



---

# SISTEMAS EN AGRICULTURA

---

TEORIA  
AVANCES

---

IISA - 84 07

**BASES HEURISTICAS DEL DISEÑO  
PREDIAL**

**JUAN GASTO  
ROBERTO ARMIJO  
ROBERTO NAVR**

**SISTEMAS EN AGRICULTURA  
IISA - 84 07**

BASES HEURISTICAS DEL DISEÑO  
PREDIAL

JUAN GASTO C., ING AGRONOMO, Ph.D.  
Departamento de Zootecnia, Facultad de Agronomía  
Pontificia Universidad Católica de Chile

ROBERTO ARMIJO T., FISICO MATEMATICO E ING.DE SIST.Ph.D.  
Instituto de Análisis de Sistemas de Zonas Áridas  
Saltillo, Méjico

ROBERTO NAVA C., ING.AGRONOMO, M.S.  
Departamento de Recursos Naturales Renovables,  
Universidad A.A. Antonio Navo.  
Saltillo, Méjico

CENTRAL DE APUNTES  
INGENIERIA UC

INFORME DE INVESTIGACION  
SISTEMAS EN AGRICULTURA

---

EDITOR JEFE

Marilyn Gasman B. Ing.Agr.  
Departamento de Zootecnia, Facultad de Agronomía  
Pontificia Universidad Católica de Chile

---

DIRECCION

Vicuña Mackenna 4860  
Casilla 114 - D, Santiago

---

IMPRESION

Central de Apuntes  
Ingeniería U.C.

---

IISA - 84 07

## AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue realizado con la colaboración del proyecto interdisciplinario DIUC 302/77 de la Dirección de Investigación de la Pontificia Universidad Católica de Chile, el Instituto de Análisis de Sistemas de Zonas Áridas y la Universidad de A.A. Antonio Navo de Saltillo, Méjico.

## CONTENIDO

INTRODUCCION .....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
Problema .....	2
Requerimiento .....	3
Hipótesis .....	4
Definiciones .....	4
PROBLEMA PREDIAL .....	7
Hiperproblema .....	7
Atributos del Sistema de Problemas .....	7
Descomposición y Composición.....	14
DISEÑO PREDIAL .....	15
Definición de diseño .....	15
Elementos básicos.....	17
HEURISTICA .....	23
Método .....	23
Reglas de resolución de problemas .....	28
Heurística Predial .....	30
REFLEXIONES FINALES .....	40
LITERATURA CITADA .....	41

## INTRODUCCION

Los problemas prediales han sido tradicionalmente resueltos en forma intuitiva por lo cual los resultados, usualmente distan del óptimo. Los problemas de la agricultura, a pesar de su aparente simpleza, son de una gran complejidad. Es por ello que, a pesar de haberse buscado su solución desde hace más de diez milenios, no se ha encontrado. Son posiblemente de mayor dificultad, incluso que algunos problemas físicos aparentemente complicados, por cuanto éstos han sido resueltos, en cambio los problemas prediales se encuentran lejos de una solución adecuada. En la realidad, han abundado los procedimientos intuitivos o las soluciones superficiales o parciales, en tanto que la formalización y rigurosidad científica ha sido escasa.

Durante las últimas décadas, se ha abusado de procedimientos empíricos que han exagerado la búsqueda de soluciones parciales a sólo algunos de los elementos del sistema ecológico en tanto que sus aspectos globales han permanecido ignorados, o han sido considerados sólo superficialmente o con una simpleza difícil de aceptar.

La experimentación agrícola practicada como una estrategia aplicable a la resolución de problemas de cualquier naturaleza, fue en un comienzo fructífera pero a la larga ha tendido a un estancamiento prolongado. Esta experimentación practicada en forma rutinaria y aplicada a los problemas más diversos, no como un mecanismo de falsificación de hipótesis sino que como un simple mecanismo de calibración cuantitativa, no ha permitido lograr grandes avances en este campo.

El empleo profuso de la estadística, a menudo en problemas que no le corresponden, o el empleo de técnicas estadísticas inadecuadas han contribuido también a esta estancación. Se ha ignorado sistemáticamente algunas ramas de la ciencia que podrían contribuir a la resolución de problemas prediales, exagerando la aplicación de otras.

Sin dejar de reconocer que las soluciones prediales deben incluir aspectos sociales, económicos, físicos y ecológicos, debe dejarse en claro que las soluciones han sido parciales y de un mismo nivel. Se ha abusado de soluciones economistas, de cultivo y sociológicas de naturaleza muy simples que sólo han tratado de optimizar su área de acción sin reconocer problemas de mayor jerarquía como lo son el físico y el ecológico.

Pretender resolver problemas tan complejos como los del ecosistema predial con técnicas tales como programación lineal donde se establecen funciones objetivo, por ejemplo, de carácter meramente económico, salvo algunas restricciones insignificantes de otra naturaleza, más parece una utopía que un esfuerzo valioso para su solución.

Se ha ignorado sistemáticamente el método científico y el enfoque de sistemas. Los recursos naturales renovables están estructurados dentro de un sistema ecológico regulado por un nivel jerárquico superior de la

física y sus principios, además de las leyes ecológicas aplicadas a este segundo nivel. El tercer y cuarto nivel corresponde respectivamente al social y al económico los cuales no pueden resolverse fuera del contexto jerárquico general del sistema, y dentro de los grados de complejidad de cada uno.

Se ha pretendido plantear la agricultura como una ciencia sui generis que se rige por principios y leyes diferentes que las demás, pero no es así. El método científico se aplica al igual que a todas las demás ciencias diferenciándose solamente en las modalidades de aplicación.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### PROBLEMA

La relación entre el hombre y el medio constituye uno de los problemas primordiales donde se centran los aspectos más críticos del desarrollo de la especie humana. Dentro de este contexto, los recursos naturales constituyen el escenario de su actividad. Es evidente, que la relación existente actualmente, entre el hombre y el medio, puede evolucionar hacia estados de mayor armonía.

Dado que el estado actual, no corresponde al de mayor armonía en la relación, se presenta el problema de determinar el procedimiento y los atributos de los estados que tienden a esta meta. La magnitud y complejidad de este problema sobrepasa los límites de la capacidad resolutoria de la ciencia actual, por lo cual no se pretende encararlo en su totalidad.

Una de las opciones para encarar un problema de esta naturaleza es reducirlo en sus dimensiones, y enfatizar algún espacio de solución que ofrezca mayor poder resolutorio o particular, sin menoscabo de la solución general.

En el presente estudio el problema ha sido reducido al espacio-tiempo predial, lo cual corresponde a una porción de la biosfera, limitada con algún criterio antrópico en su dimensión espacial y temporal. Lo anterior no implica que se trate de un sistema totalmente cerrado, sino que las conexiones internas son más fuertes que las conexiones externas, existiendo el potencial de modificar la magnitud del flujo entre el exterior e interior.

### Enunciado

Determinar un procedimiento general a seguirse para establecer el estado óptimo de los componentes y conexiones de un predio cualquiera, considerado como un ecosistema.

### Postulados

1. El diseño predial es de carácter holístico
2. Existe un universo de opciones de diseño, pero el estado de las variables al tiempo de diseñarse y

las posibilidades de modificárselas, limita la solución a un número más restringido de opciones.

3. No todas las opciones de diseño son armónicas, por lo cual el conjunto de opciones se restringe aún más, a sólo las armónicas.
4. Es factible seleccionar objetivamente, dentro de un conjunto de opciones de arquitecturas prediales, una sola que optimice la solución del problema.
5. El diseño que se proponga debe estar contenido dentro del conjunto de soluciones "no dominadas" que generan una vecindad dentro de la cual se encuentra el óptimo.
6. No es factible optimizar las instancias de comportamiento y de economía predial sin haber previamente resuelto la instancia primaria de arquitectura predial a través de su diseño.
7. Tanto el entorno como los sistemas incidentes del predio varían constantemente dentro de un cierto rango. Es por ello que el diseño del predio debe contener elementos y unidades que mantengan un cierto estado y otros que varíen con mayor frecuencia, de manera de mantener las condiciones de optimalidad predial.
8. Los cambios de estado del predio y del entorno son independientes.
9. Los elementos y unidades más permanentes son de la incumbencia del diseño predial, en tanto que los más circunstanciales se relacionan con la administración predial.
10. El manejo y administración predial debe circunscribirse al universo de espacio de estado limitados por el diseño. El diseño, a su vez, se circunscribe al universo de espacio de estado limitado por las restricciones propias del predio y su medio.

