

Planeación multiobjetivo en los distritos de riego de México. Aplicación de un sistema de auxilio para la toma de decisiones

Ignacio Sánchez-Cohen
Hilario Macías-Rodríguez

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones
Agua-Suelo-Planta-Atmósfera, INIFAP, México

Phil Heilman

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica

Guillermo González-Cervantes
Segundo F. Mendoza-Moreno
Marco A. Inzunza
Juan Estrada-Ávalos

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones
Agua-Suelo-Planta-Atmósfera, INIFAP, México

El problema de conciliar los intereses en el manejo de recursos naturales es complejo y con interacciones difíciles de cuantificar. Los usuarios de las cuencas hidrológicas manifiestan múltiples objetivos con el consecuente impacto en el corto plazo. La teoría de de decisión multi-objetivo viene a solventar parcialmente la situación, al considerar todos los intereses, opciones e impactos de posibles acciones. Considerando que los distritos de riego (DR) constituyen la parte baja del gradiente hidrológico que definen a las cuencas, se planteó como estudio de caso al DR 017 de la Comarca Lagunera para la aplicación del Sistema de Ayuda para Toma de Decisiones (DSS), el cual es un software que apoya la toma de decisiones individuales o grupales con la utilización de alternativas de decisión, una jerarquización de los rangos de los criterios de decisión, funciones de score y programación lineal para identificar las mejores alternativas de decisión para el manejo de un problema determinado. En el DR 017 se concluyó que para solventar el problema global de productividad del agua de riego del distrito, en primera instancia se tiene que dar precio al recurso agua, capacitar a los usuarios del riego en tópicos del manejo del agua y entregar el agua por volumen a los productores. De las ocho alternativas analizadas, todas presentaron mejores resultados que la alternativa de operación actual.

Palabras clave: distrito de riego, sistema, decisiones, planeación, cuenca hidrológica.

Introducción

En el manejo integral de los recursos naturales es necesario reconocer tanto las características del ciclo hidrológico y su interacción con otros recursos naturales y los ecosistemas, partiendo del punto central de que el agua es un recurso finito y que su uso sustentable no puede

lograrse si se analizan y 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 (Nouvelot, 1997; Sánchez, 1995).

En el gradiente hidrológico que define a las cuencas, los distritos de riego constituyen en su mayoría las plani-

cies en donde se aprovecha el agua que es almacenada por escurrimientos en las partes altas de las cuencas. De esta manera, toda acción que se desarrolle en esas partes de las cuencas impacta de manera inevitable aguas abajo del sistema, por lo que es necesario considerar la planeación multi-objetivo en la explotación racional de los recursos naturales, dentro de los que el agua es el vector y rector de las actividades económicas (Sánchez, 2001).

Asimismo, en dicho gradiente hidrológico ocurren varios esquemas productivos, como producción de energéticos, alimentos, bienes de consumo directos (aspectos agrícolas, pecuarios y forestales) e indirectos (procesos industriales). Cada uno de los bienes generados tiene su cadena de producción, que involucra desde los materiales básicos necesarios para su transformación (leche, carne, granos, automóviles, etcétera) hasta la comercialización de los productos generados, incluyendo aspectos socioeconómicos. En lo que se refiere a la producción agropecuaria y forestal, las cadenas productivas se sirven de los recursos naturales para, a su vez, proveer de los satisfactores demandados por la sociedad (Moncada, 2001).

Sánchez (1994) indica que las cadenas productivas ocurren bajo ambientes agroecológicos distintivos, que definen su potencial. Tal ambiente se da por una serie de interacciones de clima, suelo y economía, principalmente; de éstos, el clima define por mucho la disponibilidad del recurso agua. Es por ello que una cuenca debe ser definida por la capacidad de generar el recurso agua en función de sus características fisiográficas. Por consiguiente, es necesario considerar la cuenca hidrológica como unidad básica de planeación, teniendo como argumento los siguientes aspectos:

- Las interacciones complejas que ocurren en las cuencas requieren balancear objetivos institucionales y productivos para arribar a estrategias balanceadas.
- El proceso de toma de decisiones necesariamente debe involucrar a usuarios y técnicos de consenso para obtener un plan de manejo técnicamente soportado, que refleje el balance negociado de intereses.
- Necesidad de usar información generada mediante estudios científicos para el adecuado entendimiento de los procesos que afectan a los ecosistemas, con impacto en las cadenas productivas, y en las condiciones económicas y de salud.
- El concepto tiene como objetivo el diseño y uso de métodos efectivos que involucren a todos los usuarios con beneficios y costos compartidos.
- Se busca un marco de acuerdos inter e intra institucionales que garantice la implementación de los planes

desarrollados en el proceso de toma de decisiones, los cuales descansan más en el interés que en leyes.

- Necesidad de contar con un procedimiento que evalúe los efectos del manejo de la cuenca con mediciones y estándares bien definidos.

Consecuentemente, y en términos productivos, es necesario cuantificar el balance entre insumos y productos, cuidando que estos últimos no sobrepasen la potencialidad de la cuenca hidrológica para producirlos.

Método de aproximación

En el proceso de toma de decisiones, cuando se involucra a la sociedad de manera honesta, consistente, ordenada y a tiempo, que conciernen o impactan a los actores de la unidad de producción, el proceso garantiza la aceptación y desarrollo del proyecto que se trate (USSD, 2003).

Así, cualquier proceso de toma de decisiones debe involucrar ciertos componentes esenciales:

- La persona o usuario que tomará la decisión.
- El problema.
- El método para resolver el problema.
- La propia decisión.

