecta el grado de diversidad del escenario del hombre. Espacios muy amplios y uniformes reducen la diversidad total del sistema, dado que el organismo, en casos extremos puede llegar a desenvolverse sólo en uno de los ambientes (Figura 23). El tamaño relativo del espacio está referido a la capacidad de movimiento a través de su traslación corporal, o bien a la capacidad sensorial de percibir un horizonte más o menos amplio.

La forma del espacio está relacionada con la capacidad de ocupar o dominar una determinada área, utilizando instrumentos tecnológicos o bien a través de los sentidos. La integración en un área dada de espacios de diversos tamaños, formas y fisionomías, genera en la zona de contactos, ecotonos que pueden ser de mayor o menor significado de acuerdo con la longitud del contacto y el grado de contraste que se genere entre ellos.

Las necesidades existenciales de la población se agrupan en cuatro clases:

- Las necesidades del "ser", que son relativas a la vida, tal como acceso a los alimentos requeridos para el sustento de la población, referidas a las distintas categorías de nutrientes; carbohidratos, proteínas, lípidos, minerales y vitaminas. Además se requiere contar con el suministro de agua, aire y luz, todo lo cual es necesario para la vida.
- La necesidad de "estar" se refiere a las condicionantes requeridas para la vida tal como el hábitat, protección de enemigos de los espacios, temperatura, viento, sol, humedad y ausencia de plagas. También se concilian las necesidades de espacio y de lugar.
- La necesidad de "hacer" se refiere a la opción de laborar o de no hacerlo, de acuerdo con las circuns-

tancias. La capacidad de hacer puede sobrepasar a las necesidades, lo cual genera un remanente de tiempo que pude ser destinado a otras actividades tales como el ocio.

- La necesidad de "tener" está relacionada con la satisfacción de los requerimientos referidos al ser, estar y hacer. Debe existir una proporción ideal entre ellos, tanto en lo cualitativo como en lo cuantitativo.

Al establecerse la meta y los objetivos relativos a la ordenación territorial, se debe considerar que el espacio es heterogéneo y que existe una multiplicidad de necesidades de la población. Los ámbitos y objetivos del diseño deben relacionarse con estas dos condicionantes del espacio y de la sociedad. La heterogeneidad ambiental, también conocida como diversidad, indica la necesidad de generación de estrategias para formular ordenación territorial, ya que no se debería poner cualquier cosa en cualquier lugar, sino que existen sectores mejores para determinados objetivos.

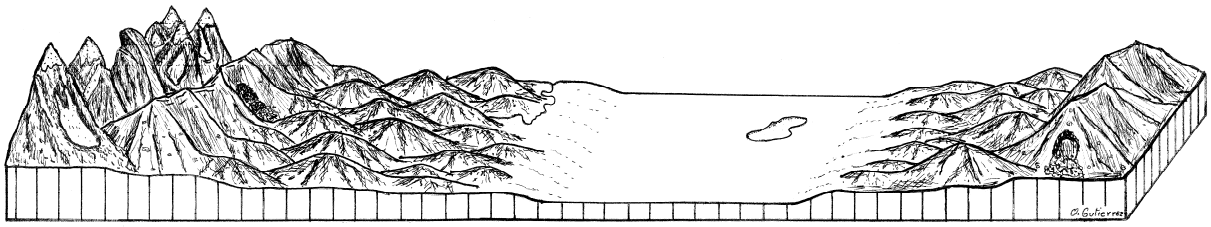


Figura 23. Esquema de la multiplicidad de ámbitos en un predio cualquiera

FUNCIONALIDAD ESPACIAL

La funcionalidad del escenario es el espacio tecnonatural discriminado en sus componentes según la cultura del actor y artificializado de acuerdo con la oferta tecnológica existente y la cultura y posibilidades del observador. En el proceso discriminativo de la percepción espacial, el actor puede fraccionarlo en un instante dado en unidades de diversos tamaños, formas y ubicación, de acuerdo con las características del terreno y la corporalidad de una cultura. El actor que genera una multiplicidad de espacios, integrados todos desde una unidad espacial global y el usuario que utiliza este espacio en forma de uso múltiple, descompone su visión de éste en cuatro dimensiones diferentes de acuerdo con sus funciones: deóntica, cognoscitiva, expresiva y estética (Flores, 1994). Cada una de estas dimensiones la representa en intensidades, posiciones y áreas diferentes, pudiendo no coincidir entre sí, lo que normalmente ocurre.

El espacio **deóntico** es el de las acciones transformadoras del mundo, del deber ser y del hacer. Intervienen en esta dimensión la capacidad de acción y de utilización de tecnología complementaria para la acción que en este caso es la agricultura y el uso múltiple. El lugar de acción puede ser el predio, el municipio, un potrero o alguna parte que selectivamente se elija para la acción, permaneciendo el resto como un espacio no deóntico. Las acciones pueden variar para cada una de las actividades que se llevan a cabo tal como sembrar, talar, quemar o proteger.

El espacio **cognoscitivo** es el espacio aprehendido por las facultades del conocimiento desde los sentidos a la razón, tal como los espacios ecológicos y tecnológicos. El conocimiento que se tiene de cada espacio y de sus componentes es diferente en relación con la distancia desde el centro y en relación con cada variable tal como las clases del terreno, la productividad, las especies vegetales y animales y su comportamiento. El área abarcada por éste puede ser mayor o menor que la relativa al espacio deóntico o cualquier otro.

El espacio **expresivo o indicial** es el que corresponde a la expresión interna y cultural de la identidad del que organiza el espacio. Es el que le da una identidad característica a la relación del sistema con su propietario y usuario.

El espacio **estético** es el intencionado a partir de la belleza. La organización espacial se hace, entre otras motivaciones, para genera un espacio de belleza, en este caso paisajista, que representa en cierta medida la visión y acción de quien lo organiza.

Estos cuatro espacios se sintetizan en uno sólo, el espacio **mítico**, el cual tiene como eje el espacio expresivo. Los cuatro espacios que componen el espacio global no son topológicamente congruentes entre sí, ni en lo que respecta a sus atributos cualitativos ni en los cuantitativos.

Existe un quinto espacio no mencionado por Flores que delimita la relación legal o consuetudinaria de pertenencia y dominio del actor social. Es el espacio **administrativo** dado por la propiedad de la tierra o dominio legal que se ejerza sobre ella. La situación más común es el título legal de dominio, que puede o no coincidir con las otras dimensiones ya señalados (Figura 24).

La predominancia o receptividad de cada una de las cuatro funciones básicas de la semántica: cognoscitiva, deóntica, sintomática y estética, da lugar sucesivamente a sensores, herramientas, máscaras y adornos (Flores, 1994).

La solución de los problemas prediales es asunto de hacer la selección adecuada de las opciones posibles.

Se debe seleccionar una meta y a la vez un proceso que conduzca a ésta. Cada vez que se incluya una selección, se debe hacer una decisión entre las opciones posibles.

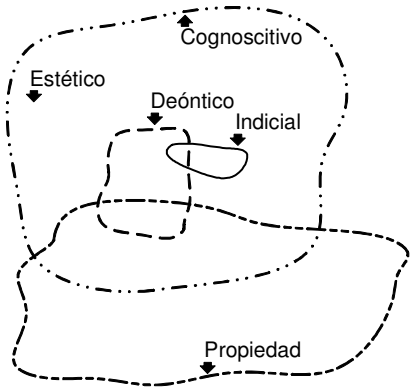


Figura 24. Esquema de la multiplicidad de espacios existentes en un área dada, tal como un predio y su entorno, basado en el planteamiento de Flores (1994)

La teoría de decisión está emergiendo como una disciplina importante (Pratt *et al*., 1965; Raiffa, 1968), la cual incorpora: la percepción humana, la emoción y la lógica (Rubinstein, 1975):

- La percepción ayuda a transformar el estímulo del ámbito en un modelo abstracto.
- La emoción guía nuestra selección de valores y de objetivos asociados. Cuando las decisiones son guiadas estrictamente por emociones, el resultado a menudo es de carácter errático, irracional e histérico.
- La lógica conduce a procesos racionales de seleccionar un curso de acción para alcanzar los objetivos; aunque, una decisión estrictamente racional invalida la naturaleza de la conducta humana, que normalmente se refleja en tres modalidades de conciencia: sensación, afección y lógica (Verlinde, 1997).

La tecnología permite articular las condicionantes del escenario físico del predio con la racionalidad del propietario. El tipo y magnitud de la tecnología aplicada está dada por la receptividad tecnológica del sistema, la cual no debe sobrepasar las posibilidades de ser incorporada, generando una nueva estructura tecnonatural que sea armónica entre sí y con el actor social. La incorporación de tecnología al sistema no debe sobrepasar los límites de la prudencia. La tecnología o "techné" en sentido aristotélico es una virtud, es un medio para alcanzar un fin, por lo cual la intensidad de aplicación no debe rebasar la sustentabilidad del sistema. La prudencia o "phronesis" es también una virtud que en este caso es el límite de la magnitud tecnológica aplicable al sistema para que éste sea sustentable y armónico.

El estado–meta planteado no logra alcanzarse a menos que se lleven a cabo las acciones de artificialización y de organización requeridas para ello. La "praxis" la constituyen las actividades del propietario que se justifican por sí mismas, es decir que el hacer es coincidente con la meta de las actividades mismas del predio. La "poiesis", en cambio, se da cuando las actividades del propietario no coinciden con las propias del predio, sino que se llevan a cabo para obtener recursos destinados a otros fines.

TIPOLOGÍAS DE PROPIETARIOS

Gutman (1985) plantea que en la elaboración de una tipología de propietarios debe considerarse tres elementos primordiales:

- Vinculación al medio natural.
- Vinculación con el capital social.
- Relaciones entre la dinámica natural y la social (Cuadro 1).

