

PROCESO JERÁRQUICO ANALÍTICO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN EL MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES*

ANALYTICAL HIERARCHICAL PROCESS FOR DECISION TAKING IN NATURAL RESOURCES MANAGEMENT

Ignacio Sánchez Cohen^{1§}, Gabriel Díaz Padilla², Hilario Macías Rodríguez¹ y Juan Estrada Ávalos¹

¹Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera (RASPA). INIFAP. Canal Sacramento, km 6.5. Zona Industrial Gómez Palacio, Durango. C. P. 35140. (macias.hilario@inifap.gob.mx), (estrada.juan@inifap.gob.mx). Tel. 01 871 1590105. ²Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Sitio Experimental Teocelo. INIFAP. Cotaxtla, Veracruz. Tel. 01 228 8125744. (diaz.gabriel@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: sanchez.ignacio@inifap.gob.mx.

RESUMEN

La visión multiobjetivo y multicriterio permite identificar acciones consensuadas de beneficio común y compromisos compartidos en la toma de decisiones, para la conservación de los recursos naturales. El objetivo del trabajo fue proponer un modelo de análisis multiobjetivo desarrollado para el manejo de los recursos naturales en la cuenca de Lobos del municipio de León, Guanajuato; que puede ser extrapolado a cualquier cuenca del país en 2008. Los temas alternativos de acción propuestos por los participantes y usuarios de la cuenca entrevistados fueron: organización, servicios ambientales, capacitación, cultura, reforestación, ordenamiento racional y cumplimiento de la ley, los cuales se analizaron con base en criterios económicos, técnicos, sociales y ecológicos. Los resultados mostraron que la alternativa “cultura”, seguida de ordenamiento racional y cumplimiento de la ley fueron las más significantes. El criterio ecológico aportó alta contribución para que “cultura” fuese la alternativa más importante. La influencia de los criterios técnico y económico fue limitada debido a la baja importancia relativa asignada.

Palabras clave: cuenca hidrológica, impacto, multidisciplinaria, multiobjetivo, planeación.

ABSTRACT

The multiobjective and multicriteria vision helps identify agreed actions with common benefits and shared commitments in decision making, for the conservation of natural resources. The aim of this study was to propose an analysis model for the management of natural resources in the basin of Lobos, in the municipality of Leon, Guanajuato; which could be applied to any basin in the country in 2008. The alternative topics of action proposed by the participants and users of the basin interviewed were: organization, environmental services, training, culture, reforestation, rational ordering and law abiding, which were analyzed based on economic, technical, social and environmental criteria. The results showed that the alternative “culture”, followed by rational arrangement and law abiding were the most significant. The ecological criterion was a large contribution for “culture” to be the most important alternative. The influence of technical and economic criterion was limited, due to the relatively low importance assigned.

Key words: impact, multidiscipline, multiobjective, planning, water basin.

* Recibido: noviembre de 2009
Aceptado: septiembre de 2010

INTRODUCCIÓN

El manejo integrado de los recursos naturales, es una herramienta conceptual que permite tratar todos los aspectos que afectan la sustentabilidad de los recursos. Integra diversas disciplinas como las ciencias sociales, economía, ecología e hidrología así como la experiencia de la comunidad para el tratamiento de problemas reales sobre el manejo de estos recursos (Lane *et al.* 1994; Letcher y Jakeman, 2003).

Manejo integrado del agua y la toma de decisiones

La documentación del uso de sistemas para toma de decisiones ha crecido recientemente; como lo describe Power (2007), mucho del trabajo inicial se diseñó para automatizar la generación de reportes en computadoras. La aplicación de estos algoritmos en los recursos naturales empezó prácticamente en la década de los noventa; como ejemplo de esto se encuentran los trabajos de El-Swaify y Yakowitz (1998); Lawrence y Robinson (2002); Rizzoli y Jakeman (2002); Sánchez *et al.* (2005). La revista de la Asociación Americana de Recursos Hidráulicos ha dedicado volúmenes completos al respecto (AWRA 2001, 2002a, 2002b); además existe una amplia gama de software sobre sistemas para la toma de decisiones en recursos naturales (Johnson y Lachman, 2001).

El manejo de los recursos naturales se fundamenta en un proceso de toma de decisiones; un problema de toma de decisiones existe cuando: a) se presenta una discrepancia entre el estado actual del ecosistema (comúnmente recursos deteriorados por acciones de diverso origen) y el estado deseado; es decir, en equilibrio y sustentable; y b) cuando existe más de una alternativa para conseguir el estado deseado. Para atender con eficacia los problemas relacionados con los recursos naturales, existe el análisis multicriterio (AMC) cuyo fin es analizar un número de alternativas de solución con múltiples criterios y objetivos en conflicto (Heilman *et al.*, 2006).

Con base en lo anterior, es posible generar soluciones y jerarquizar las alternativas de acuerdo a las preferencias de los involucrados. Para utilizar AMC es necesario elaborar una matriz de decisión conformada por las alternativas y los criterios de evaluación; esto requiere de información fidedigna.

El manejo integrado del agua, promueve el manejo del agua, suelo y otros recursos relacionados para maximizar el beneficio económico y bienestar de manera equitativa

INTRODUCTION

The integrated handling of natural resources is a conceptual tool that helps treat all aspects that affect the sustainability of resources. It integrates diverse disciplines such as social sciences, economics, ecology and hydrology, as well as the experience of the community to treat real problems on the management of these resources (Lane *et al.* 1994; Letcher and Jakeman, 2003).

Integrated handling of water and decision making

The documentation on the use of systems for decision making has grown lately; as Power (2007) describes it, much of the initial work was designed to automate the creation of reports using computers. The application of these algorithms on natural resources practically began in the 1990s; examples of this are the works of El-Swaify and Yakowitz (1998); Lawrence and Robinson (2002); Rizzoli and Jakeman (2002); Sánchez *et al.* (2005). The American Water Resources Association magazine has dedicated entire volumes to this (AWRA, 2001; 2002a; 2002b); there is also a large range of software on systems for decision making on natural resources (Johnson and Lachman, 2001).

Natural resource management is based on a decision making process; there is a problem in decision making when: a) there is a difference between the current state of the ecosystem (commonly, resources in bad conditions due to different sorts of actions) and the desired state, that is, sustainable and in balance; and b) when there is more than one alternative for obtaining the desired state. To deal with the problems related to natural resources in an efficient manner, there is the multicriteria analysis (AMC), that helps analyze a number of alternative solutions with multiple criteria and objectives in conflict (Heilman *et al.*, 2006).

Based on this, it is possible to create solutions and prioritize alternatives according to the preferences of the subjects involved. To use AMC, it is necessary to create a decision matrix, made up of the alternatives and the criteria of evaluation; this requires reliable information.

The integrated management of water promotes the management of water, soil and other related resources to maximize profit and welfare in an equitable manner,

sin comprometer la sustentabilidad del ecosistema. Involucra varias disciplinas, así como puntos de vista de diversos actores para diseñar e implementar soluciones (Sánchez, 2005).

El manejo integral del agua contempla tres grandes aspectos: económico, social y ambiental; entre estos no existe un común denominador por ello se evalúan de manera independiente (Dourojeanni, 2000). Ante esta situación, es necesario el uso de herramientas que estandarizan las unidades para hacerlas comparables. Los sistemas para la toma de decisiones (DSS por sus siglas en inglés), son una herramienta para este fin.