En este proceso, la persona puede ser un experto con bastante conocimiento de la situación o bien puede poseer nulo conocimiento, el problema puede ser específico o pobremente definido, con visión mono-objetivo (en vez de multi-objetivo). De igual manera, el método puede ser heurístico o determinístico, e implementado con o sin ayuda computacional (Lane et al., 1994).

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 en el nivel y la escala que se trate (Sánchez, 2000).

El método al que se aboca el presente trabajo se fundamenta en el trabajo de Yakowitz et al. (1993), con el siguiente raciocinio: suponiendo que existen n criterios que el tomador de decisiones (i.e. productores, técnicos, jefes de distrito, comités hidráulicos) ha jerarquizado en un determinado orden de importancia, si V_j 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 :

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

De la ecuación (1) para ambos casos, minimizar o maximizar, la primera restricción normaliza la suma de los pesos a uno; 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 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 el peor (Heilman *et al.*, 2003; Heilman *et al.*, 2004).

Yakowitz *et al.* (1993) también mostraron que el peor y mejor *escore* puede ser obtenido en forma cerrada resolviendo los siguientes *k* problemas, empezando con el criterio de más alto rango, añadiendo criterios hasta que todos sean considerados:

$$v_{kj} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k v_{ij} \quad (2)$$

Así, el mejor y peor *escore* para la alternativa *j* seleccionada de los resultados será:

$$\begin{aligned} \text{Mejor} = MV_j &= \max_k \{v_{kj}\}, \\ \text{Peor} = PV_j &= \min_k \{v_{kj}\} \end{aligned} \quad (3)$$

En un estudio posterior, Yakowitz y Weltz (1998) mejoraron el algoritmo básico descrito anteriormente, al permitir agrupar subobjetivos bajo categorías más amplias. Este agrupamiento permite introducir posteriormente otros objetivos bajo el criterio que corresponda.

El *software Facilitator* se diseñó para la toma de decisiones estratégicas en casos donde los problemas son de tal carácter que requieren de una solución estructurada y cuando existe suficiente información técnica para apoyar las alternativas que afectan la decisión. Para la toma de decisiones, usando el *software Facilitator* se requieren de tres pasos esenciales:

1. Crear una matriz de los efectos de cada alternativa para cada criterio, definiendo las variables de decisión, las alternativas de manejo consideradas y la cuantificación de los efectos de las alternativas en los criterios.

2. Uso de modelos de simulación, opinión de expertos o bases de datos para valorar todos los datos de la tabla, eliminando las unidades, normalizando en una escala de 0.0 a 1.0
3. Ordenar las variables de decisión en orden de importancia, examinar gráficamente los resultados y seleccionar las alternativas a implementar o sujetas a un estudio más profundo.

En el primer paso antes anotado, los tomadores de decisiones tienen que excluir aquellas alternativas no aceptables o de difícil implementación. En el segundo paso se deben seleccionar las funciones de *escore* para cuantificar y normalizar cada variable de decisión. El tercer paso asume una función aditiva simple, como lo señala la ecuación (1) para calcular el valor *V* como la suma de los productos de un "peso" *w* asociado con cada variable de decisión o criterio *i* y el *escore* *v* para esa variable de decisión.

Identificación del problema

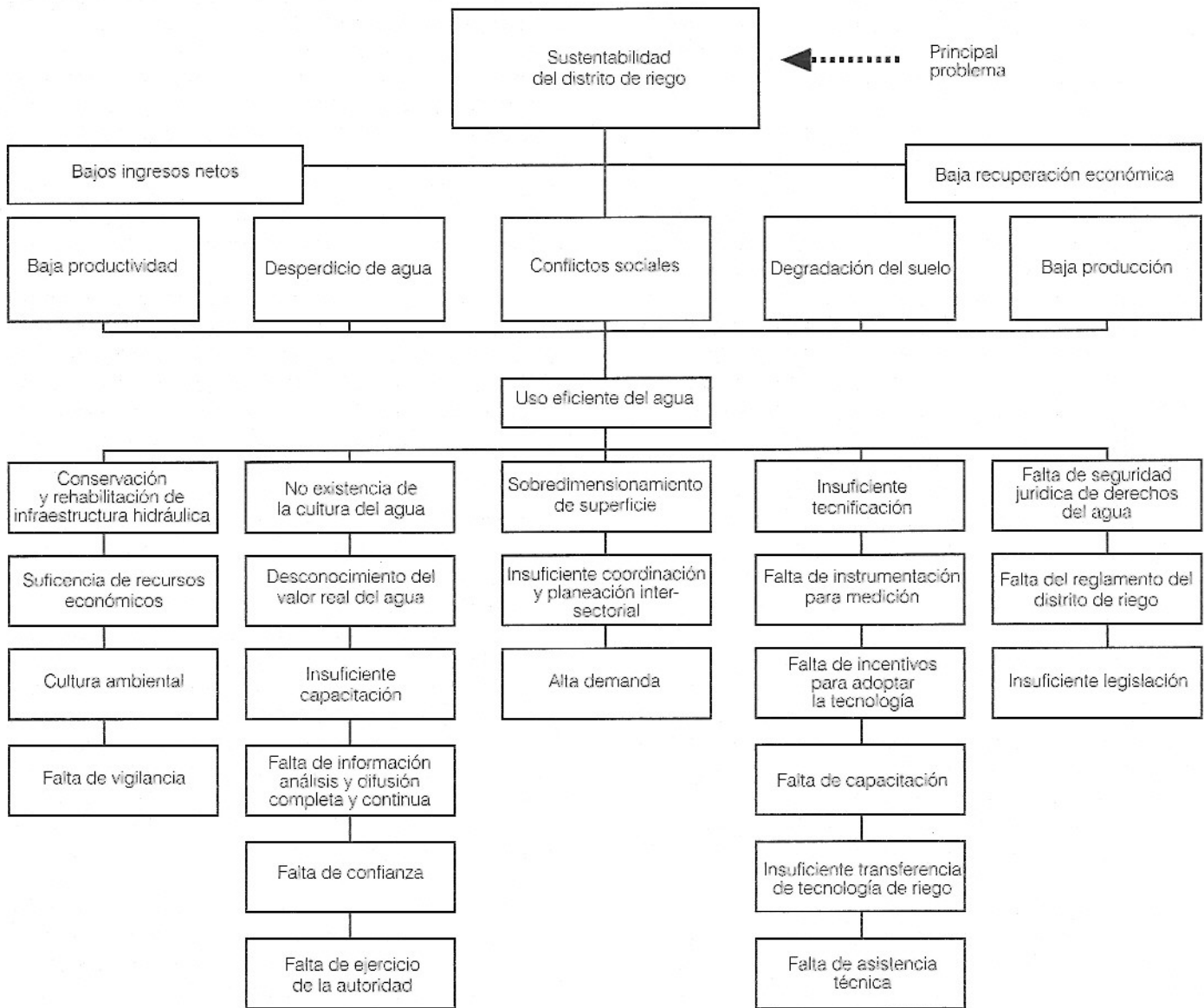
El punto central de este proceso es la identificación del problema acerca del cual se tomará una decisión. Para el presente caso, el problema central de análisis y discusión fue la productividad del agua de riego, en el que se ha detectado un inadecuado uso del recurso en el distrito de riego, por lo que es necesario proponer y evaluar alternativas de solución bajo criterios de calidad que impacten no sólo en el corto plazo, sino que den permanencia al distrito de riego en términos de productividad.

