

TOMA DE DECISIONES PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES*

DECISION MAKING FOR SUSTAINABLE DEVELOPEMENT OF NATURAL RESOURCES

Ignacio Sánchez Cohen^{1§}, Gabriel Díaz Padilla², Rafael Guajardo Panes³ e Hilario Macías Rodríguez¹

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

RESUMEN

El deterioro gradual y persistente al que están sujetos los ecosistemas, indican que la aproximación de estudio para proveer de soluciones holísticas, debe ser el manejo integrado de recursos naturales. Éste enfoque va más allá de sumar partes, más bien busca la integración de componentes en uno o más objetivos de beneficio común. El diseño de estrategias para este fin, debe incluir a una amplia gama de actores principalmente a aquellos que serán beneficiarios del proceso; es decir, en un proceso incluyente, diverso y multi objetivo. En el presente estudio se dilucida un método para resolver el triángulo de desarrollo sustentable, que implica un crecimiento económico, equitativo y no degradante de los recursos naturales. Las alternativas propuestas consideran tres aspectos fundamentales: 1) transformación productiva; 2) servicios sociales; y 3) conservación de recursos naturales. Los criterios para evaluar estas alternativas, son aquellos que describen a los catetos de este triángulo: 1) equidad; 2) sustentabilidad; y 3) crecimiento económico. Cada uno de estos criterios es dividido en sub criterios: 1) social; 2) ambiental; y 3) económico. El algoritmo es sistematizado en un sistema de ayuda para la toma de decisiones (DSS definite). Los resultados indican que las alternativas capacitación y acceso al crédito, son los mejores cursos de

ABSTRACT

The gradual and persistent deterioration bound to the ecosystems, indicate that the study's approach to provide holistic solutions, must be the integrated natural resource management. This outlook goes beyond summing parts; moreover, it seeks the integration of components and objectives for the common good. Designing strategies with this goal in mind implies to including a vast array of agents, especially those that will benefit themselves during this process; i. e. diverse and multi-objective processes. The present study proposes a method to meet the challenge of the sustainable development triangle encompassing economic growth along with equity and without degrading the environment. Suggested alternatives include three main aspects: 1) a shift in productive schemes; 2) social services; and 3) conservation of natural resources. Criteria to evaluate these alternatives are, thus, those that define the catheti of the triangle, namely: 1) equity; 2) sustainability; and 3) economic growth. Each of these divided in sub-categories: 1) social; 2) environmental; and 3) economic. The algorithm is systematized with a decision support system (DSS definite). The results show that access to credits and training are the best alternatives,

* Recibido: enero de 2011
Aceptado: agosto de 2011

acción independientemente del orden jerárquico impuesto a los criterios. También el análisis de sensibilidad, muestra que las alternativas son más sensibles al cambio de peso en el criterio sustentabilidad, que en los criterios equidad y crecimiento económico.

Palabras clave: decisión, manejo, multi objetivo, prácticas.

INTRODUCCIÓN

En el manejo integral de los recursos naturales, es necesario reconocer tanto las características del ciclo hidrológico y su interacción con los ecosistemas, partiendo del punto central que el agua es un recurso finito y el uso sustentable no puede lograrse, si se analizan y se administran por separado las demandas de los diferentes usos, incluyendo el ambiental, o si estas demandas no se contrastan en su conjunto con la oferta limitada del líquido (Sánchez, 1995).

Por otro lado, los recursos naturales debieran percibirse como recursos dinámicos, cuya condición es vital para la sobrevivencia y la conservación del ambiente (Barrios *et al.*, 2001). En esta situación, las técnicas de planeación multi objetivo para la toma de decisiones, analizan el entorno productivo considerando agua, suelo, planta, clima y las acciones del hombre, aspectos que deben ser considerados necesariamente en el manejo integrado del agua a nivel y escala que se trate.

Queda entonces claro que toda acción que se desarrolle en las partes altas de las cuencas hidrológicas, donde se produce gran parte de las disponibilidades de agua de las regiones, impactan invariablemente a las partes bajas en donde habita la mayoría de la población. A esto se tiene que añadir las acciones locales en el gradiente que define a las cuencas, para que se manifieste el impacto real.

En términos generales, el manejo integrado de los recursos naturales, es una aproximación para la solución de problemas en la obtención de cambios estructurales de manera que sea económicamente eficiente, socialmente equitativo y ambientalmente sostenible. Conceptualmente la aproximación del manejo integrado del recurso hidráulico promueve el desarrollo y manejo coordinado del agua, suelo y recursos relacionados, para maximizar el beneficio económico y bienestar de manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas (Krautkraemer, 1985; Kates *et al.*, 2005).

independently of the hierarchy for organizing criteria. Also, sensitivity analysis shows that alternatives are more sensible to weight changes in the sustainability criteria than in the case of equity and economic growth.

Key words: decision, management, multi-objective processes, practices.

INTRODUCTION

Integrated management of natural resources imply recognizing the characteristics of the hydrological cycle and its interaction with other natural resources and the ecosystem, departing from the premise that, water constitutes a finite resource and that its sustainable use cannot be achieved if the demands for its distinct uses are analyzed and administered separately, or if these demands exceed the limited supply of the liquid (Sánchez, 1995).

Also, natural resources should be taken as dynamic resources that are vital for survival and environmental conservation (Barrios *et al.*, 2001). This said, multi-objective planning techniques for decision making consider the productive environment including water, soil, plants, weather and human activities, aspects that ought to be accounted for, at any level when integrally managing water.

It must be clear that any action that takes place in the upper part of a basin, where most available water is produced, will impact the lower parts of the basin, an area where human populations are usually settled. Besides, one must add local actions in the gradient that defines basins in order to see the real impact manifestation.