Cuadro 1. Factores dominantes en la elaboración de una tipología conceptual para considerar la interacción productor rural-medioambiente natural

Mayor Proximidad				(Entre dinámica natural y social)	Mayor Distanciamiento				
Importancia de la oferta potencial del ambiente	Persistencia de vínculos específicos entre medio ambiente y productor rural	Preponderancia de la administración de la capacidad de trabajo	Preponderancia de la productividad natural	La propiedad especulativa	Movilizado por la ganancia especulativa	Movilizado por la tasa de ganancia del mercado mundial	Movilizado por la tasa de ganancia media nacional	Movilizado por la tasa de ganancia media rural	Movilizado por la obtención de un margen de ganancia
				La gran empresa extrarrural extranjera					
				La gran empresa extrarrural nacional					
				La gran empresa extrarrural rural					
				La empresa rural					
				El pequeño productor no campesino					
				El productor campesino					
				El productor itinerante					
				El colector					
Vinculación al medio natural				Tipología de propietarios	Vinculación con el capital social				

Fuente: Gutman (1985)

Se establecen nueve tipologías de propiedades, desde una perspectiva de su relación dinámica entre el medio natural y el social del propietario, a saber:

- **La propiedad especulativa**. Es la que se establece teniendo como objetivo su valor de cambio, basándose en predicciones de la evolución del mercado y de los precios de la tierra.
- **La gran empresa extrarrural extranjera**. Son las que establecen empresas asentadas en una determinada nación, en el espacio rural, con fines productivos, especulativos, o de integración con otras actividades de la empresa.
- **La gran explotación de orden rural**. Son empresas rurales de gran tamaño, que combinan la eficiencia productiva y de la mano de obra con la agricultura sustentable. Su propósito es hacer agricultura incorporando los elementos necesarios para una buena explotación, además de generar utilidades.
- **La empresa rural**. Son predios agrícolas que tienen las características de una empresa; tienen las estructuras productivas necesarias para llevar a cabo las actividades propias del rubro y cuentan con una estructura laboral y empresarial *ad hoc* para sus objetivos. Corresponde a fundos, estancias, haciendas.
- **El pequeño productor no campesino**. Explota predios agrícolas de estructura y tamaño pequeño, a menudo insuficiente para llevar a cabo todas las actividades propias de la empresa, requiriendo recurrir con frecuencia a apoyo externo. Corresponde a parcelas.
- **El productor campesino**. Trabaja pequeñas propiedades agrícolas donde el productor se desempeña usualmente en compañía de su familia, en predios de un tamaño pequeño. La tecnología que se aplica y la organización empresarial son limitadas. Es más bien un estilo de vida.
- **El productor itinerante**. Es el que no está asentado en un lugar dado. Constantemente se muda a otros lugares y predios.
- **El colector**. Es aquel que recolecta los bienes producidos por la tierra, sin llevar a cabo la gestión del recurso.

Las tipologías de propietarios cambian constantemente debido a múltiples razones y objetivos:

- Fraccionamiento de la propiedad.
- Consolidación.
- Grado de autarquismo.
- Organización laboral.
- Organización social.
- Escala de trabajo.
- Intensidad de uso.
- Objetivos recreacionales.
- Productividad y rubros de producción.
- Relaciones comerciales.
- Lugar de residencia.

Un caso del cambio de tipología predial es el de las comunidades indígenas que se transforman en predios individuales, tal como ha ocurrido en el sur de Chile durante los últimos años. Un caso similar se tiene cuando una empresa rural del tipo de un fundo o de una hacienda se divide en pequeñas parcelas que son asignados a campesinos. Un caso diferente ocurre cuando una comunidad campesina se transforma en una empresa rural.

TIPOLOGÍAS DE PREDIOS

El predio es la unidad de trabajo y de manejo de los productores rurales de una zona dada. Es un espacio de recursos naturales conectados internamente y limitado externamente, donde se toman decisiones y cuyo fin es hacer agricultura. Es la unidad administrativa privada de organización del municipio. La constituyen propiedades, empresas y estilos de vida donde se hace agricultura, utilizándose los recursos naturales y aplicándose tecnologías de las más variadas tipologías.

Se compone de estructuras y de espacios, destinados a los más variados usos, donde se aplican estilos tecnológicos diversos. La integración de los recursos naturales con los espacios y componentes más diversos, estructurados con algún propósito definido por el propietario, genera estructuras y tipologías prediales diversas, que pueden agruparse en categorías arbitrarias. Estas tipologías se repiten en los diversos países del continente, aunque reciben nombres diferentes (Cuadro 2).

Hacienda

Predios de gran extensión, adquiridos como merced real o por compra, en cuyo interior vivía una extensa población como vasallos o trabajadores, en poblados, dependientes de un señor o propietario. Está complementada con estructuras diversas y complejas, de manera de desarrollar principalmente en forma autárquica las labores agrícolas.

Constituyen un sistema rural de producción y organización de la sociedad y del uso de la tierra vigente durante más de 300 años en América Latina, en torno al cual se ha gestado gran parte del desarrollo económico. Tiene algunas características generales comunes que varían de acuerdo con las condiciones geográficas, tipos de producción, demandas de los mercados, oferta de mano de obra y perfil de los dueños.

La organización laboral estaba fuertemente jerarquizada formando una pirámide en cuya cúspide estaba el propietario de la finca y en cuya base estaban los peones acasillados y, además, en algunas regiones y en un comienzo, esclavos.

En medio, un sinnúmero de empleados permanentes y temporales, administradores, mayordomos, capataces, vaqueros, pastores, artesanos, sirvientes y gran variedad de trabajadores especializados según los requeri-

mientos de los diferentes tipos de haciendas y denominadas de acuerdo con los dictámenes del tiempo y de las regiones.

Estos centros de producción rural se organizaron como si fueran fortalezas, palacios o claustros; diseñados en forma eficiente, funcional y bella, amoldándose al paisaje e incorporando la naturaleza; la armonía de los estilos, formas y materiales (Rendón, 1994).

De acuerdo con los tipos de productos, las haciendas y hacendados pueden ser. cerealeros, ganaderos, ovejeros, azucareros, mineros o de beneficio, pulqueros, mezcaleros, algodoneros, forestales, lecheros, fruticultores, viñateros o mixtos.

Las características y dimensiones de los espacios construidos de las haciendas guardan relación con el grado de desarrollo de ellos, el tipo y volumen de la producción dominante a la que se destinaban, el período histórico en que surgen o llegan al auge, los avances tecnológicos introducidos, el nivel de fortuna de los propietarios y las finalidades perseguidas por éstos. La hacienda no es una estructura preconcebida y legalizada por algún decreto real; es el resultado de la evolución de la sociedad y de una organización y como una respuesta a una variedad de necesidades y condicionantes.

La hacienda está compuesta de dos partes esenciales: la tierra, organizada de acuerdo con las condicionantes geográficas y del recurso natural y estructurada para llevar a cabo las actividades de extracción de recurso y de producción; y el casco correspondiente a los espacios construidos.

Cuadro 2. Nombres dados en diversos países de habla castellana a las tipologías de predios rurales

Nivel Jerárquico	Categoría y Nombre propio	País						
		Argentina	**Chile**	**Colombia**	**Ecuador**	**Paraguay**	**Perú**	**España**
1	Gran propiedad privada, autárquica, asentam. humanos (**Hacienda**)	Estancia	Hacienda, merced, estancia	Hacienda	Hacienda	Misión	Hacienda	Hacienda, Cortijo
2	Gran propiedad, comunitaria, asentam. Humanos (**Comunidad**)		Comunidad asentam., reducción.	Cabildo, reserva	Comuna	Colonia, campo comunal	SAIS	Propiedad, municipal, Monte público
3	Gran empresa agrícola, escala comercial (**Fundo**)	Estancia (ganadera), tambo (leche), finca (hortalizas, riego)	Fundo (cultivo, ganadero), estancia (ganadera), forestal (bosques cultivados)	Finca, hacienda ganadera	Finca	Campo (cultivo), estancia (ganadera)	Fundo	Cortijo, dehesa, masía
4	Pequeña empresa agrícola, escala comercial o marginal (**Parcela**)	Chacra, campo, quinta	Parcela, chacra, lote	Parcela, lote	Parcela	Chacra	Parcela, chacra	Parcela, masía
5	Propiedad de agrado, actividades comerciales ocasionales (**Quinta**)	Quinta	Parcela agrado, quinta, minifundio	Quinta, minifundio	Quinta	Quinta		Carmen, quinta
6	Terreno sin actividad (**Erial**)	Baldío, lote, terreno	Baldío, sitio eriazo, erial	Baldío	Baldío	Baldío	Eriazo	Erial
7	Casa con terreno aledaño de huerta y jardín (**Solar**)	Solar	Solar	Solar	Solar	Solar	Solar	Solar
8	Cualquier tipo de propiedad rural (**Predio**)	Predio	Predio	Predio	Predio	Predio	Predio	Finca

Fuente: Gastó, Cosio y Panario, 1993

El casco está delimitado y, en ocasiones, protegido por una extensa y continua muralla defensiva, la casa patronal, la calpanería o las casas para el personal, la iglesia, la infraestructura hidráulica, sitios de almacenamiento, los lugares de administración y servicios, las vías de comunicación y por otras obras destinadas a la producción tales como: eras y molinos (en las haciendas cerealeras), trapiche e ingenio (en las azucareras), patio de beneficio y horno de fundición (en las mineras), tinacal (en las pulqueras), desfibradores y asoleaderos (en las henequeras), derpipatero (en las algodoneras), aserraderos (en las forestales), secadores y empacadoras (en las cafetaleras, tabaqueras y cacaoteras), galpones de esquila y enfardadoras (en las oveje-

ras), lagares y bodegas (en las viñateras), salas de ordeña y queserías (en las lecheras) y corrales y potreros (en las ganaderas) (Rendón, 1994).

Comunidad

Conjunto de parcelas o terrenos unidos por: tradición, propiedad unitaria, toma conjunta de decisiones, o algún otro mecanismo que los unifica total o parcialmente. Algunos elementos son comunes y otros privados.

Las comunidades más características son los grupos indígenas que ocupan extensas áreas en los bosques, praderas, montañas o costas. Su organización está dada por las tradiciones y costumbres y predominan los elementos sociales. Su organización es típicamente la de la tribu y su finalidad es más bien de defensa, religión, convivencia, pero no prima la organización productiva ni la eficiencia del trabajo, de la tierra y de los capitales. Las decisiones no son monolíticas, como ejemplo de esto puede citarse los grupos indígenas de la selva amazónica y las comunidades Pehuenches de la cordillera de Los Andes.

Otro grupo de comunidades tiene un origen diferente, correspondiente a grupos de pobladores que compartieron y ocuparon un espacio de tierra sin organizarse como una estructura monolítica de producción y a menudo combinando los intereses particulares de los enclaves privados con los intereses de la comunidad. Tal es el caso de los ejidos mejicanos y de las comunidades del Norte Chico de Chile.

Un tercer grupo de comunidades corresponde a aquellas sólidamente bien organizadas, que comparten un objetivo común y estructuran eficientemente el trabajo y el espacio, buscándose obtener un producto final y una rentabilidad. Tal es el caso de las comunidades menonitas del Chaco Paraguayo y de los amish de Pensilvania.