Consulta de expertos

Definido el problema, se consultó a personas especialistas, denominados expertos por el algoritmo. La manera de identificar a dichos expertos fue reunir a las personas involucradas en el problema, especialistas en el área y, en general, a quienes estuvieran interesados, tomando como plataforma al Comité Hidráulico, presidido por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y personal de la Secretaría de Agricultura, a través de su delegación estatal. Esto involucró a agricultores, técnicos y personal operativo de ambas dependencias en los ámbitos local y estatal. Así, se conformó un grupo de planeación y coordinación (GPC). La matriz de problemas generada de esta reunión se presenta en la ilustración 1.

Los problemas que muestra la anterior ilustración están asociados con los respectivos objetivos que se señalan; por ejemplo, al problema de baja productividad se le asocia el objetivo o alternativa de "incrementar la productividad", etcétera.

Ilustración 1. Árbol de problemas consensuados en el Distrito de Riego 017 Región Lagunera (CNA, 2003).



Generación de alternativas de solución o cursos de acción

Para el adecuado curso en la toma de decisiones se plantearon varias alternativas o cursos de acción por los participantes, con la finalidad de estar en posición de seleccionar la mejor. Se asumió que las personas involucradas en el proceso podrían ser capaces de contribuir con algunas de ellas. Una vez que se generó un listado, se procedió a documentar cada alternativa, con la finalidad de ayudar a aquellas personas no involucradas en las discusiones para saber cómo se genera-

ron. El consenso decidió enfocarse en cuatro objetivos particulares:

- Productividad del agua de riego.
- Mejor distribución de la riqueza.
- Incremento en la eficiencia de conducción.
- Incremento en la eficiencia global del distrito de riego.

En el contexto de los objetivos planteados, las alternativas se enfocan a prevenir los conflictos del distrito por medio de la solución a problemas técnicos en el uso eficiente del agua, promoviendo la mejor distribución de la riqueza.

Las alternativas propuestas se enfocaron primeramente a aspectos bajo el control del distrito de riego y son:



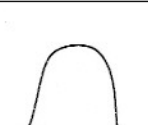

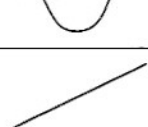
- Cambio en el patrón de cultivos hacia cultivos con menos requerimientos hídricos.
- Cambiar a cultivos de invierno para reducir evapotranspiración.
- Capacitación a usuarios del riego.
- Rehabilitación de infraestructura hidráulica.
- Compactación y mercado del agua.
- Precio del recurso (dar precio al agua).
- Entrenamiento para agro negocios.
- Dotación volumétrica.
- Situación actual (continuar con lo usual).

Identificación de criterios de evaluación y evaluación de alternativas

Los criterios se refieren a la manera de evaluar las alternativas. En esta etapa se evaluaron las alternativas generadas con los criterios previamente definidos.

Como se anotó anteriormente, en el DSS o *Facilitador*, se conforma una tabla con los criterios arriba y a lo largo del encabezado; las alternativas se enlistan en el lado izquierdo. El *software* provee de cuatro funciones para representar el impacto de la alternativa en el objetivo (cuadro 1). Esta metodología permite eliminar las unidades de las variables (normalizar) para que éstas puedan ser comparadas entre sí. Normalmente, para parametrizar variables de decisión se utilizan modelos de simulación. Para el presente caso se utilizó una función tipo "más es mejor lineal", en virtud de que se contó con la opinión de expertos. Para ello, en las reuniones con par-

Cuadro 1. Descripción de funciones para calificar impacto.