In general terms, integrated management of natural resources is a problem solving approach to make structural changes in a way that is economically efficient, socially equitable, and environmentally sustainable. Conceptually, it promotes the coordinated management and development of water, soils and related resources in order to maximize the economic benefits and wellbeing in an equitable fashion without compromising the sustainability of ecosystems (Krautkraemer, 1985; Kates *et al.*, 2005).

In operational terms, it involves applying the knowledge of various disciplines and diverse viewpoints in order to design and implement equitable, efficient and

Operacionalmente involucra la aplicación de conocimiento de varias disciplinas, así como puntos de vista de diversos actores para diseñar e implementar soluciones equitativas, eficientes y sustentables a problemas del agua y el desarrollo (Ananda y Herath, 2003; Sánchez, 2006; Sánchez *et al.*, 2010).

También ha quedado de manifiesto que los problemas de deterioro de los recursos naturales son comunes en todos los países, por lo que las experiencias en la materia de su manejo pueden ser documentadas y compartidas bajo esquemas de desarrollo de interés común. Por otro lado, la incertidumbre climática que ha caracterizado los ecosistemas áridos, donde se ubican los principales distritos de riego del país, ha manifestado vulnerabilidad de estos con mayor énfasis en el norte del país. En esta porción del territorio nacional vive 76% de la población total, están establecidas 70% de las industrias y se localiza 40% de las tierras arables, cuyo máximo potencial se ubica en los distritos y unidades de riego (Sánchez, 2005).

El problema de conciliar intereses en el manejo de recursos naturales es complejo, ya que los usuarios de los recursos naturales manifiestan múltiples objetivos, con el consecuente impacto en el corto plazo (Sánchez, 2005). Este conflicto de intereses, el mercado del agua y otras situaciones características de los diferentes lugares, indican que la aproximación debe ser de carácter multi objetivo y con la participación de los usuarios en el proceso de planeación (Anselin *et al.*, 1989). La teoría de decisión multiobjetivo viene a solventar parcialmente la situación, al considerar todos los intereses, opciones e impactos de posibles acciones (Saaty y Vargas, 1984; Heilman *et al.*, 2003; Macías, 2005; Saaty, 2006).

MATERIALES Y METODOS

Método de aproximación

La Figura 1 señala los diferentes aspectos que se debieran considerar en el proceso de toma de decisiones, cuando hay objetivos en conflicto. La estrategia no consiste en sumar partes, sino en integrar componentes en uno o más objetivos de beneficio común, en donde estén en armonía el crecimiento económico con equidad y sin deteriorar (Dourojeanni, 2000; Sánchez *et al.*, 2010). En este proceso no se busca el dominio de una opinión con respecto de otras, se trata de integrar puntos de vista en acuerdo con

sustainable solutions to problems of water and development (Ananda and Herath, 2003; Sánchez, 2006; Sánchez *et al.*, 2010).

It has also become clear, that the problems of natural resource depletion and development are common to all countries, making it desirable to document and share all experiences of integrated management. On the other hand, climatic uncertainty that has characterized arid ecosystem, where the main irrigation districts of Mexico are located, has made their vulnerability manifest, especially to the north. In this region, a seventy six percent of the total population is settled, with seventy percent of industries, and forty percent of arable lands that have greatest potential in irrigation district and units (Sánchez, 2005).

The problem of negotiating interests surrounding natural resource management is quite complex, as the users have multiple objectives with short-term impact (Sánchez, 2005). Thus, this conflict of interest in the water market and other situations typical of each place indicate that the approximation ought to be a multi-objective process, including the participation of users of natural resources in the planning process (Anselin *et al.*, 1989). The theory of multi-objective decisions tries to solve the situation partially as it considers all interests, options and possible outcomes (Saaty and Vargas, 1984; Heilman *et al.*, 2003; Macías, 2005; Saaty, 2006).

MATERIALS AND METHODS

Approaching method

The Figure 1 shows all ideally aspects considered in the process of decision making, when facing conflicted objectives. The strategy is not the sum of the parts, but instead, it seeks to integrate components in one or more common-good objectives where the economic growth is in tune with equity and sustainability (Dourojeanni, 2000; Sánchez, *et al.*, 2010). In this process, the aim is to integrate different viewpoints stemming from participants' experiences, which can be of a very different magnitude, thus, establishing an adequate platform for consensual decision making.

When the decision making group reaches an agreement regarding the dimensions that are involved in the problem, that is an adequate starting point for the process, and it is quite possible that the outcome will be consensual,

las experiencias de los participantes, las cuales pueden ser de magnitud diversa estableciendo así una adecuada plataforma, para la toma de decisiones consensuadas.

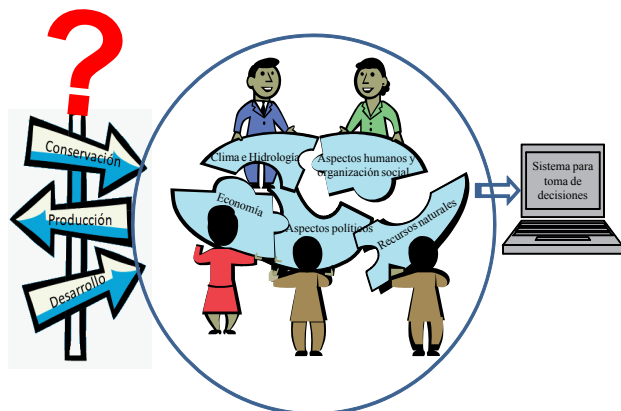


Figura 1. Aspectos que involucra el proceso de toma de decisiones en el manejo integral del agua.

Figure 1. Aspects involved in decision making system for integrated water management.

Cuando el grupo de decisión llega a un acuerdo de las dimensiones involucradas en el problema, se está en punto de inicio adecuado para todo el proceso y seguramente se arribará a decisiones consensuadas, incluyentes, multidisciplinarias y sobre todo, multi objetivo. Los objetivos esenciales del manejo integral del agua contemplan tres grandes dimensiones, que involucra los aspectos arriba mencionados: dimensión económica (crecimiento económico), dimensión social (crecimiento equitativo) y dimensión ambiental (crecimiento sustentable), pero no existe un común denominador de evaluación y medición, se manejan y evalúan de manera independiente (Figura 2).