Fundo

Empresa agrícola de tamaño comercial, cuyo fin es hacer agricultura y producir excedentes para el consumo fuera del predio. Cuenta con estructuras tecnológicas y organización laboral compatibles con una organización productiva empresarial. Es autosuficiente en los procesos productivos, elementos y de insumos externos para la producción. El propietario y los trabajadores pueden vivir o no en el predio. Según el propósito reciben diversa denominaciones: estancia (ganadera), tambo (lechería), forestal (bosques cultivados), chacra (cultivos), parque (área silvestre protegida). Gozan de las ventajas de economía de escala (Verlinde, 1997).

Parcela

Tiene su origen en la subdivisión de fundos o haciendas, o en la asignación de tierras en propiedad individual. Dado su tamaño, que puede ser pequeño o mediano, presentan menor grado de autarquía que el fundo y normalmente una mayor especialización de la producción y del trabajo. Su fin es comercial, aunque dado el escaso tamaño, con frecuencia no logran este objetivo. No presentan ventajas de economía de escala. Carecen de estructuras necesarias para actividades productivas complejas y diversas.

Quinta

Terreno pequeño no apto para la producción comercial. Su fin es de recreación, habitación y esparcimiento del propietario, que no depende de ésta para su sustento. Se llevan a cabo algunas actividades agrícolas sin fin comercial. La vivienda del propietario es importante. Puede haber apoyo laboral externo. En general, la complejidad de las estructuras y la diversidad de propósitos rebasa el potencial productivo del terreno.

Solar

Casa con terreno aledaño de huerta y jardín.

Erial

Terreno baldío, abandonado, sin fines de lucro, donde no existen estructuras de producción ni de habitación. Puede utilizarse ocasionalmente.

Predio o finca

Es un término general que incluye a cualquiera de las tipologías.

Cercado

Es el último nivel jerárquico del sistema administrativo. Corresponde a la subdivisión del espacio predial en unidades menores necesarias para su gestión ecológica y administrativa. El término cercado es de escasa difusión en el ámbito agrícola sudamericano donde se le denomina usualmente potrero. Fuera del anterior, otros términos empleados con frecuencia son: campo, encierra y cuartel. En el presente trabajo, cercado incluye también los espacios construidos o semiconstruidos tales como: bodegas (almacén), corrales, industrias y viviendas (Figura 25).

Los espacios administrativos en que se subdivide el predio, son de importancia porque constituyen las unidades de gestión y los centros de información donde se concentran las bases de datos generadas y la toma de decisiones relacionadas con las actividades agrícolas. Los productores agrícolas dividen los predios en un número indeterminado de espacios; cada uno de los cuales se destina a cumplir funciones definidas y a ocupar una determinada superficie y porción relativa en relación con otros espacios. Los espacios o cercados se designan con un nombre propio y un número correlativo. La información inherente a cada

cercado que se indica en los diversos sistemas de caracterización, es la superficie ocupada por el espacio respectivo.

Figura 25. Viñedos de Lanzarote, Islas Canarias (Weller, 1982)

ESTILOS DE AGRICULTURA PREDIAL

Vélez (1998) propone un modelo para el estudio de los estilos de agricultura a nivel predial, basado en cuatro variables relevantes, ellas son: receptividad tecnológica, intensidad tecnológica, intensidad en el empleo de la mano de obra y, diversidad.

En el trabajo se establece un marco conceptual para el estudio de los estilos de agricultura a nivel predial, se definen conceptual y operativamente cada una de las variables consideradas y se desarrolla una metodología para su parametrización y evaluación, lo cual se hace teniendo como referente las condiciones específicas de cada predio. Se estudian seis predios con el propósito de validar el modelo (Figura 26).

El concepto de receptividad tecnológica se puede abordar desde dos perspectivas diferentes (Gastó, Vélez y D'Angelo, 1997):

- Como la capacidad de un ámbito de recibir y asimilar una cantidad y tipo de tecnología determinada como aportes y estructuras de artificialización, sin que deteriore su capacidad productiva.
- Como los costos y esfuerzos necesarios de aplicar para mantener al ámbito en condiciones adecuadas de producción, adicionales a los requeridos para mantener o aumentar los rendimientos y que pueden causar el deterioro del ámbito y, consecuentemente, aumentar los costos de producción (Nava, Armijo y Gastó, 1996).

Se han desarrollado sistemas y metodologías de evaluación de tierras (en la literatura que a continuación se referencia, el concepto tierra es similar al de ecosistema) para determinar su uso y manejo agrícola de acuerdo con su receptividad tecnológica y potencial, como la de FAO (1976); Beek y Benema (1973); Etter (1990); Tosi (1972); Gómez y Senén (1980), Duch, *et al*. (1980), entre otras. Richters (1995) hace una síntesis y analiza algunas de estas propuestas metodológicas. En el estudio de Vélez (1998), la receptividad tecnológica (*RT*) se determina como una función del ámbito, del uso específico y de los sistemas de manejo agrotecnológico (*sma*):

$$RT = f(ambito, uso, sma)$$

La intensidad tecnológica puede definirse como el grado de artificialización del ámbito o magnitud de los aportes por unidad de área, con el fin de incrementar el flujo de recursos o los rendimientos por unidad de área; y aumentar la calidad y cantidad de recursos naturales movilizados y reproducidos para su conversión en valores específicos (Ploeg, 1992; Gastó, Guerrero y Vicente, 1995; Meews, Ploeg y Wijermans, 1998).

Según el análisis de Vélez (1996), la producción (ρ) puede ser expresada como una función (ϕ) de los aportes (ε) y del comportamiento del ecosistema (β), que es función de la arquitectura, que en términos prácticos corresponde al potencial productivo:

$$\rho = \phi(\varepsilon, \beta)$$

En consecuencia, la intensidad tecnológica debe establecerse con respecto al sistema de manejo agrotecnológico de receptividad tecnológica de cada ámbito.

El concepto de intensidad en el empleo de mano de obra se refiere al cociente promedio entre el número de operaciones agrícolas y la cantidad de mano de obra requerida para el número de labores (Meews, Ploeg y Wijermans, 1988). Vélez (1998) expresa que la intensidad en el empleo de mano de obra (*s*) es función de la actividad agrícola (*A*), de las características del ámbito (*E*) y, del tipo de tecnología empleada (*T*):

$$s = f(A, E, T)$$

La diversidad o uso múltiple del predio se refiere a la diversidad de usos y flujos o intercambios, dentro y entre ámbitos, entre los usos y actividades, entre el predio y la naturaleza y, entre el predio y la sociedad. La diversidad o uso múltiple (*D*) puede ser estimada a través del cociente entre el número de usos y flujos (*uf*) y el número y categorías de ámbito (*a*) identificados en el predio:

$$D = \frac{uf}{a}$$

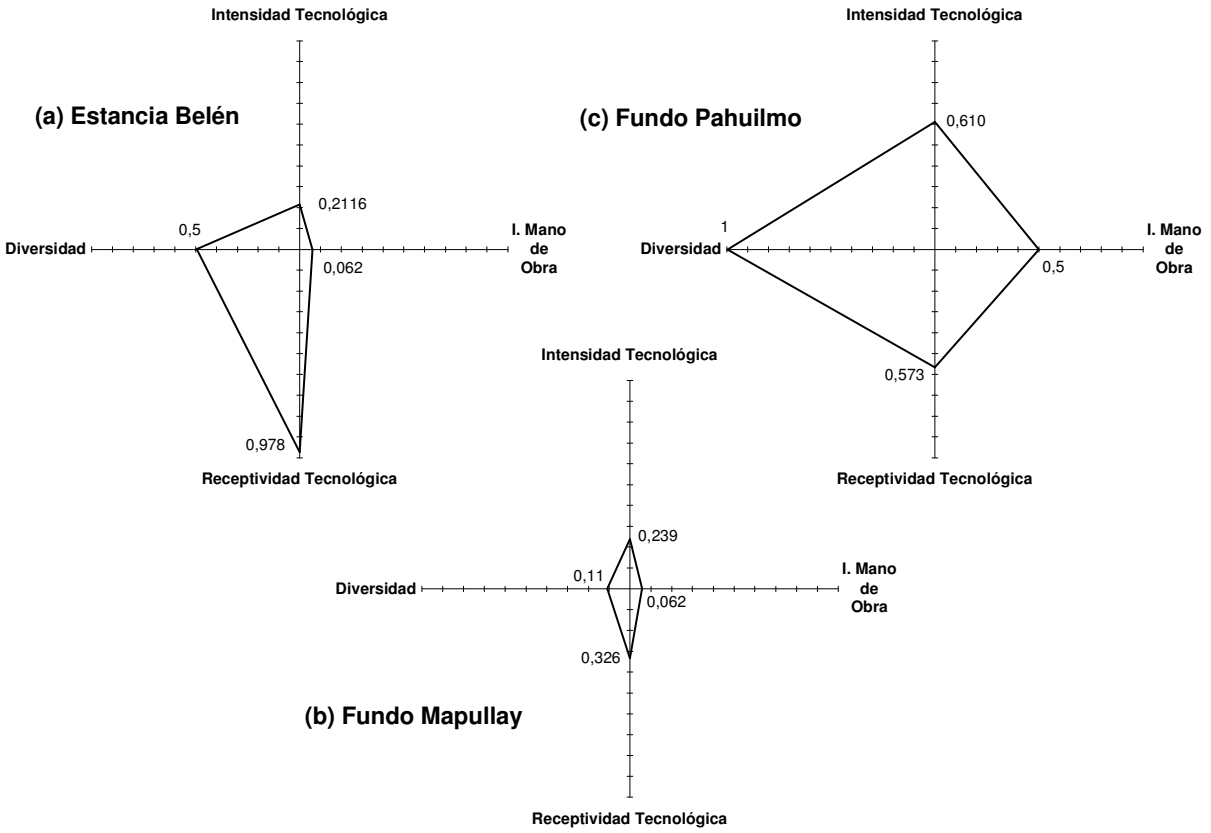


Figura 26. Estilos de agricultura de tres predios (Vélez, 1998). (a) "Belén", Chaco Central Paraguayo; (b) "Mapullay", provincia Secoestival Nubosa, comuna de Santo Domingo, Chile; (c) "Pahuilmo", provincia Secoestival Prolongada, comuna de Melipilla, Chile

CARACTERIZACIÓN FÍSICA

HERRAMIENTAS Y TECNOLOGÍAS

La información cartográfica es una herramienta de utilidad en la descripción y conocimiento del territorio. Existen diversas formas de representar el territorio, las cuales cumplen funciones determinadas.