Función de escore	Representación de la variable	Observaciones
Más es peor		Normalmente es usada para representar fenómenos de deterioro como contaminación, erosión, etcétera.
Más es mejor		Función utilizada para representar incrementos benéficos como rendimiento, ingreso, bienestar, etcétera.
Rango deseable		Cuando la variable de interés está acotada por un mínimo y un máximo como rangos permisibles de contaminación, desechos, etcétera.
Rango no deseable		Cuando la variable de interés está acotada por un mínimo y un máximo como rangos no permisibles.
Más es mejor lineal		Función usada cuando existe la opinión del experto.

ticipantes de la Delegación Estatal de la SAGARPA y representantes del distrito de riego, se preguntó a los participantes cómo evaluarían el impacto que tendría cada alternativa en los objetivos en una escala de 0.0 a 1.0,

Cuadro 2. Escores de los efectos de las alternativas en los objetivos.

	Situación actual	Cambio patrón de cultivos	Cambio a cultivos de invierno	Capacitación a usuarios del riego	Rehabilitar infraestructura hidráulica	Compactación y mercado del agua	Precio del recurso	Dotación volumétrica	Conocimiento base para agro negocios
Productividad del agua de riego	0.5	0.7	0.75	0.8	0.85	0.7	0.88	0.8	0.6
Mejor distribución de la riqueza	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.75	0.7	0.7	0.8
Incremento en eficiencia conducción	0.5	0.5	0.6	0.6	0.88	0.6	0.8	0.75	0.6
Incremento en eficiencia global	0.5	0.7	0.8	0.87	0.8	0.6	0.87	0.7	0.6

Ilustración 2. Seguimiento para la propuesta y valoración de alternativas.

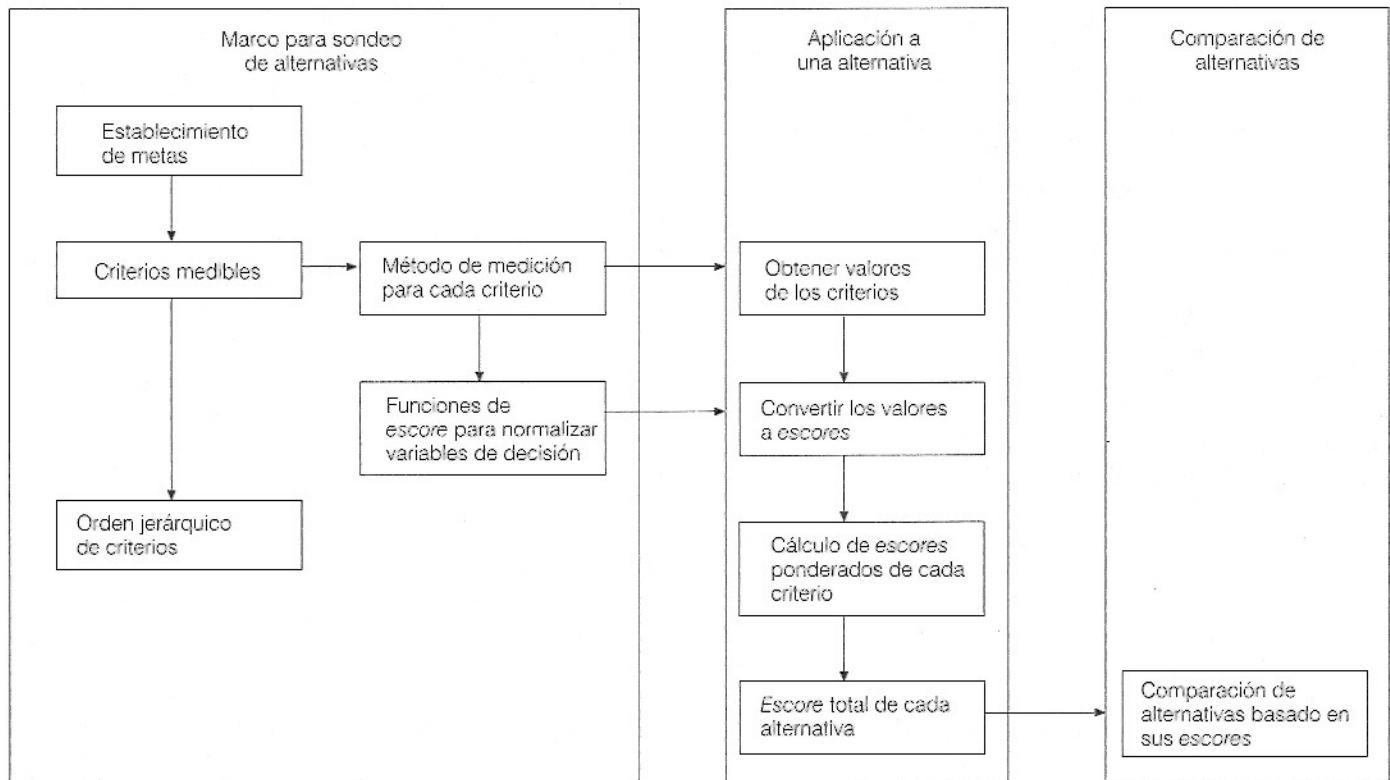


Ilustración 3. Órdenes jerárquicos ensayados.