#### REQUERIMIENTO

1. El diseño de un predio debe estar enmarcado dentro de los principios generales de la ciencia y específicamente dentro de un marco ecosistémico.
2. En la selección del diseño, dentro del conjunto de opciones es necesario establecer explícitamente un criterio de decisión.
3. En la actualidad, sin embargo, no es factible, en problemas de esta naturaleza, la determinación de un criterio único general, por lo tanto se debe esperar una solución contenida dentro de un marco de criterios múltiples.
4. Tanto el entorno como los sistemas incidentes del predio varían constantemente dentro de un cierto rango. Es por ello que el diseño del predio debe contener elementos y unidades que mantengan un

cierto estado y otros que varien con mayor frecuencia, de manera de mantener las condiciones de optimalidad predial.

5. El procedimiento resolutorio del problema debe ser sistemático, es decir, que permita seguir una secuencia preestablecida de pasos que tienden a converger en la solución.
6. El procedimiento resolutorio debe, además, ser riguroso, es decir, que permita resolver objetivamente el problema, alcanzando resultados idénticos, por observadores diferentes.
7. Dada la complejidad del problema, debe tenderse hacia niveles de formalización acorde con su grado de complejidad.

#### HIPOTESIS

En un fenómeno observable de naturaleza predial es factible desarrollar un método que permita elaborar su imagen o modelo y, a partir de ésta, luego de incorporar los elementos de la ciencia y optimización, elaborar la imagen-meta o diseño del predio.

#### DEFINICIONES

Predio: Es un espacio de recursos naturales renovables conectados interiormente y limitados exteriormente, cuyo fin es hacer agricultura.

Formalmente, se tiene que un predio P está dado por:

$$P = (S, \Sigma, \Phi, \sigma_a)$$

donde

S = espacio,  $L^3 \times T$  (longitud<sup>3</sup> por tiempo)

$\Sigma$  = unidades espacio-temporales de recursos naturales renovables, tales como una división de un campo de cultivo o un potrero.

$\Phi$  = flujo inter o intra

$\sigma_a$  = respuesta como función de la artificialización.

Agricultura:

Es el proceso de artificialización de ecosistemas. Simbólicamente, se tiene que la agricultura A está dada por:

$$A = (\pi_a/\pi_a: \Sigma_i \rightarrow \Sigma_j) \text{ con } a_j, a_i$$

donde

$\pi_a$  = conjunto de operadores de artificialización

$\Sigma_n$  = el ecosistema en el estado  $n$ , y

$a_n$  = nivel de artificialización para el estado  $n$ .

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

### Ecosistema

Es un conjunto de componentes bióticos y abióticos conectados o relacionados de manera que constituyen una unidad o un todo.

### Grado de artificialización

Es la magnitud generalizada entre un estado de referencia  $E_j$  y el estado transformado  $E_i$

### Problema

Es una situación definida cuyo resultado se ignora.

### Grados de Libertad

Para un modelo  $M(j)$  dado el nivel de complejidad ( $j$ ), sea  $X$  el conjunto canónico o mínimo de variables de estado que lo describen; los grados de libertad  $\lambda_j$  de un problema planteado dentro de un contexto de  $M$ , están dados por:

$$\lambda = \text{card}(x_{Rj}) - 1$$
$$x_{Rj} = (x / x : x \in X, x \in R_j)$$

A manera de ejemplo para ilustrar este concepto, se puede citar la ley general de los gases ideales que requiere para su descripción tres variables de estado, es decir,  $X_{Rj} = (P, V, T)$ . Este problema en cambio podría intentar resolverse partiendo de las características moleculares de los gases, lo cual podría definirse en un espacio de  $2^{23}$ , que depende del número de moléculas. En el primer caso los grados de libertades son dos, mientras que en el segundo deberían ser del orden de  $2^{23}$ .

## Forma

Es la manifestación específica y concreta de un arreglo topológico.

## Armonía

Es la adecuación de las proporciones cuantitativas y cualitativas de los componentes y conexiones en un ente cualquiera.

Existe simetría, según el físico-matemático Weyl, cuando se conoce el grupo de antamorfismos de una entidad dada, es decir, aquellas transformaciones que dejan las relaciones estructurales invariantes. Simetría es una de las ideas mediante las cuales el hombre, a través del tiempo, ha intentado comprender y crear orden, belleza y perfección. Todo lo que es simétrico es armónico.

Puesto que el objetivo último del diseño predial es crear orden, belleza y perfección, las soluciones prediales deben ser armónicas.

## PROBLEMA PREDIAL

### 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  $H_p$ , el cual 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 ( $P_i$ ), que por lo tanto, se transforman en discretos. La solución independiente de cada uno de estos problemas específicos, conduce a un conjunto de soluciones merológicas que no representa necesariamente la solución del hiperproblema.

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 1).

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  $S_p$ , lo cual constituye la solución holológica del problema.

Es posible, en forma alternativa, concebir una transformación que lleve desde  $H_p$  a  $S_p$  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 (Kalman, Falb 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  $F$ ; es decir:

$$H = G \text{ o } F$$

Lo anterior puede representarse esquemáticamente de la forma indicada en la Figura 2.

### ATRIBUTOS DEL SISTEMA DE PROBLEMAS

El sistema de problemas prediales comprende a la imagen o modelo del predio. Es fundamental que dicha imagen permita lograr el máximo de controlabilidad del fenómeno predial.

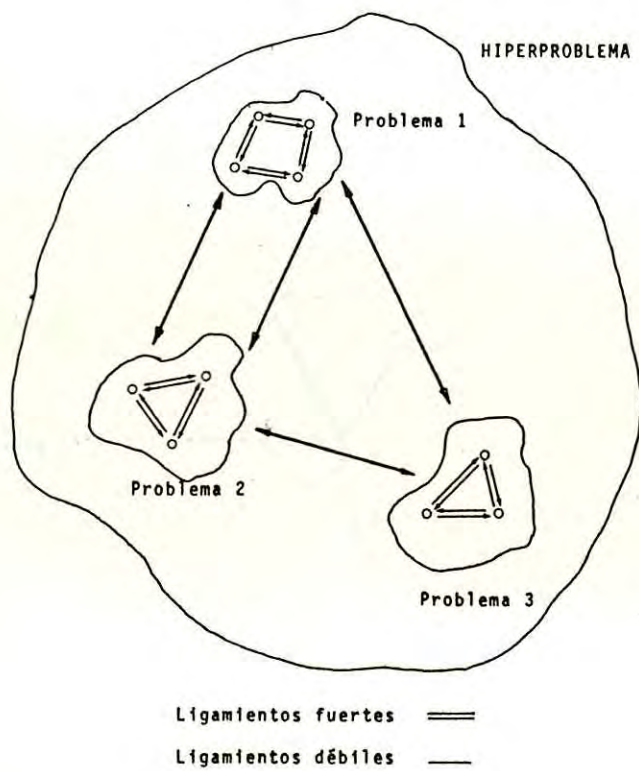


FIGURA 1. LIGAMIENTO INTRA E INTER ELEMENTOS DE UN HIPERPROBLEMA.  
 BASADO EN ESQUEMA DE RUBINSTEIN (1975).

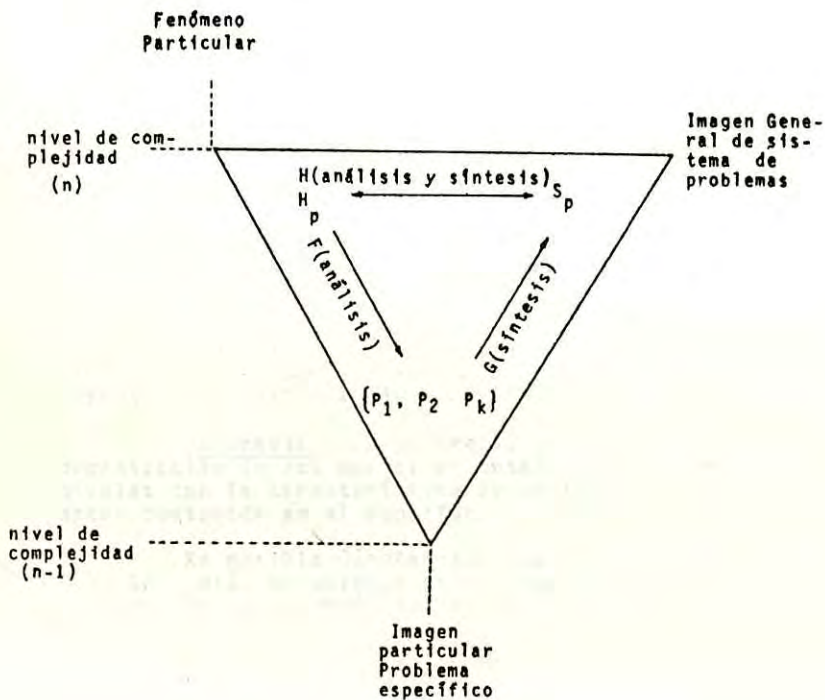


FIGURA 2. ESQUEMA ILUSTRATIVO DE LA TRANSFORMACION DEL FENOMENO PREDIAL EN SU IMAGEN DE SISTEMA PREDIAL

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 (Lumberger, 1979).

