

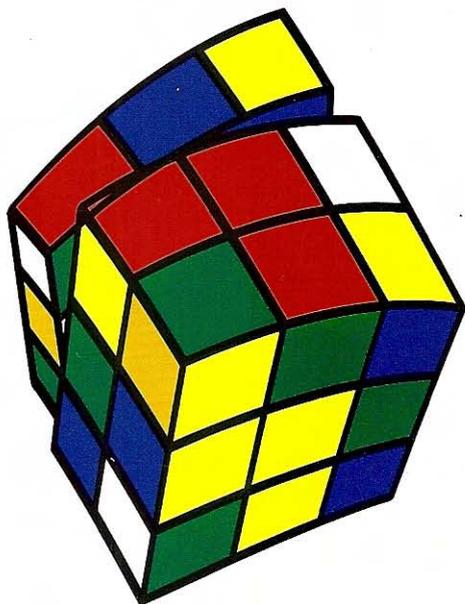
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
FORESTALES AGRICOLAS Y PECUARIAS
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACION DISCIPLINARIA EN
RELACION AGUA-SUELO-PLANTA-ATMOSFERA

inifap

CENID-RASPA

Toma de Decisiones en Grupo para el Manejo de los Recursos Naturales

Métodos de Análisis y Criterios de Selección



Dr. Ignacio Sánchez Cohen
Dr. Juan Estrada Ávalos
Dr. José A. Cueto Wong



CONACYT



COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

ISBN: 978- 970-43-0367-9

Folleto Científico 24

Gómez Palacio, Dgo.

Abril del 2008

**TOMA DE DECISIONES EN GRUPO PARA EL MANEJO DE LOS RECURSOS
NATURALES:**

MÉTODOS DE ANÁLISIS Y CRITERIOS DE SELECCIÓN

Dr. Ignacio Sánchez Cohen
Dr. Juan Estrada Avalos
Dr. José A. Cueto Wong

**CENID-RASPA
2008**

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera.

Km. 6.5 Margen derecha Canal Sacramento
Gómez Palacio, Durango. México
Apdo. Postal 41
35150 Cd. Lerdo, Dgo.
Teléfonos y Fax: 01(871) 7191076, 7191077 y 7191134

No esta permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito a la Institución

ISBN:

CONTENIDO

ANTECEDENTES

Proceso de toma de decisiones

Sistemas de auxilio en la toma de decisiones (DSS)

La aproximación

Definición del problema

Consultar opinión

Definir alternativas

¿Cómo identificar alternativas Variables?

Identificación de criterios

Calificación de alternativas

Jerarquización de criterios

Asignación Aleatoria de Pesos (AAP)

Selección de escala de medición

Principios del proceso jerárquico analítico (AHP)

Matemática fundamental en el proceso AHP

Método de estandarización

Descripción de software

DSS Facilitator

DSS Definite

Decisión Analyst

DSS y Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Evaluación y análisis multi criterio - multi objetivo con GIS

DSS IDRISI

CONCLUSIONES

LITERATURA CITADA

PRÓLOGO

La demanda de bienes y servicios de una población en flagrante crecimiento y desarrollo ha resaltado el impacto negativo sobre los recursos naturales al imprimir presión sobre estos en términos de su explotación. Así, la adecuada planeación en el uso de estos recursos debiera ser incluyente y considerar la opinión de los directamente impactados positiva o negativamente por los cursos de acción que se implementen. En esta tesitura, los Sistemas de Ayuda para la Toma de Decisiones (DSS por sus siglas en inglés), constituyen una herramienta útil en el proceso de toma de decisiones en grupo principalmente cuando existen objetivos e intereses en conflicto.

En su más amplia acepción, un DSS es cualquier metodología útil a los tomadores de decisiones para resolver conflictos del balance entre decisiones por medio de la síntesis de información. Estos sistemas requieren la participación de los involucrados en la decisión que idealmente debiera ocurrir en todo el proceso desde la identificación del problema, de los criterios de decisión, las alternativas y hasta el análisis de escenarios. Así, el máximo beneficio de los DSS se obtiene cuando el proceso se desarrolla con la participación de los usuarios y cuando se identifica la interrelación entre la información y los criterios de decisión lo que permite al grupo interdisciplinario el estudio de problemas complejos para arribar a decisiones consensuadas.

En la presente publicación se hace un análisis de distintos DSS para toma de decisiones en grupo resaltando su utilidad en función de la estructura de su algoritmo, la información disponible y del tipo de problema. Se presenta también los aspectos fundamentales para su adecuado uso resaltando aspectos teóricos básicos para facilitar su entendimiento y operación. Finalmente se presentan algunos criterios para la elección del software y se provee de direcciones electrónicas en donde se puede obtener los programas de dominio público.

Los autores consideran que la información contenida, ayudará a investigadores, técnicos y en general, a quienes estén involucrados en procesos de toma de decisiones, a normar un criterio para elegir un la herramienta de decisión así como el manejo del software y ámbito de aplicación. Sin embargo, se advierte que el uso inadecuado de éstas herramientas pudieran llevar al grupo de decisión a tomar cursos de acción contrarios al objetivo para el cual fueron diseñadas por lo que se sugiere profesionalismo y evaluación de las alternativas con visión multidisciplinaria de tal manera que al final del análisis los usuarios deberán de estar en mejor posición para identificar las mejores opciones de mejora al sistema analizado.

Los autores

ANTECEDENTES

El acelerado crecimiento de la población y el consecuente impacto en los recursos naturales ha puesto en evidencia la necesidad de contar con procesos de planeación que permitan evaluar ex ante el impacto de alguna alternativa o curso de acción en aras de mantener la productividad de los recursos sin comprometer su sustentabilidad para las generaciones venideras, (Sánchez, 2005).

El proceso de toma de decisiones en el contexto del uso de los recursos naturales agua y suelo, involucra la elección de entre una serie de alternativas a la luz de diferentes criterios de evaluación (Eastman, 1999). Sin embargo, la situación de múltiples objetivos (diferentes intereses) es a menudo el común denominador cuando se trata de elegir el mejor curso de acción en la toma de decisiones en grupo. Es en esta situación cuando la teoría de toma de decisiones y planeación multi objetivo del uso de los recursos naturales, adquiere su máxima ventaja y puede ayudar a tomar decisiones sustentables robustas y consensuadas (Heilman *et al.*, 2006).

El manejo integrado de los recursos naturales provee de un mecanismo para tratar todos los aspectos que afectan su sustentabilidad. Integra el conocimiento de áreas 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. Algunos aspectos clave del manejo integrado de recursos naturales son (Letcher and Jakeman, 2003):

- Posee transparencia interactiva que promueve la comunicación.
- Se enfoca a la solución de problemas, es una aproximación interactiva, **adaptativa** que busca el lazo entre la investigación y la política.
- Se enriquece con la participación de tomadores de decisiones.
- Considera las complejidades entre los ambientes naturales y humanos, la dependencia espacial, ciclos e impedimentos.
- Reconoce la falta de conocimiento en aspectos esenciales del problema.

Por otro lado, la toma de decisiones integral es un proceso en el cual los líderes de opinión (o involucrados en el proceso), pueden participar en la definición de problemas, en la identificación de las posibles soluciones, colaboran en la implementación de éstas así como en su evaluación. Descansa en la premisa de que en la solución exitosa de problemas ambientales depende de la participación de todos los involucrados para determinar las estrategias y llevar a cabo su implementación, (Jakeman *et al.*, 2003). La filosofía detrás del concepto es que el proceso se fundamenta en el conocimiento, la experiencia y la ciencia.

Proceso de toma de decisiones

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.

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.
- Y la propia decisión.

En este proceso, la persona puede ser un experto con bastante conocimiento de la situación ó 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.*, 1991; 1994).

Tratándose de los recursos naturales, 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.

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 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 (Nouvelot, 1997; Sánchez, 1995).

Jasso (1999) establece que la teoría de manejo integral propone diagnóstico, aplicación de tecnología y monitoreo del efecto de la aplicación de la tecnología sobre la condición del ecosistema. Es decir, se trata de un ciclo recurrente entre monitoreo, diagnóstico y tecnología. Estos aspectos deben ser considerados en los proyectos de desarrollo y científicos en el contexto del manejo integrado de cuencas e hidrología. Un paso preliminar lo constituye el diagnóstico de las diversas eco regiones desde un punto de vista físico y socio económico para determinar la mejor estrategia de desarrollo tecnológico que permita el crecimiento económico, la integración de la sociedad y la conservación de la biodiversidad.

Sistemas de Auxilio en la Toma de Decisiones (DSS).

En su más amplia acepción, un DSS es cualquier metodología que sea de ayuda a los tomadores de decisión para resolver problemas a través de la síntesis de información (Saaty, 2006). En tal virtud, no es necesario que un DSS este vinculado a una computadora ya que el principio del método es proveer de información al usuario para hacer mejores decisiones a través de su integración. La estructura para tomar decisiones provee de un mecanismo estructurado para la resolución de problemas.

Así entonces, en el ámbito del manejo integrado de los recursos naturales, los sistemas de auxilio en la toma de decisiones constituyen herramientas para

jerarquizar prácticas de manejo para su conservación. Una acepción más amplia son los Sistemas Multi Objetivo para la Toma de Decisiones (MODSS Por sus siglas en inglés).

El significado y utilidad de los DSS depende del objetivo y los usuarios; así, existen dos categorías generales de los DSS:

- Apreciación cualitativa (principalmente fundamentada en formatos en papel) de los efectos de las prácticas de manejo sobre la permanencia de los recursos naturales y
- 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 (está medida 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.

La aproximación

La evaluación ó análisis multi criterio (AMC) busca combinar una serie de criterios para obtener una base de datos compuesta para una decisión acorde a un objetivo específico. Un criterio es aquel que especifica de que manera serán evaluadas las alternativas. Por ejemplo para elegir el lugar donde se pretende construir una obra de captación de agua de lluvia, los criterios (objetivos o factores) con que se evaluarán las alternativas pudieran ser: costo, tipo de suelo, pendiente del terreno, etc. Como se ha asentado, cada alternativa deberá ser evaluada a la luz de estos criterios; así, un lugar podrá ser una buena alternativa bajo el criterio de costo pero no en relación al tipo de suelo, o bien un lugar puede tener buena pendiente para propiciar el escurrimiento pero su costo es muy elevado. En fin, cada alternativa es sometida al escrutinio de los criterios para decir la mejor opción.