Considerando que existen interacciones entre los problemas y las alternativas de solución, es importante que estas sean propuestas por los usuarios de la cuenca para con ellas construir la matriz de problemas y posibles soluciones para ser evaluadas por el DSS.

Para parametrizar variables de decisión en el proceso de evaluación de alternativas, es importante considerar los resultados de investigación, la participación de expertos y consultas a bases de datos. De esta manera, la Figura 1 muestra el seguimiento para la valoración de alternativas (Sánchez *et al.*, 2006).

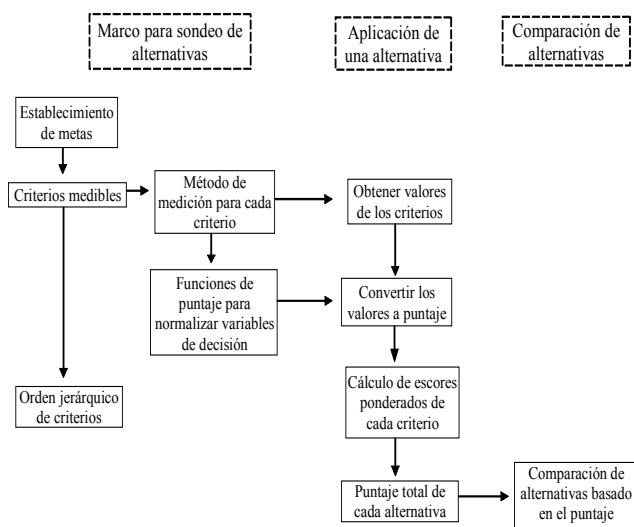


Figura 1. Seguimiento para la propuesta y valoración de alternativas.

Figure 1. Follow-up for the proposal and valuation of alternatives.

without jeopardizing the sustainability of the ecosystem. It involves several disciplines, as well as viewpoints of various actors to design and implement solutions (Sánchez, 2005).

The integrated management of water contemplates three important aspects: economic, social and environmental; there is no common denominator between these three, which is why they are independently evaluated (Dourojeanni, 2000). Given this situation, tools to standardize the units to make them comparable, becomes necessary. The decision support systems (DSSs) are a tool that suits this purpose.

Considering that there are interactions between problems and alternatives for solutions, these must be proposed by the users of the basin in order to build a problem matrix and possible solutions to be evaluated by the DSS.

In order to parameterize decision variables in the evaluation of alternatives, it is important to consider the results of studies, the participation of experts and consulting databases. In this way, Figure 1 shows the follow-up for the valuation of alternatives (Sánchez *et al.*, 2006).

DSSs and their use

When public participation becomes involved in the process of decision making for natural resources, the result goes beyond a government plan (Squillace, 2008). In this mind frame, observing norms and laws expressly is boosted, giving way to action schemes that work, not so much by law, as by conviction.

One of the tools to identify natural resource conservation handling practices are help systems for decision making, also known as Multiobjective Decision Support Systems (MODSS). The meaning and use of DSSs depends on the objective and on the users; therefore, there are two main DSS categories: a) qualitative appreciation (based mainly on paper formats) of the effects of handling practices on the permanence of natural resources; and b) systems based on computer programs that combine data bases, simulation models, multiobjective decision theory and a graphic interphase with the user.

Los DSS y su aplicación

Cuando en el proceso de decisión del manejo de los recursos naturales se involucra la participación pública, el resultado va más allá de un plan de gobierno (Squillace, 2008). En esta tesitura, la observancia de las normas y leyes expofeso, se potencian dando paso a esquemas de acción que funcionan mas por convencimiento que por la propia ley.

Una de las herramientas para identificar prácticas de manejo para la conservación de los recursos naturales, son los sistemas de auxilio en la toma de decisiones, también llamados sistemas multiobjetivo para la toma de decisiones (MODSS). El significado y utilidad de los DSS depende del objetivo y los usuarios; así, existen dos categorías generales de los DSS: a) apreciación cualitativa (principalmente fundamentada en formatos en papel) de los efectos de prácticas de manejo sobre la permanencia de los recursos naturales; y b) sistemas basados en programas computacionales que combinan bases de datos, modelos de simulación, teoría de decisión multiobjetivo y una interfase gráfica con el usuario.

Estos últimos sistemas tienen la capacidad de trabajar con información proveniente de modelos de simulación, datos medidos y opinión de expertos (Figura 2) (Loucks y Van Beek, 2005). Los modelos de simulación que se utilicen para parametrizar variables de decisión, deberán tener la capacidad de cuantificar las variables de interés (Sánchez, 2005).

Dependiendo del problema y de los individuos e instituciones involucrados; el DSS puede variar desde una estructura mínima en que los interesados proveen la información, la analizan acorde a su experiencia y finalmente toman la decisión, hasta los totalmente automatizados en que la intervención de los individuos es mínima.

El objetivo del estudio fue proponer un modelo de toma de decisiones, para la conservación de los recursos naturales en la Sierra de Lobos, León, Guanajuato; utilizando un proceso de análisis jerárquico analítico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El fundamento para el uso de DSS es la calificación de alternativas, existen diferentes métodos para realizar este procedimiento en la toma de decisiones en grupo. El método más utilizado es el conocido como proceso jerárquico

These systems can work with information from simulation models, measured data and opinions from experts (Figure 2) (Loucks and Van Beek, 2005). The simulation models used to parameterize decision variables should be able to quantify interest variables (Sánchez, 2005).

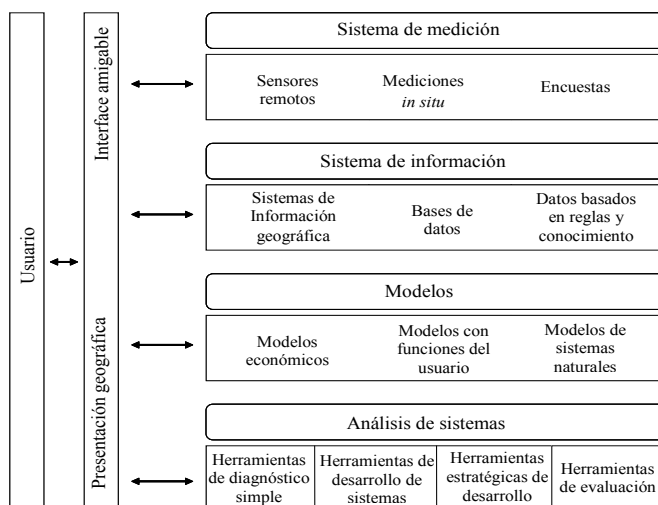


Figura 2. Componentes comunes de los sistemas de ayuda para la toma de decisiones.

Figure 2. Common components of Decision Support Systems.

Depending on the problem and on the individuals and institutions involved, the DSS can vary, from a minimum structure in which the parties interested provide the information, analyze it according to their experience, and finally make a decision, to those which are totally automated, and in which the intervention of individuals is minimal.

The aim of this study was to propose a model for decision making for the conservation of the natural resources in Sierra de Lobos, Leon, Guanajuato using an analytic hierarchical analysis process.