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.

El problema predial, en su dimensión fenomenológica es de alta complejidad, y se caracteriza por contener 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 es 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 (Lumberger, 1979).

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  $N-1, 1N, N+1$ , arreglados en una estructura  $J$  (Figura 3). Lo anterior puede formalizarse de la manera siguiente:

Sea  $A = \{A_j\}_{j=1}^n$  una colección finita de sistemas tal que, para un sistema  $X$

$$i \quad A_j \quad P(X)$$

$$ii \quad X = \bigcup_{j=1}^n A_j$$

La figura 4 ilustra el concepto anterior, en el cual los elementos de  $A$  son subsistemas de  $X$ , por lo que es factible considerar los elementos  $A_j$  como pertinentes a un nivel  $N+1$  si los elementos de  $X$  se suponen estar a un nivel  $N$ . La estructura jerárquica  $J$  se define de acuerdo a las relaciones del tipo  $(A_i, X_j) \in \mu$  si y sólo si  $X_j \in A_i$ .

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 elementos. Esta distinción es la base de la teoría de tipos de Bertrand Russell el cual resolvió la famosa paradoja del barbero (Casti, 1979).

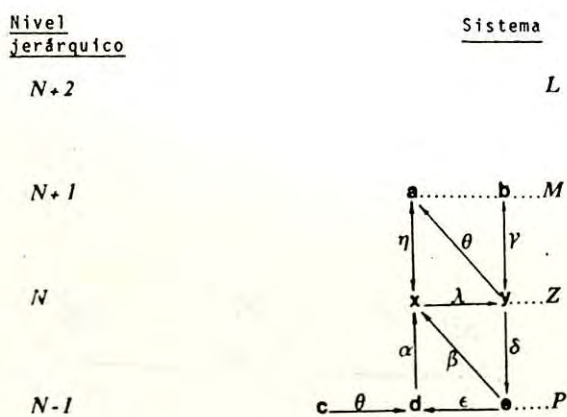


FIGURA 3. REPRESENTACION GENERAL DE LOS NIVELES JERARQUICOS QUE CONSTITUYEN H y SUS POSIBLES RELACIONES INTER E INTRA JERARQUICAS.

$$X = \{x_1, x_2\}$$

$$P(X) = \{x_1, x_2, \{x_1\}, \{x_2\}, \{x_1, x_2\}\}$$

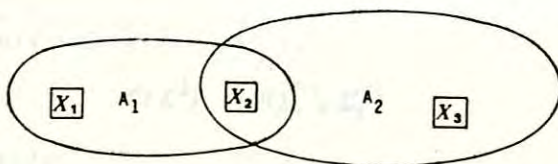


FIGURA 4. ILUSTRACION DEL CONCEPTO DE UNA JERARQUIA EN LA CUAL LOS ELEMENTOS DE  $X$  SON SUBCONJUNTOS DE  $A_1$

Es posible establecer los siguientes postulados de jerarquía aplicable a los sistemas de problemas en consideración:

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 Godel, de la indecidibilidad que establece que todas las formulaciones matemáticas existentes incluyen proposiciones indecidibles, generándose problemas de autoreferencia, 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 otras, a 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  $\theta$  representa una función con valores reales, definiendo la complejidad de un sistema  $\Sigma$ , se pueden establecer los siguientes 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 las partes. Simbólicamente se tiene que:

$$\theta(\Sigma^j) \leq \theta(\Sigma_1^{j-1} \circ \Sigma_2^{j-1})$$

en donde:

$\theta$  es una función real que mide la complejidad

$\Sigma^k$  es un sistema a nivel de jerarquía k

$\circ$  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:

$$\Sigma^j = \Sigma_1^j \circ \Sigma_2^j$$

$$\theta(\Sigma^j) = \max(\theta(\Sigma_1^j), \theta(\Sigma_2^j))$$

3o. Residuo. La complejidad de un subsistema ( $\Sigma_0^j$ ) dentro de un nivel jerárquico dado, es menor o igual a la del sistema del cual es parte. Simbólicamente se tiene que:

$$\theta(\Sigma_0^j) \leq \theta(\Sigma^j)$$

40. 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  $D_j^k$  denota el dominio de la función real  $\theta$  sobre  $\Sigma^k$ , entonces:

$$\theta(\Sigma^{j-1} \text{ o } \Sigma^j) \in D_{j-1}^1$$

con:

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

50. 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, se requiere 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 ésto 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) que 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.

#### DESCOMPOSICION Y COMPOSICION

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 que se presentan dentro de cada pieza.

La descomposición del hiperproblema, busca en una

primera etapa, determinar las piezas que constituyen 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 independiente. 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.

Dentro del proceso de descomposición del hiperproblema, es menester atender a las siguientes condiciones:

1. Los ligamientos intracomponentes de un conjunto que constituyen un complejo dado deben ser más intensos que entre los complejos, cada uno de los cuales constituyen un problema específico.
2. 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
3. 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 los ligamientos interproblemas. Lo anterior es equivalente a 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 5).

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.

## DISEÑO PREDIAL

### DEFINICION DEL DISEÑO

Diseño puede ser definido como el proceso de crear modelos con el propósito de optimizar un fenómeno (Wymore, 1976). De acuerdo con esta definición

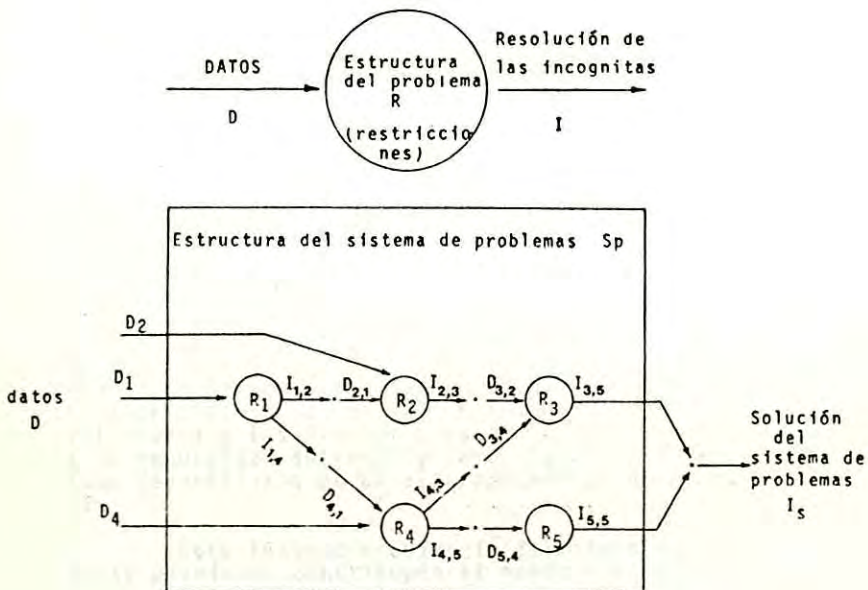


FIGURA 5. ESQUEMA GENERAL DE LA ESTRUCTURA DEL PROCEDIMIENTO RESOLUTIVO DE PROBLEMAS ESPECIFICOS (GRAFICO SUPERIOR) Y DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE PROBLEMAS (GRAFICO INFERIOR).

el propósito del diseño es generar modelos que satisfagan un conjunto de criterios normalmente implícitos, relacionados con el mejoramiento de una realidad. Es por ello, que en el proceso de diseñar debe existir un nexo que se ajusta interativamente, entre el predio considerado como un fenómeno y su imagen optimizada. En este proceso, se requiere, por lo tanto, en una primera instancia desarrollar una imagen del fenómeno tal cual se encuentra y, en una última etapa, modificar el fenómeno de acuerdo al diseño propuesto o modelo final.

Diseño de la arquitectura predial, más específicamente, puede ser definido como el proceso de generar arreglos topológicos de los elementos, unidades y conexiones de un fenómeno con el propósito de permitir la optimización posterior de su organización, manejo y administración.

No es factible pretender resolver la optimización de un problema tan complejo como un predio, en una sola, única y definitiva etapa. Es por ello, que en el presente trabajo se parte de la base que, en la resolución de problemas prediales, debe procederse en tres etapas definidas. La primera de ellas se refiere a la organización de las estructuras prediales de manera de organizar su arquitectura. Esta instancia es fundamentalmente un problema de ingeniería de ecosistemas y, por lo tanto, debe estar basada en los principios de ingeniería. Es frecuente observar que los programas de desarrollo agrícola consistentemente ignoran esta etapa. A menudo, las soluciones a los problemas agrícolas son contradictorias a la naturaleza del predio como sistema y de allí el fracaso generalizado de un alto porcentaje de estos programas.