La Figura 2 muestra el triángulo de equilibrio para el desarrollo sustentable; sin embargo, acorde a Dourojeanni (2000) éste es difícil evaluar dadas las diferentes unidades para expresar los objetivos señalados. Ante esta situación, es pertinente el uso de esquemas que contemplen la estandarización de las variables en aras de hacerlas comparables. Los sistemas de auxilio para la toma de decisiones (DSS), constituyen una herramienta para lograr tal fin (Sánchez, 2006). Considerando las interacciones antes anotadas, resulta pertinente que la definición de los problemas así como los cursos de acción, sean planteados por los usuarios de la cuenca, para su posterior evaluación. Existen diversos métodos para ésta definición de problemas;

inclusive, multidisciplinary, and especially multi-objective decisions. The main objectives involved in an integrated water management include three vast aforementioned dimensions: the economic dimension (economic growth), the social dimension (equitable growth), and the environmental dimension (sustainable growth), but there is no common evaluation criteria, and they are managed, measured and evaluated independently (Figure 2).

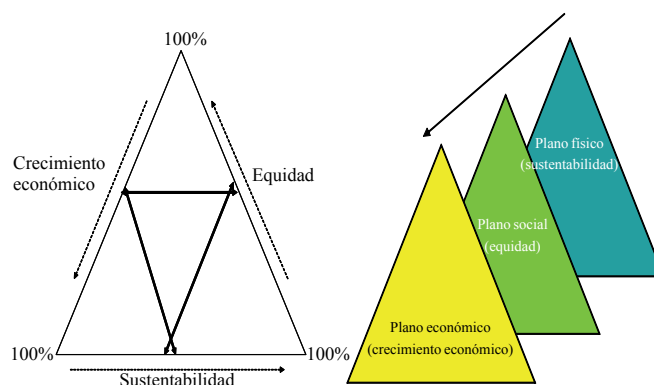


Figura 2. Triángulo de crecimiento sustentable e integración de planos de solución (Dourojeanni, 2000).

Figure 2. Sustainable growth triangle and integration of other dimensions and solutions (Dourojeanni, 2000).

The Figure 2 shows an equilibrium triangle for sustainable development; however, according to Dourojeanni (2000), it is hard to evaluate, given the different unities to express the objectives set forth in the sides of the figure. Thus, the use of a scheme that contemplates the standardization of variables to make them comparable is pertinent. The use of decision support systems (DSS) constitutes a useful tool for this (Sánchez, 2006). Considering the aforementioned interactions, it is pertinent to let the users of the basin define the problems and possible courses of action (or other relevant domains), in order to subsequently evaluate them. There are diverse methods for defining problems; however, the ultimate objective is to making a matrix of problems and possible solutions to be evaluated by the use of decision support systems (DSS).

Support systems for decision making

One of the tools in order to prioritize management practices for natural resource conservation is the multi-criteria decision analysis, specifically multi-objective decision making (Heilman *et al.*, 2003).

sin embargo, el objetivo final es la construcción de la matriz de problemas y posibles soluciones para ser evaluadas por el DSS.

Los sistemas de auxilio en la toma de decisiones

Una de las herramientas para jerarquizar prácticas de manejo en la conservación de los recursos naturales, son los sistemas de auxilio en la toma de decisiones, también llamados sistemas multi objetivo para la toma de decisiones (Heilman *et al.*, 2003).

El significado y utilidad de los DSS depende del objetivo y los usuarios; así, existen dos categorías generales de los DSS: 1) apreciación cualitativa (principalmente fundamentada en formatos de papel), de los efectos de las prácticas de manejo sobre la permanencia de los recursos naturales; y 2) sistemas basados en programas computacionales que combinan bases de datos, modelos de simulación, teoría de decisión multi objetivo 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. Así, los modelos de simulación que se utilicen para parametrizar variables de decisión, deberán tener la capacidad de cuantificar las variables de interés. Sin embargo, acorde a Lawrence (1996), la complejidad de los modelos de simulación (medida está en función del número de variables que involucra) y la disponibilidad de datos, son aspectos que se deben considerar al parametrizar variables de decisión.

Estos factores afectan la eficiencia de los DSS. En éste método, el efecto de cada sistema de manejo en cada variable de decisión es cuantificado usando tres fuentes de información: 1) mediciones de campo; 2) opinión de expertos; y 3) modelos de simulación.

Solución del triangulo de desarrollo sustentable en el manejo integral del agua

La matriz de decisión

Las alternativas para la evaluación del triángulo de desarrollo sustentable descrito arriba, deben considerar tres aspectos fundamentales: 1) transformación productiva; 2) servicios sociales; y 3) conservación de recursos naturales. Los criterios para evaluar estas alternativas son aquellos que describen a los catetos de este triángulo; es decir: 1) equidad,

The meaning and utility of decision support systems (DSS) depends on objectives and users. There are two general categories of DSS: 1) qualitative outlook (mainly conducted through paper formats) of the effects of management practices over natural resource and their permanence; and 2) systems based in computer programs that combine databases, simulation models, multi-objective decision theory and a graphic user interface.

These last systems have the capacity to work with information obtained from stimulation models, measurable data and experts' opinions. Thus, in order to make decision variables parametric, the stimulation models used, must have the capacity to quantify the variables of interest. However, according to Lawrence (1996), the complexity of stimulation models (measured according to the number of variables implied) and data availability are the main aspects to consider when setting the parametric decision variables.

These factors affect the efficiency of DSS. In this method, the effect of each system of management in each decision variable is quantified using three sources of information: 1) fieldwork measurements; 2) experts' opinion; and 3) simulation models.