Las cartas regulares o planchetas son generadas por el Instituto Geográfico Militar (Cartas IGM), cuya escala por lo general es de 1:50.000 a 1:25.000. En ella se describen sectores dentro de una región administrativa del país. Todo estudio debería partir por tener un conocimiento acabado de estas cartas. En ella se destaca un sistema de coordenadas, la información relativa a aspectos generales y características de un territorio dado donde se localiza un predio dado (Gastó, Cosio y Panario, 1993):

- Fondo orotopográfico, representado por curvas de nivel
- Red vial, representada por autopistas, caminos principales o secundarios, estado que tienen los caminos durante el año, vía férrea
- Hidroestructura básica: se señalan los ríos, lagunas, embalses, canales, quebradas y otros cursos o acumulación de agua
- Tecnoestructura: señala la posición geográfica de ciudades, pueblos, villorrios, asentamientos humanos, cercos, caminos, construcciones, en general las construcciones antropogénicas visibles a la escala de la carta.
- Formaciones vegetales, representadas de una manera muy general: vegas, empastadas y otras

El código cartográfico, en el caso del Instituto Geográfico Militar (IGM) de Chile, se compone de cinco secciones:

Primer dígito:	Tipo de artículo
Segundo y tercer dígito:	Escala
Cuarto y quinto dígito:	Sección del país
Sexto a noveno dígito:	Número de la hoja
Décimo y undécimo dígito:	Identificación

Dicho código se representa como: 0–00–0000–00

La información obtenida de este tipo de cartas debe ser complementada con otras opciones de información que se ofrecen en el mercado.

El CIREN genera importantes productos cartográficos. Uno de estos corresponde a la ortofoto. Éste es un producto cartográfico que presenta ventajas respecto

de la cartografía tradicional, pues tiene corregidas las escalas y las distorsiones que presenta la foto aérea complementada con la información cartográfica convencional.

La ortofoto es una imagen del terreno cuya proyección central ha sido transformada en otra proyección ortogonal. Corresponde a una copia de la foto aérea, pero con la eliminación de las distorsiones planimétricas provocadas por la inclinación de la cámara aérea, altitud de la toma fotográfica y el desplazamiento debido al relieve. De este modo, la variación de escala que existe en el fotograma no rectificado, producto de las diferencias del nivel del terreno fotografiado y de las inclinaciones de la cámara en el momento de la toma, se elimina, obteniendo una escala única y exacta sobre la superficie de la ortofoto. La transformación de una proyección central a otra ortogonal se realiza mediante el procedimiento llamado rectificación (IGM, 1990; Carré, 1972).

La ortofoto en vez de contener la información del terreno graficado mediante simbología convencional, presenta la información de la fotografía aérea, corregida y se adiciona información de latitud y longitud, por lo cual pasa a ser en verdad una carta con una foto sobrepuesta. Además, puede sobreponerse una capa de demarcación de los deslindes prediales y de los roles de propiedades dado por Impuestos Internos y, caracterización de suelos y de sus capacidades de uso.

Las fotos aéreas son proporcionadas por el Servicio Aéreo Fotogramétrico. Éstas permiten la realización de la fotointerpretación de un lugar, lo que se hace con la utilización de un instrumento denominado estereoscopio. Mediante la fotointerpretación se busca la determinación de elementos en el terreno fotografiado. Se busca identificar y delimitar las unidades vegetacionales, unidades geomorfológicas, formaciones superficiales, infraestructura e hidrología, entre otros (Etienne y Prado, 1982).

La foto aérea constituye un relato evidente y detallado de los rasgos naturales y culturales de la superficie de la tierra, debido a su poder resolutivo (Carré, 1972). Existen diferentes tipos de fotografías aéreas, de acuerdo con la posición de la cámara dentro del avión; éstas son (Lablee, 1976): fotografía vertical, fotografía oblicua o convergente, fotografía panorámica

La escala de la fotografía representa la relación que existe entre la magnitud real del terreno y la correspondiente en la fotografía aérea. Está en función de la altura de vuelo y la distancia principal.

La estereoscopia es la técnica más utilizada para fotointerpretar; se refiere a la restitución visual del relieve a través de mecanismos ópticos y psicológicos. El instrumento utilizado en dicha técnica es el estereoscopio. Existen dos tipos: de espejo y de bolsillo (Atwater, 1975; American Soc. Photogram, 1975).

Una fotografía aérea aislada no es suficiente para obtener una visión estereoscópica de un área y así determinar diversas estructuras o unidades. Es necesario un par de fotografías sucesivas en la línea de vuelo, que presentan un área de traslape en el área que cubre un determinado predio. El área de traslape del par fotográfico es aquella que se repite en las fotografías sucesivas y que mediante el uso de un estereoscopio logra la visión de relieve o tridimensional (Carre, 1972; Technip, 1970; Lablee, 1976).

Para fotointerpretar adecuadamente se separa, en primer término, en unidades discretas de mayor a menor jerarquía, considerando:

- Forma de relieve;
- Energía de relieve;
- Tonalidad, color y textura.

También es factible utilizando los pares fotográficos georreferenciados con precisión en puntos específicos con su altitud, longitud y latitud y, utilizando equipo sofisticado hacer restituciones planimétricas. Estas cartas contienen información detallada de curvas de nivel, construcciones, cobertura vegetal y caracterización física de áreas pequeñas de territorio tal como una fina de tamaño medio, de algunos decenas o centenas de hectáreas.

En predios de menor superficie, o bien cuando se requiere de mayor detalle, es necesario recurrir a instrumentos de terreno que permitan acceder a los elementos más mínimos como teodolitos y niveles.

El trabajo de terreno es un complemento valioso para cotejar información instrumental con la fenomenológica. Los estudios de gabinete relativos u fotografías aéreas y cartografía deben, necesariamente, ser complementados con descripciones y mediciones de terreno. En terreno se deben obtener muestras de suelo y descripciones de la vegetación y formación en parcelas experimentales y muestreo.

CARACTERIZACIÓN

La primera actividad relativa a la caracterización física del predio consiste en su identificación y localización en las cartas IGM que cubren el área donde éste se encuentra. Luego debe ser localizado en la ortofoto, que por ser una carta fotográfica permite, además, reconocer sus características físicas más relevantes, conocer la escala y determinar su posición geográfica en términos de latitud y longitud de cada uno de sus elementos y localizarse con exactitud la ubicación cartográfica de los lindes, sin lo cual no puede continuarse con el estudio. En la Figura 27 se indican las metas a alcanzar en las diversas etapas de caracterización de un predio.

Luego se identifican los pares fotográficos que cubren el área predial y se trazan los lindes de ésta. Este trazado permite demarcar la totalidad del área interior y

comenzar el examen detallado de sus componentes en el gabinete. Con anterioridad se ha llevado a cabo un reconocimiento generalizado del área predial con el fin de estar consciente del contenido interior del predio.

Cuando se trata de predios pequeños de sólo algunas porciones de hectáreas, o decenas de hectáreas, ni la ortofoto ni las fotos aéreas permiten reconocer en detalle sus componentes, por lo que el trabajo fotográfico debe reemplazarse o complementarse con un levantamiento topográfico en el terreno. Las siguientes etapas continuarán sin modificarse.

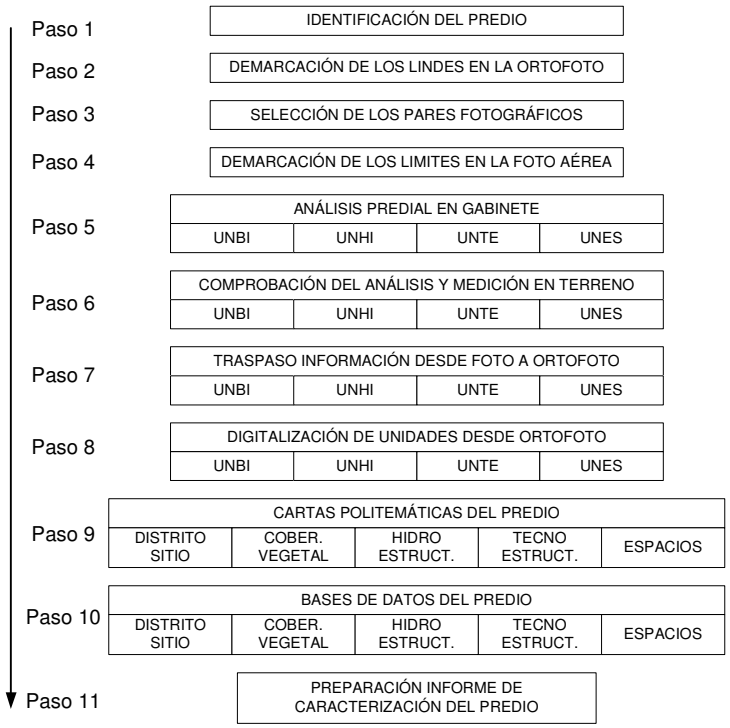


Figura 27. Metas a alcanzar en las diversas etapas de la caracterización del predio

El examen detallado se hace en cuatro etapas, en cada una de las cuales se logra identificar los elementos correspondientes a la etapa. En la primera, se caracteriza el escenario físico dado por las unidades biogeoestructurales. Los componentes están representados por los Distritos (DIST) que corresponden a las unidades geomorfológicas dadas por la pendiente del terreno, determinándose las características isomórficas de las cinco clases, cada una de las cuales se representa en códigos diferentes. Éstas se subdividen de acuerdo con las características edafoambientales del Sitio (SITI) y de la Cobertura Vegetal (COBE). La capa de Unidades Biogeoestructurales de la finca representa a la naturaleza, es decir, al escenario natural de tipos o unidades geoforma-suelo-cobertura vegetal que se ha distinguido o separado de otras del predio. Cada una de estas unidades se identifica con un número correlativo, sin pretender caracterizarlas con precisión y detalle en el gabinete. Con posterioridad, se cotejan en terreno, de manera que los límites de las áreas o los elementos identificados, sean los correctos, lo cual se describe en la foto. Las características de cada uno de los elementos se registran en formularios especiales después de un análisis en terreno o en el laboratorio (Figura 28).

Luego se caracterizan de manera análoga a las unidades biogeoestructurales ya descrita, las unidades hidroestructurales (UNHI).