Esta instancia primaria de diseño de las estructuras prediales constituyen el marco físico y ecológico donde debe fundamentarse la instancia terminal del desarrollo predial, cual es la instancia económica. Entre estas instancias, se sitúa una intermedia, que corresponde a la de organización y manejo del predio, en la cual se ejecuta y opera el diseño propuesto. Estas tres etapas son necesarias, secuenciales y complementarias.

La arquitectura de un ecosistema predial corresponde a la tipificación del arreglo topológico de sus componentes y representa las diversas modalidades que puede tomar un conjunto de estructuras. La integración de los diversos componentes estructurales en magnitudes y ordenamientos definidos constituye la arquitectura de un ecosistema.

El diseño predial se refiere específicamente a la organización del arreglo topológico y del tamaño de sus componentes, de acuerdo a las características del vector de estímulos. Una vez resuelto el problema de diseño debe procederse a la modificación del predio original a través de la aplicación de los operadores que permitan llevar a cabo el diseño, con lo cual el predio logra organizarse. Esta organización tiende a degradarse constantemente, lo cual obliga a aplicarse operadores de mantención de manera de lograrse un manejo del predio que permita mantener su estado.

La solución completa del predio sólo se produce una vez que se logra la solución administrativa que viene a complementar las actividades anteriores, al

incluirse la dimensión económica.

Es factible suponer que a través de un procedimiento exclusivamente empírico de ensayo y error se pudiera llegar a la solución de cualquier problema de diseño predial. En la realidad, dada la complejidad del problema, este procedimiento ha demostrado su ineficacia y la baja probabilidad de éxito.

El procedimiento heurístico al cual se pretende llegar en este trabajo contempla etapas que reflejan relaciones causativas generales que desembocan en un producto final optimizado contenido dentro del marco del diseño predial. La aplicación del procedimiento heurístico que se pudiera llegar a proponer en el presente trabajo, como asimismo de cualquier otro procedimiento heurístico, no garantiza llegar a producir el diseño óptimo en todos los casos, o en cualquier circunstancia.

Los procedimientos heurísticos de naturaleza mecanicista se caracterizan por su estructura algorítmica que conducen siempre a soluciones determinísticas. En este caso el procedimiento de solución es de la máxima simplicidad y se limita a ceñirse a normas muy precisas. La resolución de los problemas de diseño predial, en oposición a aquellos que presentan una solución mecanicista, sólo pueden ser planteados en forma general, y por lo tanto el procedimiento heurístico debe reflejar esta característica.

## ELEMENTOS BASICOS

El diseño predial requiere, para llevarse a cabo, definir el conjunto de elementos indispensables en la descripción y elaboración de la imagen-objeto del diseño. A continuación se presenta este conjunto de elementos relacionados con las partes que constituyen la arquitectura del sistema predial.

### Arquitectura Predial

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

Simbólicamente se tiene que:

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

en donde:

$\sigma$  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 bioestructura se tiene, a manera de ejemplo, los bosques, praderas, ganado, lomeros, matocrales, etc. Algunos ejemplos de la tecnoestructura son las bodegas, corrales, maquinaria, canales, caminos, viviendas, teléfonos, etc. En el último caso se tiene el hombre organizado social, laboral y culturalmente.

#### Unidades

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 habitacionales 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 valvula 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 ningún flujo, ni necesariamente, conexiones o conectores.

#### Impedancia

Son 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, un farellón que se oponga al paso del ganado, etc.

## 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 cultivo.

## Válvula unidireccional

Son estructuras que permiten el flujo de elementos en una sola dirección (Figura 6).

## Conexión aditiva

Estas estructuras permiten la fusión de dos o más flujos análogos, tal como juntar ganado de dos corrales diferentes.

Las características que describen los enlaces entre las partes del sistema son:

### Flujo

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

$$J = K * F$$

donde:

K es la constante de conductividad y

F es la fuerza que actúa sobre el elemento que fluye.

### Fuente

Es el origen de un 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 - destinatario de forraje y un corral - destinatario del flujo de ganado.

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

### 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:

$$\frac{dn}{dt} = (n_1^0, n_2^0)$$

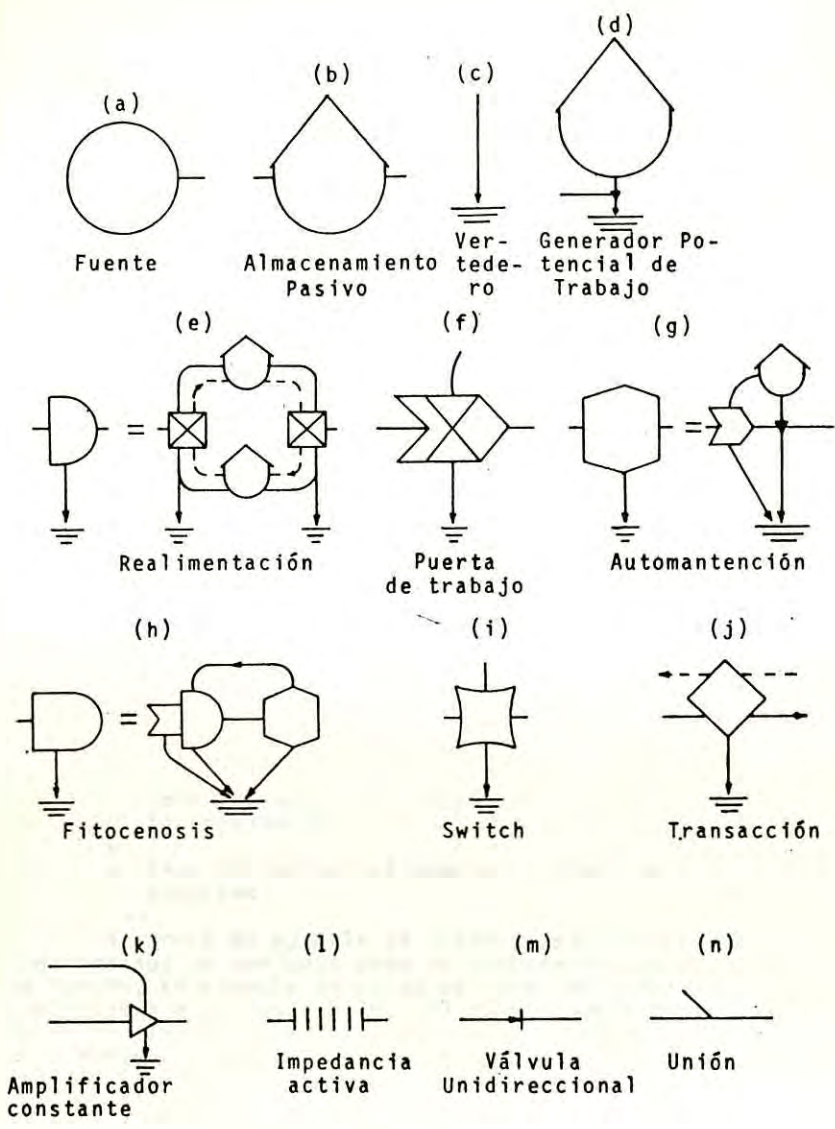


FIGURA 6. ALGUNOS SIMBOLOS EMPLEADOS EN EL DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS DIVERSAS ESTRUCTURAS Y UNIDADES PREDIALES (ODUM, 1972).

En el cual:

$n_1^{\circ}$  = tasa de cambio del número de componentes, y

$n_2^{\circ}$  = tasa de cambio del tamaño de los componentes.

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

#### Desarrollo

Es el cambio del arreglo topológico de los componentes del ecosistema predial ( $\sigma$ )

Formalmente, se tiene que:

$$\begin{aligned}\frac{dA}{dt} &= \frac{dA}{dk} \frac{dk}{dt} + \frac{dA}{dn} \frac{dn}{dt} \\ &= \frac{dA}{dk} \overset{\circ}{k} + \frac{dA}{dn} \overset{\circ}{n}\end{aligned}$$

donde:

$\overset{\circ}{k}$  Tasa de cambio del patrón de ligamiento entre los componentes, y

$\overset{\circ}{n}$  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: Puerta 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 del 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.

### Almacenamiento pasivo

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

### 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

### 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 en 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.

### 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.

### 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 en 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 transforma materia y energía en dinero, o algún equivalente de diferente contenido 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 existe 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.

## HEURISTICA

### METODO

La heurística es la ciencia que estudia el método que conduce a la resolución de problemas. La resolución de problemas de ecosistemas prediales es de naturaleza tan compleja que se requiere de la elaboración de procedimientos rigurosos para llegar a su solución. Frecuentemente, debe buscarse la solución recurriendo a hipótesis y homomorfismos que permitan formular predicciones de su comportamiento, sin disponer de construcciones de alto nivel, ni conocer los mecanismos de operación del sistema predial, sin lo cual no es posible elaborar teorías generales de alto poder predictivo.