<p>◇ ORDENACIÓN JERÁRQUICA</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ [CRITERIO ECONÓMICO] <ul style="list-style-type: none"> --- [Productividad del agua del riego] ■ [CRITERIO TÉCNICO] <ul style="list-style-type: none"> --- [Incremento en eficiencia global] --- [Incremento en eficiencia en conducción] ■ [CRITERIO SOCIAL] <ul style="list-style-type: none"> --- [Mejor distribución de la riqueza] 	<p>◇ ORDENACIÓN JERÁRQUICA</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ [CRITERIO SOCIAL] <ul style="list-style-type: none"> --- [Mejor distribución de la riqueza] ■ [CRITERIO ECONÓMICO] <ul style="list-style-type: none"> --- [Productividad del agua del riego] ■ [CRITERIO TÉCNICO] <ul style="list-style-type: none"> --- [Incremento en eficiencia global] --- [Incremento en eficiencia en conducción] 	<p>◇ ORDENACIÓN JERÁRQUICA</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ [CRITERIO TÉCNICO] <ul style="list-style-type: none"> --- [Incremento en eficiencia global] --- [Incremento en eficiencia en conducción] ■ [CRITERIO SOCIAL] <ul style="list-style-type: none"> --- [Mejor distribución de la riqueza] ■ [CRITERIO ECONÓMICO] <ul style="list-style-type: none"> --- [Productividad del agua del riego]
---	---	---

considerando un valor de 0.5 a la alternativa de "continuar con lo usual" (no hacer nada). El proceso de generación de alternativas y definición de criterios de evaluación se puede observar en la ilustración 2. Los resultados se aprecian en el cuadro 2.

Resultados

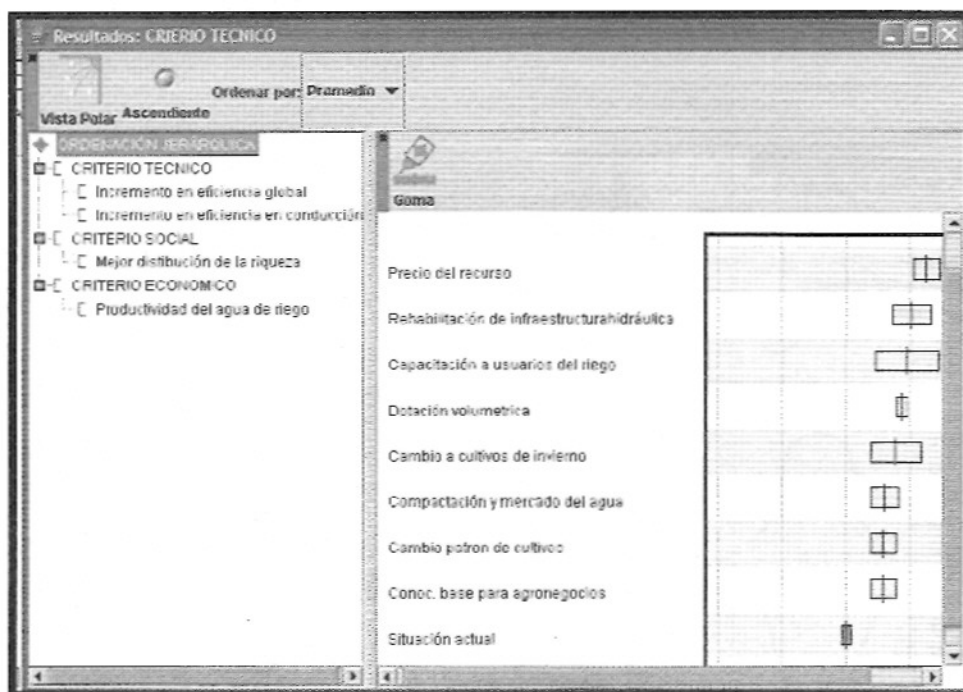
Jerarquización de criterios de evaluación

Al ordenar los criterios en una jerarquía, significa que, si se quisiera, se puede dar más peso en cualquiera de los

objetivos, esto en congruencia con las ecuaciones (1) y (2) antes anotadas. Este procedimiento es útil para agrupar ideas relacionadas; si hay traslape en algunos criterios, es aconsejable incluirlos dentro de un mismo encabezado, evitando así que sean evaluados dos veces. Las opciones pueden ser reevaluadas, cambiando el orden jerárquico de los criterios; la finalidad sería ubicar los traslapes de opciones al cambiar el orden. Este traslape daría luz sobre qué opción es la que conviene adoptar para la solución del problema expuesto.

Para el presente caso, se evaluaron distintos órdenes jerárquicos, que se señalan en la ilustración 3.

Ilustración 4. Alternativas optimizadas con el criterio técnico.



De la ilustración 3 se desprende, por ejemplo, que si se siguiera el criterio económico para tomar la decisión:

- Para el análisis se ha dado orden de importancia a los objetivos; así, la decisión estará gobernada principalmente por el criterio económico, que involucra la productividad del agua de riego.
- Al criterio económico le subyace el criterio social, el cual involucra la mejor distribución de la riqueza.
- El criterio técnico aparece en tercer lugar de jerarquía e involucra el incremento en la eficiencia global, como punto más importante que el incremento en la eficiencia en conducción

Y así sucesivamente se explica el orden jerárquico del criterio que se seleccione.

Considerando entonces diferentes órdenes jerárquicos, las alternativas optimizadas para cada criterio se presentan en las ilustraciones 4, 5 y 6.

Análisis

Cada alternativa es representada por una barra que muestra el rango de los *escores* globales para esa alternativa (mejor, medio y peor *escore*). Es primeramente claro que una opción es mejor que otra si no hay traslape entre las barras.

Con la jerarquía del criterio técnico, que agrupa los objetivos de incremento en la eficiencia global e incremento en la eficiencia de conducción, resultó que las alternativas más altamente calificadas fueron dar precio al recurso y rehabilitación de infraestructura hidráulica, con *escores* de 0.87 y 0.88, respectivamente. La barra que representa el rango de posibles *escores* para el ajuste en el precio del recurso es más angosta que la rehabilitación de infraestructura hidráulica, porque el mínimo *escore* de 0.7, que corresponde al objetivo "mejor distribución de la riqueza", es mayor que 0.6 para la alternativa de "rehabilitación de infraestructura hidráulica", lo que hace que el rango sea mayor.