En esta etapa se identifican los elementos relacionados con el agua, tal como las clases de estructuras de la naturaleza o tecnológicas y, los usos, estilos, regímenes y condición de los elementos hídricos encontrados en el predio. Después se coteja en terreno la identidad del elemento y la corrección de la forma, tamaño y posición de su descripción en la foto. Luego se identifican con un número correlativo y su descripción se registra en formulario *ad hoc* para este propósito.

De manera análoga a las UNBI y a las UNHI se procede con las Unidades Tecnoestructurales (UNTE) constituidas por los elementos tecnológicos de la infraestructura predial, representados como un sistema global de ordenamiento topológico sobre el área predial.

Finalmente, se tiene las Unidades Espaciales (UNES) que corresponde a los espacios administrativos en que se divide el predio para su gestión tales como potreros, cuarteles, corrales, estacionamientos, caminos, parques, áreas de almacenamiento, canchas de fútbol y viviendas. Son de importancia para caracterizar la organización administrativa del predio, por lo cual no corresponden necesariamente con las unidades físicas ya descritas.

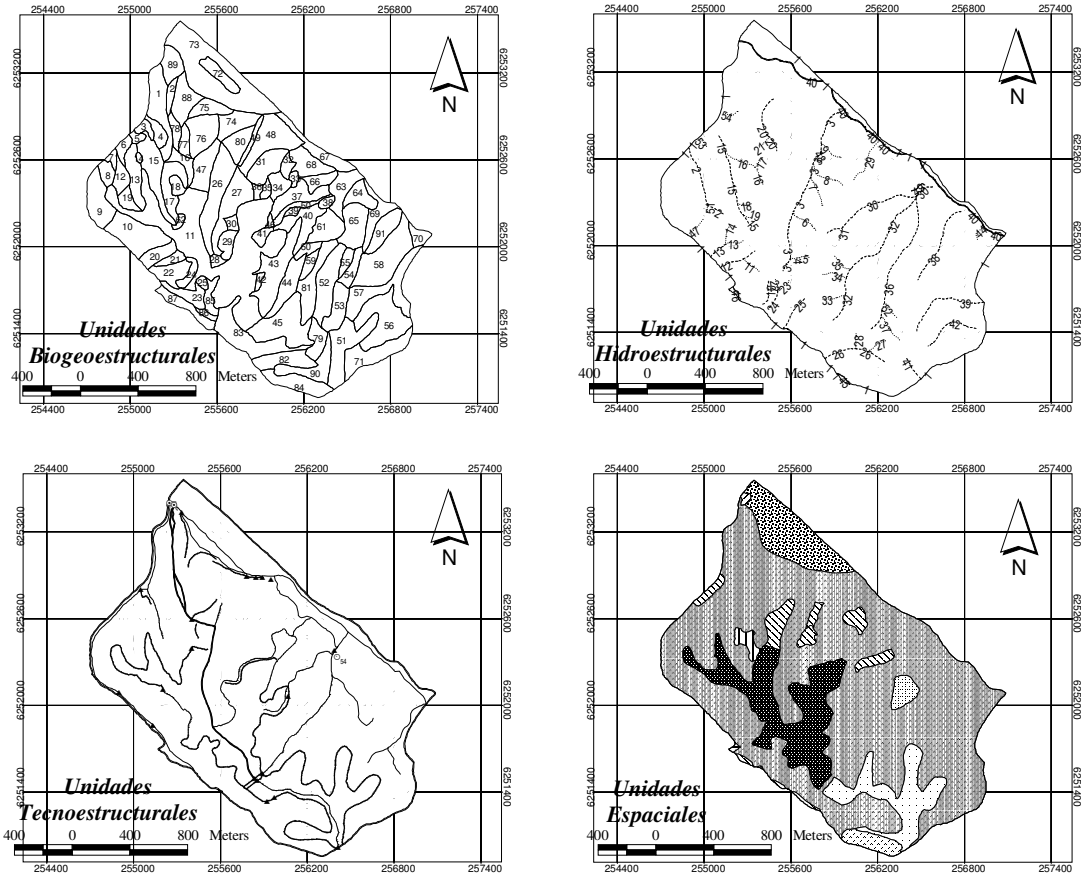


Figura 28. Unidades biogeoestructurales (UNBI), unidades hidroestructurales (UNHI), unidades tecnoestructurales (UNTE) y unidades espaciales (UNES), del fundo Las Puertas de Bucalemu, Santo Domingo, V Región, Chile. Se representa el producto de la fotointerpretación predial y cotejo en terreno

Esta etapa de caracterización de las unidades es sólo de análisis predial y por lo tanto carece de un carácter descriptivo. Además, por estar solamente representada en la foto aérea, no están georreferenciadas ni tampoco su escala de representación son las correctas. Por lo anterior, debe traspasarse la información a un mapa fotográfico de escala tal como la ortofoto. En el paso siguiente, se traspasa la información de unidades desde la fotografía aérea a la ortofoto, con lo cual se concluye el análisis del predio al quedar corregido y georreferenciado cada uno de sus componentes.

Posteriormente, se continua con la digitalización de las unidades representadas en la ortofoto, de manera de generar una cartografía digital del predio lo cual se lleva a cabo en gabinete empleando los software desarrollados para tal propósito como ARC–Info e Idrisi.

Como resultado de este proceso se generan cinco cartas politemáticas que caracterizan el espacio físico y administrativo del predio, las cuales se derivan en forma automática de las cartas de unidades en la siguiente forma (Figura 29):

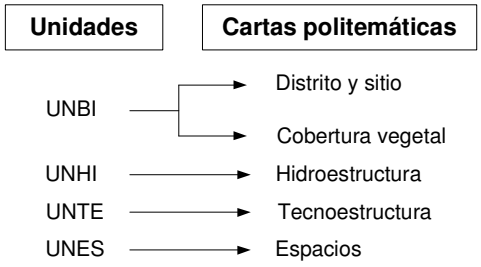


Figura 29. Cartas politemáticas del predio, obtenidas en forma automática de las cartas de unidades

CARACTERIZACIÓN HOMOMÓRFICA

CAJA NEGRA

Dada la complejidad de los fenómenos prediales, resulta en extremo difícil elaborar modelos que reproduzcan las estructuras y procesos involucrados tal como ocurre con los modelos a escala y los isomórfi-

cos. De ahí que sea a menudo preferible elaborar modelos homomórficos o de caja negra.

La profundidad de una teoría depende de la profundidad de los problemas que intenta resolver; cuanto más profundos son los problemas que consigue 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 (Bunge, 1969).

Según el mismo autor, la profundidad de las teorías, puede caracterizarse por la posición de los 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, pueden formularse hipótesis sobre mecanismos inobservables y sólo lo que por hipótesis ocurre en las profundidades puede explicarse lo que ocurre en la superficie.

Las teorías del tipo de caja negra consideran al elemento que puede ser una variable de estado o conjuntos 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 30).

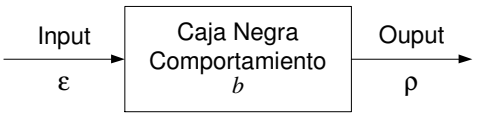


Figura 30. Teoría del tipo Caja Negra que considera al elemento como desprovisto de estructura donde intervienen variables periféricas ε, ρ vinculadas mediante la variable β

Dada 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 función de comportamiento. Consecuentemente y de manera hipotética, es posible en etapas sucesivas construir la imagen conceptual de su estructura interna (Nava, Armijo y Gastó, 1996).

El predio entero puede ser considerado como una caja negra, sin estructura interna de ningún tipo, en el cual se conocen los estímulos o inputs que se adicionan al sistema y las respuestas o outputs del sistema. Sobre la base de las relaciones invariantes entre inputs y outputs se describe la función general de comportamiento del predio. Representar la totalidad del predio como una sola caja negra es obviamente en extremo burdo, por lo cual resulta difícil o imposible resolver problemas específicos de la complejidad propia de aquél.

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

$$\rho = \varepsilon \circ \beta$$

De manera de relacionar las variables periféricas de estímulo ε y respuesta ρ con la variable mediadora β; o, es la función que relaciona a las variables periféricas (Bunge, 1969). La variable mediadora debe corresponder a:

$$\beta : \varepsilon \rightarrow \rho$$

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 a la variable mediadoras β 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 manera de lograrse una mayor comprensión de su contenido y operación, la caja negra se transforma gradualmente en traslúcida (Bunge, 1969).

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

En lugar de representar a la totalidad del predio, como una sola caja negra, es preferible descomponerla en un conjunto de cajas negras, cada una de las cuales corresponde a los procesos específicos de gestión y de toma de decisiones. Cada potrero del predio debe recibir como estímulo fertilizantes y riego generando como respuesta una cierta producción de hierba, de acuerdo con su función de comportamiento, lo cual constituye una caja traslúcida de la caja negra general del predio. El conjunto integrado como sistema de problemas, constituye la caja negra general de los potreros del predio. El rebaño que utiliza los pastizales también puede ser considerado como una caja negra global del predio.

Las propiedades más sobresalientes de las cajas negras, en relación con 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;
- sencillez epistemológica, lo cual permite resolver eficientemente problemas no observables; y
- su precisión, pues a través del ajuste y reajuste de parámetros permiten cubrir mayor cantidad de información que las teorías representacionales; y su mayor seguridad, debido a la falta de explicidad 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. Estas teorías entregan las bases para la elaboración de modelos homomórficos de fenómenos.

La desventaja de la teoría del tipo de caja negra, según Bunge (1969), es la siguiente: escaso contenido en relación con las teorías representacionales, menor contrastabilidad y escasa potencia heurística, pues debido a su bajo contenido no pueden guiar las investigaciones profundas.

La caracterización física del predio en distrito y sitio, cobertura vegetal y animal, tecnoestructura e hidroestructura, constituyen la base de datos geográficos de un conocimiento formal. Cualquiera sea el modelo homomórfico que se desarrolle, debe estar compuesto de un conjunto de cajas traslúcidas que en alguna medida dependen de las características estructurales de sus componentes físicos.

La delimitación de los espacios de gestión del predio no debe ser en ningún caso caprichosa, sino que obedece a limitantes dadas por el recurso contenido en cada espacio físico o conjunto de elementos naturales o tecnonaturales, de acuerdo con la racionalidad del productor. Las cajas traslúcidas están dadas básicamente por los espacios administrativos del predio, cada uno de los cuales, puede ser descrito como un modelo homomórfico del sistema global del predio. Cada uno se ajusta al siguiente modelo:

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

Donde:

- ρ: respuesta o output de cada caja negra traslúcida;
- ρ: también es una función f del modelo;
- ε: input a esa caja traslúcida;
- β: comportamiento de la caja.