Solving the sustainable development triangle in integrated water management

The matrix decision

The alternatives for evaluating the sustainable development triangle described above, must considered three fundamental aspects: 1) a shift in productive schemes; 2) social services; and 3) conservation of natural resources. The criteria to evaluate these alternatives are, those that define the catheti of the triangle, namely: 1) equity; 2) sustainability; and 3) economic growth. Each of these divided in sub-categories: 1) social; 2) environmental; and 3) economic.

Succinctly, we seek to identify the courses of action that favor equitable economic growth without degrading or compromising the natural resources. The solution is circumscribed in the interior triangle of Figure 2. This said, in terms of the integration of information for the use of DSS, it is necessary to design a matrix decision in order to outline the problems and possible solutions.

2) sustentabilidad; y 3) crecimiento económico. Cada uno de estos criterios es dividido en sub criterios: 1) social; 2) ambiental; y 3) económico.

Por lo tanto, se busca identificar aquellos cursos de acción, que propicien el crecimiento económico equitativo sin deteriorar o comprometer los recursos naturales. La solución se encuentra circunscrita en el triángulo interior de la Figura 2. En esta tesitura y en términos de la integración de información para el uso de los DSS, es necesario el diseño de una matriz de decisión, en donde se plasmen los problemas y posibles alternativas de solución.

Las alternativas consideradas en cada aspecto mencionado son: 1) transformación productiva (nuevas especies, cambio de patrón de cultivos y cambio de vocación de la tierra); 2) servicios sociales (acceso a servicios, acceso a crédito y aplicación de la ley); y 3) conservación de recursos naturales (capacitación y servicios ambientales). Cada una de estas alternativas es evaluada a la luz de cada criterio (equidad, sustentabilidad y crecimiento económico).

Solución de la matriz de decisión

Dado que se pretende encontrar el punto de equilibrio del triángulo de desarrollo sustentable, es necesario jerarquizar los criterios en un determinado orden de importancia y evaluar las alternativas acordemente; posteriormente, se cambia el orden de jerarquía y se evalúa la matriz. El mejor caso es donde una alternativa predomina persistentemente e independiente del orden jerárquico impuesto.

Para esto, si V_{ij} es el score de la alternativa j evaluada con respecto al criterio i en el orden de importancia, y w_i es un factor de peso asociado con el criterio i , entonces el score más alto o bajo y el mejor o peor, para la alternativa j en congruencia con el orden de importancia, se encuentra resolviendo el siguiente problema lineal descrito para los pesos w_i (Yakowitz, 1983).

$$\begin{aligned} \max (\min) V_j &= \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ \text{sujeto a } \sum_{i=1}^n w_i &= 1 \\ w_1 \geq w_2 \dots \geq w_n &\geq 0 \end{aligned} \quad 1)$$

De la ecuación 1 para ambos casos minimizar ó maximizar, la primera restricción normaliza la suma de los pesos a 1; de igual manera, la segunda restricción hace que la solución sea consistente con el orden de importancia y fuerza a que los pesos sean positivos. La solución de los dos problemas

The alternatives considered for each aspect are: 1) shift in productive schemes (new species, changes in crop patterns and changes in soil's use); 2) social services (access to services, access to credits, law enforcement); and 3) conservation of natural resources (training y environmental services). Each of these alternatives is evaluated according to each criterion (equity, sustainability and economic growth).

Solving the matrix decision

Given that, we seek to find the equilibrium point of the sustainable development triangle, it is necessary to establish a place for the criteria according to their importance, and evaluate alternatives accordingly; subsequently, the order is changed and the matrix is evaluated. The best case is when an alternative predominates independently of the order imposed.

For this, if V_{ij} is the score for alternative j evaluated with regards to criterion i in the order of importance, and w_i is a weight factor associated with criterion i , then the highest (or lowest) score, and the best (or worst) score for alternative j in congruence with the order of importance, will solve the following linear problem described for the weights w_i (Yakowitz, 1983).

$$\begin{aligned} \max (\min) V_j &= \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ \text{sujeto a } \sum_{i=1}^n w_i &= 1 \\ w_1 \geq w_2 \dots \geq w_n &\geq 0 \end{aligned} \quad 1)$$

For equation 1, in both alternatives of maximizing or minimizing, the first restriction normalizes the sum of weights to 1; equally, the second restriction makes the solution consistent with the order of importance and forces the weights to be positive. The solution to both problems provides the complete rank of possible scored given the order of importance. Thus, any weight vector consistent with the order of importance will produce a score located between the best or worst score (Heilman *et al.*, 2003; Heilman *et al.*, 2004). For setting out and solving the matrix of physical effects in the present study, we used the Definte[®] software (Janssen *et al.*, 2006).

RESULTS

In order to evaluate the alternatives according to different criteria, distinguished specialists in diverse fields involving sustainable development were consulted. The exercise consisted in objectively grading each alternative according

arroja el rango completo de posibles escores dado el orden de importancia. Así, cualquier vector de pesos consistente con el orden de importancia, producirá un escore que se ubica entre el mejor y peor escore (Heilman *et al.*, 2003; Heilman *et al.*, 2004). Para el planteamiento y solución de la matriz de efectos físicos en el presente estudio, se utilizó el software Definte® (Janssen *et al.*, 2006).

RESULTADOS

Para evaluar las alternativas con los diferentes criterios, se convocó a especialistas en las diferentes áreas que involucra el desarrollo sustentable. El ejercicio consistió en calificar de manera objetiva a cada alternativa bajo la luz de los diferentes criterios especificados. Cabe aclarar que las alternativas pueden variar en función de la problemática local o de interés. El resultado de este ejercicio se muestra en el Cuadro 1. La aportación del presente documento es sobre el método para dilucidar el mejor curso de acción, acorde al triángulo de desarrollo sustentable.

Cuadro 1. Matriz de efectos físicos para la solución del triángulo de desarrollo sustentable.

Table 1. Matrix of physical effects to solve the sustainable development triangle.