Para resolver problemas de naturaleza ecosistémica se requiere cumplir las siguientes cinco fases (Polya, 1974):

Primera Fase	Enunciar el problema
Segunda Fase	Comprender el problema
Tercera Fase	Concebir un plan de solución
Cuarta Fase	Ejecución del plan
Quinta Fase	Determinar la confiabilidad de la solución.

Los problemas prediales, con frecuencia se pretende intentar resolverlos en forma intuitiva, en el supuesto de representar situaciones en extremo sencillas que no requieren de construcciones de alto nivel. Ciertamente, por el contrario, se trata de problemas extremadamente complejos que requieren de un tratamiento sistemático, basado en el método científico. La heurística es la rama de la filosofía que estudia el método de resolver problemas en general y, como tal, debe ser la base conceptual de cualquier método que se aplique a la resolución de problemas específicos como es el caso de los predios agrícolas. Esto, sin embargo, no ha sido lo tradicional en agricultura, a pesar que los problemas específicos, contenidos en el problema global, han sido tradicionalmente resueltos ajustándose a las bases heurísticas de la ciencia.

A continuación se discuten los aspectos principales de cada una de las fases del procedimiento heurístico basado en el esquema propuesto por el matemático Polya (1974):

Primera Fase: Enunciar el problema

En problemas prediales, a menudo no se enuncia formal y rigurosamente el problema que se desea resolver. Al no explicitarse con precisión la naturaleza del problema que se desea resolver tanto su comprensión como su solución tienen también la vaguedad que caracteriza el enunciado.

El problema, que en el caso de los predios corresponde a menudo a un hiperproblema, debe ser explicitado de manera de lograrse la identificación de sus componentes. Dentro de ello debe estar contenido:

- Los datos
- La incógnita, y
- Las restricciones

#### Segunda Fase: comprender el problema

La comprensión del problema debe buscarse en el fenómeno tal como se presenta y no encontrar la solución de un problema análogo ya resuelto y planteado como la solución al problema específico.

Alguna de las preguntas iniciales que deben formularse para tratar de comprender el problema son las siguientes:

- ¿Cuáles son los datos?
- ¿Son las restricciones suficientes para determinar la incógnita?
- ¿Son insuficientes?
- ¿Son redundantes?
- ¿Son contradictorias?

Los problemas prediales deben ser resueltos en una base ecosistémica. Dada la naturaleza tan compleja del ecosistema y del predio es imposible resolverlo en su totalidad sin conocer en detalle cada uno de sus componentes pertinentes. En ello reside la habilidad del profesional de elaborar las imágenes isomórficas y homomórficas que se requieran para comprender el problema.

En esta etapa se debe buscar la comprensión del problema de manera de responder a algunas de las siguientes preguntas (Bunge, 1976):

- ¿Cuáles son los siguientes supuestos? (Acervo de ideas)
- ¿Cuáles son los medios? (Acervo de procedimientos).
- ¿Cuáles son las relaciones lógicas implicadas entre los datos y la incógnita? (Condiciones que relacionan los constituyentes del problema).
- ¿Qué clase de solución se desea? (Esquema)

¿Qué tipo de comprobación se necesita? (Identificación de la solución), y

¿Porqué se busca una solución? (Finalidad)

Luego de enunciado el problema debe realizarse una exploración preliminar con el fin de comenzar a comprender las posibles estrategias a seguirse en la búsqueda de la solución. En esta etapa de exploración debe responderse a las siguientes preguntas (Bunge, 1976):

¿Qué aspecto tiene? (Búsqueda de analogías con lo conocido).

¿Esta definido? Si lo está ¿Cómo? (En el caso de conceptos).

¿Es observable? (En el caso de objetos físicos).

¿Es contable o medible? (En el caso de objetos físicos).

¿Cómo puede contarse o medirse? (En el caso de objetos físicos).

Luego de concluida la exploración preliminar del problema debe procederse a su descripción de manera de lograrse una mayor comprensión. No corresponde en este acápite indicar en detalle cada una de las variables a describir, pero sí indicar en forma general algunos de los elementos a considerarse (Bunge, 1976):

¿Qué es? (Correlato)

¿Cómo es? (Propiedades)

¿Dónde está? (Lugar)

¿Cuándo ocurre? (Tiempo)

¿De qué está hecho? (Composición)

¿Cómo están sus partes - si las tiene-interrelacionadas? (Configuración)

¿Cuanto? (Cantidad)

Tercera Fase: Concebir un plan de solución

En esta etapa debe especificarse el nivel de resolución apropiado, el cual debe necesariamente ser reducido a algún nivel inferior al del fenómeno. El plan de resolución debe considerar los datos dados y los que sea posible lograr en el examen de los componentes del fenómeno y su relación con la incógnita. Es por ello que debe realizarse un examen detallado del problema, en este caso del predio considerado como un fenómeno de acuerdo a algún procedimiento, tales como los presupuestos por Maynez, Armijo y Gastó (1975) y Gastó (1980).

Una de las instancias cruciales dentro de esta etapa es la dilucidación de las incógnitas pertinentes.

Como parte de este proceso debe elaborarse las etapas que conduzcan a la solución del problema ecosistémico o que demuestren su insolubilidad. Lo anterior corresponde al algoritmo.

En la concepción del plan debe cumplirse (Polya, 1974) tres etapas:

Determinar la relación entre los datos y la incógnita.

De no encontrarse una relación inmediata pueden buscarse problemas auxiliares, y

Obtener, finalmente, un plan de solución.

En esta etapa debe procederse a una interpretación del problema (Bunge, 1976):

¿Cuáles son las variables relevantes? (Factores)

¿Cuáles son los factores determinantes? Causas)

¿Cómo están relacionadas las variables relevantes? (Leyes)

¿Cómo funciona? (Mecanismo)

¿De dónde o de qué procede? (Origen físico o lógico).

¿En qué se transforma? (Predicción).

En la práctica, en la concepción del plan de resolución del problema predial es posible hacerse una serie de preguntas que tiendan a elevar las probabilidades de formular un mejor plan. Polya (1974) sugiere considerar los siguientes aspectos:

¿Se ha encontrado con un problema semejante?

¿Se ha visto el mismo problema planteado en forma ligeramente diferente?

¿Conoce un problema relacionado con éste? ¿Conoce algún teorema que le pueda ser útil? Mire atentamente la incógnita y trate de recordar algún problema que le sea familiar, que tenga la misma incógnita o alguna similar.

He aquí un problema relacionado con el suyo y que ya ha sido resuelto. ¿Podría usted utilizarlo? ¿Podría utilizar su resultado? ¿Le haría a usted falta introducir algún elemento auxiliar a fin de poder utilizarlo?

Podría enunciar el problema en forma diferente? ¿Podría plantearlo en otra forma? Refiérase a las definiciones.

Si no puede resolver el problema propuesto, trate de resolver primero algún problema similar. ¿Podría imaginarse un problema análogo un tanto más accesible. ¿Un problema más general? ¿Un problema más particular?

¿Un problema análogo? ¿Puede resolver una parte del problema? Considere sólo una parte de la condición; descarte la otra parte; ¿En qué medida la incógnita queda ahora determinada? ¿En qué forma puede variar? ¿Puede usted deducir algún elemento útil de los datos? ¿Puede pensar algunos otros datos apropiados para determinar la incógnita? ¿Puede cambiar la incógnita o los datos, o ambos si es necesario, de tal forma que la nueva incógnita y los nuevos datos estén más cercanos entre sí?

La concepción del plan debe quedar rigurosamente formalizada a través de un algoritmo que especifique cada una de las acciones, etapas, datos y decisiones que deban tomarse para la resolución del problema.

El algoritmo para la resolución de ecosistemas prediales debe incluir los siguientes pasos que han sido considerados en la metodología clínica de ecosistemas (Nava, Armijoy y Gastó, 1979):

- Paso 1o. Formulación del plan de examen predial, lo cual debe incluir las variables que deben medirse y su nivel de precisión y exactitud
- Paso 2o. Procedimiento de diagnóstico, el cual incluye la determinación de las relaciones entre las variables y el dominio de la solución.
- Paso 3o. Tratamiento, en el cual se proponen las acciones para llevar a cabo la solución, a través de la aplicación de los operadores correspondientes.
- Paso 4o. Estrategia, que corresponde a las diversas modalidades de aplicación de los operadores.

#### Cuarta Fase: Ejecución del plan

Esta fase consta de tres pasos:

- Paso 1°. Ejecución del examen planeado;
- Paso 2°. Ejecución del diagnóstico;
- Paso 3°. Ejecución del tratamiento de acuerdo con la estrategia formulada.