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

Donde:

- β: comportamiento de la caja traslúcida es además la función b de la ecuación; y
- Λ: es la arquitectura del sistema dada por su componente físico, de las estructuras del sistema.

$$\Lambda = \Lambda\ (\sigma, \eta)$$

Donde:

- Λ: es además una función f de la arquitectura;
- σ: arreglo topológico de las estructuras; y
- η: tamaño de los componentes.

El procedimiento fundamental empleado en la resolución de problemas de caja negra debe cumplir con 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 se ordenan en la forma de una sola actividad o un conjunto de actividades separadas. La actividad lograda se procesa de manera de descubrir las relaciones invariantes en el tiempo o comportamiento entre cantidades.

- Se investiga el interior de la caja negra de manera de lograr tanta información de su arquitectura como sea posible;
- Se determina su comportamiento o se elabora una hipótesis a base de los resultados; y
- Se determina su arquitectura o plantea hipotéticamente a base de su comportamiento y de otras evidencias conocidas del sistema.

En la resolución de problemas ecosistémicos debe buscarse las variables y vectores de estado que permitan establecer las relaciones propias de los elementos y conexiones del mundo empírico, dentro del cual se encuentra el predio.

En la búsqueda del marco teórico general donde se ubican los ecosistemas de recursos naturales, con el fin de elaborar la imagen o modelo, se procede describiéndose como un sistema cada vez más general, lo cual implica necesariamente una reducción de su contenido, ya que existe una relación inversa entre contenido y generalización (Boulding, 1956).

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

La esencia del conocimiento es la generalización y lo que no es pertinente o relevante al fenómeno debe ser

excluido de la generalización (Reichenbach, 1953). En el estudio de los recursos naturales y de la elaboración de imágenes debe buscarse establecer una separación entre los factores pertinentes y los no pertinentes o relevantes, lo cual constituye el principio del conocimiento. El significado del término pertinente puede corresponder a lo que debe mencionarse para que la generalización sea válida. La generalización es pues el origen de la ciencia (Reichenbach, 1953).

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

ELEMENTOS DE LA CAJA NEGRA

El conjunto de elementos que constituyen el modelo homomórfico de un predio están dados por los siguientes (Odum, 1972): arquitectura predial, estructura, unidades espaciales y componentes.

Arquitectura Predial

Es la modalidad de ordenación espacial de las estructuras ecosistémicas conectadas a través de patrones definidos de flujo.

Simbólicamente se tiene que:

$$\Lambda = G(\sigma, k)$$

Donde:

- σ: representa el arreglo topológico de las diversas estructuras del ecosistema predial, siendo, por lo tanto, la parte estática espacial; y
- k: representa el patrón de conectividad entre las estructuras o relaciones de flujo.

Estructura

Son las partes en que se descompone la arquitectura de un ecosistema predial. Las categorías de estructuras son las siguientes:

- Biogeoestructura;
- Tecnoestructura; y
- Socioestructura.

Dentro de la biogeoestructura se tiene, a manera de ejemplo, los bosques, praderas, tierras, aire, agua, ganado, lomeríos y matorrales, entre otros. Algunos elementos de la tecnoestructura son las bodegas, corrales, maquinaria, canales, caminos, viviendas y teléfonos, entre otros. En el último caso se tiene al hombre organizado social, laboral y culturalmente (Figura 31).

Unidades Espaciales

Son divisiones de un predio en las cuales los atributos originales del predio no se pierden, tales como divisiones de usos específicos del campo en: potreros, cultivos, localidades de trabajo, áreas de habitación y otros.

Componentes

Son las partes en que se puede separar un ecosistema predial, que incluye tanto a las estructuras como a las unidades.

Los componentes que se emplean para establecer relaciones entre las estructuras y unidades son los siguientes: conexiones, conectores, impedancia, interruptor, válvula unidireccional.

Conexiones

Son estructuras que permiten establecer el flujo entre dos o más unidades o estructuras, tales como caminos, canales, cables eléctricos y otros.

Conectores

Son elementos estructurales a través de los cuales se establecen las conexiones. El conector cuenta con conductores y nodos.

Unión

Es la contigüedad espacial de unidades o elementos sin que implique necesariamente un flujo. A manera de ejemplo se puede citar dos campos agrícolas contiguos, uno de maíz y otro de alfalfa, entre los cuales no existe flujo, ni necesariamente, conexiones o conectores.

Impedancia

Son las estructuras que se oponen al flujo en forma selectiva. La naturaleza de estas estructuras puede ser física, ecológica, legal, u otras. Un ejemplo de impedancia puede ser un alambrado o un farellón que se oponga al paso del ganado, entre otros.

Interruptor

Son estructuras que pueden activarse o desactivarse permitiendo u oponiéndose a un flujo. El mecanismo de activación puede estar sujeto a un programa de control. Ejemplos de interruptores prediales son las compuertas de canales y las puertas de los campos de cultivos

Válvula Unidireccional

Es una estructura que permite el flujo de elementos en una sola dirección.

Conexión Aditiva

Esta estructura permite la fusión de dos o más flujos análogos, tal como juntar ganado de dos o más corrales diferentes.

Las características que describen los enlaces entre las partes del sistema son: el flujo, la fuente y el destino.

Flujo. Es el transporte de materia, energía o información. Está dada por:

$$J = K \times F$$

Donde:

K: es la constante de conductividad; y
F: es la fuerza que actúa sobre el elemento que fluye.

Fuente. Es el origen del flujo, tales como el sol produce energía solar, una cuenca produce agua y un pastizal produce forraje.

Destino. Es la meta de un flujo, tal como ocurre con los almacenadores pasivos: un estanque destinatario de un flujo de agua, una bodega-destinataria de forraje y un corral-destinatario del flujo de ganado.

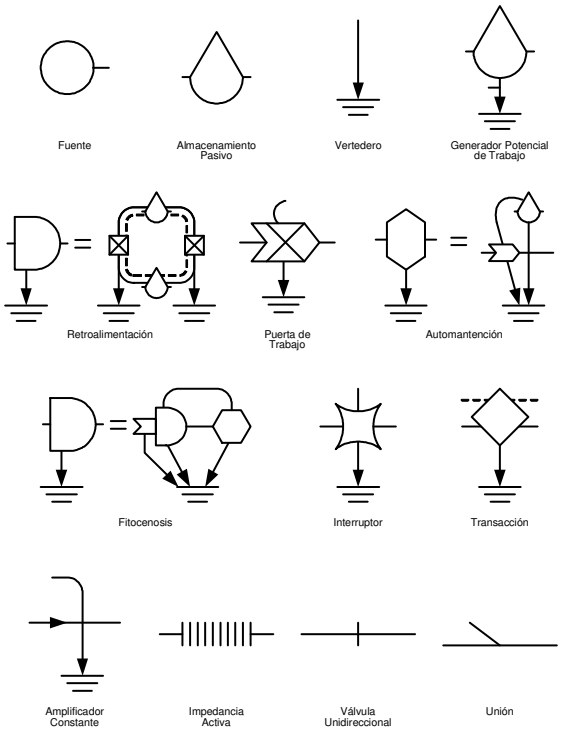


Figura 31. Algunos símbolos empleados en el diseño y descripción del funcionamiento de las diversas estructuras y unidades prediales (Odum, 1972)

Las características direccionales de los procesos de carga y descarga predial son los siguientes:

1. **Crecimiento**

   Es el cambio del vector topológico n de los elementos integrantes de una unidad predial, a un nivel de entropía dado, lo cual constituye el crecimiento de esa unidad. Lo anterior se puede expresar simbólicamente como:

$$\frac{dn}{dt} = \left(n_1^o \times n_2^o\right)$$

Donde:

n_1^o: tasa de cambio del número de componentes; y

n_2^o: tasa de cambio del tamaño de los componentes.

Cabe hacer notar que el crecimiento corresponde exclusivamente a un incremento cuantitativo del sistema, en términos del número y tamaño de sus componentes.

2. **Desarrollo**

Es el cambio del arreglo topológico de los componentes del ecosistema predial (σ).

Formalmente, se tiene que:

$$\frac{d\Lambda}{dt} = \frac{d\Lambda}{dk} \times \frac{dk}{dt} + \frac{d\Lambda}{dt} \times \frac{dn}{dt}$$

$$= \frac{d\Lambda}{dt} k^o + \frac{d\Lambda}{dn} n^o$$

Donde:

k^o: Tasa de cambio del patrón de ligamiento entre los componentes; y
n^o: Tasa de cambio del número o tamaño de los componentes.

A manera de ejemplo, se tiene un sistema predial que contenga un conjunto dado de componentes de un cierto tamaño, se arregle en otros patrones diferentes, que contribuyan a su desarrollo. El caso opuesto corresponde al crecimiento, lo cual ocurre cuando el ordenamiento se mantiene constante pero se incrementa el tamaño o número de los componentes.

La definición de desarrollo incluye los casos tanto de desarrollo positivo como negativo, es decir, desarrollo en el primero y desorganización en el segundo. El concepto de desarrollo implica una disminución de la entropía del sistema y desorganización, su incremento.

Los módulos no direccionales de carga y descarga son los siguientes: Puertas de trabajo, almacenamiento pasivo, productor primario, consumidor, cosecha y, amplificador de ganancia constante

Puerta de trabajo es el proceso mediante el cual un flujo J_2 hace posible otro flujo J_1. Los flujos pueden ser de igual o diferente naturaleza. A manera de ejemplo se puede citar la apertura de una válvula por el trabajo de una persona o la aplicación de un fertilizante limitante de la fotosíntesis con el fin de desencadenar el proceso.

3. **Almacenamiento Pasivo**

   Es el componente de un ecosistema predial destinado a almacenar materia, energía o información sin que sufra un cambio que involucre un costo directo. Un ejemplo de lo anterior puede ser almacenar granos en una bodega, agua en un estanque, e información de una computadora.

4. **Producto Primario**

   Es el componente predial integrado por una puerta de trabajo que activa a un receptor de energía y materia, la cual es asimilada por el vegetal, todo lo cual involucra ineficiencias. Un ejemplo de ello son los cultivos.

5. **Consumidor**

   Es el componente predial destinado a almacenar materia, energía o información involucrando un costo. Un ejemplo de esto es el almacenamiento de forraje en pie de un pastizal, o de peso vivo animal en el ganado, o la conservación de suelo: todos ellos involucran un costo de mantener el producto almacenado.