La Figura 1 muestra el seguimiento generalizado para la toma de decisiones en grupo y a continuación se describe los pasos esenciales:

Definición del problema

En este apartado se tiene que estar completamente seguro del problema involucrado en la decisión. No todos los problemas se ajustan AMC en el proceso de toma de decisiones; este es útil cuando tenemos varias opciones para elegir una. En la definición del problema es necesario considerar las escalas del proyecto; es decir, si se considerarán los impactos solo en el área de interés ó también los impactos aguas abajo. De igual manera, es importante considerar las escalas de tiempo; por

ejemplo las cuestiones económicas operan en mucho menor tiempo que las cuestiones ambientales, por lo tanto, como regla es necesario considerar escalas similares para que las consideraciones tengan el mismo valor en los sistemas.

Consultar opinión

Es necesario involucrar a los que tomarán la decisión, a los afectados por la decisión, y a toda persona que tenga injerencia directa sobre el proceso de toma de decisiones. Los participantes deben hacer el compromiso de asistir a todas las reuniones o bien que explícitamente indiquen cuando no podrán asistir. Esto es de importancia en virtud a la aproximación de la solución del problema que se realiza por incrementos sucesivos de información y criterios. Evitar a personas que puedan retrasar el proceso: delirio escénico, deseo de sobresalir, manifestación de poder, etc.

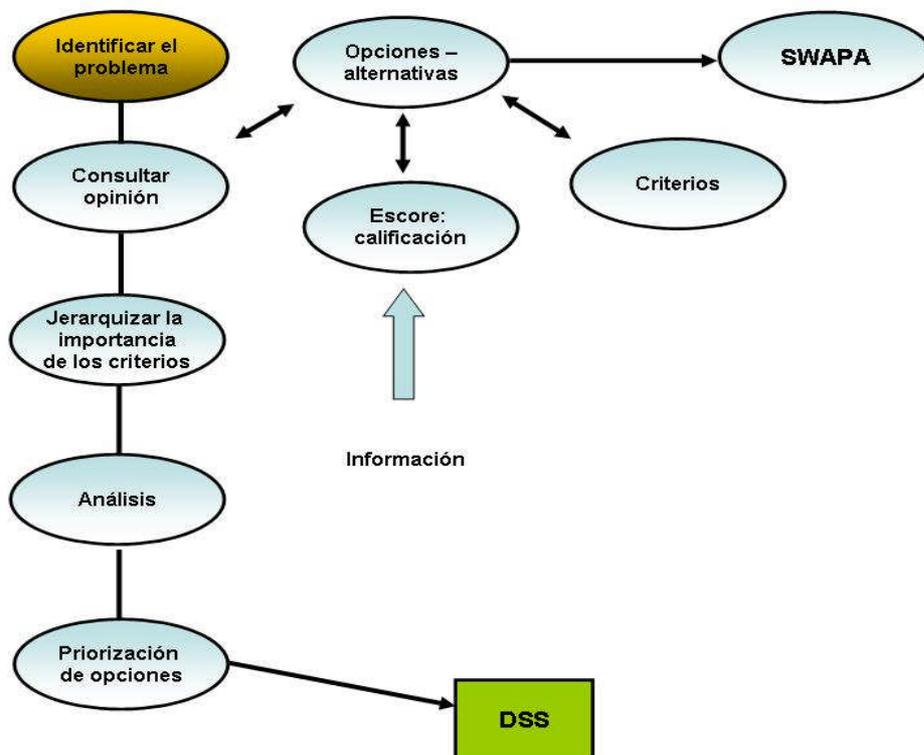


Figura 1. Flujo ordenado de procesos para la toma de decisiones.

Definir alternativas

El listado de alternativas para la solución del problema medular planteado debe de provenir de la participación del grupo (brainstorm).

Las propiedades indispensables que deben de tener las alternativas son:

1. **Comparables:** toda alternativa debe tener las mismas posibilidades de ser elegida pero deben ser independientes; es decir, si un curso de acción depende de otro no es factible su adopción dado que es necesario que se cumplan las condicionantes de la alternativa la que subyace.

2. **Alcance similar:** idealmente debieran tener escalas similares pero no es condicionante dado que eventualmente se someten a proceso de estandarización para hacer las alternativas comparables; de igual manera, las ventajas y desventajas de éstas alternativas deben estar en un mismo plano de competencia, es decir, si de antemano se sabe que una alternativa es mucho mejor que otra no es necesario someterlas a competencia dada la flagrante ventaja de una sobre otra.
3. **Alcanzables:** las alternativas deberán tener las mismas posibilidades de ser realizadas, es importante aquí volver a resaltar la característica de independencia. Los usuarios o los potencialmente impactados por el curso de acción deben tener posibilidades de llevar a cabo la alternativa ya que si depende de terceros es probable que no se realice.
4. Es necesario no contemplar demasiadas alternativas pues se pudiera caer en el ciclo de alternativas interdependientes o en su caso el proceso de evaluación se torna demasiado tortuoso, largo y se dificultarían los acuerdos. Sin embargo, si se culminara con un listado grande de alternativas pudiera hacerse un primer barrido y eliminar aquellas que de antemano se sabe que cuestan mucho, difíciles de llevar a cabo, poco factibles, etc.

Toda vez que se han definido las alternativas hay que describirlas. Esto es importante pues en este paso se deja entrever si todos los participantes comparten la misma definición. También se pueden incorporar nuevas alternativas en la medida que se obtenga mas información o más invitados se adhieran al proceso.

¿Como identificar alternativas viables?

Esta es precisamente la labor de los expertos. El Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de los Estados Unidos de Norte América (NRCS, por sus siglas en inglés), desarrolló un programa (hoja de cálculo) para ayudar en la planeación e identificación de prácticas sustentables de manejo que tengan efectos positivos en los recursos deteriorados así como para identificar efectos negativos potenciales. El programa puede ser obtenido gratuitamente en la URL: <http://www.nm.nrcs.usda.gov>.

El programa, de manera general, muestra un listado de problemas que se pueden presentar en cada recurso natural: suelo, agua, planta, animales y atmósfera, de donde ha emanado el acrónimo que lo identifica SWAPA +H (por sus siglas en inglés; la H involucra las acciones del hombre). Posteriormente, el usuario selecciona los problemas que afectan a su sistema y el programa ofrece una serie de alternativas que aplican a la solución del problema central planteado señalando posibles efectos negativos. Es pertinente recalcar que los efectos de las prácticas en los recursos naturales se presentan de manera subjetiva o nominal; es decir, no numérica. Esta gama de alternativas debe reducirse acorde al punto cuatro señalado anteriormente.

La matriz de efectos físicos resultante de este ejercicio constituye un buen inicio para la identificación de alternativas. Como ejemplo del uso del SWAPA +H se muestra la Tabla 1 en la que se proponen distintas alternativas (prácticas, primer columna) para los problemas con el recurso suelo señalados (primer hilera). Se ha conservado el idioma original para mantener la esencia del programa computacional y no influir en las expectativas de los usuarios.

De la Tabla 1 se puede deducir que las prácticas que mayor influencia tienen en los cuatro problemas con el recurso suelo (erosión laminar y acanalada, estabilidad de agostaderos, contaminantes de desechos animales y otros orgánicos, cantidad de agua como parte del ciclo hidrológico) son: uso de exclusiones, resiembra en el agostadero, y manejo de arbustivas. Esto dado que muestran impactos que van desde moderados a significativos en todos los problemas señalados. Sin embargo es decisión del grupo considerar las otras alternativas como potenciales y no desecharlas en esta etapa de la planeación. Los números que aparecen al lado de las prácticas son los identificadores en el manual de campo.

Tabla 1. Ejemplo de una Matriz de Efectos Físicos para problemas con el recurso suelo.

Resource concerns	Soil Erosion–Shet and Rill	Soil Condition–Rangeland Site Stability	Soil Condition–Contaminants: Animal Waste and Other Organics-N	Water Quantity–Rangeland Hydrologic Cycle
Conservation Practices				
Vegetative Barrier (ft.) 601.	N/A	N/A	N/A	N/A
Use Exclusion (ac.) 472.	Sig Decrease	Mod to Sig Decrease	SI to Mod Decrease	Situational
Tree/Shrub Establishment (ac.) 612.	Sig Decrease	Sig Decrease	SI to Mod Decrease	N/A
Riparian Herbaceous Cover (acre) 390.	Sig Decrease	SI to Sig Decrease	SI to Sig Decrease	N/A
Range Planting (ac.) 550.	SI to Sig Decrease	Mod to Sig Decrease	SI to Mod Decrease	SI to Sig Decrease
Nutrient Management (ac.) 590	SI to Sig Decrease	N/A	SI to Sig Decrease	N/A
Forest Site Preparation (ac.) 490.	N/A	N/A	N/A	SI to Sig Decrease
Brush Management (ac.) 314.	Mod to Sig Decrease	Facilitating	SI to Mod Decrease	SI to Sig Decrease

N/A: efecto no aparente, Sig. Decrease: reducción significativa, Mod to Sig decrease: reducción de moderada a significativa, SI to Sig Decrease: reducción leve a significativa, Facilitating: promueve.

Identificación de criterios

Los criterios constituyen la manera en que se califican las alternativas. En este apartado se debe considerar factores que hacen que una alternativa sea mejor que otra; por ejemplo: costo, efectividad, efectos en la gente, complejidad, etc. Aunque no constituya una regla, tratándose de recursos naturales es conveniente utilizar o agrupar los criterios en tres grandes rubros: aspectos sociales, económicos y ambientales. Esto puede ayudar a asegurar que se llegará a una aproximación balanceada que no favorece a algún aspecto en particular. Un criterio adecuado deberá:

- Distinguir las alternativas: por ejemplo si costo es un criterio y todas las alternativas cuestan lo mismo será difícil elegir entre las opciones.
- Que sea factible de llevarse a cabo.
- Que sea importante para al menos una persona del grupo.