MATERIALS AND METHODS

The basis for using DSS is qualifying alternatives. There are different methods for carrying out this procedure in decision making in groups. The most commonly used method is the Analytical Hierarchy Process (AHP) (Saaty, 2006). In which participants choose the most important effect or criterion of comparison. Then, they qualitatively

analítico (AHP, por sus siglas en inglés) (Saaty, 2006). En este los participantes seleccionan el efecto o criterio más importante entre los que se comparan. Posteriormente, califican de manera cualitativa hasta donde el primer efecto, es más importante que el segundo para después convertir las comparaciones a “pesos” (valores) cuantitativos. Con este método se puede calcular el índice de inconsistencia, para verificar que las opiniones de los participantes (en términos de los pesos adjudicados a los factores), que no hayan sido seleccionadas en forma aleatoria.

El procedimiento para la construcción de una matriz, consiste en efectuar comparaciones entre alternativas a través de criterios; por ejemplo, en conservación de recursos naturales una alternativa pudiera ser la construcción de obras de conservación del suelo y algunos criterios de evaluación serían la eficiencia en prevención de la erosión, costo de implementación, dificultad de llevar a cabo, etc. El grupo debe decidir si una alternativa es más importante, sólo importante o menos importante que otra. La escala para representar esto fue propuesta por Saaty (1977); Janssen *et al.* (2003) (Cuadro 1).

rank the point up to which the first point is more important than the second one, to later convert the comparisons to quantitative “weights” (values). This method helps calculate the rate of inconsistencies, to verify that the opinions of the participants (in terms of the weights given to the factors), were not chosen randomly.

The procedure to build a matrix consists of comparing alternatives through criteria; for example, in the conservation of natural resources, an alternative may be the construction of soil conservation works and evaluation criteria may be efficiency in preventing erosion, implementation costs, the difficulty of carrying it out, etc. The group must decide if an alternative is more important, just important or less important than others. The scale to represent this was proposed by Saaty (1977); Janssen *et al.* (2003) (Table 1).

A basic assumption in comparison by pairs, is that if attribute A is definitely more important than attribute B (weight=9), then B is definitely less important than A, since the value of B= 1/9; then the resulting matrix is reciprocal.

Cuadro 1. Escala para dimensionar el impacto de alternativas en el método de comparación por pares.
Table 1. Scale for dimensioning the impact of alternatives in the method of pairwise comparison.

Intensidad de importancia	Definición	Explicación
1	Igual importante	Los dos factores contribuyen igualmente al objetivo
3	Más importante	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente a una opción sobre la otra
5	Mucho más importante	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a una opción sobre la otra
7	Mucho más importante	La experiencia y el juicio favorecen muy fuertemente a una opción sobre la otra
9	Absolutamente más importante	La evidencia favorece de manera indiscutible a una opción sobre la otra
2, 4, 6, 8	Valores intermedios	Útil en casos donde existe cierta dispersión de impactos

Una asunción básica en la comparación por pares, es que si el atributo A es absolutamente más importante que el atributo B (peso= 9), luego B es absolutamente menos importante que A, por que el valor de B= 1/9; entonces la matriz resultante es recíproca.

Las comparaciones se llevan a cabo para todos los factores considerados, mismos que se recomienda no sean más de siete. El siguiente paso es el cálculo de pesos relativos, la

Comparisons are made for all the factors considered, which are recommended not to be more than seven. The next step is to calculate the relative weights, the importance or value factors such as efficiency or cost, which are relevant to the problem at hand; technically, this list is known as ‘eigenvector’ (value vector or character vector). To maintain congruency with international literature and to keep the intrinsic meaning of the word, in this study, we will use the terms eigenvector and eigen value.

importancia o valor de los factores tales como eficiencia o costo que son relevantes al problema en cuestión; técnicamente este listado se le conoce como 'eigenvector' (vector de valor o vector carácter). Para mantener congruencia con la literatura internacional y conservar el significado intrínseco de la palabra, en el presente documento se usa eigenvector y valor eigen.

La etapa final consiste en calcular el cociente de consistencia (CR, por sus siglas en inglés) o un índice de inconsistencia (IC), cuyo significado trivial es la probabilidad que los valores para la construcción de la matriz de decisión, hayan sido aleatoriamente asignados sin considerar el conocimiento de los participantes en el ejercicio o haber opinado sin conocimiento del problema analizado. Acorde a la teoría si el IC es mayor a 0.1 (Saaty y Vargas, 1984), significa que los resultados son cuestionables y que presentan aleatoriedad, por tanto el ejercicio tendría que repetirse con otros participantes realmente compenetrados con el problema.

Fundamentos teóricos del AHP

A continuación se explica de manera sucinta el álgebra de matrices que implica el uso del AHP en el proceso de toma de decisiones.

Considérese "n" elementos que serán comparados entre sí, $C_1 C_n$ y denótese al peso relativo (prioridad o significancia) de C_i con respecto a C_j por ω_{ij} para formar una matriz cuadrada $A = (\omega_{ij})$ de orden "n" con las restricciones de $\omega_{ij} = 1/\omega_{ji}$ para toda $i \neq j$, y $\omega_{ii} = 1$ para toda i ; la matriz con estas características es una matriz recíproca. Los pesos son consistentes si son transitivos; es decir, $\omega_{ik} = \omega_{ij}\omega_{jk}$ para toda "i", "j" y "k". Posteriormente, encuéntrase un vector " ω " de orden "n" de tal manera que $A\omega = \lambda\omega$. Para esta matriz se dice que ω es el eigenvector (de orden "n") y λ es un valor eigen. Para una matriz consistente $\lambda = n$.

Así entonces, sea $\omega = [\omega_1, \omega_n]^t$ el vector de pesos que se trata de obtener, la matriz $[A]$ se obtiene por medio de la comparación de alternativas por pares con el procedimiento descrito y con el auxilio del Cuadro 1 para posteriormente obtener $[A*\omega]$. Se puede observar que:

$$[A]*\omega = n\omega \quad 1)$$

The final stage is to calculate the consistency ratio (CR) or an inconsistency ratio (IC), the trivial meaning of which is the probability that the values for the construction of the decision matrix were randomly assigned, without considering the knowledge of the participants in the exercise or having given an opinion without knowing the problem being analyzed. According to the theory, if IC is greater to 0.1 (Saaty and Vargas, 1984), it means that the results are questionable and contain randomness, and therefore, the exercise must be repeated with other participants who are really compenetrated with the problem.

Theoretical bases of AHP

The following is a succinct explanation of the matrix algebra that the use of AHP on the decision making process implies.

Consider "n" elements that will be compared with each other, $C_1 C_n$ and indicate the relative weight (priority or significance) of C_i in regard to C_j times ω_{ij} to form a squared matrix $A = (\omega_{ij})$ of the order "n" with the restrictions of $\omega_{ij} = 1/\omega_{ji}$ for all of $i \neq j$, and $\omega_{ii} = 1$ for all of i ; the matrix with these characteristics is a reciprocal matrix. Weights are consistent if they are transitive; that is to say that, $\omega_{ik} = \omega_{ij}\omega_{jk}$ for all of "i", "j" and "k". Later, find a vector " ω " of the order of "n" so that $A\omega = \lambda\omega$. For this matrix, ω is said to be the eigenvector (of the order "n") and λ is an eigen value. For a consistent matrix, $\lambda = n$.