6. **Cosecha**

   Es el proceso de descarga de un almacenador activo o pasivo, en el cual la acción de descargar involucra un costo. Por lo general, al proceso de cosecha se asocia un cosechador. Un ejemplo de lo anterior puede ser la descarga de los productos almacenados en una bodega, o el campo de forraje almacenado en una pradera por el ganado.

7. **Amplificador de Ganancia Constante**

   Es un componente del ecosistema predial mediante el cual un flujo hace posible otro flujo al suministrar la energía necesaria para aumentar la fuerza de un factor constante llamado ganancia. Un ejemplo de ello es la reproducción de una especie que incrementa el número de descendientes en un factor dado, por ejemplo de 10. En este caso el incremento debe ser del mismo tipo.

   La característica de cambio de información del sistema es la siguiente: transacción y sumidero.

   Transacción

   Es el elemento que trasforma materia y energía en dinero, o algún equivalente de diferentes contenidos de información. Estos flujos son entre sí de sentido contrario. Un ejemplo de ello es el egreso de ganado desde un predio y el contraflujo de dinero hacia el predio. En este proceso existen ineficiencias.

   Sumidero

   Todos los procesos del predio están sujetos a ineficiencias o degradaciones de la materia y energía, lo cual está expresado por la magnitud del sumidero.

ALGUNOS MODELOS

A manera de ejemplo se indican algunos modelos homomórficos desarrollados por Odum (1972), aplicados a predios rurales, en el cual se utiliza la nomenclatura descrita en el presente estudio. Cualquier estilo de agricultura puede ser representado a nivel predial haciendo uso de modelos del tipo caja negra, tal como estos modelos homomórficos (figuras 32 y 33).

PREPARACIÓN DEL INFORME

El informe predial constituye el producto final del estudio del predio. Consta de los capítulos que a continuación se indican (Lajarthe, 1998; Verlinde, 1997; Castro, 1999).

INTRODUCCIÓN

En él se enumera el problema que se pretende resolver y la hipótesis planteada como supuesto al problema predial estudiado. Se indican además los objetivos del estudio y la justificación explícita de por qué el estudio debe llevarse a cabo.

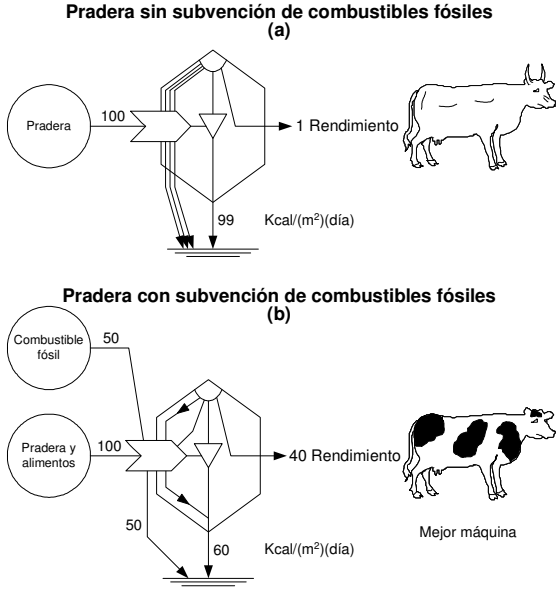


Figura 32. Modelo homomórfico predial de una ganadería a pradera sin suministro adicional de combustible fósil (gráfico superior), en comparación de otra pastura y concentrados y con suministros adicional de combustible fósil (Odum, 1972)

ANTECEDENTES

Como primer antecedente del estudio se indica la posición relativa del entorno predial en relación con lugares geográficos bien conocidos tal como ciudades, pueblos, puertos, carreteras, tendidos eléctricos, ríos, canales y otros. Está información proviene de las bases

de datos comunales del municipio y provincia donde se encuentra el predio. Se indican distancias y mapas de su posición referencial.

Se indica además el esquicio georreferenciado del predio, donde se presentan los lindes en relación con la latitud, longitud y altitud.

Su posición administrativa se explicita desde las jerarquías mayores a nivel de las grandes regiones mundiales, continentes, países, regiones (nacionales), provincia y comuna a la cual pertenece. En lo posible se representa con un código numérico.

La posición ecorregional del predio se hace sobre la base del Sistema de Clasificación de Ecorregiones, que va desde las jerarquías superiores de Reino a las de Dominio, Provincia y Distrito, lo cual se indica con un código definido.

La posición histórica también se describe, indicándose el origen de la propiedad y de los propietarios y su evolución en el tiempo.

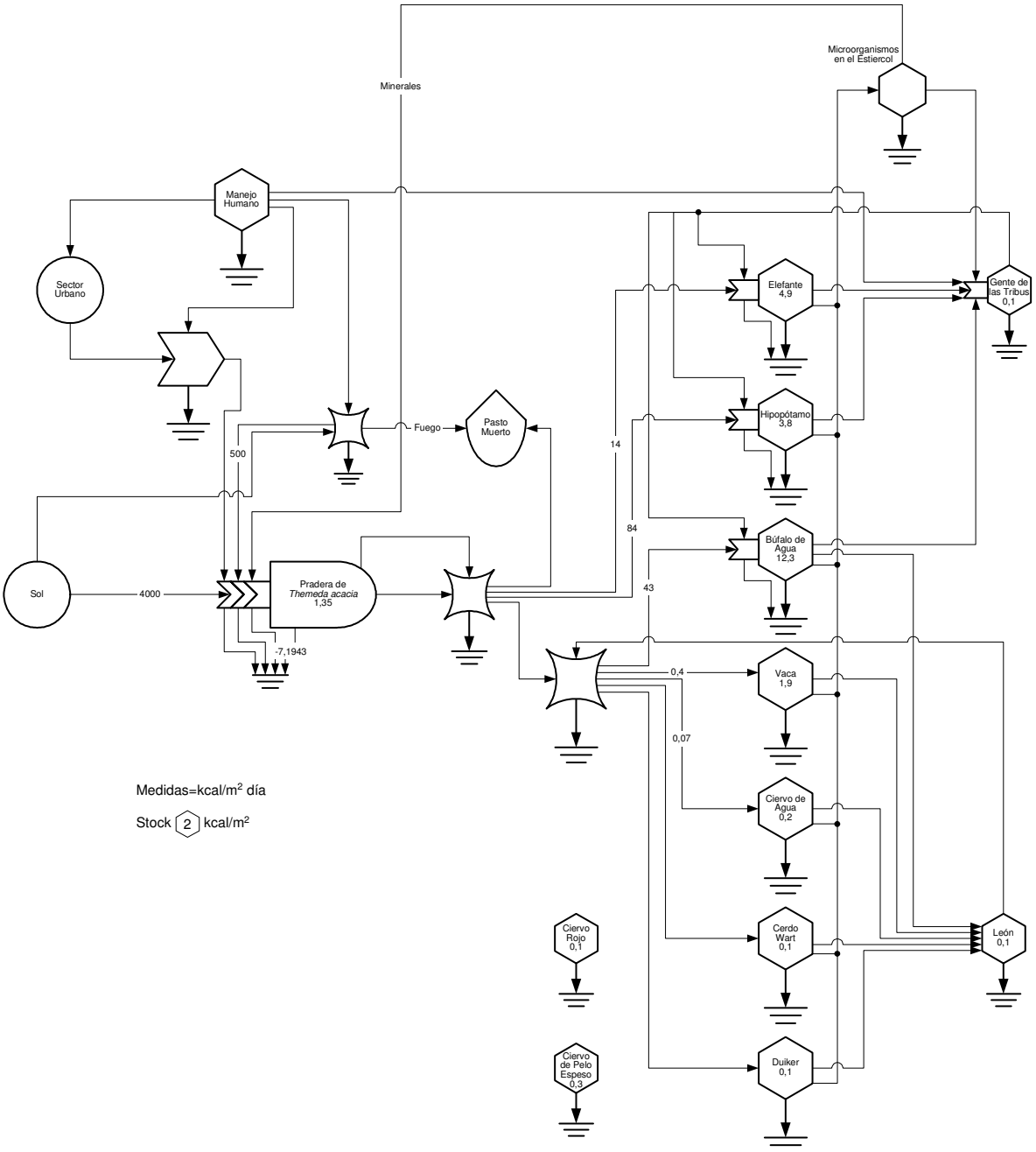


Figura 33. Diagrama de una red simplificada de rumiantes mayores de la sabana africana, en el Queen Elizabeth National Park, Uganda (Odum, 1972)

PROBLEMÁTICA

Los problemas prediales que se han detectado y que se pretenden resolver se formalizan y mencionan en este capítulo del informe. El origen de esta información proviene tanto del propietario como de las observaciones directas del especialista que presenta el informe.

CARACTERIZACIÓN FÍSICA

Se presentan las cartas respectivas que contienen la representación básica del territorio predial que se estudia. La información contenida en estas cartas y las escalas representacionales es la pertinente al predio, que usualmente es de 1:10.000 o mayores, dependiendo del tipo de predio y de la naturaleza de los problemas.

Las cartas primarias presentadas usualmente son:

- Distrito y sitio;
- Cobertura vegetal;
- Hidroestructura;
- Tecnoestructura.

Estas cartas vienen acompañadas de base de datos y de las descripciones profesionales que ameriten.

CARACTERIZACIÓN ADMINISTRATIVA

Se presenta una carta de gestión predial donde se incluyen los diversos espacios administrativos tales como potreros, canales y galpones, entre otros, donde se llevan a cabo las diversas funciones prediales.

CARACTERIZACIÓN HOMOMÓRFICA

Considera al predio como un todo y se describen los diversos procesos, tratados en este caso como caja negra, tal como los flujos de energía, ciclo hídrico y producción de carne, entre otros.

ESTILO PREDIAL

Utilizando el modelo de Vélez (1998) se hace un análisis cuantitativo del predio como un todo, de manera de representar el estilo de agricultura practicada.

DIAGNÓSTICO Y RECOMENDACIONES

En la última etapa del informe, el especialista hace un diagnóstico de los problemas prediales más relevantes y determinar las etapas a seguirse en el estudio predial, el cual necesariamente debe concluir en el diseño de éste.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, C., M. FLEISCHMANN, R. CAÑAS y J. GASTÓ. 1984. Estilos de agricultura y opciones de desarrollo predial. Estudio de un ecosistema predial, empresa agropecuaria de la cordillera andina de Biobío, Chile. OEA y Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMETRY. 1975. Manual of remote sensing. Vol. 2 Falls Church. Virginia.

ASHBY, W.R. 1976. Introducción a la cibernética. Nueva Visión. Buenos Aires, Argentina.