Calificación de alternativas

Existen diferentes métodos para realizar este procedimiento en la toma de decisiones en grupo. El método más común encontrado en la literatura es el conocido como Proceso Jerárquico Analítico (AHP, por sus siglas en ingles), el cual es discutido con mayor amplitud mas adelante. En el método AHP se les pide a los participantes en el proceso que selección el efecto o criterio más importante de entre dos que se comparan. Posteriormente se pide que califiquen de manera cualitativa hasta donde el primer efecto es más importante que el segundo. El método convierte después estas comparaciones a pesos cuantitativos. Con este método se puede calcular un índice de inconsistencia para verificar que las opiniones de los participantes (en términos de los pesos adjudicados a los factores) no hayan sido aleatoriamente elegidas.

Otro método es el de Asignación Directa de Pesos (ADP) en el que los participantes seleccionan la escala (comúnmente los valores oscilan entre cero y uno) siendo el cero la alternativa menos importante y uno la mejor. En este procedimiento al igual que en el método de Asignación Aleatoria de Pesos discutido mas adelante, se deben cumplir dos condiciones:

- a) el valor de los pesos debe corresponder a la jerarquización realizada por los participantes.

$$Sc_1 \succ Sc_2 \succ Sc_n \quad 1$$

y

- b) la sumatoria de los pesos debe ser igual a uno.

$$\omega_1 + \omega_2 + \omega_n = 1 \quad 2$$

El software Facilitator (Heilman *et al.*, 2003; Lawrence, 1996) considerando estas dos restricciones plantea un problema lineal. La estructura numérica del Facilitator, se fundamenta en el trabajo de Yakowitz *et al.* (1993) partiendo del siguiente raciocinio: suponiendo que existen n criterios que el tomador de decisiones ha jerarquizado en un determinado orden de importancia. Si Sc_{ij} es el score de la alternativa j evaluada con respecto al criterio i en el orden de importancia, y ω_i es un factor de peso asociado con el criterio i , entonces el score mas alto (ó bajo) y el mejor (ó peor) para la alternativa j en congruencia con el orden de importancia, se encuentra resolviendo el siguiente problema lineal descrito para los pesos ω_i :

$$\max (\min) Sc_j = \sum_{i=1}^n \omega_i Sc_{ij}$$

$$\text{sujeto a } \sum_{i=1}^n \omega = 1$$

$$\omega_1 \geq \omega_2 \dots \geq \omega_n \geq 0$$

3

La Figura 2 Esquematiza este procedimiento en el que se consideran tres criterios.

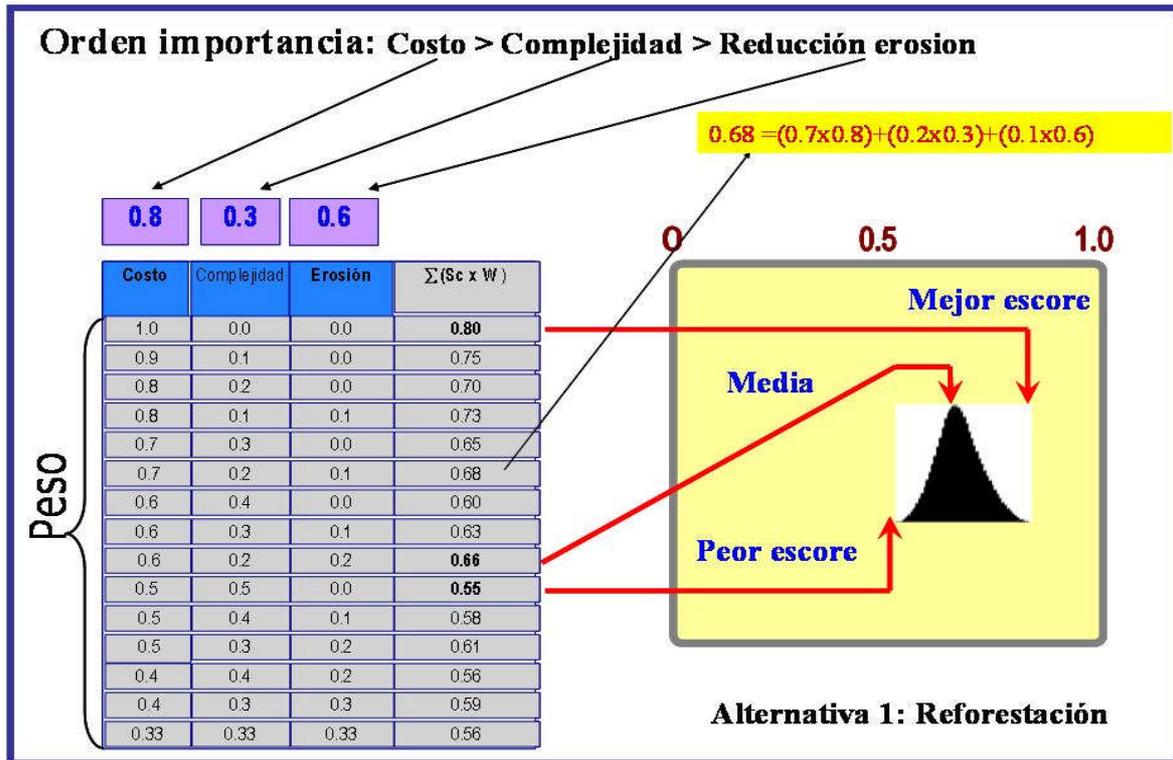


Figura 2. Secuencia esquemática para la asignación de pesos. Los usuarios jerarquizaron los criterios de mayor a menor: costo > complejidad > reducción de erosión otorgándole los scores de 0.8, 0.3 y 0.6 respectivamente para la alternativa reforestación.

Jerarquización de criterios

En recursos naturales, es aconsejable agrupar los criterios bajo grandes rubros como se mencionó anteriormente (económico, social, ambiental, etc.) principalmente si existe traslape entre criterios. Se puede ubicar un mismo criterio en diferentes rubros; por ejemplo empleo puede ubicarse tanto en aspectos sociales como económicos; así, si los impactos son diferentes desde las dos perspectivas se pueden evaluar diferentemente. No existe límite en cuanto al número de criterios a usar pero no más de siete es lo óptimo para que el proceso sea laxo y no confundir a los participantes.

Asignación Aleatoria de Pesos (AAP).

En este método se les pide a los participantes jerarquizar los efectos del más al menos importante. Posteriormente los pesos numéricos se encuentran de manera aleatoria mediante un generador de números aleatorios que debe cumplir con las dos condiciones descritas anteriormente (ecuaciones 1 y 2).

El ordenamiento de las alternativas se determina para un largo número de series de pesos generadas por el generador aleatorio cumpliendo con las dos condiciones expuestas. Posteriormente este ranqueo se convierte en una tabla de frecuencias en la que se cuenta cuántas veces una alternativa calificó mejor que las otras para así definir la mejor.

Selección de escala de medición

La manera en que se miden los scores varían en función del caso que se trate; estos valores pueden ser muy precisos y otras veces son meramente indicadores difusos o con cierto grado de vaguedad. Así, un efecto puede ser expresado en minutos o en toneladas y otro en términos cualitativos como mas/menos etc. La escala de medición juega un papel preponderante en la evaluación de la matriz de efectos por lo que la elección adecuada de la escala de medición constituye un elemento importante en la definición de esta matriz.

Existen diferentes maneras de medir el impacto de la alternativa en el criterio de evaluación. Las escalas comunes son:

- **Cocientes:** La importancia de un efecto medido con esta escala es proporcional a su valor; ejemplos de esto son la velocidad de un carro y los habitantes de una ciudad.
- **Intervalo:** En esta escala solo las diferencias entre efectos son significativos. Un ejemplo de esto es el argumento que 40 °C es dos veces mas caliente que 20 °C lo cual es incorrecto. Sin embargo si se establece que la diferencia entre 20 y 40 °C es dos veces mayor que aquella entre 10 y 20 °C, es correcto.
- **Monetaria:** Esta escala es un caso especial de la escala de cocientes. Los efectos se miden en unidades de dinero. Todos los scores monetarios y otros valores deben ser expresados en las mismas unidades (pesos, dólares, euros, etc.). Ejemplos de esta escala son: costos, precios, ingresos.
- **Ordinal:** Los efectos medidos con la escala ordinal pueden solo ranquearse, es decir asignar el valor uno, dos, tres, etc. según sea la preferencia de la alternativa, siendo en ese orden uno la mejor y tres la peor.
- **Nominal:** Los efectos medidos con esta escala no se pueden usar para ranquear las alternativas pues solo las especifican. Ejemplos de esto son el nombre de una localidad o el color de una determinada alternativa.

- **Binaria:** En la escala binaria solo se establece si un efecto ocurre o no siendo necesario indicar si una respuesta afirmativa (si) es mejor que una negativa (no) o viceversa. La violación de algún estándar ambiental es un ejemplo de esto.
- Una novedosa aproximación en el proceso de escalar alternativas es el uso de una escala subjetiva que es posteriormente trasladada a escala numérica mediante procesos de estandarización. Esta escala es útil como primera aproximación para la toma de decisiones en grupo y para identificar aquellas alternativas que tendrían que ser evaluadas con información proveniente de campo, modelos de simulación u otra fuente de información. También este método es una excelente opción para presentar a los tomadores de decisiones en un proceso preliminar, el impacto de alternativas sobre los recursos afectados.

La escala ---/+++ se utiliza para medir los impactos de las alternativas y transformar posteriormente las opiniones como: más o menos, poco, mucho, etc. Sin embargo debe tenerse cuidado de interpretar los resultados. Generalmente los “-“ y “+” significan lo siguiente:

---	Impacto negativo muy grande.
--	Impacto negativo grande.
-	Efecto negativo pequeño.
0	Sin efecto.
+	Efecto positivo pequeño.
++	Efecto positivo grande.
+++	Efecto positivo muy grande.

En el método del Proceso Analítico Jerárquico (AHP), se selecciona el efecto más importante entre dos opciones; posteriormente el método cuestiona hasta donde el primer efecto es más importante que el otro. El método convierte las comparaciones de todos los efectos por pares a pesos cuantitativos.

En la comparación por pares el número de comparaciones (NC) se incrementa combinatoriamente con el número de criterios de la siguiente manera:

$$NC : n * \frac{n-1}{2} \quad 1$$

Donde n es el número de criterios; por ejemplo la asignación de pesos para cuatro criterios involucra seis comparaciones. Si los criterios fueran diez se requeriría de 45 comparaciones. Por lo anterior no se recomienda el método de asignación de pesos cuando los criterios son mas de siete (21 comparaciones).