In this way, if $\omega = [\omega_1, \omega_n]^t$ is the weight vector to be found, matrix $[A]$ is obtained by comparing alternatives by pairs with the process described and with the help of Table 1 to later find $[A*\omega]$. We can see that:

$$[A]*\omega = n\omega \quad 1)$$

Also, given that:

$$\begin{bmatrix} 1 & \frac{\omega_1}{\omega_2} & \frac{\omega_1}{\omega_n} \\ \frac{\omega_2}{\omega_1} & 1 & \frac{\omega_2}{\omega_n} \\ \frac{\omega_n}{\omega_1} & \frac{\omega_n}{\omega_2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n\omega_1 \\ n\omega_2 \\ n\omega_3 \end{bmatrix} \quad 2)$$

Además, dado que:

$$\begin{bmatrix} 1 & \frac{\omega_1}{\omega_2} & \frac{\omega_1}{\omega_n} \\ \frac{\omega_2}{\omega_1} & 1 & \frac{\omega_2}{\omega_n} \\ \frac{\omega_n}{\omega_1} & \frac{\omega_n}{\omega_2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n\omega_1 \\ n\omega_2 \\ n\omega_3 \end{bmatrix} \quad 2)$$

En la ecuación 2, se puede notar que “n” es un valor eigen de [A]. Para matrices que involucran la opinión de los participantes en el proceso de toma de decisiones (como en el manejo de los recursos naturales), la condición expuesta $\omega_{ik} = \omega_{ij}\omega_{jk}$ no necesariamente se cumple ya que el juicio humano es naturalmente inconsistente en menor o mayor grado; en tal caso, el vector “ ω ” satisface la ecuación:

$$A\omega = \lambda_{\max} \omega \text{ y } \lambda_{\max} \geq n \quad 3)$$

La diferencia entre $\lambda_{\max}$ y “n” es un indicador de la inconsistencia en las opiniones al calificar en la matriz de decisión; por otro lado si $\lambda_{\max} = n$, existe perfecta consistencia en los juicios emitidos.

El índice de inconsistencia (IC) puede ser calculado como:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad 4)$$

Este índice se compara con un índice obtenido a través de la generación de matrices completamente al azar. Para facilitar este proceso Saaty (1977) presenta el Cuadro 2, que muestra IC's aleatorios para diferentes ordenes de matrices. De esta manera, se obtiene un cociente de inconsistencia (CI) el cual resulta de dividir el IC de la ecuación 4 entre el IC del Cuadro 2.

Cuadro 2. Valores aleatorios para el cálculo del IC para diferentes órdenes de matrices.

Table 2. Random values for the calculation of IC for different orders of matrices.

Orden (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Valor	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Caso de estudio: Sierra de Lobos, León, Guanajuato

Con el propósito de corregir el deterioro de los recursos naturales en la Sierra de Lobos, Guanajuato; se efectuó el análisis multicriterio para definir los mejores cursos de acción,

In equation 2, we can see that “n” is an eigen value of [A]. For matrices involving the opinions of the participants in the making of decisions (such as in the management of natural resources), the exposed condition $\omega_{ik} = \omega_{ij}\omega_{jk}$ is not necessarily covered, since human judgment is not necessarily inconsistent to a greater or lesser degree; in such a case, vector “ ω ” satisfies the equation:

$$A\omega = \lambda_{\max} \omega \text{ y } \lambda_{\max} \geq n \quad 3)$$

The difference between $\lambda_{\max}$ and “n” is an indicator of the inconsistency in the opinions when rating the decision matrix; on the other hand, if $\lambda_{\max} = n$, there is perfect consistency in the judgments expressed.

The inconsistency ratio (IC) can be calculated as:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad 4)$$

This is compared to another ratio obtained by creating matrices at random. To make this process easier, Saaty (1977) presents Table 2, which shows random ICs for different orders of matrices. In this way, an inconsistency quotient (CI) is obtained, which results from the division of the IC of the equation 4 by the IC of Table 2.

Case study: Sierra de Lobos, Leon, Guanajuato

In order to undo the deterioration of the natural resources in Sierra de Lobos, Guanajuato, the multicriteria analysis was performed to define the best courses of action, that would minimize deterioration and also favor the sustainable development of the region. Physical information of the region was obtained and a participative, multidisciplinary and multiinstitutional exercise was carried out, for problems analysis and proposal of possible solution alternatives.

The result of this was a decision matrix containing the problems and their possible solutions (Table 3). The values of the matrix were determined by experts in natural resource conservation, interested users and government authorities. Considering that the criteria

que minimizaran el deterioro y que a la vez propicien el desarrollo sustentable de la región. Se obtuvo información física de la región y posteriormente se realizó un ejercicio participativo, multidisciplinario y multiinstitucional para el análisis de problemas y propuesta de posibles alternativas de solución.

Como resultado se obtuvo una matriz de decisión, que contiene los problemas y sus posibles soluciones (Cuadro 3). Los valores de la matriz fueron determinados por expertos en materia de conservación de recursos naturales, usuarios directamente interesados y autoridades gubernamentales. Tomando en cuenta que los criterios propuestos se cuantifican con diferentes unidades (metros, kilos, cubierta vegetal, dinero, etc), fue necesario estandarizarlos para su comparación (Eastman, 1999; Sánchez *et al.* 2008).

El diagrama de flujo utilizado para la toma de decisiones en la Sierra de Lobos, parte de la identificación precisa del o los problemas relacionados con el deterioro de los recursos naturales (Figura 3).

proposed are quantified with different units (meters, kilos, plant covers, money, etc), it was necessary to standardize them for their comparison (Eastman, 1999; Sánchez *et al.* 2008).

Cuadro 3. Ordenamiento de alternativas y criterios de evaluación para el análisis multicriterio.

Table 3. Arrangement of alternatives and evaluation criteria for the multicriteria analysis.

Criterios (j)	Alternativas (i)	
a	S _{a11}	S _{a12}
b	S _{b11}	S _{b12}
n	S _{n11}	S _{n12}

The flow chart used for making decisions in Sierra de Lobos, is based on the accurate identification of the problems related to the deterioration of natural resources (Figure 3).

The characteristics of the model followed for the reference case were:

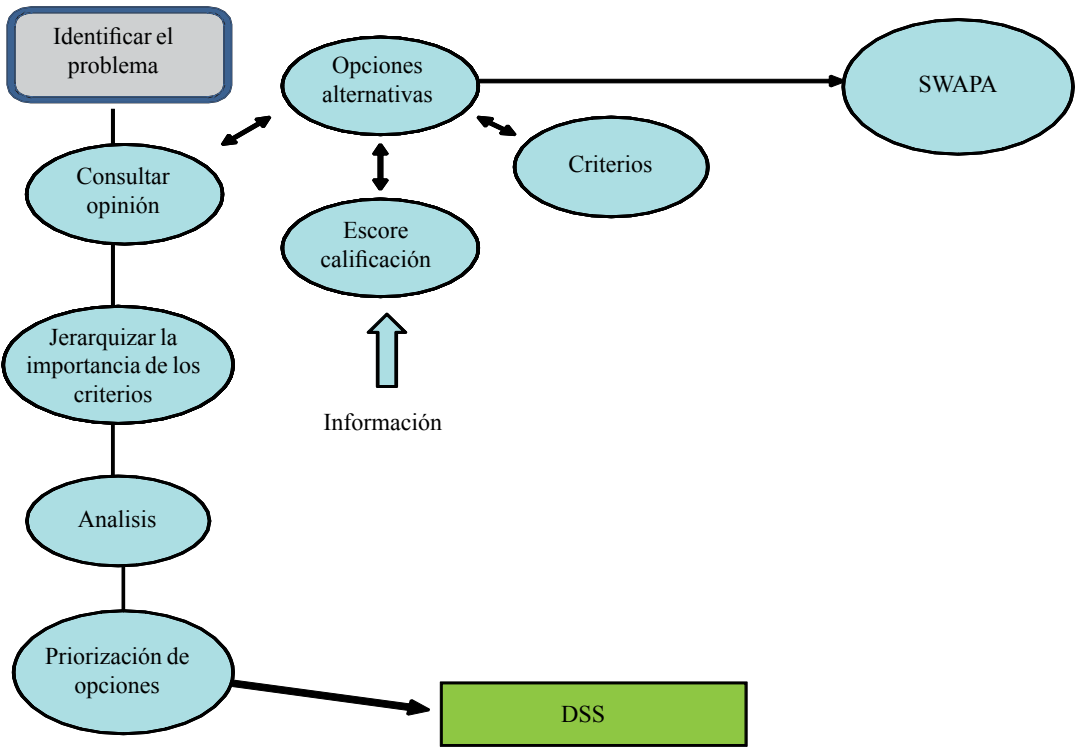


Figura 3. Modelo de decisión y flujo ordenado de procesos para la toma de decisiones.
Figure 3. Model of decision and ordered flow of processes for making decisions.

Las características del modelo seguido para el caso de referencia fueron:

Identificación del problema. Es incorrecto construir un modelo de decisión sobre fundamentos inconsistentes ó falacias con riesgo de “inventar” situaciones o problemas inexistentes. Esto es común en la visión mono objetivo que obedece principalmente a la especialidad de quien analiza el problema. En este caso los participantes definieron el problema central, como el deterioro gradual del ecosistema caracterizado por la pérdida de productividad, merma en la calidad y disponibilidad de agua para el uso.

Consulta de opinión. Se convocó a dependencias federales, estatales, instituciones de educación superior, centros de investigación y representantes de usuarios de la cuenca; bajo la premisa que es necesaria la participación de quienes tomarán la decisión, a los afectados por la decisión y a toda persona que tenga injerencia directa sobre el proceso de toma de decisiones.

Definición de alternativas. Las alternativas se seleccionaron de tal manera que fueran comparables, independientes, de alcance similar (similitud de escala) y alcanzables (la misma posibilidad de ser realizadas). También se aplicó el criterio de no considerar demasiadas alternativas pues se pudiera caer en el ciclo de alternativas interdependientes o en su caso el proceso de evaluación se hace lento, prolongado y se dificulta llegar a acuerdos.

Identificación de criterios. Los criterios constituyen la manera en que se califican las alternativas. En este apartado se consideraron factores que definen que una alternativa sea mejor que otra.

Jerarquización de criterios. Se consideró pertinente agrupar los criterios bajo grandes rubros (económico, social, ecológico, etc) para considerar el posible traslape entre ellos. Así, se puede incluir el mismo criterio en diferentes rubros; por ejemplo, el criterio “empleo” puede estar tanto en el rubro social como el económico si los impactos se pueden evaluar en forma diferente.

Con base en el problema central planteado, se consideraron las siguientes alternativas:

Organización. Se refiere a la visión compartida de usuarios de los recursos de la cuenca; involucra también a los beneficiarios de los bienes que se generan. El grupo consideró que esta alternativa pudiera ayudar a llegar a decisiones consensuadas.

Identification of the problem. It is incorrect to build a decision model on inconsistent bases or fallacies, under the risk of “inventing” inexistent situations or problems. This is more common in the single-objective vision, which mainly obeys the specialty of whoever analyzes the problem. In this case, the participants defined the central problem as the gradual deterioration of the ecosystem, with characteristics such as productivity loss, a decrease in quality and availability of water for human use.

Asking for opinions. Federal dependencies, higher education institutes, research centers and representatives of the users of the basin were called, under the premise that the participation of decision makers is necessary, as well as those affected by the decisions, and everyone who will have a say on the process of decision making.

Defining of alternatives. Alternatives were chosen in such a way that they were comparable, independent, of a similar scope (similarity of scale) and reachable (the same possibility of being carried out). There was also the need to not consider too many alternatives, since alternatives could become interdependent, or the evaluation process becomes slow, prolonged and agreements become difficult to reach.

Identification of criteria. The criteria are the way in which alternatives are rated. This section considered factors that define an alternative as better than others.

Hierarchy of criteria. It was considered pertinent to group the criteria under large areas (economic, social, environmental, etc) to consider possible overlapping between them. In this way, the same criteria can be included in different areas; for example, the criterion “employment” can be in the social and economic areas, if the impacts can be considered differently.

Based on the central problem presented, the following alternatives were considered:

Organization. Refers to the vision shared by the users of the basin; it also involves the users of the goods produced. The group considered that this alternative could help reach a consensus on decisions.

Environmental services. This refers to the actions that promote the maintenance of the natural state of the ecosystem. They have a direct influence on the maintenance of life; they bring benefits and well-being to people and communities.

Servicios ambientales. Se refiere a las acciones que promueven el mantenimiento del estado natural del ecosistema. Influyen directamente en el mantenimiento de la vida, generan beneficios y bienestar para personas y comunidades.

Capacitación. Entrenamiento y transferencia de tecnología a usuarios de la cuenca. Se considera que esta alternativa coadyuva en el aprovechamiento racional de los recursos naturales.

Cultura. Se refiere a la transferencia del conocimiento sobre los ecosistemas a diferentes niveles. Esta alternativa implica el entrenamiento de quienes tienen la responsabilidad de educar.

Reforestación con carácter social. Para diferenciar esta alternativa con respecto a servicios ambientales, se agregó el calificativo de “carácter social”. En este se pretende que los usuarios se involucren de manera directa.

Ordenamiento racional. Esta alternativa contempla el crecimiento económico de la localidad de manera ordenada, equitativa y sustentable considerando la capacidad del ecosistema para producir bienes y servicios; involucra el cambio de uso del suelo.

Cumplimiento de la ley. El grupo de decisión consideró que la observancia de las leyes vigentes sobre la materia, reduciría en gran medida el deterioro de los recursos naturales.

Las alternativas fueron evaluadas con base en los siguientes criterios:

Económico. Incluye la capacidad de la alternativa para la generación de empleo, el incremento en productividad y el costo.

Técnico. En este criterio se considera la factibilidad tecnológica de implementar la alternativa.

Social. Representa la capacidad de la alternativa para propiciar el crecimiento equitativo, el bienestar y la unidad.

Ecológico. Contempla el impacto de la alternativa en el desarrollo sustentable, en la biodiversidad y la protección de áreas naturales.

Training. Teaching and transferring technology to users of the basin. This alternative is believed to contribute in the rational use of natural resources.

Culture. Refers to the transfer of knowledge of ecosystems at different levels. This alternative implies training those who have the responsibility of educating.

Reforestation with social aim. To tell this alternative apart from environmental services, the term “social nature” was added. This tries to get users directly involved.