Criterios	Nuevas especies	Cambio patrón cultivos riego	Cambio vocación tierra	Acceso a servicios	Acceso a crédito	Aplicación de la ley	Capacitación	Servicios ambientales
Sustentabilidad								
Social	+++	+++	+++	++++	+++++	+++++	+++++	++
Ambiental	+++++	+++++	++++	++	+++	++	+++	++++
Económica	+++++	++++	+++	++	+++++	++	++++	+++
Equidad								
Social	++	+++	+++	++++	+++++	+++++	+++++	+++
Ambiental	+++	+++	+++	+++++	+++	++++	+++++	+++++
Económica	+++	+++	+++	+++	+++++	+++++	+++++	++++
Crecimiento económico								
	++	+++	+++	++	++++	++++	++++	+++

En la escala de evaluación mostrada “+” significa poco impacto positivo y “+++++” gran impacto positivo. Para la estandarización de los escores originales se utilizó el método “valor ideal”, en donde los escores son interpolaciones lineales entre un mínimo (0) y un máximo (1). En el caso de los criterios cuya función es “más es mejor” (como el presente estudio en donde todos los criterios caen en esa categoría), la estandarización procedió como sigue: $STD = (\text{escore} - \text{valor mínimo}) / (\text{valor ideal} - \text{valor mínimo})$.

to the different pre-established criteria. It is important to clarify that, alternatives varied according to the local problems or areas of interest. The results are shown in Table 1. The contribution of the present document is the method to find the best course of action, according to the sustainable development triangle.

In the evaluation scale “+” means low positive impact, and “+++++” means high positive impact. In order to standardize the original scores, the “ideal value” method was used, where scores are linear interpolations between a minimum (0) and a maximum (1) value. In the case of criteria whose function is “more is better” (for example, in the present study where all criteria fall under this category), standardization proceeded as follows: $STD = (\text{score} - \text{minimum value}) / (\text{ideal value} - \text{minimum value})$.

For the process of standardizing the values assigned to the alternatives, and for the application of the equation 1, the following order was followed: sustainability, equity, and finally economic growth; results of the different weights are shown in Table 2 and their ranking in Figure 3.

In the Figure 3, it can be seen that, the alternatives: training, access to credit and law enforcement would be the most suitable, in order to reach sustainable development according to the criteria used and the order imposed. It is also clear that the criterion “sustainability” contributed most to render these alternatives as most favorable.

Varying the order imposed on the criteria, and giving more weight to the economic criterion followed by equity and sustainability, the three abovementioned alternatives

Para el debido proceso de estandarización de los valores asignados a las alternativas y para la aplicación de la ecuación 1, se eligió el siguiente orden jerárquico: sustentabilidad, equidad y finalmente crecimiento económico; los resultados de los pesos se muestran en el Cuadro 2 y el ranqueo en la Figura 3.

remained as most adequate; the changes related to the other alternatives, are subordinated to these. For example, the alternative “environmental services” ranked fourth, and the alternative “new species” ranked last (Table 3 and Figure 4).

Cuadro 2. Pesos asignados a la matriz de decisión acorde a la jerarquía impuesta a los criterios: sustentabilidad, equidad y crecimiento económico.

Table 2. Weights assigned to the matrix decision according to the order imposed by the criteria: sustainability, equity, and economic growth.

Criterios	Mínimo	Máximo	Peso nivel 1	Peso nivel 2	Peso final
Sustentabilidad			0.611		
Social	++	+++++		0.611	0.373
Ambiental	++	+++++		0.278	0.17
Económica	++	+++++		0.111	0.068
Equidad			0.278		
Social	++	+++++		0.611	0.17
Ambiental	+++	+++++		0.278	0.077
Económica	+++	+++++		0.111	0.031
Crecimiento económico	++	+++++	0.111		0.111

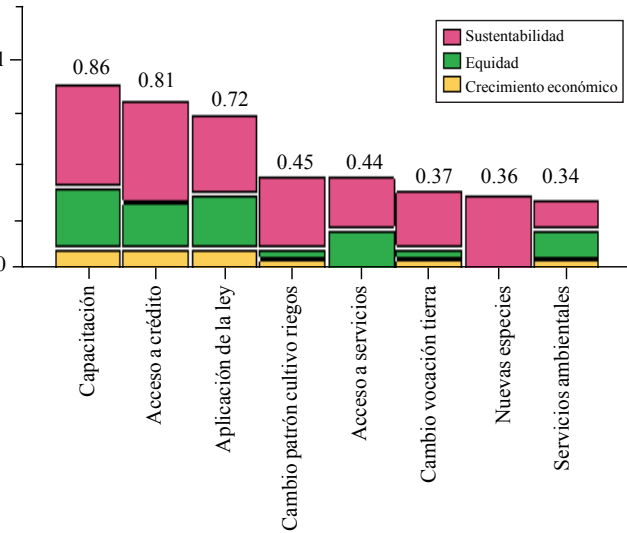


Figura 3. Ranqueo de las alternativas considerando la jerarquía de criterios impuesta.

Figure 3. Ranking of alternatives considering the order of the criteria.

De la Figura 3 se puede observar que las alternativas capacitación, acceso al crédito y aplicación de la ley serían las más adecuadas para lograr el desarrollo sustentable acorde a los criterios utilizados y a la jerarquía de éstos. Se puede observar también que el criterio sustentabilidad fue el que más aportó, para que las alternativas señaladas se posicionaran como las más favorables.

By changing the order of the criteria produces changes in the place of the alternatives, which makes it pertinent to try all possible combinations and, if necessary, go back to the matrix of effects and reevaluate scores. Considering the multi-objective nature of the solution process of the sustainable development triangle, the multidisciplinary participation of users of the basin is vital, in order for alternatives to be comprehensive and to make the matrix of problems and possible solutions to be evaluated by the DSS. In order to make the decision variables in the process of evaluating alternatives parametric, it is important to consider research results, participation of experts, and consult existing databases (Macías, 2005; Sánchez *et al.*, 2006; Sánchez *et al.*, 2008; Sánchez *et al.*, 2010).