Al ejecutarse el plan debe comprobarse que cada una de las etapas sea correctamente aplicada. Debe, en cada caso cotejarse la corrección de su aplicación y estar en condiciones de demostrar su validez.

En el caso de ecosistemas prediales, el plan concebido se ejecuta en el terreno. Para ello se requiere una aplicación fiel de el plan concebido y propuesto en el modelo. La ejecución del plan debe ser, por consiguiente, tanto en el modelo como en el fenómeno mismo.

#### Quinta Fase: Determinación de la confiabilidad de la solución.

La solución alcanzada, tanto en el fenómeno mismo como en su imagen debe corresponder a la solución esperada de acuerdo a la comprensión del problema, a la concepción del plan de resolución y a la ejecución fiel a dicho plan. En los problemas de naturaleza deductiva la solución debe finalmente demostrarse, lo cual constituye la última etapa heurística. En los problemas de naturaleza inductiva, donde la experimentación y el empirismo constituyen la base para llevar a cabo la contrastación, la última etapa corresponde a la validación o comprobación de la solución. Esto no es otra cosa que la contrastación entre el fenómeno y la solución vía de su imagen.

En el control de la solución debe buscarse lo siguiente (Bunge, 1976):

¿Cuál es el dominio de validez de la solución? (Límites) ¿Puede obtenerse la misma solución por otros medios? (Posiblemente comprobación independiente). ¿Era conocida la solución? (Originalidad) ¿Es la solución coherente con el cuerpo de conocimientos aceptados? (Inserción), y ¿Qué diferencia - si la supone - significa para el cuerpo de conocimientos accesibles? (Efecto).

#### REGLAS DE RESOLUCION DEL PROBLEMA

No existen reglas definidas para resolver problemas prediales pero las reglas, propuestas por Bunge (1976), para resolver problemas en general pueden servir de guía.

##### Enunciado del Problema

1. Enunciar formalmente el problema.  
No puede pretenderse resolver un problema que previamente no ha sido enunciado explícitamente, en todos sus detalles y partes; lo cual incluye: los datos, la incógnita y las restricciones.

##### Comprensión

2. Reenunciar el problema con mayor claridad.  
Lo anterior incluye la transformación de los conceptos vagos contenidos en el enunciado del problema, en otros de mayor precisión para lo cual, a menudo, se requiere una representación simbólica del problema. Debe señalarse, explícitamente, las incógnitas y las suposiciones en las cuales se basa. Debe, además, evitarse cualquier forma lógica defectuosa.
3. Identificar los constituyentes.  
En este paso se requiere señalar la incógnita y restricciones del problema. Además, es necesario señalar las premisas del enunciado así como su generador, es decir su origen y dinámica.

4. Descubrir los presupuestos.  
Presentar en forma explícita, los presupuestos importantes; hay que establecer las suposiciones contenidas en el enunciado en forma no aparente.
5. Localizar el problema.  
Se requiere ubicar el problema en la disciplina o conjunto de disciplina que cubran los aspectos básicos del problema, y por consiguiente ofrezcan mayores opciones de resolución.

Es menester, además, determinar la naturaleza del problema en lo referente a lo substantivo o estratégico del problema. En el primer caso debe desarrollarse un método ad hoc para su resolución, en tanto que en el segundo es necesario considerar la aplicación de un procedimiento ya desarrollado, el cual debe ser aplicado en su forma y estilo correcto. En los problemas substantivos debe determinarse si es empírico o conceptual, en tanto que en los problemas estratégicos debe determinarse si es metodológico o de valoración.

#### Concepción del plan de solución

6. Selección del método  
El método de solución debe considerar, tanto la naturaleza del problema como la clase de solución deseada.
7. Simplificar  
Debe eliminarse la información redundante y reducirse el problema a su expresión más compacta.
8. Analizar el problema.  
En el caso de tratarse de problemas grandes y complejos debe dividirse en problemas específicos más pequeños y simples de resolver.
9. Planear  
Programar la estrategia resolutive.
10. Buscar analogías  
Incluir el problema en una clase conocida de problemas ya resueltos a través de la búsqueda de analogías.
11. Transformar el problema.  
Convertir el problema original en otro de solución factible, lo cual significa reformular el problema en otro con mayores opciones de solución.
12. Exportar el problema  
Si fracasan los intentos anteriores, cambiar el problema por otro homólogo de otro campo.

#### Ejecución.

13. Ejecutar el plan  
Intentar la resolución del problema bajo las condiciones establecidas.

14. Controlar la solución  
Comprobar si la solución es correcta o por lo menos razonable

Ajuste

15. Ajustar  
En el caso que la solución no sea satisfactoria, debe procederse iterativamente en la búsqueda de la solución repitiendo los pasos anteriores.

#### HEURISTICA PREDIAL

La heurística predial es el resultado de la integración de la heurística general a la resolución de los problemas del predio. La heurística, a pesar de contener el procedimiento general que permite resolver problemas de cualquier naturaleza, requiere ubicarse en algún contexto particular. La agricultura puede ser este contexto.

La agronomía es el estudio de la artificialización del ecosistema, por lo cual debe recurrirse a las bases que permitan decidir las acciones requeridas para resolver problemas de artificialización. La heurística, dentro de este contexto, debe dar las bases y guías para resolver problemas de naturaleza ecosistémica relacionadas con su artificialización tales como: ¿Que componentes artificializar?, ¿En qué grado?, ¿En qué etapas y circunstancias?, ¿Porqué hacerlo? ¿Con qué propósito?, y muchas otras.

El espacio físico donde se resuelven los problemas agrícolas es el predio, lo cual genera restricciones diferentes, y, por lo tanto, de una naturaleza específica, que las que ocurrirían en ese mismo problema considerado en un contexto ajeno al del predio. Es evidente que la resolución de un mismo problema, por ejemplo del cultivo de maíz, es diferente en un espacio físico que en otro.

El predio es el espacio físico donde se hace agricultura. Tiene conexiones internas y con el exterior, controladas en última instancia por el hombre. Es por ello que las mismas prácticas agrícolas, adquieren modalidades diferentes al ser sometidas a diversas restricciones prediales que incluyen tanto al ecosistema como al hombre.

Existe un problema predial, cuando el estado del ecosistema predial no se ajusta al estado considerado como ideal, de acuerdo con algún criterio antrópico. Las restricciones propias de los niveles jerárquicos superiores, tanto físicos como ecológicos, no permiten lograr el estado predial ideal. Es por ello que es necesario identificar las características de un estado que se aproxime al ideal y satisfaga las restricciones de los niveles superiores de control.

La heurística predial, que se presenta en este acápite, es un intento de aplicación de principios heurísticos generales dentro de un contexto predial, lo cual incluye al ecosistema, su artificialización, el

espacio físico y sus restricciones, y el control y regulación por el hombre. El resultado de este proceso es: el diseño predial.

El diseño predial es la actividad de construir modelos con propósito de optimizar al sistema, por lo cual, es una actividad de igual naturaleza que el diseño de sistemas de ingeniería. La heurística predial debe permitir, en último término resolver problemas de diseño de predios. La aplicación del procedimiento, sin embargo, no garantiza que la solución obtenida sea la óptima. Las etapas, fases y pasos que se proponen se indican a continuación.

#### Etapa Uno: Planteamiento del problema

Es la etapa inicial del proceso de resolución en la cual se trata de conocer el problema, reconocer sus partes y comprender las relaciones entre ellas y otros problemas. Usualmente, a esta etapa se le reconoce escasa importancia aún cuando en la realidad es esencial para lograr alguna medida de éxito. Consta de tres fases:

##### Primera fase: Enunciado

Enunciar el problema predial que se pretende resolver, lo cual implica satisfacer los siguientes pasos:

Paso 1. Formalizar las incógnitas

Paso 2. Formalizar las restricciones antrópicas.

En esta fase se explicita el problema, indicándose los elementos básicos dentro de los cuales debe determinarse la solución. Las preguntas básicas, asimismo, son estructuradas para que permitan guiar el proceso. Las restricciones delimitan el dominio del problema inicial. Un problema mal enunciado difícilmente puede ser resuelto satisfactoriamente.

##### Segunda fase: Identificación

Identificar el fenómeno, para lo cual se requiere satisfacer los siguientes pasos:

Paso 1. Seleccionar los componentes y atributos fenomenológicos pertinentes dados por:

- a) Los no modificables, que establecen las restricciones fenomenológicas del diseño predial.
- b) Los modificables, que permiten transformar el estado del ecosistema predial a través de la aplicación de operadores.

Paso 2. Determinar el nivel de precisión y exactitud requerido para cada variable

y proceder a su cuantificación.

No todas las variables presentes en un problema predial pertenecen al fenómeno, por lo cual deben identificarse e incluirse en el problema a todas aquellas que son pertinentes. Las variables no modificables deben considerarse, dado que establecen límites naturales de la solución. Las variables modificables establecen opciones de solución. Intimamente relacionado con lo anterior, se tiene el nivel de precisión y exactitud, que permita eventualmente hacer una buena representación del fenómeno.