De igual manera, teniendo al criterio económico con la más alta jerarquía, que agrupa al objetivo de "Productividad del agua de riego", las alternativas más altamente calificadas fueron dar precio al recurso (0.88) y entrega de agua por dotación volumétrica (0.8). En tercer lugar aparece la "capacitación a usuarios del riego". En este criterio (ilustración 5), la barra que representa el rango de posibles *escores* a la alternativa "Precio del recurso", es más amplia que aquella que representa el rango de posibles *escores* de la alternativa "Dotación volumétrica"; esto, en virtud de que la primera tiene un *escore* mínimo de 0.7, que corresponde al objetivo de "Mejor distribución de la riqueza" y el máximo de 0.88, arriba señalado, para el segundo; el *escore* mínimo es de 0.7,

Ilustración 5. Alternativas optimizadas con el criterio económico.

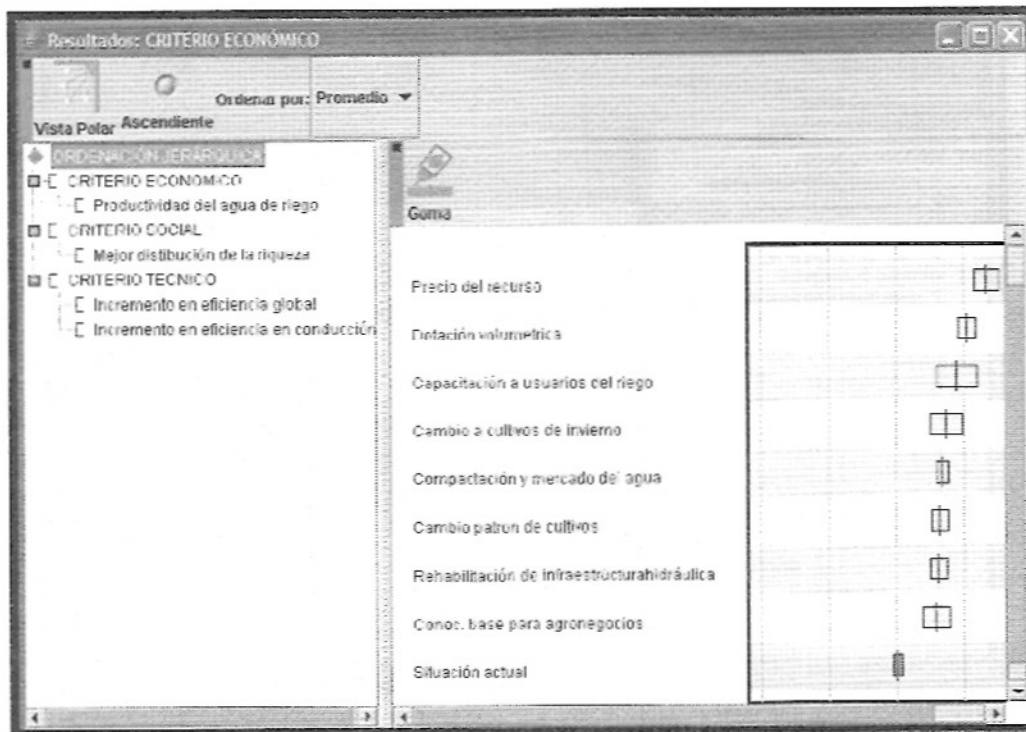
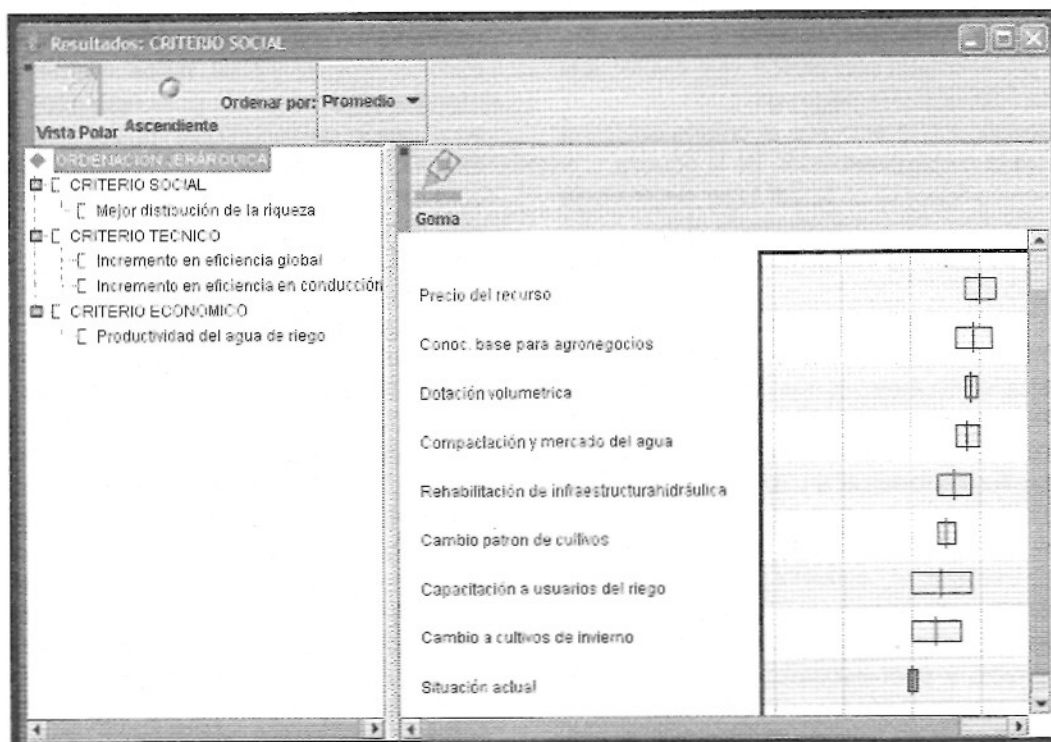