Sensitivity analysis of criteria

All decision processes, are subject to vicissitudes that could alter the course of action, making it pertinent to analyze the variation ranks of criteria in order to consider what might be expected if the ranking of alternatives changed their assigned weight in the process of making the matrix decision. This procedure determines scores of alternatives for the specific weight given to a criterion. Given that the sum of criteria is always equal to the unit (equation 1), the weight of other criteria might also change, but the proportion between all other criteria remains constant.

Al variar el orden jerárquico de los criterios dándole más peso al criterio económico seguido de la equidad y sustentabilidad, permanecen las tres alternativas anteriores como las más adecuadas, variando el orden de las otras alternativas que se subordinan a éstas. Por ejemplo, la alternativa servicios ambientales se posiciona en cuarto lugar y la alternativa nuevas especies pasa al último (Cuadro 3 y Figura 4).

The Figures 5, 6, and 7 show the results of sensitivity analyses for the three criteria of the study, making up the catheti of the sustainability triangle (however, it is pertinent to clarify that the sensitivity analysis was only conducted for the second place of order of the criteria suggested: economic growth, equity, and sustainability). In the figures, the value of the alternatives is presented in the “Y” and “X” axes; the variation rank for the weight of each criterion oscillates between 0

Cuadro 3. Pesos asignados a la matriz de decisión acorde a la jerarquía impuesta a los criterios: crecimiento económico, equidad y sustentabilidad.

Table 3. Assigned weights to the matrix decision, according to the order imposed by the criteria: economic growth, equity, and sustainability.

Criterios	Mínimo	Máximo	Peso nivel 1	Peso nivel 2	Peso final
Sustentabilidad			0.111		
Social	++	+++++		0.111	0.012
Ambiental	++	+++++		0.278	0.031
Económica	++	+++++		0.611	0.068
Equidad			0.278		
Social	++	+++++		0.111	0.031
Ambiental	+++	+++++		0.278	0.077
Económica	+++	+++++		0.611	0.017
Crecimiento económico	++	++++	0.611		0.611

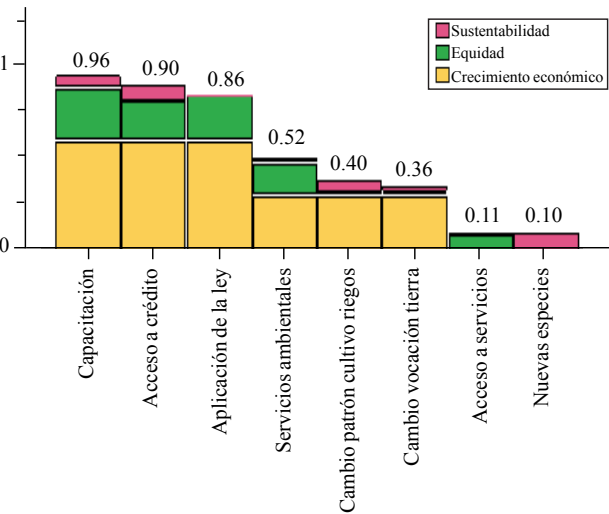


Figura 4. Ranqueo de las alternativas considerando la jerarquía de criterios impuesta.

Figure 4. Ranking of alternatives considering the order of criteria imposed.

and 1. The vertical line shows the value of the original weight (0.111 for the sustainability criterion, 0.278 for equity, and 0.611 for economic growth, Table 3).

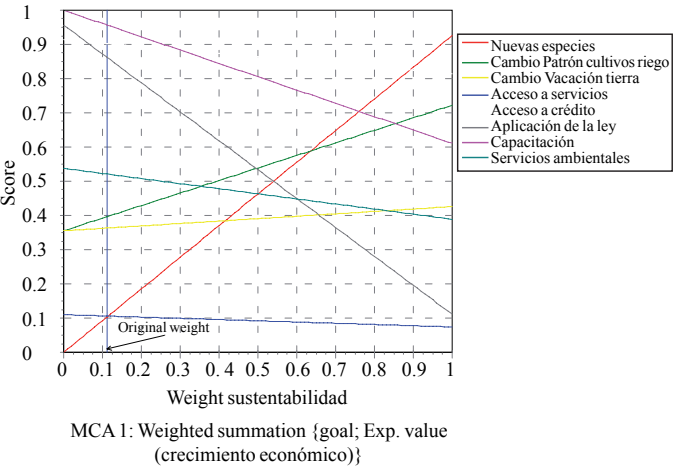


Figura 5. Análisis de sensibilidad para el criterio sustentabilidad.

Figure 5. Sensitivity analysis for the criterion sustainability.

Al variar la jerarquía de los criterios cambia el orden de las alternativas, por lo que es pertinente ensayar las combinaciones posibles y si fuera el caso, regresar a reevaluar la matriz de efectos reconsiderando los escores. Considerando la naturaleza multi objetivo en el proceso de solución del triángulo de desarrollo sustentable, es importante la participación multi disciplinaria para que las alternativas sean propuestas por los usuarios de la cuenca, y 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, (Macías, 2005; Sánchez *et al.*, 2006; Sánchez *et al.*, 2008, Sánchez *et al.*, 2010).

Análisis de sensibilidad de los criterios

Todo proceso de decisión está sujeto a vicisitudes que pudieran cambiar el curso de acción; así resulta pertinente analizar los rangos de variación de los criterios, para obtener una apreciación de lo que pudiera esperarse del Ranqueo de las alternativas, si cambiara el peso asignado a éstos en el proceso de formación de la matriz de decisión. Este procedimiento determina los escores de las alternativas para el peso específico de un criterio. Puesto que la suma de los criterios es siempre igual a la unidad (ecuación 1), los pesos de los otros criterios también cambian, pero la proporción entre todos los demás criterios se mantiene constante.