Principios del proceso jerárquico analítico (AHP).

La esencia del AHP es la construcción de una matriz que expresa los valores relativos de un grupo de atributos. El procedimiento consiste en hacer

comparaciones entre alternativas a través de criterios; por ejemplo en conservación de recursos naturales una alternativa pudiera ser obras de conservación del suelo y algunos criterios de evaluación sería eficiencia en términos de prevención de erosión, costo de implementación, dificultad de llevar a cabo, etc. Así, el grupo de decisión tiene que elegir si una alternativa es mucho más importante, o solo importante o mucho menos importante que otra alternativa. La escala propuesta para representar esto, es: (Saaty, 1997):

Tabla 2. Escala para dimensionar el impacto de alternativas en el método de comparación por pares.

Intensidad de importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Los dos factores contribuyen igualmente al objetivo.
3	Mas importante	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente a una opción sobre la otra.
5	Mucho mas importante	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a una opción sobre la otra.
7	Mucho mas importante	La experiencia y el juicio favorecen muy fuertemente a una opción sobre la otra.
9	Absolutamente mas 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 es que si el atributo “A” es absolutamente mas importante que el atributo “B” (peso = nueve), luego entonces “B” es absolutamente menos importante que “A” por lo que el valor de B = 1/9. Por eso la matriz resultante es recíproca.

Las comparaciones se llevan a cabo para todos los factores considerados, mismos que se recomienda no sean mayor a siete, hasta que la matriz sea completada. El siguiente paso es el cálculo de los pesos relativos, la importancia o valor de los factores tales como eficiencia o costo que son relevantes al problema en cuestión; técnicamente a esta listado se le conoce como eigenvector (vector de valor). Para mantener congruencia con la literatura internacional y para guardar el significado intrínseco de la palabra, en el presente documento se usa eigenvector y valor eingen).

En el método AHP la etapa final consiste en calcular el cociente de consistencia (CR, por sus siglas en ingles) cuyo significado trivial es la probabilidad de 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 CR es mayor a 0.10 (Saaty y Vargas, 2002), significa que los resultados son cuestionables y que presentan aleatoriedad por lo que el ejercicio tendría que repetirse cambiando a los participantes por personas realmente compenetrados con el problema.

Matemática fundamental en el proceso AHP

Adelante se detalla un ejemplo para entender la teoría descrita; sin embargo, sin caer en la exageración numérica, es necesario explicar de manera sucinta el álgebra de matrices que implica el uso del AHP en el proceso de toma de decisiones.

Considérense 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, encuéntrese 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 eingen. 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 de la Tabla 1 para posteriormente obtener $[A \times \omega]$. Se puede observar que:

$$[A]x\omega = n\omega \quad 2$$

Y dado que:

$$\begin{bmatrix} 1 & \frac{\omega_1}{\omega_2} & \frac{\omega_1}{\omega_n} \\ \frac{\omega_2}{\omega_1} & 1 & \frac{\omega_2}{\omega_n} \\ \frac{\omega_n}{\omega_1} & \frac{\omega_n}{\omega_2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n\omega_1 \\ n\omega_2 \\ n\omega_3 \end{bmatrix} \quad 3$$

Dada la ecuación 2, se puede notar que n es un valor eingen de $[A]$.

Para matrices que involucran la opinión de los participantes en el proceso de toma de decisiones (tal es el caso del 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:

$$A\omega = \lambda_{\max} \omega \quad y \quad \lambda_{\max} \geq n \quad 4$$

La diferencia entre λ_{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.

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

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad 5$$

Este índice se compara con un índice obtenido a través de la generación de matrices completamente al azar. Para facilitar este proceso, Saaty (1987) presenta la Tabla 3 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 3 entre el IC de la Tabla 3.

Tabla 3. Valores aleatorios para el cálculo del IC para diferentes órdenes de matrices.

Orden (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Valor	0.0	0.0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Ejemplo:

En una cuenca hidrológica se tiene el problema del deterioro de recursos naturales por causas varias. Los organismos estatales están interesados en incursionar en programas de mejora a través de varios mecanismos. El grupo de expertos han identificado tres alternativas acorde a la experiencia de campo y en consulta con organismos operadores de la región. Estas alternativas son: reforestación, establecimiento de zonas de exclusión y capacitación a usuarios de la cuenca. Los factores ó criterios de calidad con que serán evaluadas el comportamiento de cada alternativa son: reducción de la erosión, el costo y la complejidad para llevar al cabo la alternativa. Así la matriz inicial para la comparación por pares es:

Tabla 4. Matriz inicial para la comparación por pares mostrando la diagonal principal.

	Reforestación	Zonas Exclusivas	Capacitación
Reforestación	1		
Zonas Exclusión		1	
Capacitación			1

Aplicando la ecuación 1 se tiene que el número de comparaciones será de 3.

El siguiente paso es realizar la comparación tomado dos alternativas a la vez y evaluarlas a la luz de los tres criterios que califican el comportamiento de las alternativas, i.e: Reducción de la erosión, costo y complejidad, así se obtienen las matrices que a continuación se señalan:

Tabla 5. Matrices resultantes de la comparación por pares aplicando el procedimiento que señala la Tabla 1 y las ecuaciones 2 a la 5.

Comparación por pares con respecto a costo				
	Reforestación	Zonas Exclusión	Capacitación	Eigenvalor
Reforestación	1.0	1.0	3.0	0.443
Zonas Exclusión	1.0	1.0	2.0	0.387
Capacitación	1/3	1/2	1.0	0.169
Conciento de Inconsistencia = 0.016				
Comparación por pares con respecto a reducción de la erosión				
	Reforestación	Zonas Exclusión	Capacitación	Eigenvalor
Reforestación	1.0	2.0	3.0	0.54
Zonas Exclusión	1/2	1.0	2.0	0.297
Capacitación	1/3	1/2	1.0	0.163
Conciento de Inconsistencia = 0.0080				
Comparación por pares con respecto a complejidad				
	Reforestación	Zonas Exclusión	Capacitación	Eigenvalor
Reforestación	1.0	1/2	3.0	0.349
Zonas Exclusión	2.0	1.0	2.0	0.484
Capacitación	1/3	1/2	1.0	0.168
Conciento de Inconsistencia = 0.117				

Cálculos:

Los valores de las matrices de la Tabla 5 se obtuvieron de la siguiente manera:

1. Multiplicar los valores a_{ij} de cada renglón y obtener la raíz “ n ” (en este caso $n = 3$) de tal manera que:

$$\sum_{i,j=1,1}^{i,j=n,n} [a_{ij}]^{\frac{1}{n}} = (1*1*3)^{\frac{1}{3}} + (1*1*2)^{\frac{1}{3}} + (\frac{1}{3} * \frac{1}{2} * 1)^{\frac{1}{3}} = 1.442 + 1.259 + 0.550 = 3.2524 \quad 6$$

2. Obtener el eigenvalor dividiendo la sumatoria parcial de cada sumando entre 3.2524, así el eigenvalor de la primera matriz quedaría como:

$1.442/3.254 = 0.4434$ primer valor eingen, $1.259/3.254 = 0.3873$ segundo valor y $0.5503/3.254 = 0.1691$. Estos valores constituyen el eigenvalor (columna derecha de la matriz del ejemplo).

3. El siguiente paso es obtener λ_{max} como punto intermedio para obtener el índice de inconsistencia (IC): primero se multiplica el eigenvalor por cada valor a_{ij} para obtener un nuevo valor; así, los cálculos para la primera hilera de la matriz son:

$$(1*0.4434 + 1*0.3873 + 3*0.1691) = 1.337$$

para la segunda hilera:

$$(1*0.4434 + 1*0.387 + 2*0.169) = 1.168$$

para la tercera y última hilera se tiene:

$$(1/3 \cdot 0.4337 + 1/2 \cdot 0.387 + 1 \cdot 0.169) = 0.5101$$

Este vector de tres elementos (1.337, 1.168 y 0.5101) es $A\omega = \lambda_{max}\omega$ (acorde a la teoría expuesta anteriormente).

4. Obtener los tres valores de λ_{max} dividiendo los valores anteriores entre el eigenvector como:

$$(1.337/0.443) = 3.018$$

$$(1.168/0.387) = 3.018$$

$$(0.5101/0.169) = 3.018$$

Cuyo valor medio es 3.0182 que constituye el estimador de λ_{max}

Si alguno de los valores de λ_{max} es menor que “n”, los cálculos deben de ser revisados pues constituye un error.

5. Acorde al índice de inconsistencia de la ecuación 5 este valor es:

$$IC = \frac{3.0182 - 3}{2} = 0.0091$$

6. El paso final es calcular el Cociente de Inconsistencia que resulta de dividir e IC calculado anteriormente entre el IC de las matrices aleatorias de la Tabla 2. Para el presente caso, como $n = 3$ el IC para una matriz aleatoria de ese orden es 0.58 por lo que el Cociente de Inconsistencia es $0.0091/0.58 = 0.016 < 0.10$. Se deduce entonces que el ejercicio es válido y los juicios emitidos fueron consistentes.

7. Este procedimiento se repite para cada matriz expuesta en la Tabla 4.

Métodos de estandarización

Los scores de los efectos se pueden comparar solo si comparten las mismas unidades. Así, mediante el proceso de estandarización se uniformizan unidades de tal manera que los scores pierden su dimensión junto con sus unidades de medición.

Existen distintos programas computacionales (DSS) que efectúan este procedimiento ofreciendo una gama de funciones de score de las cuales se tiene que elegir aquella que esquematiza mejor al efecto; por ejemplo, si se trata de ganancias, la función de score que mejor describe esto es “mas es mejor”; si fuera erosión de suelo, la función sería “mas es peor” o bien pudiera ser una función sigmoideal cuyos puntos de inflexión inferior y superior cuantificarían el rango de interés. Por ejemplo distancia a zonas pobladas pudiera ser un criterio para realizar a una obra dado que el efecto ambiental es función de esto. Así por ejemplo dentro de los primeros dos kilómetros (0 a 2 km) el impacto es fuerte y a medida que nos

alejamos de la ciudad el impacto decrece a partir de ahí de manera exponencial hasta los 50 km después de los cuales es irrelevante en términos ambientales que tan lejos quede ubicada la obra. Esta situación se puede describir por una función “mas es peor” con pendiente negativa; es decir, mientras más cerca de la ciudad el impacto es peor. En este caso se tiene que estar muy atento a que mientras mayor sea el escore el resultado es peor opuesto al mecanismo usual en el que mientras mayor el escore es mejor (véase Figura 3).). Otras funciones de escore comúnmente usadas se muestran en la Tabla 6.