Rational arrangement. This alternative contemplates the economic growth of the area in an orderly, equitable and sustainable fashion, considering the capabilities of the ecosystem for providing goods and services; it involves a change in the use of land.

Abiding the law. The decision group considered that complying with the current laws on the matter would largely reduce the deterioration of natural resources.

The alternatives were evaluated based on the following criteria:

Economic. Includes the capability of the alternative to create employment, and increase productivity and costs.

Technical. This criterion considers the possibility of implementing the alternative.

Social. Represents the capability of the alternative to bring about equitable growth, well-being and unity.

Ecological. Contemplates the impact of the alternative on sustainable development, biodiversity and the protection of natural areas.

RESULTS

The systematization of procedures for decision-making, was performed using DEFINITE[®] software (Janssen *et al.*, 2003). The decision matrix when applying the algorithm (equations 1-4) and the arrangement of Table 3 is shown in Table 4.

RESULTADOS

La sistematización de los procedimientos para la toma de decisiones, re realizó con el software DEFINITE® (Janssen *et al.*, 2003). La matriz de decisión al aplicar el algoritmo (ecuaciones 1-4) y el ordenamiento del Cuadro 3, se presenta en el Cuadro 4.

La comparación por pares de los subcriterios mediante el proceso jerárquico analítico de los criterios aplicados son: económico, social y ecológico (Cuadro 5); los pesos generales de éstos criterios se muestran en el Cuadro 6.

El vector eingen (última columna de las matrices) se obtuvo de la siguiente manera: ejemplo para la primera matriz del Cuadro 5.

$$\sum_{i,j=1}^{i,j=m,n} [w_{i,j}]^{\frac{1}{n}} = (1*3*3)^{\frac{1}{3}} + (0.33*1*1)^{\frac{1}{3}} + (0.33*1*1)^{\frac{1}{3}} \quad 5) \\ = 2.08 + 0.69 + 0.69 = 3.46$$

The comparison of pairs of subcriteria using the analytical hierarchical processes of the applied criteria are: economic, social and ecological (Table 5); the general weights of these criteria are shown in Table 6.

The eigenvector (last column of the matrices) was obtained as follows: example for the first matrix of Table 5.

$$\sum_{i,j=1}^{i,j=m,n} [w_{i,j}]^{\frac{1}{n}} = (1*3*3)^{\frac{1}{3}} + (0.33*1*1)^{\frac{1}{3}} + (0.33*1*1)^{\frac{1}{3}} \quad 5) \\ = 2.08 + 0.69 + 0.69 = 3.46$$

The partial sum of every addend is then divided by 3.46 to obtain the last vector of the matrices. Likewise, the eingen vector was worked out for the matrix in Table 6, only changing the exponent in equation 5 as: $\sum_{i,j=1}^{i,j=m,n} [w_{i,j}]^{1/4}$. In this case, only the weight of each partial criterion was pondered, by the global criterion, [eg. $(0.169*0.6 = 0.101, 0.169*0.2 = 0.034, \dots)$].

Cuadro 4. Matriz de decisión que muestra las alternativas (columnas) y los criterios para su evaluación (renglones).
Table 4. Decision matrix showing the alternatives (columns) and the criteria for their evaluation (rows).

Características	Organización	Servicios ambientales	Capacitación	Cultura	Ordenamiento racional	Cumplimiento de la ley
Económico						
Generación empleo	0.75	0.9	0.75	0.8	0.6	0.7
Productividad	0.7	0.8	0.75	0.8	0.8	0.8
Costo	-0.5	-0.7	-0.6	0.2	0.8	0.8
Técnico						
Factibilidad	0.7	0.8	0.7	0.9	0.8	0.85
Social						
Equidad	0.85	0.7	0.6	0.9	0.85	0.8
Unidad	0.9	0.7	0.7	0.8	0.85	0.7
Bienestar	0.65	0.8	0.8	0.8	0.9	0.85
Ecológico						
Sustentable	0.7	0.86	0.7	0.9	0.9	0.95
Biodiversidad	-0.75	-0.7	-0.6	0.8	0.8	0.9
Protección de áreas naturales	-0.65	-0.6	-0.6	0.9	0.9	0.95

Cuadro 5. Matrices resultantes de la comparación por pares.
Table 5. Matrices obtained from the comparison of pairs.

Comparación por pares respecto al criterio económico				
	Generación empleo	Productividad	Costo	Eigenvector
Generación de empleo	1	3	3	0.6
Productividad	0.33	1	1	0.2
Costo	0.33	1	1	0.2

Cuadro 5. Matrices resultantes de la comparación por pares. (Continuación).
Table 5. Matrices obtained from the comparison of pairs. (Continuation).

Comparación por pares respecto al criterio social				
	Equidad	Unidad	Bienestar	Eingenvector
Equidad	1	3	1	0.48
Unidad	0.33	1	1	0.221
Bienestar	1	1	1	0.319
Comparación por pares respecto al criterio ecológico				
	Sustentabilidad	Biodiversidad	Protección áreas naturales	Eingenvector
Sustentabilidad	1	3	1	0.429
Biodiversidad	0.33	1	0.33	0.143
Protección de áreas naturales	1	3	1	0.429

Cuadro 6. Peso ponderado al considerar los pesos relativos de los subcriterios y el peso del criterio central.
Table 6. Weight pondered when considering the relative weights of the subcriteria and the weight of the central criterion.

Características	c/b	Unidades	Método de estandarización	Rango mínimo	Rango máximo	Peso global del criterio	Peso del subcriterio	Peso ponderado
Económico						0.169		
Generación de empleo	b	Directo	Intervalo	0.6	0.9		0.6	0.101
Productividad	b	Directo	Intervalo	0.7	0.8		0.2	0.034
Costo	b	Directo	Intervalo	-0.7	0.8		0.2	0.034
Técnico						0.096		
Factibilidad	b	Directo	Intervalo	0.7	0.9		1	0.096
Social						0.368		
Equidad	b	Directo	Intervalo	0.6	0.9		0.46	0.169
Unidad	b	Directo	Intervalo	0.7	0.9		0.221	0.081
Bienestar	b	Directo	Intervalo	0.65	0.9		0.319	0.117
Ecológico						0.368		
Sustentabilidad	b	Directo	Intervalo	0.7	0.95		0.429	0.158
Biodiversidad	b	Directo	Intervalo	-0.75	0.9		0.143	0.053
Protección	b	Directo	Intervalo	-0.65	0.95		0.429	0.158

c/b= se refiere si el criterio es un costo (c) o un beneficio (b).

Posteriormente, se divide la sumatoria parcial de cada sumando entre 3.46, para obtener el último vector de las matrices. De igual manera se procedió para el vector eigen de la matriz en el Cuadro 6, sólo cambiando el exponente de la ecuación 5 como: $\sum_{i,j=1}^{i,j=m,n} [w_{i,j}]^{1/4}$. En este último caso se ponderó solamente el peso de cada criterio parcial por el global, [eg. $(0.169*0.6=0.101, 0.169*0.2=0.034, \dots)$].