Ilustración 6. Alternativas optimizadas con el criterio social.



correspondiente a los objetivos "Mejor distribución de la riqueza" e "Incremento en la eficiencia global". El máximo, de 0.8, también se anotó líneas arriba.

Con lo que respecta al criterio social, la ilustración 6 señala que si este criterio fuera en el que se fundamentara la decisión, las alternativas más viables serían "Precio del recurso" y "Conocimiento base para agro negocios", ya que la primera obtuvo un *score* de 0.88 y la segunda de 0.8. La amplitud de la barra de la segunda alternativa es mayor debido a que el mínimo *score* obtenido en ésta es de 0.6 contra 0.7 en la primera.

Independientemente del orden jerárquico analizado, las alternativas que tendieron a presentar los más altos *scores* fueron las siguientes: dar precio al recurso, dotación volumétrica, y capacitación a usuarios del riego. Cabe señalar que las alternativas que no resultaron con altos *scores* estuvieron aún por arriba de la situación actual; es decir, que cualquiera que fuese el rumbo de acción, rendiría mejores resultados que la situación actual.

Conclusiones

Los sistemas de ayuda en el proceso de tomas de decisiones son herramientas útiles, sobre todo cuando existen opiniones y objetivos en conflicto relacionados con el manejo del agua. Para que los cursos de acción en el manejo de los distritos de riego tengan el impacto esperado, es necesario incluir en la planeación y análisis de alternativas a los usuarios y operarios del agua.

En el presente caso, la matriz de evaluación de alternativas con criterios de calidad fue planteada por los propios usuarios y los resultados consensuados con las autoridades locales (CNA, SAGARPA). Acorde con los resultados, para que se incremente la productividad del agua de riego en el distrito, es necesario dar el precio adecuado al recurso agua, así como capacitar a los usuarios del riego en aspectos relativos al manejo y conservación del vital líquido; también es necesario el planteamiento de esquemas de dotación por volumen. Todas las alternativas evaluadas resultaron mejor que el esquema tradicional de manejo.

Dentro de las situaciones que limitan la aplicabilidad de las recomendaciones emanadas del presente estudio se encuentran:

- *El mercado del agua:* la compra venta de derechos de agua derivados de los cambios en la ley federal de aguas, en virtud de que el monitoreo de las transferencias de los derechos es aún deficiente. Existe también en este apartado una concentración excesiva de derechos en pocos usuarios, lo que induce a la acu-

mulación de las ganancias generadas, producto del uso de este recurso.

- *La relación oferta demanda de agua:* en este apartado, los principales problemas son el sobredimensionamiento del distrito de riego y la sobreexplotación de las reservas subterráneas; aquí es patente que los objetivos de producción no guardan armonía con la potencialidad natural de abastecimiento de agua. Esto causado por recurrentes sequías caracterizadas por la incertidumbre climática. La situación principal en este contexto es la falta de cumplimiento por parte de los usuarios de los acuerdos emanados en los comités hidráulicos, en los que se establece el patrón de siembras y los volúmenes necesarios para el logro de los objetivos perseguidos.
- *La eficiencia de transformación del agua:* en ésta se incluye la eficiencia de conducción y aplicación del agua de riego, la cual, de manera global en el distrito (y en la mayoría de los distritos de riego del país) no alcanza más del 40%. Tratándose de dar un precio real y justo al agua como insumo, es necesario considerar el estado de la infraestructura de servicio, cuyo mantenimiento no ha alcanzado el estado deseable desde que empezara la transferencia de los distritos de riego a los usuarios.

Para el estudio de caso presentado, se considera que la organización para la toma de decisiones actual es la adecuada; sin embargo, para el logro de los objetivos perseguidos es necesario que ésta evolucione considerando los siguientes factores:

- Monitoreo de las transferencias de los derechos de agua de manera sistemática, para asegurar que no se excedan los volúmenes concesionados. Esto implica el desarrollo y la aplicación de algoritmos computacionales en red, los cuales servirían para llevar una contabilidad en tiempo real de los trámites de permisos de siembra y derechos de agua. Al mismo tiempo, se pudieran controlar los volúmenes en los puntos de control de los módulos de riego, asegurando la adecuada operación de la red de canales al no ubicar derechos más allá de las capacidades hidráulicas instaladas.
- Dotación por volumen con el costo adecuado, acorde a los cuatro puntos que se señalan a continuación (Sánchez, 2005):
 - La variabilidad en la disponibilidad debido a factores climáticos: dotación en función de la disponibilidad como una fracción del derecho de agua con precio incrementado a menor disponibilidad.

- El costo de aprovisionamiento: extracción, embalse, manejo, traslado, mantenimiento, etcétera.
- El fin que persigue su uso: doméstico, industrial, recreación, agrícola, pecuario, etcétera.
- La eficiencia en su transformación: considerando eficiencias globales en el gradiente de manejo; es decir, conducción, almacenaje, distribución y aplicación.