Las Figuras 5, 6 y 7 muestran el resultado del análisis de sensibilidad para los tres criterios del estudio, que constituyen los catetos del triángulo de sostenibilidad (es pertinente aclarar que solo se realiza el análisis de sensibilidad para el segundo orden jerárquico ensayado de los criterios: crecimiento económico, equidad y sustentabilidad). En dichas figuras, se presenta el valor de las alternativas en el eje de las “Y” y en el eje de las “X”, se presenta el posible rango de variación del peso para el criterio en cuestión que oscila entre 0 y 1. La línea vertical muestra el valor del peso original (0.111 para el criterio sustentabilidad, 0.278 para el criterio equidad y 0.611 para el criterio crecimiento económico) (Cuadro 3).

El análisis de sensibilidad para el criterio sustentabilidad, muestra que a mayor valor de peso del criterio el escore de casi todas las alternativas, tiende a disminuir a excepción de nuevas especies y cambio del patrón de cultivos; las alternativas cambio en la vocación de la tierra, acceso a servicios permanecen relativamente constantes. Cuando

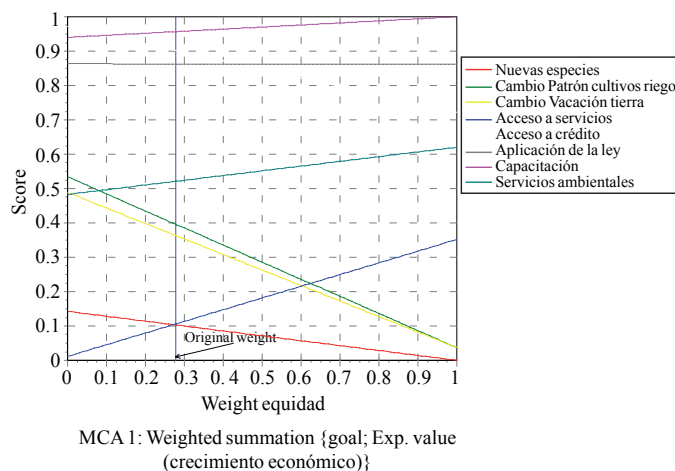


Figura 6. Análisis de sensibilidad para el criterio equidad.
Figure 6. Sensitivity analysis for the criterion equity.

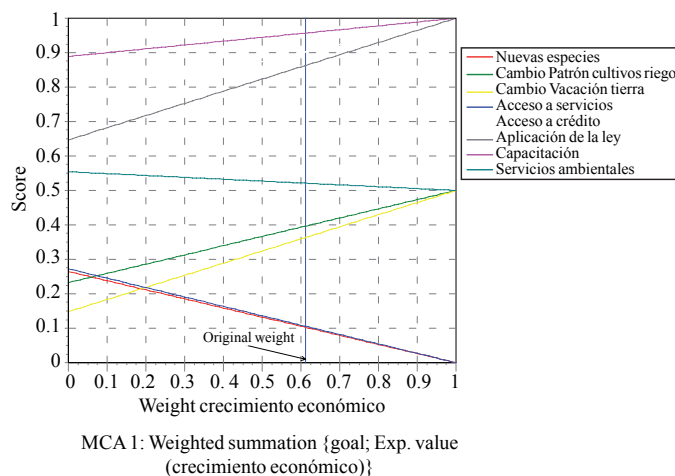


Figura 7. Análisis de sensibilidad para el criterio crecimiento económico.
Figure 7. Sensitivity analysis for the criterion economic growth.

The sensitivity analysis for the criterion “sustainability” shows that the higher the weight of the criterion, the score of almost all alternatives tends to decrease, except for new species and changes in crop patterns; the alternatives changes in soil’s use and access to services remain relatively constant. When the weight of the criterion reaches the value of 0.3, the alternative training stops being the most desirable and it is substituted by the alternative access to credit. In a similar way, if the criterion sustainability reduces its value to 0.06, the alternative law enforcement stops being the second best and is substituted by access to credits. This makes the great sensitivity of the criterion to changes in weight manifest, meaning that special attention should be paid to the design of the decision matrix when selecting the hierarchical order its elements.

el peso del criterio alcanza un valor de 0.3, la alternativa capacitación deja de ser la mejor y es sustituida por la alternativa acceso al crédito. De igual manera si el criterio sustentabilidad redujera su valor a 0.06, la alternativa aplicación de la ley dejaría de ser la segunda mejor y sería sustituida por acceso al crédito. Esto manifiesta la gran sensibilidad del criterio al cambio de peso, por lo que tendría que ponerse especial atención en el diseño de la matriz de decisión, con el fin de elegir el orden jerárquico de éstos.

Para el criterio equidad (Figura 6), las alternativas capacitación y aplicación de la ley, no presentarían competencia alguna al variar el valor de peso del criterio; sin embargo, se darían fuertes fluctuaciones en el valor del resto de las alternativas. En lo que respecta al análisis de sensibilidad para el criterio crecimiento económico (Figura 7), es el que presenta menor sensibilidad al cambio en el peso del criterio. El mayor cambio en el score de las alternativas se darían a valores altos de peso de este criterio; así, las alternativas capacitación y aplicación de la ley alcanzarían el valor de la unidad, cambio en el patrón de cultivos, servicios ambientales y cambio en la vocación de la tierra alcanzaría el valor de 0.5 y el resto de las alternativas contabilizarían el valor de 0.

CONCLUSIONES

Garantizar la sustentabilidad de los recursos naturales requiere de acciones viables y consensuadas con los usuarios de estos recursos. El triángulo del desarrollo indica que las acciones para el uso de los recursos naturales debe propiciar crecimiento económico equitativo y sin deteriorar la condición de los recursos. Las alternativas para lograr esto pueden variar y ser función del problema central a tratar que propicie el desbalance entre equidad, economía y sustentabilidad.