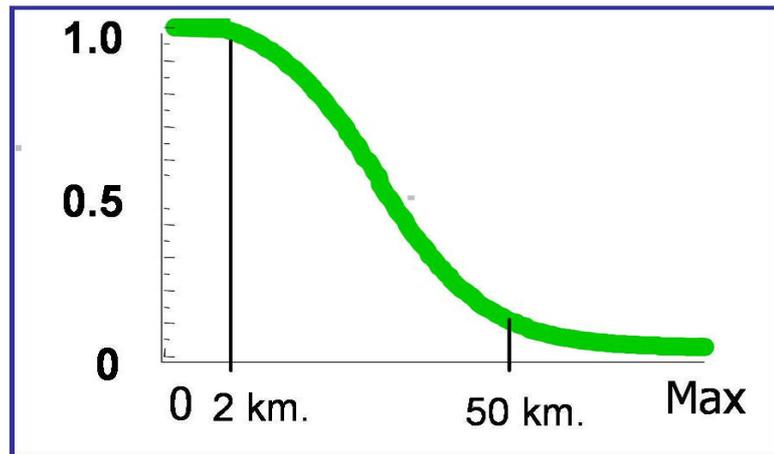
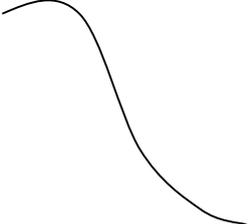
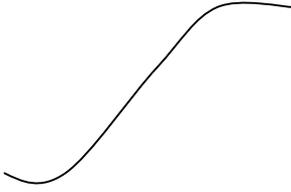
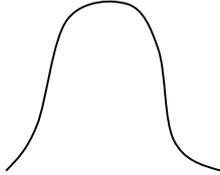
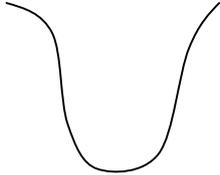
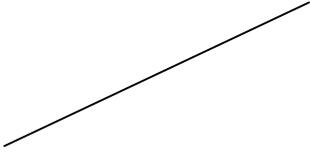


Figura 3. Función de escore “mas es peor” sigmoide.

Tabla 6: Descripción de funciones para calificar impacto. (Sánchez, 2005, Heilman, *et al* 2006)

Función de escore	Representación de la variable	Observaciones
MAS ES PEOR		<p>Normalmente es usada para representar fenómenos de deterioro como contaminación, erosión, etc.</p>
MAS ES MEJOR		<p>Función utilizada para representar incrementos benéficos como rendimiento, ingreso, bienestar, etc.</p>
RANGO DESEABLE		<p>Cuando la variable de interés esta acotada por un mínimo y un máximo como rangos permisibles de contaminación, desechos, etc.</p>
RANGO NO DESEABLE		<p>Cuando la variable de interés esta acotada por un mínimo y un máximo como rangos no permisibles.</p>
MAS ES MEJOR LINEAL		<p>Función usada cuando existe la opinión del experto. Los valores de "y" corresponden a los valores de "x" dada la pendiente positiva de 45° de la recta.</p>

Descripción de software

La literatura menciona un gran número de sistemas de auxilio en la toma de decisiones; por ejemplo, Power (2003) establece que los trabajos iniciales en este contexto fueron diseñados para automatizar la generación de reportes mediante computadora. Otros trabajos pioneros fueron los de Keen y Morton (1978) y Bonczek *et al.*, 1981. Por otro lado, Holsapple y Whinston (2001) y Turban y Aronson (2000) presentan una buena revisión del estado actual de los DSS y analizan algunos conceptos. Bonczek (1976), fue uno de los pioneros en el uso de un DSS en aspectos relativos al manejo de los recursos naturales.

En tratándose del manejo de recursos naturales, Lawrence *et al.*, 2001 y Lawrence *et al.*, 2002, mencionan el uso de un DSS, que ha sido desarrollado por el servicio de investigación en la agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica y cuya interfase amigable con el usuario ha sido desarrollada por el Departamento de Recursos Naturales de Queensland, Australia. El inicio de este esfuerzo es el desarrollo del Sistema de Auxilio Multi Objetivo para la Toma de Decisiones (MODSS) el cual considera bases de datos, modelo de optimización en hidrología, erosión, químicos, nutrición, economía y un modelo de decisión como herramienta, (Lane *et al.*, 1991).

El software del MODSS apoya la toma de decisiones individuales o grupales y utiliza alternativas de decisión, una jerarquización de los rangos de los criterios de decisión, funciones score y programación lineal para identificar las mejores alternativas de decisión para el manejo de un problema determinado. A la tabla que se genera con los criterios, alternativas y scores se le denomina matriz y se caracteriza por ser genérica y abierta para motivar la participación de tomadores de decisiones y puede aceptar información de hechos reales, resultados de modelos de simulación y la opinión de expertos en el campo de interés para soportar la toma de decisiones.

Una vez llena la matriz se procede a evaluar las alternativas con los criterios correspondientes, pudiendo ver los resultados en un formato de barras horizontales para mostrar las mejores y peores alternativas de los scores. La longitud de las barras representa la sensibilidad de cada alternativa para cada uno de los criterios.

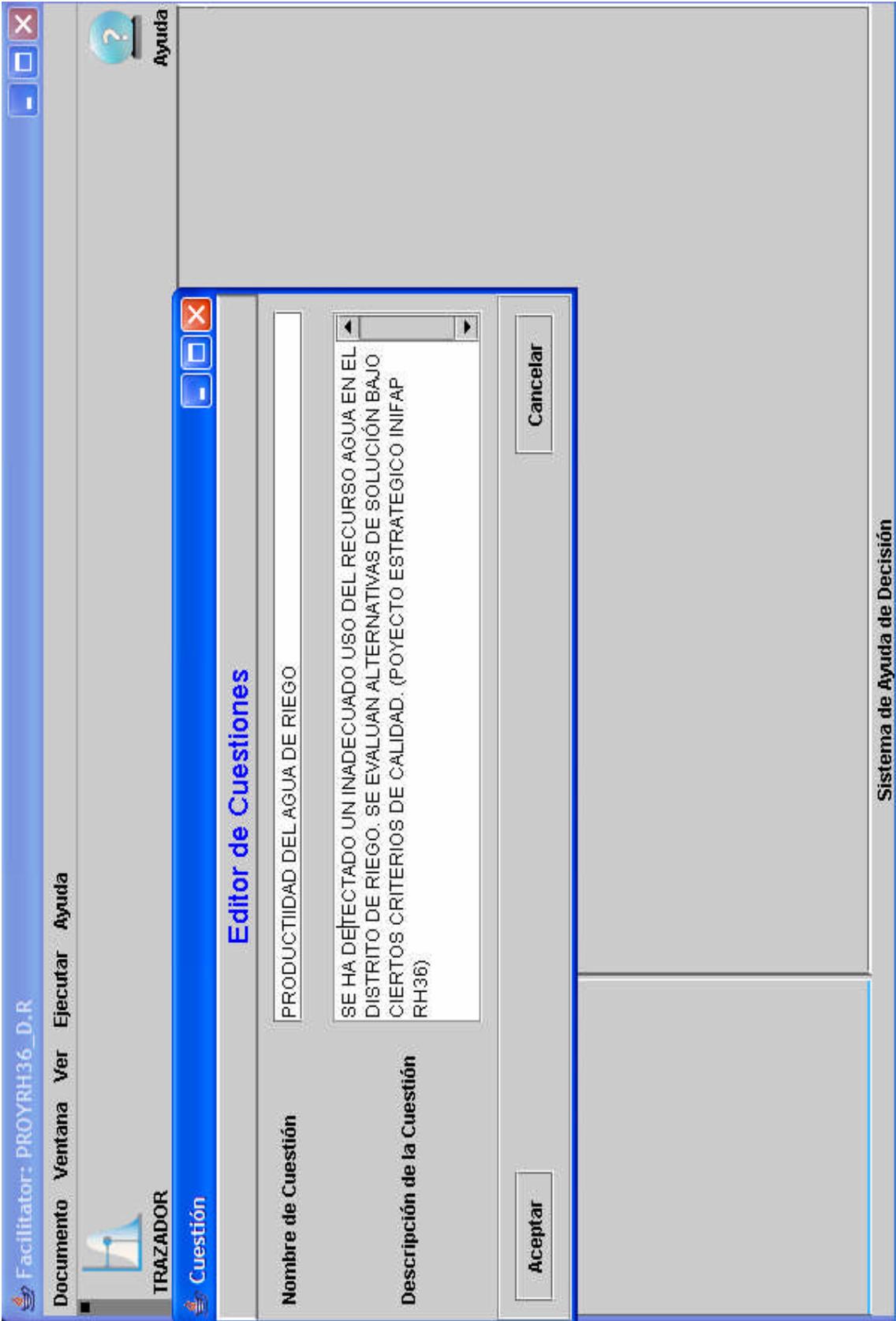
La importancia de los modelos radica, entre otros aspectos, en la simulación y predicción de los fenómenos físicos, a corto, mediano y largo plazo. Así mismo, a través de los modelos se pueden obtener relaciones de causa-efecto, sin haber realizado cambios en los sistemas reales (Oropeza, 1999). Los modelos de simulación en las áreas referidas han sido derivados de los modelos CREAMS (Químicos, Ecurrimientos y Erosión de Sistemas de Manejo Agrícolas, por sus siglas en ingles) (Knisel, 1980) y EPIC (modelo para calcular el impacto de la erosión en la productividad, por sus siglas en ingles) (Williams *et al.*, 1983). El modelo de decisión basado en la toma de decisión multiobjetivo permite conciliar conflictos de intereses, ya que un plan de manejo de recursos naturales puede reforzar un subproceso de interés, pero puede a su vez afectar otros procesos adversamente (Leonard *et al.*, 1987).