Recibido: 13/01/2005
Aprobado: 23/08/2005

Referencias

- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. *Consolidación y desarrollo del distrito de riego 017, Comarca Lagunera*. Torreón, México: Gerencia Regional de las Cuencas Centrales del Norte, 2003, 56 pp.
- HEILMAN, P., STONE, J., SÁNCHEZ-COHEN, I., MACÍAS-RODRIGUEZ, H. y MAN, R.S. *Working smarter: Proc. ARS/INIFAP Binational Symposium on Modeling and Remote Sensing in Agriculture*. Aguascalientes, México, 2003.
- HEILMAN, P., HATFIELD, J.L., ADKINS, M., PORTER, J. y KURTH, R. Field scale multiobjective decision making: A case study from western Iowa. *Journal of the AWRA*. Vol. 40, núm. 2, 2004, pp. 333-346.
- LANE, J., YAKOWITZ, D.S., STONE, J.J., HERNÁNDEZ, M., HEILMAN, P., IMAM, B., MASTERSON, J. y ABOLT, J. A multiple Objective Decision Support System for the USDA Water Quality Initiative. *Overview of a Decision Support System*. USDA ARS SWRC. Tucson Az, 1994. pp. 1-8.
- MONCADA, J. Primera reunión de la H. Junta de Gobierno del INIFAP. INIFAP SAGARPA, 2001.
- NOUVELOT, J.F. *Proyecto binacional sobre manejo y uso del agua en las cuencas hidrográficas del Norte de México*. Ponencia presentada en el 25 aniversario del CENID-RASPA, 1997.
- SÁNCHEZ, C.I. *Evaluating strip farming systems for arid ecosystems. A stochastic approach*. Ph. D. Dissertation. Tucson: The University of Arizona, 1994, 120 pp.
- SÁNCHEZ, C.I. Erosión y productividad en la Comarca Lagunera. *Folleto científico # 4*. Serie INIFAP-Orstom, 1995, 25 pp.
- SÁNCHEZ, C.I. La investigación en hidrología en las cuencas centrales del norte de México. *Artículo científico*. Serie INIFAP-Orstom, 2000, 10 pp.
- SÁNCHEZ, C.I. *La cuenca hidrológica como unidad básica de planeación del desarrollo de las cadenas productivas*. CENID-RASPA INIFAP, 2001.
- SÁNCHEZ, C.I. Fundamentos para el aprovechamiento integral del agua. Una aproximación de simulación de procesos. *Libro Científico # 2*. Gómez Palacio, México: CENID-RASPA INIFAP, 2005, 272 pp.
- USSD. UNITED STATES SOCIETY ON DAMS. *Planning Processes for the Development of Dams and Reservoirs. Public Involvement and Alternative Analysis. A Framework for Successful Decision - Making*. Denver: 2003, 6 pp.
- YAKOWITZ, D.S., LANE, L.J. y SZIDAROVSKY, F. Multi-attribute decision making: dominance with respect to an importance order of attributes. *Applied Mathematics and Computation*. Vol. 54, 1993, pp. 167-181.
- YAKOWITZ, D.S. y WELTZ, M. An algorithm for computing multiple attribute additive value measurement ranges under a hierarchy of the criteria: application to farm or rangeland management decisions. *Multicriteria Analysis for Land Use Management*. Beinat, E. y Nijkamp P. (editores). Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998, pp. 163-167.

Abstract

SÁNCHEZ-COHEN, I., MACÍAS-RODRÍGUEZ, H., HEILMAN, P., GONZÁLEZ-CERVANTES, G., MENDOZA-MORENO, S.F., INZUNZA, M.A. & ESTRADA-ÁVALOS, J. *Multiobjective planning in the irrigation districts of Mexico. A decision support system application. Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish). Vol. XXI, no. 3, July-September, 2006, pp. 101-111.*

The problem of agreement among interests in the management of natural resources is complex with interactions difficult of measure. Watershed users have several objectives that impact in the short run the environment. Multi objective decision theory considers interest, options and impacts of possible actions. Considering that the Irrigation Districts (ID) are the lower end of the gradient that defines a watershed, the ID 017 was used as study case for use of the decision Support System called Facilitator which is a software tool to support decision making processes with the use of decision alternatives, order of hierarchy, score functions and linear programming for identifying best decision alternatives for the management of a given problem. For the irrigation District 017, it has been concluded that to help solve the overall problem of irrigation water productivity, first water needs to be priced, to train water users and delivering water by volume. Out of the eight alternatives analyzed, all did score better than the actual management.

Keywords: irrigation district, system, decisions, planning, watershed.

Dirección institucional de los autores:

Dr. Ignacio Sánchez-Cohen
M.C. Hilario Macías-Rodríguez
Dr. Guillermo González-Cervantes
Lic. Segundo F. Mendoza-Moreno
Dr. Marco A. Inzunza
Dr. Juan Estrada-Ávalos

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones
Agua-Suelo-Planta-Atmósfera, INIFAP,
km 6.5 Canal Sacramento, Zona Industrial Gómez Palacio,
Durango, México.
teléfono: + (52) (801) 719 1076, 719 1077,
fax: + (52) (801) 719 1134,
sanchez.ignacio@inifap.gob.mx,
macias.hilario@inifap.gob.mx,
gonzalez.guillermo@inifap.gob.mx,
mendoza.segundo@inifap.gob.mx,
inzunza.marco@inifap.gob.mx,
estrada.juan@inifap.gob.mx

Dr. Phil Heilman

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica,
Servicio de Investigación Agrícola,
2000 E. Allen Road Tucson, AZ 85719
pheilman@tucson.ars.ag.gov