Aplicando la ecuación 4 para el índice de inconsistencia a cada matriz del Cuadro 5 y para el cálculo de $\lambda_{\max}$ se procede como:

Applying equation 4 for the inconsistency ratio to each matrix of Table 5 and for the calculation of $\lambda_{\max}$ the procedure is as follows:

$$Aw = \lambda_{\max} = \sum_{i,j}^n [A_{ij} w_i] = (A_{1,1} w_1) + (A_{1,2} w_2) + (A_{1,3} w_3) \quad (6)$$

Where: w_i is the value of the eigen vector. For example, for the first row of the first matrix of Table 5, the procedure is as follows:

$$\lambda_{\max} = (1*0.6) + (3*0.2) + (3*0.2) = 1.8$$

$$Aw = \lambda_{\max} = \sum_{i,j}^n [A_{ij} w_i] = (A_{1,1} w_1) + (A_{1,2} w_2) + (A_{1,3} w_3) \quad 6)$$

Donde: w_i es el valor del vector eigen. Por ejemplo para el primer renglón de la primera matriz del Cuadro 5 se procede como:

$$\lambda_{\max} = (1 \cdot 0.6) + (3 \cdot 0.2) + (3 \cdot 0.2) = 1.8$$

Así los valores resultantes de $\lambda_{\max}$ para la primera matriz fueron: 1.8, 0.598 y 0.598. Al dividir estos resultados entre el respectivo valor eigen, su promedio resulta en 2.99. Aplicando la ecuación 4 se obtiene que $IC = |0.0033|$. Dado que $n = 3$ del Cuadro 2 se obtiene un valor de 0.58, de esta manera el cociente de inconsistencia es $\frac{0.0033}{0.58} = 0.005 < 0.1$; por lo tanto, los juicios emitidos son válidos. De esta forma se procedió para cada matriz observándose el mismo resultado.

En el “ordenamiento” de las alternativas acorde a los criterios aplicados, se observó que “cultura” fue la mejor seguida de “ordenamiento racional” y “cumplimiento de la ley” (Figura 4). Los diferentes colores en la barras significan la contribución parcial de cada criterio en el puntaje final; así, para la alternativa “cultura” el criterio ecológico fue el que más contribuyó para que esa alternativa quedara en la primera posición. Más de la tercera parte del puntaje final de la alternativa “cultura” se originó de la contribución del criterio “ecológico”. Los colores de la barra muestran que la influencia de los criterios “técnico” y “económico” es limitada, debido a los bajos pesos asignados a estos criterios.

Las puntuaciones totales, si variara sistemáticamente el peso de los criterios, se manifiesta como la Figura 5. La primera quinta parte de la gráfica muestra el resultado global obtenido. La segunda, resulta al asignar un peso de 0.5 al criterio económico y el otro 0.5 se divide de manera equitativa en los otros criterios. La tercera, se obtiene al considerar el valor de 0.5 al criterio técnico y el restante 0.5 se divide de manera equitativa en los otros criterios; de esta manera se obtienen las porciones restantes.

Las alternativas capacitación y organización aparecen al final en todos los ordenamientos. Su valor se mejora sensiblemente en los criterios social y económico pero aún así son dominadas por las otras alternativas. En este procedimiento y bajo el criterio ecológico, la alternativa “cumplimiento de la ley” adquiere relevancia ocupando el primer lugar; de igual manera, la alternativa “cultura” adquiere relevancia bajo el criterio técnico.

Therefore, the values for $\lambda_{\max}$ for the first matrix were: 1.8, 0.598 and 0.598. When dividing these results by the respective eigen value, the average is 2.99. Applying equation 4 we get that $IC = |0.0033|$. Given that $n = 3$, from Table 2 it is obtained a value of 0.58, therefore the quotient of inconsistency is $\frac{0.0033}{0.58} = 0.005 < 0.1$, and the judgments are valid. This was the procedure for each matrix, and the same result was obtained.

In the “arrangement” of the alternatives according to the criteria applied, “culture” was the best, followed by “rational arrangement” and “abiding the law” (Figure 4). The different colors in the bars stand for the partial contribution of each criterion in the final score; in this way, for the alternative of “culture” the ecological criterion contributed the most for this alternative to be in first place. Over a third of the final score of the alternative of “culture” came from the contribution of the “ecological criterion”. The colors of the bar show that the influence of the “technical” and “economic” criteria is limited, due to the low weights assigned to these criteria.

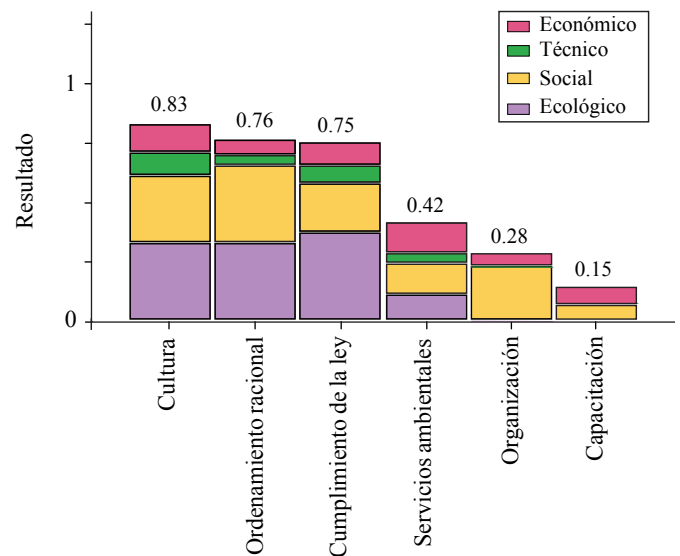


Figura 4. Ordenamiento de alternativas acorde a la jerarquía impuesta.

Figure 4. Arrangement of alternatives according to the hierarchy imposed.

The total scores, should the weight of the criteria vary systematically, are displayed as in Figure 5. The first fifth of the graph shows the global result. The second fifth derives from assigning a weight of 0.5 to the economic criterion and the remaining 0.5 is split equitably between the other criteria. The third fifth is obtained

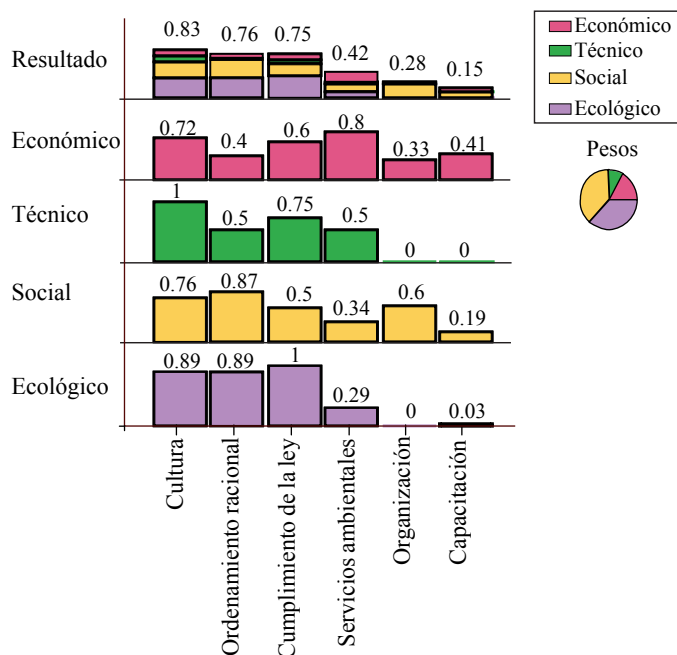


Figura 5. Cambios en la jerarquía de alternativas al variar sistemáticamente el peso de los criterios.
Figure 5. Changes in the hierarchy of alternatives when systematically changing the weight of the criteria.