También las alternativas son variantes en tiempo; así, su dinamismo obedece al cambio de intereses, la condición del lugar y a los potenciales problemas, que se pueden suscitar si una determinada alternativa se aplica de manera consistente aunque haya cumplido su cometido. El análisis de sensibilidad de los criterios, ha mostrado que la mayor variación en el valor de las alternativas sucedería al variar el peso del criterio sustentabilidad, indicando que es el cateto más “sensible” del triángulo de sustentabilidad, por lo que se deberá poner especial atención en el orden de jerarquía de los criterios, para el diseño de alternativas tendientes a minimizar el deterioro de los recursos naturales.

For the criterion “equity” (Figure 6), the alternatives: training and law enforcement would not compete if the weight value of the criterion varies; however, there are important fluctuations in the value of the other alternatives. With regards to the sensitivity analysis for the criterion “economic growth” (Figure 7), it presents the least sensitivity to changes of weight. The highest change in the score of the alternatives would be given to high values in the weight of this criterion; thus, the alternatives training and law enforcement, would reach the value of unity, instead, changes in crop pattern, environmental services and changes in soil’s use would reach a value of 0.5, and the rest of the alternatives would have a value of 0.

CONCLUSIONS

Guaranteeing the sustainability of natural resources requires viable and consensual actions involving the resource users. The sustainable development triangle indicates that the use of natural resources must, foster equitable economic growth without compromising the resources. The alternatives, in order to reach this goal, may vary and be accommodated according to the central problem, balancing between equity, economy and sustainability.

Also, the alternatives change with time; thus, their dynamism obeys to changing interests, the conditions *in situ*, and the potential problems that may emerge if a given alternative is implemented consistently even if it has reached its goal. Sensitivity analysis of criteria has shown that the greatest variation in the value of alternatives, takes place when changing the weight of the “sustainability” criterion, showing that it is the most sensitive cathetus of the sustainability triangle. Thus, it is crucial to pay special attention to the order of the criteria, when designing alternatives tending to minimize environmental damage.

End of the English version



LITERATURA CITADA

Ananda, J. and Herath, G. 2003. Incorporating stakeholder values into regional forest planning: a value function approach. *Ecol. Econ.* 45:189-206.

- Anselin, A.; Meire, P. M. and Anselin, L. 1989. Multi-criteria techniques in ecological evaluation: an example using the analytic hierarchy processes. *Biol. Conservation*. 49:215-229.
- Barrios, E. M.; Bekunda, R.; Delve, A.; Esilaba, M. and Jeremiah, P. 2001. Participatory methods for decision making in natural resources management. International Center for Tropical Agriculture. CIAT Colombia. 55 p.
- Dourojeanni, A. 2000. Procedimientos para el desarrollo sustentable. Naciones Unidas, CEPAL, ECLAC. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Santiago de Chile. 372 p.
- Janssen, R. M.; van Herwinjen, J. and Beniat, E. 2006. Definite 3.1. Institute for Environmental Studies Universit eit Amsterdam.
- Heilman, P.; Stone, J.; Sánchez, C. I.; Macias, R. H. and Roy, S. M. 2003. Working Smarter: *In: Ars/inifap* binational symposium on modeling and remote sensing in agriculture. Aguascalientes, México.
- Heilman, P.; Hatfield, J. L.; Adkins, M.; Porter, J. and Kurth, R. 2004. Field scale multiobjective decision-making: a case study from western Iowa. *J. Am. Water Res. Assoc.* 40(2):333-346.
- Kates, R. W.; Parris, T. M. and Leiserowitz, A. A. 2005. Environment: Science and Policy for Sustainable Development. 47(3): 8-21.
- Krautkraemer, J. A. 1985. Optimal growth, resource amenities and the preservation of natural environments. *Review Econ. Studies*. 52(1):153-170.
- Lawrence, P. A. 1996. The role of data sources and simulation model complexity in using a prototype decision support system. Ph. D. Dissertation. School of renewable natural resources. The University of Arizona. Tucson, Az. 332 p.
- Macías, R. H. 2005. Uso de un sistema para el auxilio en la toma de decisiones relativas al manejo integral del agua en el DR 017. Coahuila y Durango. Tesis de Maestría. Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango, México. 31 p.
- Saaty, T. L. and Vargas, L. G. 1984. Comparison of eigenvalue and logarithmic least squares and least squares methods in estimating ratios. *Math. 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. 2005. Fundamentos para el aprovechamiento integral del agua. Una aproximación de simulación de procesos. INIFAP-CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. Libro científico. Núm. 22. 72 p.
- Sánchez, C. I.; Estrada, 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.
- Sánchez, C. I.; Macías, H. R. P.; Heilman, G.; González, C. S. F.; Mendoza, M. M. A. Inzunza, I. 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*. XXI(3):101-111.
- Sánchez, C. I.; Díaz, G. P. J. L.; González, B. and Oswald, S. U. 2010. Integrated management of water in hydrological basins. Multidiscipline and multi institutionalty as an action paradigm. *In: water research in Mexico. Scarcity, Degradation, Stress, Conflicts, Management and Policy*. Springall. Book in press.
- Sánchez, C. I.; Díaz, P. G. H.; Macías, H. R. P. y Estrada, A. J. 2002. Proceso jerárquico analítico para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales. *Rev. Mex. Cien. Agrí.* 1(3):297-311.
- Sánchez, C. I. 1995. Erosión potencial en la Comarca Lagunera. Gómez Palacio, Durango, México. Serie folletos INIFAP-ORSTOM. Núm. 4. 30 p.
- Sánchez, C. I. 2006. Manejo integral del agua: incertidumbre climática y toma de decisiones. El Pays de La Laguna. Universidad Iberoamericana. Torreón Coahuila. 31 p.
- Yakowitz, D. S.; Lane, L. J. and Szidarovsky, F. 1993. Multi-attribute decision making: dominance with respect to an importance order of attributes. *Appl. Math. Comput.* 54:167-181.