DSS Facilitador

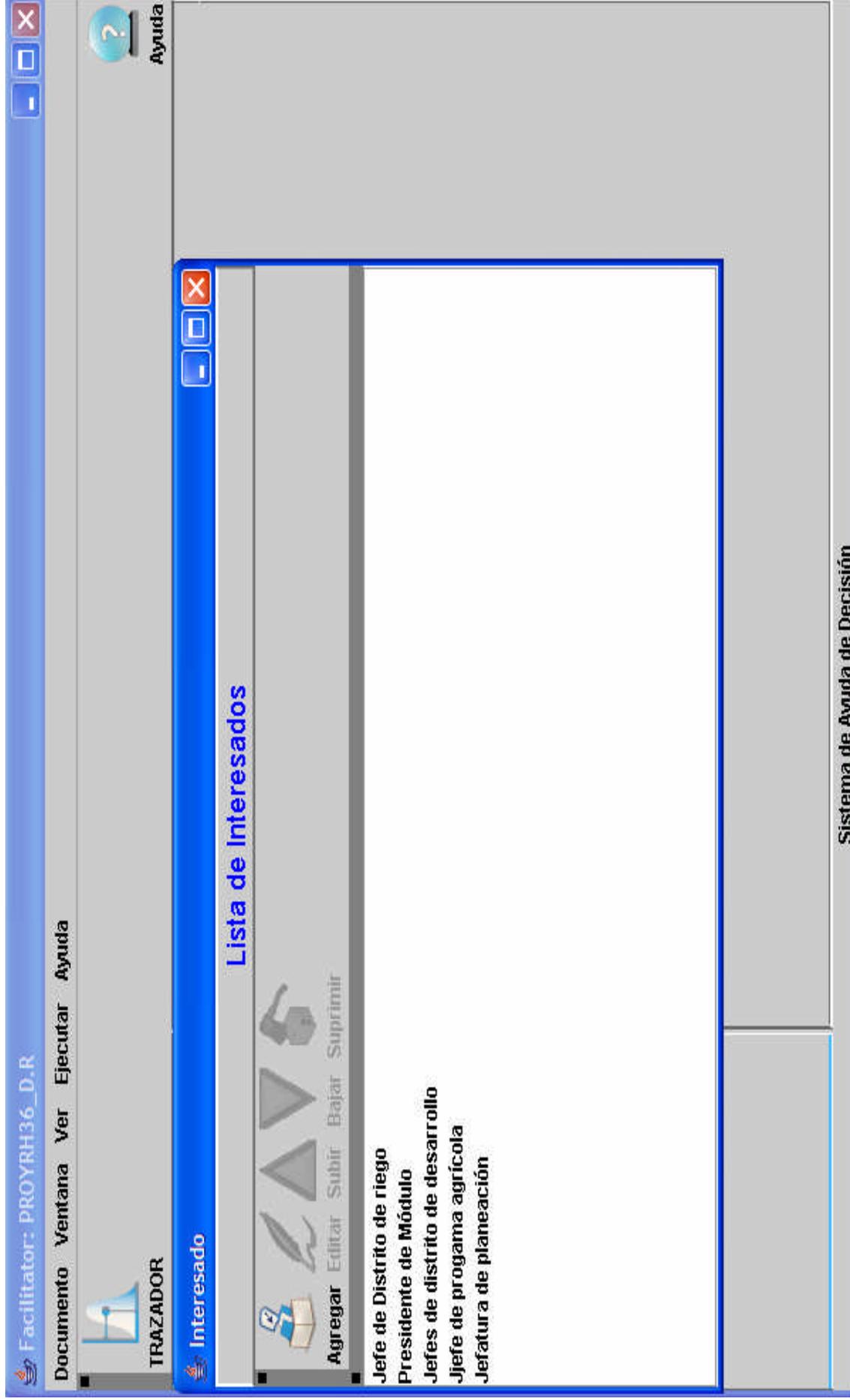
El programa computacional Facilitador, es un software que apoya la toma de decisiones individuales o grupales con la utilización de alternativas de decisión, una jerarquización de los rangos de los criterios de decisión, funciones de score y programación lineal para identificar las mejores alternativas de decisión para el manejo de un problema determinado. Se puede asentar, sin pérdida de generalidad, que la gran mayoría de los DSS existentes contemplan los mismos componentes adecuados a la rama de la ciencia que se trate. El algoritmo matemático de este software se ha descrito mediante las ecuaciones 1, 2 y 3. La Tabla 6 sintetiza los pasos y el uso del software mismo que es de dominio público y se puede obtener en la siguiente URL: <http://facilitator.sourceforge.net/>.

En el ejemplo de la Tabla 6 se desarrolla un caso real para evaluar alternativas que propicien el uso sustentable del agua de riego en un distrito de riego. (Sánchez *et al.*, 2006). Para el logro de los objetivos se mantuvieron reuniones sucesivas con los interesados: jefe del distrito de riego, jefes de desarrollo rural, personal administrativo de la Comisión Nacional del Agua, productores líderes de opinión, investigadores y la banca mismos que plantearon el problema y manifestaron deseos de solventarlo.

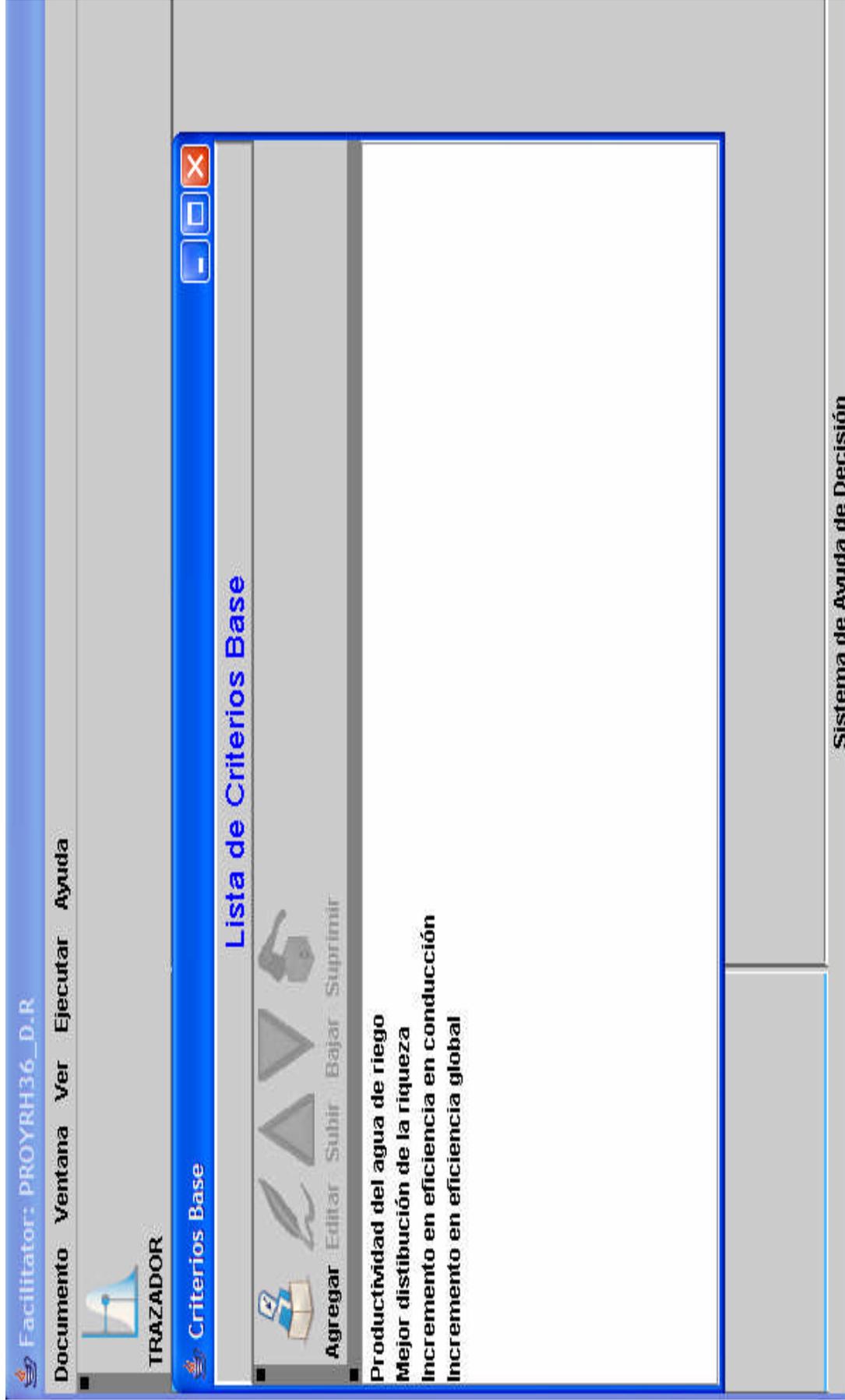
Tabla 6. Síntesis del seguimiento en el uso del software Facilitador (Sánchez, 2005).



Se define el problema alrededor del cual se desarrolla el ejercicio haciendo una breve descripción del mismo. En este paso, es necesario que quede claro para los participantes los alcances y límites de la solución



En esta pantalla se capturan los interesados o líderes de opinión que participan en el proceso de planeación. Es deseable que los participantes estén presentes durante todo el proceso de planeación y análisis de alternativas.



Se presentan los criterios mediante los cuales será medida la efectividad de las alternativas. Es importante que éstos sean entendidos por todos. Estos criterios conformarán las columnas de la matriz de decisión. En esta pantalla también se elige la función de score que define al criterio como se ha señalado líneas arriba. El procedimiento es posicionar el cursor en un determinado criterio y posteriormente pulsar la pestaña de propiedades. Si se cuenta con la opinión de expertos, entonces se elige la función mas es mejor lineal y se pide a los asistentes que califiquen el impacto de la alternativa en cada criterio de calidad en una escala de cero a uno calificando a la alternativa actual con 0.5.