#### Tercera fase: Comprensión

Comprender el fenómeno, para lo cual se requiere satisfacer los siguientes pasos:

- Paso 1. Localizar el problema en el conjunto de disciplinas que cubran los aspectos básicos del problema bajo consideración.
- Paso 2. Determinar si el problema es de naturaleza sustantiva o estratégica.
- Paso 3. Determinar las relaciones entre la incógnita y los datos.

El problema predial para ser resuelto debe ubicarse dentro del conjunto de conocimientos y principios que ofrezca mayores perspectivas de proporcionar los elementos y conceptos que permitan eventualmente comprender el problema.

En esta fase debe comprenderse también la naturaleza del problema. Los problemas sustantivos, es decir, aquellos cuya solución carecen de contenido, pues son de naturaleza general y básica, requieren ser comprendidos de manera diferentes que los estratégicos. En los problemas sustantivos se debe determinar si son de naturaleza empírica o conceptual, lo cual implica diferentes estilos de tratamiento del problema. Los estratégicos en cambio, pueden requerir un conjunto de procedimientos que permitan arribar a una solución. En algunos casos, los problemas estratégicos son de naturaleza valorativa, es decir, requieren de una solución cuantitativa.

Una localización correcta del problema viene acompañada de una reducción en los grados de libertad del problema. Esto último significa que los procedimientos de resolución son de mayor parsimonia. Un planteamiento más parsimonioso ofrece mayores posibilidades de establecer las relaciones canónicas entre las incógnitas y los datos.

#### Etapa dos: Modelado

En esta segunda etapa se procede a elaborar la imagen del fenómeno en estudio, objeto del problema. Al inicio de esta etapa se requiere haber llegado, en una forma preliminar, a una comprensión del problema,

suficiente para intentar la elaboración del modelo del fenómeno. Lo anterior implica la opción de retornar a la etapa de planteamientos, en el caso que fuera necesario, debido a la carencia de elementos o a una insuficiente comprensión.

Es usual intentar resolver problemas prediales complejos sin un cabal desarrollo de la etapa uno. El esfuerzo invertido en la etapa de modelaje, usualmente sobrepasa la posible economía que se pudiera lograr al no darle a la primera etapa la atención que se merece.

Las fases que integran esta etapa son:

Cuarta fase. Descomposición

Descomponer el hiperproblema en problemas específicos.

Paso 1. Identificar los problemas específicos susceptibles de descomponer al hiperproblema.

Paso 2. Plantear los problemas específicos en una forma independiente.

Paso 3. Establecer los ligamentos entre los diversos problemas específicos de acuerdo con su intensidad y jerarquía.

La fase de descomposición es de importancia estratégica en la solución del problema dado que es aquí donde se establecen las opciones resolutorias para el planteamiento adoptado. Por tratarse de un problema estratégico esta fase se torna decisiva ya que puede hacer que la solución sea factible o no.

Dentro de la fase de descomposición se debe atender a los requerimientos tratados anteriormente y que son:

1. Intensidad de ligamentos entre las partes o problemas específicos.
2. Descomposición canónica, y
3. Compatibilidad interjerárquica.

Quinta fase: Elaboración de imagen

Elaborar la imagen del fenómeno en su estado inicial, a través de la construcción de un modelo.

Paso 1. Asignar las variables fenomenológicas a variables de estado, lo cual requiere que la imagen contenga:

- Las variables de estado que describen al fenómeno,
- El grado de precisión y exactitud de las variables,

- El nivel de homomorfismo que permita generar una imagen homomórfica con variables de estado canónicas.

- Paso 2. Establecer las relaciones entre las variables que permita generar una imagen homomórfica mínima; es decir, que el conjunto de variables de estado sean representables en una forma canónica.

La naturaleza de la imagen que se elabore para cada uno de los problemas, debe ser específica de acuerdo a la naturaleza del problema y los objetivos perseguidos. El nivel de homomorfismo que se le dé a la imagen debe ser compatible con el tipo de solución deseado.

#### Sexta fase. Composición

Integración de los problemas específicos en un sistema de problemas.

- Paso 1. Ordenación de los problemas específicos en el nivel jerárquico que le corresponde.
- Paso 2. Conectar los problemas específicos de manera que las respuestas de un problema se transforman en la entrada de otros.

Los problemas específicos conectados en esta forma se transforman, por consiguiente, en un sistema de problemas que se resuelve como una unidad, es decir la solución es única. Para resolver este sistema se requiere, por lo tanto, alimentarle con un conjunto de datos, contenidos en el enunciado, y de acuerdo a las restricciones dadas en el enunciado.

En esta fase se concluye la primera parte de la resolución del problema, que consiste en la elaboración de la imagen que representa al fenómeno. A pesar de que la solución propiamente tal no se ha iniciado aún, el avance hacia la determinación de la solución es considerable.

#### Etapa Tres: Resolución

Es la etapa en que el problema se resuelve formalmente y se implanta la solución. Cabe señalarse que en las etapas anteriores se ha logrado comprender el problema y elaborar la imagen del fenómeno en su estado original. En esta etapa, se realiza el examen del fenómeno y se elabora el diagnóstico que conduce al diseño del predio en su estado meta final.

#### Séptima fase: Exámen del Predio

Cuantificar las variables de estado requeridas para resolver el modelo, de acuerdo a los siguientes

pasos:

- Paso 1. Identificar las variables dentro del modelo que requieran cuantificarse y establecer el nivel de exactitud y precisión requerido.
- Paso 2. Identificar en el predio los componentes que contienen dichas variables.
- Paso 3. Efectuar las mediciones y determinaciones requeridas por las variables.
- Paso 4. Registrar y ordenar la información.
- Paso 5. Determinar el estado actual del sistema.

Los últimos dos pasos se llevan a cabo en el predio mismo, en tanto que la mayor parte del proceso se realiza alejando del fenómeno en estudio. Los sistemas de cómputo juegan un papel importante en este último paso, dado que la información puede ser considerable. Los detalles del exámen han sido tratados con mayor amplitud en otros trabajos. Maynes, et al., 1975, Nava, et al., 1979, Gastó, 1980).

#### Octava fase. Opciones de estado

Establecer el universo de opciones factibles de estado del fenómeno a través de su imagen sobre una base de los elementos más permanentes.

- Paso 1. Establecer la relación entre el cambio de la variable de estado ( $X_j$ ) y la magnitud del operador de transformación ( $\pi_j$ ), circunscrito dentro de las restricciones dadas a su dominio, de manera de establecer el dominio factible de la variable en relación al operador de transformación.
- Paso 2. Establecer la relación entre los estímulos y la respuesta para el dominio restringido de la variable, dentro de las restricciones dadas al dominio del estímulo.
- Paso 3. Efectuar iterativamente los pasos 1 y 2 de manera de reducir y ajustar el universo de opciones factibles.

En un predio dado no todas las soluciones son factibles. En esta fase se determina el dominio de factibilidad de la solución, dentro del cual debe estar la solución del problema. Los resultados de esta fase permiten restringir la solución a un dominio estrecho, lo cual simplifica la identificación de la solución. Lo anterior, sin embargo, no significa que el número de opciones dentro del dominio sea pequeño, por lo cual es necesario la aplicación de procedimientos adecuados.

### Novena fase. Criterio de óptimo

Establecer el criterio de óptimo dentro del marco de las restricciones propias de las variables más permanentes.

Paso 1. Establecer los atributos que describen el comportamiento del predio, sus escalas de medición y los rangos que generan soluciones armónicas. Entre los atributos que deben considerarse se tiene:

- Flexibilidad, es decir la capacidad de ajustarse a un medio ambiente cambiante, lo cual condiciona al diseño a incluir unidades y partes permanentes y otras circunstanciales.
- Resiliencia, es decir, la capacidad del sistema de retornar al estado inicial luego de haber sido sometido a un operador.
- Estabilidad, es la alteración en la misma forma que en el pasado.
- Productividad
- Homostasis, siendo el proceso de mantener estable o estacionario en su valor al sistema.
- Homorhesis, entendiéndose como tal, a la continuación de un tipo dado de cambio, lo cual implica mantener un flujo.

Paso 2. Establecer los criterios de conveniencia para cada uno de los atributos.

Paso 3. Identificar las familias de soluciones factibles que corresponden a los diversos conjuntos de opciones no dominadas del predio.

Paso 4. Contrastar las diversas opciones

Paso 5. Seleccionar el óptimo en base a permuta de los atributos de las opciones contrastadas, lo cual implica establecer una ponderación de los atributos.

El criterio óptimo es la norma preestablecida para identificar la solución dentro del conjunto de opciones factibles. El criterio debe ser explicitado formalmente de manera que la solución sea independiente del observador.