ATWATER, S.G. 1975. Fundaments of image interpretation. **En**: Manual of remote sensing. 2: 864-1076. ASP Falls Church. Virginia.

BECHT, G. 1974. System theory. The key to holism and reductionism. Bioscience.

BEEK y BENEMA. 1973. Evaluación de tierras para la planificación del uso rural; un método ecológico. Boletín Latinoamericano de Fomento, Tierras y Aguas. Proyecto Regional FAO/LRA.

BOOTH, T.L., 1967. Sequential machines and automata theory. John Wiley and Sons. N.Y. 592 p.

BOULDING, K.L. 1956. General system theory. The skeleton of science. Management Science. 2: 198–199

BUNGE, M. 1973. La investigación científica. Ariel, Barcelona.

CARRÉ. 1972. Explotación y técnicas de fotointerpretación. Instituto Geográfico Militar. Santiago Chile.

CASTI, J. 1977. Connectivity, complexity and resilience in complex ecosystems. IFAC. Symposium in Bio-and Ecosystems. Leipzig, Alemania.

CASTRO, D. 1999. Diseño predial y sistema agropecuario sustentable para fundos en una zona de protección. Tesis Ing. Agrónomo. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Departamento de Ciencias Vegetales. Santiago, Chile.

CHILDE, G. 1954. Los orígenes de la civilización Breviarios. Fondo de Cultura Económica. México. Distrito Federal. México. 291 p.

DISTEFANO, J., STEBBEERUD e I. WILLIAMS. 1967. Feedback and control systems. Schaum Publishing. New York, Unites States.

DUCH *et al.* 1980. Sistema de evaluación de tierras para la definición de cartografía del uso potencial agrícola en México. México.

ETIENNE, M. y C. PRADO. 1982. Descripción de la vegetación mediante la cartografía de ocupación de tierras. Conceptos y manual de uso práctico. Ciencias Agrícolas 10. Facultad de

Ciencia Agrarias y Forestales. Universidad de Chile/UNESCO-MAB. Santiago, Chile.

ETTER, A. 1990. Introducción a la ecología del paisaje. Un marco de integración para los levantamientos rurales. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia. 85 p.

FAO. 1976. A framework for land evaluation. Boletín de Suelos 32. FAO. Roma.

FAO. 1984. Land evaluation for forestry. FAO Forestry Paper 48. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy. 123 p.

FLORES, L. 1994. La tecnología en el contexto de la cultura latinoamericana. Instituto Interamericano de Estudios Transnacionales (ILET). Santiago, Chile.

GASTÓ, J. 1980. Ecología. El hombre y la transformación de la naturaleza. Editorial Universitaria. Santiago, Chile.

GASTÓ, J. 1982. Dinámica de la descarga del pastizal por el herbívoro. Sistemas en Agricultura IISA 8203. P. Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Santiago, Chile.

GASTÓ, J., F. COSIO y D. PANARIO. 1993. Clasificación de Ecorregiones y determinación de sitio y condición. Manual de aplicación a municipios y predios. Ediciones Red de Pastizales Andinos (REEPAN). Quito, Ecuador. 254 p.

GASTÓ, J., J. GUERRERO y F. VICENTE. 1995. Bases ecológicas de los estilos de agricultura y del uso múltiple. **En**: Ramos, E. y J. Cruz (Coord.) Hacia un sistema rural. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. pp 259-302.

GASTÓ, J., P. RODRIGO y C. GONZÁLEZ. 1993. Ordenamiento espacial de fundo. Ciencia e Investigación Agraria. Santiago, Chile. 20 (3): 149-159.

GASTÓ, J., P. RODRIGO e I. ARÁNGUIZ. 1999. Análisis territorial de la comuna de Santo Domingo. Informe final (Tomo I y II). Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Departamento de Zootecnia. Santiago, Chile.

GASTÓ, J., P. RODRIGO, I. ARÁNGUIZ y C. URRUTIA. 1998. Ordenamiento territorial rural en escala comunal. Bases conceptuales y metodología. Serie de Estudios P. Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Santiago, Chile.

GASTÓ, J., L.D. VÉLEZ y C. D'ANGELO. 1997. Gestión de recursos vulnerables y degradados. **En**: Programa Cooperativo para el desarrollo tecnológico agropecuario del Cono Sur. Libro Verde. Elementos para una política agroambiental en el cono sur/PROCISUR. Subprograma recursos naturales y sostenibilidad agrícola. Montevideo, Uruguay. pp. 75-116.

GUTMAN, P. 1985. Interacción entre productores rurales y ambiente natural; apuntes para una tipología. **En**: CEPAL- PNUMA. Avances en la interpretación ambiental del desarrollo agrícola de América Latina. Naciones Unidas. Santiago, Chile. pp 53-90.

IGM. 1990. Instituto Geográfico Militar. Cartas Regulares de Chile. Santiago, Chile.

INE. 1997. VI Censo Nacional Agropecuario. Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago.

KAHMAN, R.E., P.L. FARB y M.A. ARBIB. 1969. Topics in mathematic systems theory. McGraw Hill. Book Co. N.Y.

KLIR, G. 1969. An approach to general systems theory. Van Nostrand Reinhold. New York, Unites States.

LABLEE, M. 1976. Manual para la interpretación de fotos e imágenes. Fuerza Aérea de Chile. SAF. Santiago, Chile.

LAJARTHE, G. 1997. Bases para el ordenamiento territorial del Chaco paraguayo: estudio de caso. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile.

LEVINS, R. 1970. Towards a theoretical biology. **En**: C.H. Waddington, Drafts. Edinburgh University Press. Edinburgh, England.

MEEWS, J. J.D.v.d. PLOEG, y M. WIJERMANS. 1988. Changing agricultural landscape in Europe: continuity, deterioration or rupture? IFLA Conference. The Europe landscape: "Changing agriculture, change landscape". Rotterdam, Holland. 103 P.

MERINGO, A. 1952. Lógica y Ética. Lumen. Lima, Perú.

MULTIPLE-USE ACT. 1960. Multiple-use sustainable-yield act. Of 1960. 16 USC 528 (note). Washington D.C.

NAVA, R., R. ARMIJO y J. GASTÓ. 1984. Bases heurísticas del diseño predial. Sistemas en Agricultura 8407. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Departamento de Zootecnia. Santiago, Chile.

NAVA, R., R. ARMIJO y , J. GASTÓ. 1996. Ecosistema. La unidad de la naturaleza y el hombre. Trillas, México. 332 p.

ODUM, H.T. 1972. Environment, power and society. Willey-Interscience. New York, EE. UU. 331 p.

PATTEN, B.C. 1971. A primer for ecological modeling and simulation with analog and digital computers. **En**: B.C. Patten (ed.) System analy-

sis and simulation in ecology. Academic Press. New York, Unites States.

PLOEG, J.D.v.d. 1992. Styles of farming: an introductory note on concepts and methodology. **En**: Haan, H. De y J.D. Van der Ploeg (eds.), "Endogenous regional development in Europe: theory, method and practice". Proceedings of the Y CERES/CAMAR seminar. Universidad de Tras-os-Montes, Vila Real, Portugal. pp. 1-27.

PRATT, J.W., H. RAIFFA y SCHLAIFER. 1965. Introduction to statistical decision. Theory Mc Graw-Hill. New York.

PRIGOGINE,Y. 1976. Order through fluctuation: Self organization and social system. **En**: Jantseh, E y Waddington, C.H. Evolution and consciousness. Human system in transitions. Adison Wesley. Reading Mass. pp 93-126.

RAIFFA, H. 1968. Decision analysis. Reading, Mass Addison-Wesley.

REICHENBACH, A. 1973. Filosofía científica. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.

RENDÓN, R. 1994. Haciendas de México. Fomento Cultural Bandenex. México, D.F.

RICHTER, E. 1995. Manejo del uso de la tierra en América Central: Hacia el aprovechamiento sostenible del Recurso Tierra. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura Investigación

RODRIGO, P. 1980. Desarrollo de un planteamiento metodológico clínico de ecosistema para el ecodesarrollo. Tesis de Magister de Producción Animal. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Departamento de Zootecnia. Santiago, Chile. 220 p.

ROMERO, C. 1993. Teoría de la decisión multicriterio: concepto técnicas y aplicaciones. Alianza.N. Madrid.

RUBINSTEIN, M. 1975. Patterns of problem solving. Prentice- Hall. Englewood Cliffs. New Yersey.

RUBINSTEIN, M. 1976. Systems engineering methodology for interdisciplinary teams. John Wiley, N.Y.

RUTHENBERG, H. 1980. Farming system in the tropics. Clarendon Press. Oxford.

SIMON, H.A. 1965. General systems.

TECHNIP, 1970. Manual of Photo-Interpretation. Edition Technip. Paris, Francia. 248 p.

TOSI, J. 1972. Una clasificación y metodología para la determinación y levantamiento de mapas de la capacidad de uso mayor de la tierra. Proyecto UNDS/PS-FAO. Col. 16. Universidad Nacional de Colombia. San José de Costa Rica. CCT.

TUAN YI-FU 1974. Topophilia. A Study of Environmental Perception, attitudes, and values. Prentice-Hall Inc.; New Jersey (EUA); 260 p.

TUAN YI-FU 1979. Space and Place: Humanistic Perspective. **En**: GALE, S. y OLSON, G. (Ed.). Philosophy in Geography. D. Reidel Publishing Company; Dordrecht (Holland); p. 387-427.

VÉLEZ, L.D. 1998. Bases metodológicas para el estudio de los estilos de agricultura a nivel de predio. Tesis de Magister de Producción Vegetal. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Departamento de Ciencias Vegetales. Santiago, Chile. 120 p.

VERLINDE, W. 1997. Analysis, design and planning options for a rural community in the Mediterranean region, Chili: A methodology. Tesis de Magister de Producción Animal. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Departamento de Zootecnia. Santiago, Chile. 120 p.

VON BERTALANFY, L. 1975. Perspectives in general system theory. George Braziller Inc.

VOS, W. y L.O. FRESCO. 1994. Can agricultural practices contribute to functional landscape in Europe. **En**: D. J. Stobbelaar y J.D. Van Mansveldt.

WALTER, H. y E. BOX. 1976. Global classification of natural terrestrial ecosystems. Vegetation. 32: 75-81.

WELLER, J. 1982. History of the Farmstead. The development of Energy Sources. Faber and Faber. Great Britain. 248 p.

WHITLOCK, R. 1983. The English farm. Tigaly. Londres.