Facilitador: PROYRH36_D.R

Documento Ventana Ver Ejecutar Ayuda

TRAZADOR Cuestión Los Interesados Los Criterios Base

Alternativa

Agregar Editar Subir Bajar Suprimir

Lista de Alternativas

- Cambio patron de cultivos
- Cambio a cultivos de invierno
- Capacitación a usuarios del riego
- Rehabilitación de infraestructurahidráulica
- Compactación y mercado del agua
- Precio del recurso
- Situación actual
- Dotación volumetrica
- Conoc. base para agronegocios

Sistema de Ayuda de Decisión

Las alternativas son aquellas acciones o cursos de acción relativas al problema. Estas forman las hileras de la matriz de decisión

Facilitador: PROYRH36_D.R

Documento Ventana Ver Ejecutar Ayuda

TRAZADOR

	Prod. agua	Distr. riqueza	Ef. Cond.	EF Global
Cambio patron de cultivos	0.7	0.6	0.5	0.7
Cambio a cultivos de invierno	0.75	0.5	0.6	0.8
Capacitación a usuarios del riego	0.8	0.5	0.6	0.87
Rehabilitación de infraestructura hidr:	0.65	0.6	0.88	0.8
Compactación y mercado del agua	0.65	0.75	0.75	0.6
Precio del recurso	0.88	0.7	0.8	0.87
Situación actual	0.5	0.5	0.5	0.5
Dotación volumetrica	0.8	0.7	0.75	0.7
Conoc. base para agronegocios	0.6	0.8	0.6	0.6

Sistema de Ayuda de Decisión

Toda vez que se han capturado los criterios y las alternativas, se conforma (automáticamente por el software) la matriz. En el caso de la función de score mas es mejor lineal, los valores de esta matriz (experimental) son proporcionados por los interesados como se mencionó anteriormente.

Facilitador: PROYRH36_D.R

Documento Ventana Ver Ejecutar Ayuda

TRAZADOR

	Prod. agua	Distr. riqueza	Ef. Cond.	EF Global
Cambio patron de cultivos	0.7	0.6	0.5	0.7
Cambio a cultivos de invierno	0.75	0.5	0.6	0.8
Capacitación a usuarios del riego	0.8	0.5	0.6	0.87
Rehabilitación de infraestructura:	0.65	0.6	0.6	0.8
Compactación y mercado del agua	0.6	0.6	0.6	0.6
Precio del recurso	0.6	0.6	0.6	0.67
Situación actual	0.6	0.6	0.6	0.5
Dotación volumétrica	0.6	0.6	0.6	0.7
Conoc. base para agronegocios	0.6	0.6	0.6	0.6

Ordenación Jerárquica

Agregar Compuesto Editar Compuesto **Agregar Base** Suprimir

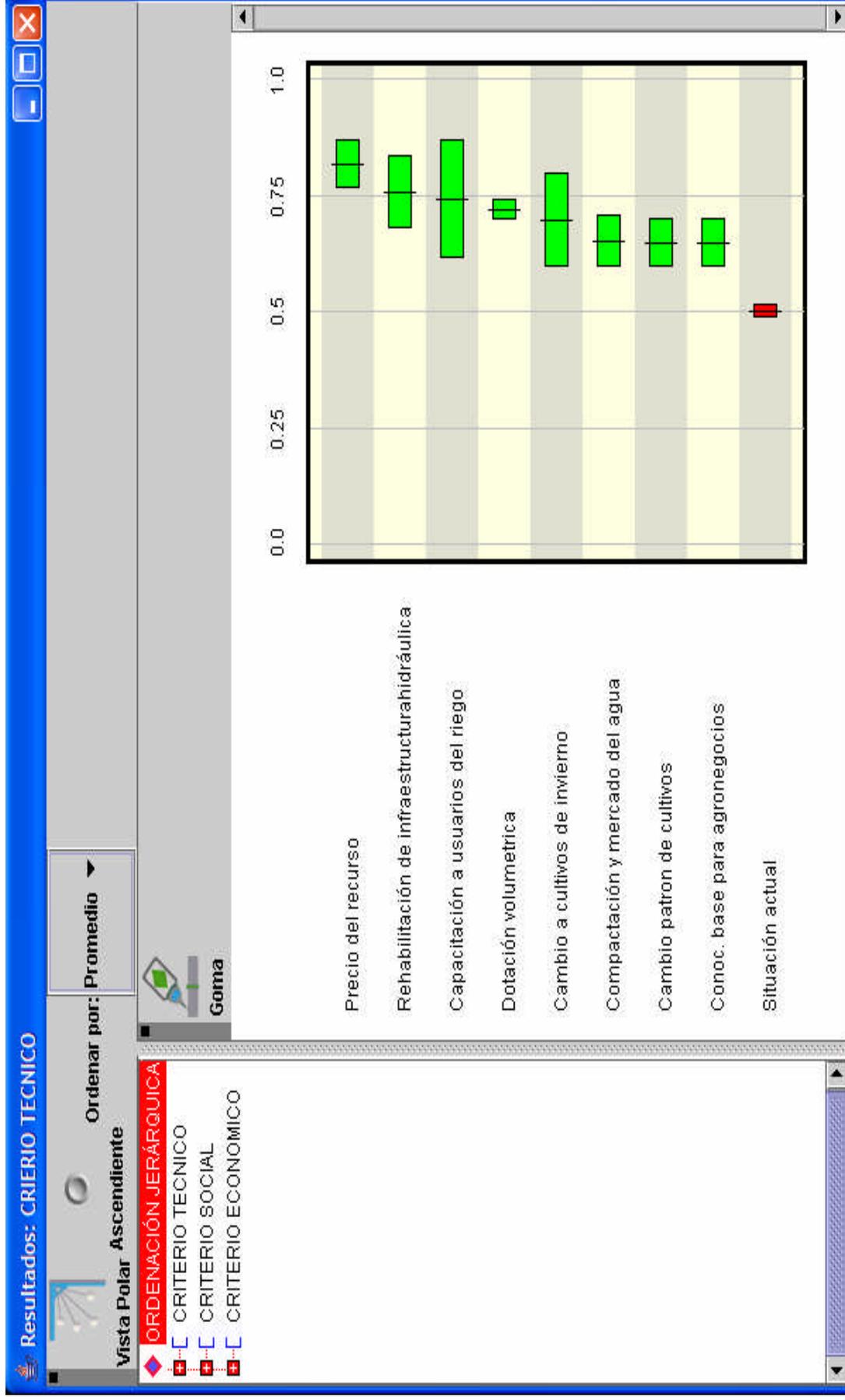
Expandir **Contraer** **Agregar Toda Base** **Ejecutar**

Informe **Ayuda**

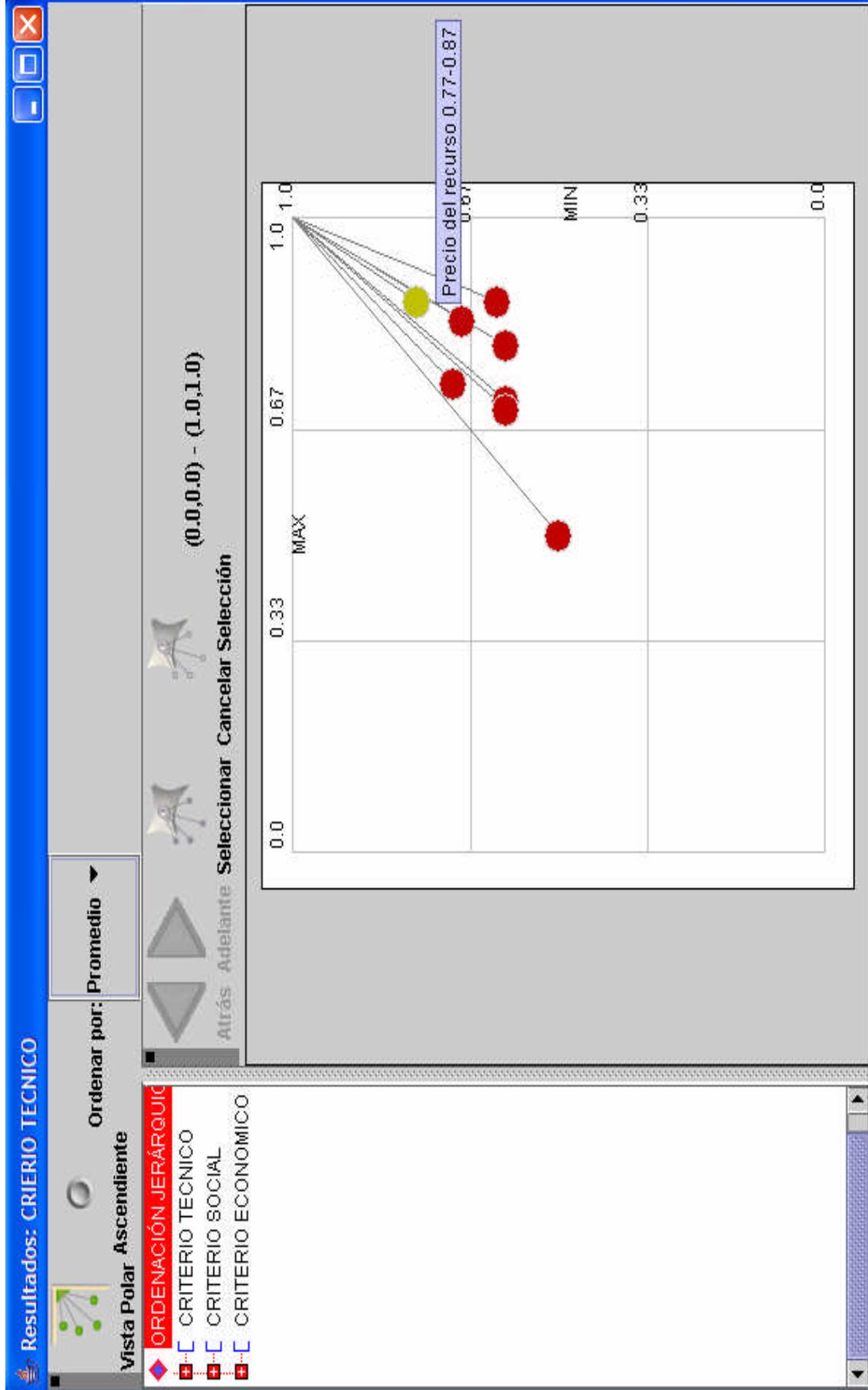
- ◆ **ORDENACIÓN JERÁRQUICA**
- CRITERIO ECONOMICO
 - Productividad del agua de riego
- CRITERIO SOCIAL
 - Mejor distribución de la riqueza
- CRITERIO TECNICO
 - Incremento en eficiencia global
 - Incremento en eficiencia en conducción

Sistema de Ayuda de Decisión

Como se explicó antes, se puede dar diferente orden a los criterios de calidad así como también se pueden agrupar los criterios en criterios genéricos. Tal es el caso de la pantalla a la derecha en la que los criterios de calidad se agruparon en tres criterios globales: económico, social y técnico.