Los problemas caracterizados por tener más de un atributo pueden conducir a diversas soluciones de acuerdo al énfasis que se le dé a cada atributo en el vector que representa el criterio de óptimo. En esta etapa se determina el conjunto de soluciones no domina-

das, dentro del cual está contenida la solución óptima (Armijo, Duckstein y Nava, 1980).

#### Décima fase. Diagnóstico

Contrastar el estado inicial del predio con el estado óptimo.

Paso 1. Comparar la imagen inicial del predio con su imagen en el estado óptimo.

Paso 2. Detectar las discrepancias entre ambos.

Paso 3. Emitir el diagnóstico correspondiente.

Esta fase corresponde a la detección de la enfermedad predial. Constituye una fase crucial dentro del proceso heurístico total. El éxito de estas fases depende de la calidad y solidez de las fases anteriores.

Esta fase debe ser complementaria con el procedimiento iterativo de ajuste de la solución que se aplica luego de su implantación, el cual por aproximaciones progresivas permite ajustarse al óptimo real.

#### Decimoprimer fase. Diseño

Generar la arquitectura del predio correspondiente al modelo optimizado.

Los pasos que se contemplan son:

Paso 1. Dividir el predio en unidades:

- Dividir el predio de manera que el tamaño de todas las unidades sea igual al tamaño total del predio y que la unión de todas las unidades sea congruente con la forma del predio.
- Determinar las etapas y procesos de la imagen predial y establecer una correspondencia en número y tamaño de las divisiones; el número de divisiones debe ser independiente del tamaño y forma del predio. El problema de determinar las etapas y procesos no es de naturaleza metodológica de diseño sino que atañe a las ciencias agrícolas tradicionales.
- Determinar el tamaño de cada unidad, el cual debe ser función del tamaño del predio y del número y magnitud de los procesos y etapas.
- Determinar la forma de cada unidad de manera que permita establecer conexiones y unidades de manera de constituir un todo predial donde se haga agricultura.

Algunas de las consideraciones que se deben tomar al determinar la forma, tamaño, número y ubicación de las unidades son las siguientes:

- Grado de simetría espacial, entendiéndose como tal al ordenamiento de la distribución

espacial de las unidades en el predio.

- Armonía, la cual está dada por el ordenamiento en el tiempo de las etapas y procesos de las unidades.
- Eficiencia del operador de cada uno de los sectores en que se puede dividir una unidad predial debe tender a ser uniforme y óptima.

Paso 2. Establecer los mecanismos de flujo y de control, de las unidades.

- Determinar los conectores y las conexiones que deben existir entre las unidades.
- Establecer la magnitud y dirección de los flujos entre las unidades.
- Establecer los mecanismos de control y regulación del flujo.

Paso 3. Circunstancialidad

Dentro del marco del diseño predial seleccionado y elaborado en base a las variables más permanentes, desarrollar modelos de los diversos grados de circunstancialidad.

- Al modelo original de ingeniería y uso general del suelo agregarle detalles más específicos de cultivos, ganado, construcciones y otros.
- Desarrollar un modelo económico general que permita tomar decisiones generales en circunstancias específicas.

Decimosegunda fase. Estrategia.

Desarrollar la estrategia de transformación del diseño original para llegar a ejecutar el diseño propuesto.

Paso 1. Determinar las etapas y secuencias a seguirse en la aplicación del tratamiento que satisfaga el diseño.

Paso 2. Establecer las circunstancias de aplicación del tratamiento.

Décimotercera fase. Ejecución

Aplicar los operadores de acuerdo al plan propuesto para satisfacer el diseño.

Paso 1. Identificar las actividades, materiales y organización requerida para satisfacer los operadores planeados.

Paso 2. Organización sincrónica y diacrónica de

las actividades involucradas, de acuerdo a los recursos disponibles.

Paso 3. Llevar a la práctica las tareas propuestas, de acuerdo a lo programado.

La fase de ejecución es la que recibe la mayor atención por parte de los administradores y organismos ejecutores en general. Es, sin embargo, la última etapa del proceso de planeación, lo cual implica que el éxito que pudiera esperarse de ella depende de la solidez de las anteriores. Es una fase esencialmente ejecutiva y de administración cuyo éxito depende de la capacidad de llevar en forma adecuada las acciones planeadas dentro de otro contexto. Muchos planes fracasan precisamente en esta etapa, ya sea por una mala planeación de la ejecución o por una inadecuada administración de las tareas.

Decimocuarta fase. Verificación

Comprobar la validez de la solución.

Paso 1. Examinar la congruencia entre la solución implementada y la planeación, es decir, demostrar la validez de la solución.

Paso 2. Contrastar los resultados obtenidos en la práctica con los esperados, es decir verificar la solución.

A pesar de corresponder a la última fase del procedimiento heurístico, el tipo de verificación que se pretende aplicar al problema debe considerarse desde la primera fase. Las acciones heurísticas que se aplican a través del proceso completo deben validarse de acuerdo al tipo de verificación, al cual eventualmente se someta el problema.

Con frecuencia se considera a esta fase como una de las más simples y obvias. Es, sin embargo, una de las más complejas, y resulta en extremo difícil distinguir entre soluciones aceptables e incorrectas.

## REFLEXIONES FINALES

Los problemas prediales, a pesar de presentar una imagen de aparente simpleza, son en realidad extremadamente complicados. Su complejidad, es posiblemente una de las mayores, en comparación con los demás problemas que enfrenta el hombre contemporáneo. A pesar que la tecnología que se dispone en la actualidad es sofisticada, abundante y diversificada, al punto tal de suponer la factibilidad de resolver las situaciones prediales más difíciles, los problemas prediales continúan sin resolverse.

El obstáculo principal que impide la resolución de los problemas prediales reside en la incapacidad de plantear el problema en la dimensión que le corresponde. El problema, lejos de enfrentarse y resolverse, se ignora y se emite una opinión acerca de su solución, la cual se desconoce.

Ante la complejidad del problema se presentan dos opciones principales. Una de ellas busca la resolución de cada caso a través de procedimientos ad hoc, lo cual conduce a obscurecer el problema general. La otra pretende encontrar un procedimiento general aplicable a todos los casos, para lo cual se requiere desarrollar una teoría en la cual se apoye la ciencia del diseño predial.

Ante la carencia, de una teoría general y considerando inaceptable el enfoque ad hoc, surge la necesidad de plantear un procedimiento heurístico de validez general, susceptible de ser aplicado a situaciones específicas. El presente trabajo constituye una aproximación inicial a un tema que rebasa la capacidad de resolverse en una sola instancia.

El esfuerzo invertido en los intentos de resoluciones de problemas de esta naturaleza sin contar con una base heurística sólida, a menudo, se disipa sin llegar a obtener resultados. La aplicación masiva de técnicas computacionales a problemas prediales no comprendidos cabalmente, lejos de contribuir a una solución, obscurece al problema y posterga por lo tanto su solución. El empleo de la computación, dentro de un marco heurístico coherente, es una de las herramientas más valiosas para la resolución de problemas prediales.

## LITERATURA CITADA

- BOOTH, T.L. 1967. Sequential machines and automata theory. John Wiley and Sons. N.Y. 592p.
- BUNGE, M. 1973. La investigación científica. Ariel. Barcelona.
- GASTO, C. 1980. Ecología. El hombre y la transformación de la naturaleza. Editorial Universitaria. Santiago, Chile.
- GODEL, K. 1962. On formally undecidable propositions N.Y. Basic Books
- KAHNAN, R.E., P.L. Falb y M.A. Arbib. 1969. Topics in mathematical systems theory. McGraw Hill Book Co. N.Y. 358p.
- MAYNEZ DEL R., F., R. Armijo I. y J. Gastó C. 1975. Clínica ecosistémica silvoagropecuaria. Fundamentos y metodologías. Univ. Autónoma Agr. Antonio Naro. Monog. Técnica-científica. 1 : 72-136. Saltillo. Coahuila.
- MERINGO, A. 1952. Lógica y ética. Lumen Lima, Perú.
- NAVA, R., R. Armijo T. y J. Gastó C. 1979. Ecosistema. La Unidad de la naturaleza y el hombre.
- ODUM, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development Science, 1964 : 262-270
- POLYA, G. 1974. Como plantear y resolver problemas. Trillas. México.
- PRIGOGINE, I. 1976. Order through fluctuation: Self organization and social system. En: Jantseh, E. y C.H. Waddington. Evolution and consciensness. Human system in transition. Adison Wesley, Reading Mass. p: 93-126.
- RUBINSTEIN, M.F. 1975. Patterns of problems solving. Prentice-Hall. Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- WYMORE, W. 1976. Systems engineering methodology for interdisciplinary teams. John Wiley. N.Y.