CONCLUSIONES

No obstante, los diferentes intereses y objetivos de los participantes, para el caso de la Sierra de Lobos, la matriz de decisión obtuvo un consenso aceptable.

Las soluciones propuestas van más allá del aspecto técnico. Las alternativas “cultura”, “ordenamiento racional” y “cumplimiento de la ley” son de aplicación inmediata e involucran procesos de concientización y participación ciudadana, así como los tres órdenes de gobierno.

El componente cultural es importante para la sustentabilidad de los recursos naturales; sin embargo, no se considera de aplicación inmediata por lo que es pertinente considerar la alternativa “capacitación”, la cual podría tener efecto sobre las alternativas “cultura” y “cumplimiento de la ley”.

Las organizaciones de usuarios de los recursos naturales (comités hidráulicos y consejos de cuenca) presentes en la Sierra de Lobos, deben ser promotores de la observancia de la ley. La participación comunal incrementa la eficiencia en los procesos de manejo y conservación de los recursos naturales.

when considering the value of 0.5 to the technical criterion and rest 0.5 is divided of equitable way in the other criteria; this is how the remaining portions are obtained.

The alternatives of training and organization appear at the end in all the arrangements. Their value improves considerably in the social and economic criteria, but is still dominated by the other alternatives. In this procedure, and under the ecologic criterion, the alternative of “abiding by the law” becomes relevant, taking the first place; likewise, the alternative of “culture” acquires relevance under the technical criterion.

CONCLUSIONS

Despite the different interests and aims of the participants, for the case of Sierra de Lobos, the decision matrix obtained an acceptable consensus matrix.

The suggested solutions go beyond the technical aspect. The alternatives of “culture”, “rational arrangement” and “abiding by the law” are immediately applicable and involve processes for raising awareness and the participation of citizen, as well as the three orders of government.

The cultural component is important for the sustainability of natural resources; however, it is not considered immediately applicable, and therefore it is recommended to consider the alternative of “training”, which could have an effect on the alternatives “culture” and “abiding by the law”.

The organizations of users of natural resources (water committees and basin councils) wich exist in Sierra de Lobos, must be promoters of the law. Common participation can increase efficiency of the natural resource management and conservations programs.

End of the English version



LITERATURA CITADA

American Water Resources Association (AWRA). 2001. Proc. Conf. Decision Support Systems for Water Resources Management. Snowbird, Utah. AWRA, Middleburg, VA. 38 p.

- American Water Resources Association (AWRA). 2002a. J. American Water Resources Association. 38(2):337-586.
- American Water Resources Association (AWRA). 2002b. American Water Resources Association. 38(4):895-1155.
- Dourojeanni, A. 2000. Procedimientos para el desarrollo sustentable. Naciones Unidas, CEPAL, ECLAC. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Santiago, Chile. 372 p.
- Eastman, J. R. 1999. Idrisi 32 tutorial. Clark Labs. Clark University. EUA. 298 p.
- El-Swafi, S.A. and Yakowitz, D. S. 1998. Multi objective decision making for land water and environmental management: Proc. Int. Conf. multiple objective decision support systems (MODSS) for Land Water and Environmental Management. 1st. Honolulu, HI. Lewis Publishers. Boca Raton, FL. 62 p.
- Heilman, P.; Stone, J.; Sanchez, C. I.; Macias, R. H. and Man, R. S. 2006. Working smarter: *In*: modeling and remote sensing applied to agriculture (USA and Mexico). Editores. Richardson, C.; Báez, A. and Tiscareño, M. 250 p.
- Janssen, R.; Van Herwijen, M. and Beniat, M. 2003. Definite. Case studies and user manual. Amsterdam. 375 p.
- Johnson, P. and Lachman, B. 2001. Rapid scan of decision support system tools for land-use related decision making. Paper prepared for association for biodiversity information. URL: <http://www.natureserve.org/library/toolsum.pdf>.
- Lane, D. S.; Yakowitz, J.; Stone, J.; Hernández, M.; Heilman, P.; Imam, B.; Masterson, B. and Abolt, J. 1994. A multiple objective decision support system for the USDA water quality initiative. SWRC, Tucson. Az. 8 p.
- Lawrence, P. A. and Robinson, J. 2002. In Proc. Int. Conf. on multiple objective decision support systems for land, water and environmental management (MODSS'99). 2nd. Brisbane, Australia. Report QNRM02143. Queensland Dependence Natural Resources. QLD, Australia. URL: <http://www.coastal.crc.org.au/modss/conference99.asp>.
- Letcher, R. A. and Jakeman, A. J. 2003. Application of an adaptive method for integrated assessment of water allocation issues in the Namoi River Catchment. Australia. Integrated Assessment. 4(2):73-89.
- Loucks, D. P. and Van Beek, E. 2005. Water resources systems planning and management. An introduction to methods, models and applications. USA. 39-56 pp.
- Power, D. J. 2007. A brief history of decision support systems. DSSResources. COM. World Wide Web. URL: <http://DSSResources.COM/history/dsshistory.html>.
- Rizzoli, A. E. and Jakeman, A. J. 2002. Integrated assessment and decision support: Proc. Biennial Meeting Int. Environmental Modeling and Software Society. 1st. University of Lugano. Switzerland. 85 p.
- Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. J. Math. Psychology. 15(3):234-281.
- Saaty, T. L. and Vargas, L. G. 1984. Comparison of eigenvalue and logarithmic least squares and least squares methods in estimating ratios. Mathematical Modelling. 5:309-324.
- Saaty, T. L. 2006. A framework for making a better decision. Research review. University of Pittsburg. Katz School of Business. 13(4):328-340.
- Sánchez, C. I.; Macias, R. H.; Heilman, P. and Mann, R. 2005. Planning for increasing irrigation efficiency in Mexico. In institutions for sustainable watershed management: reconciling physical and management ecology in the asia-pacific. AWRA. Summer Specialty Conference. Honolulu, Hawái. 45 p.
- Sánchez, C. I. 2005. Fundamentos para el aprovechamiento integral del agua. Una aproximación de simulación de procesos. INIFAP. CENID. RASPA. Gómez Palacio, Durango. Libro científico. Núm. 2. 272 p.
- Sánchez, C. I.; Macias, R. H.; Heilman, P.; González, G. C.; Mendoza, M. S. F.; Inzunza, I. M. A. y Estrada, A. J. 2006. Planeación multiobjetivo en los distritos de riego de México. Aplicación de un sistema de auxilio para la toma de decisiones. Ingeniería Hidráulica en México. 21(3):101-111.
- Sánchez, C. I.; Estrada, Á. J. y Cueto, W. J. A. 2008. Toma de decisiones en grupo para el manejo de los recursos naturales. Métodos de análisis y criterios de selección. INIFAP. CENID. RASPA. Folleto científico. Núm. 24. 73 p.
- Squillace, M. S. 2008. Embracing a civic republican tradition in natural resources decision planning. University of Colorado. Legal Studies Research. Paper No. 08-02. URL: <http://ssrn.com/abstract=1082008>.