Toda vez que se definió el orden jerárquico (en el presente caso se le otorgó más peso al criterio técnico) se realiza el análisis y la pantalla resultante (derecha) muestra los resultados. La amplitud de las barras muestra la sensibilidad de la alternativa (mientras más angosta, quiere decir que hay mayor consenso). En las barras aparece indicado el valor promedio; el orden en que aparecen las barras (si se ordenan por promedio) indican el curso de acción a seguir para solventar el problema (cuestión) planteada. Para el presente caso, nótese que cualquier alternativa que se adopte, es mejor que seguir con la alternativa o curso de acción actual.



Vista polar mientras mas cercana al origen, considerado este como los valores x, y óptimos, (1, 1) se encuentre la alternativa, significa que la decisión en la alternativa es mas robusta. Las coordenadas de cada punto reflejan el score mínimo y máximo respectivamente.

DSS Definite

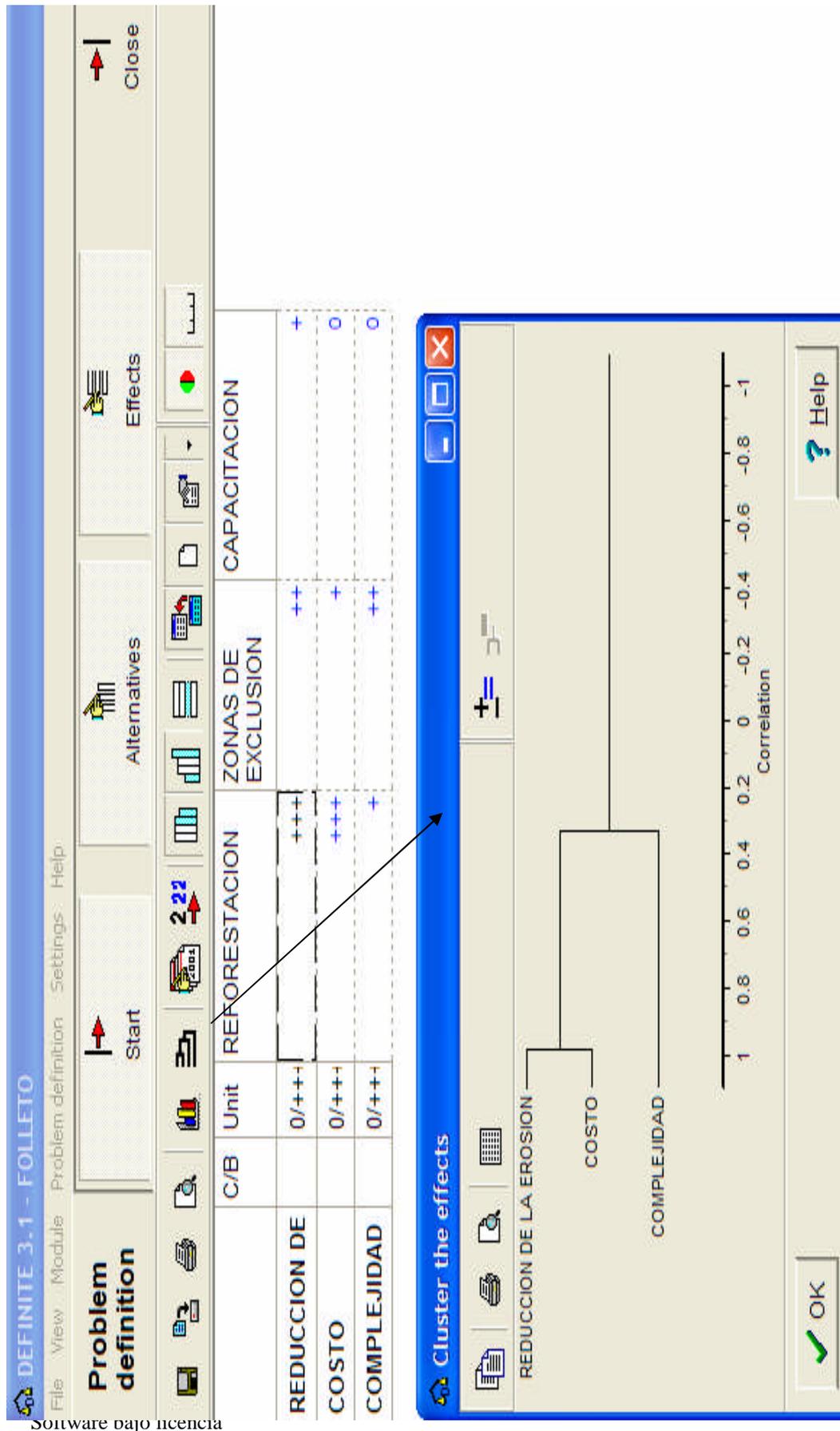
El programa Definite (decisiones en un número finito de alternativas) es un software que ha sido desarrollado por la Universidad de Amsterdam en el Instituto de Estudios Ambientales, con la finalidad de auxiliar en la mejora del proceso de toma de decisiones.

El programa contiene un gran número de métodos para la ayuda en la definición de problemas así como métodos gráficos para el mismo fin. Definite incluye métodos multicriterio, análisis beneficio-costos y métodos gráficos de evaluación. También incluye procedimientos para el otorgamiento de pesos de criterios, estandarización, así como una gama de métodos para el análisis de sensibilidad. Una característica distintiva del software es un procedimiento que de manera sistemática conduce al usuario a través de varias corridas en un proceso iterativo y utiliza una aproximación de optimización para integrar toda la información proveída por los participantes para arribar a una gama completa de funciones de valor.

Definite es una herramienta poderosa para ayudar en el proceso completo de toma de decisiones desde la definición del problema hasta la generación de un reporte. Su estructura permite asegurar que las decisiones a las que se llega son sistemáticas y consistentes.

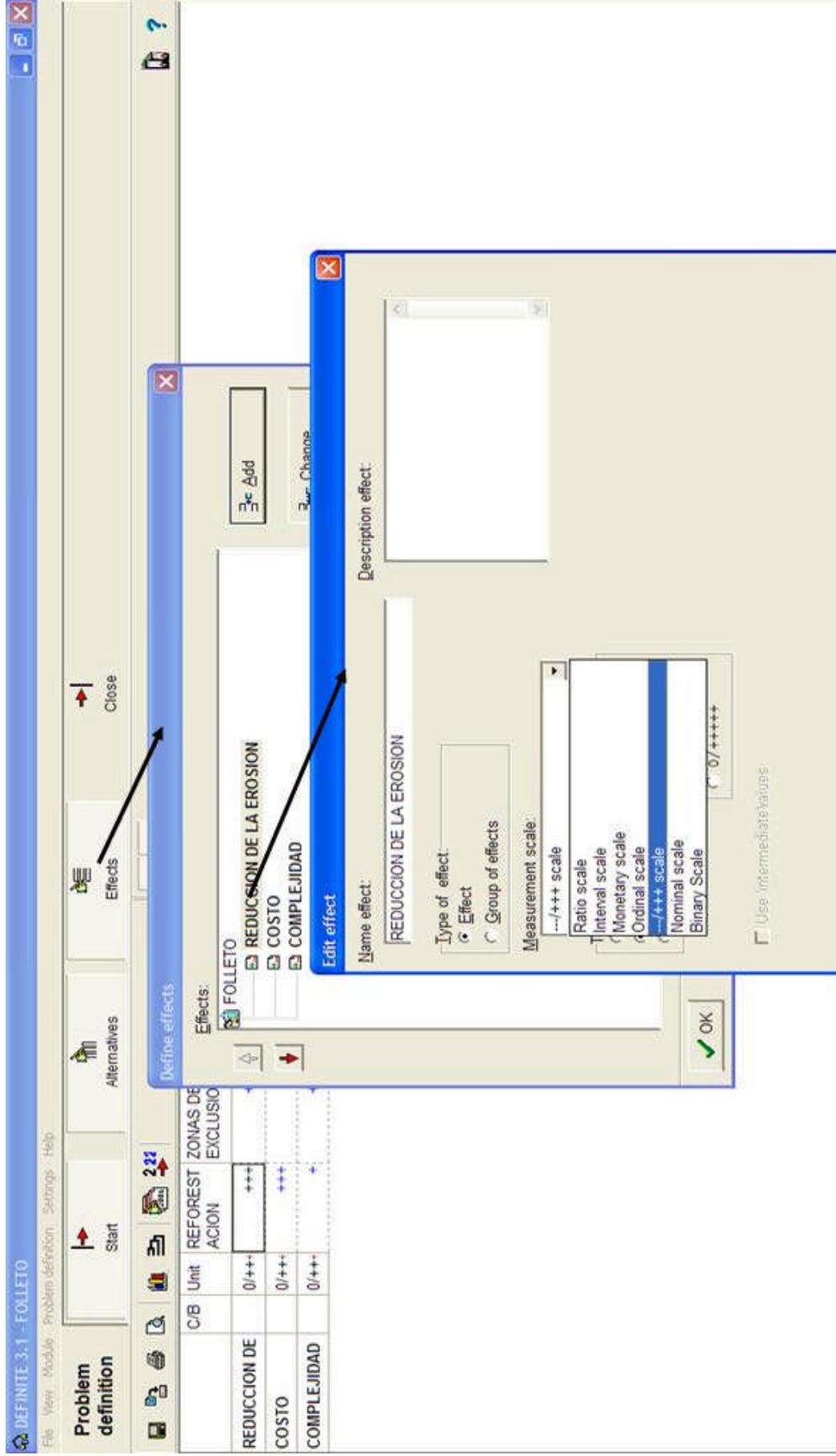
El ejemplo de la Tabla 7 es un extracto (se ha reducido el número de alternativas) de otro problema real en la Sierra de Lobos en Guanajuato. La información vertida en el ejercicio proviene de expertos, investigadores y personas involucradas en el proceso.

Tabla 7. Síntesis del seguimiento en el uso del software Definite¹.

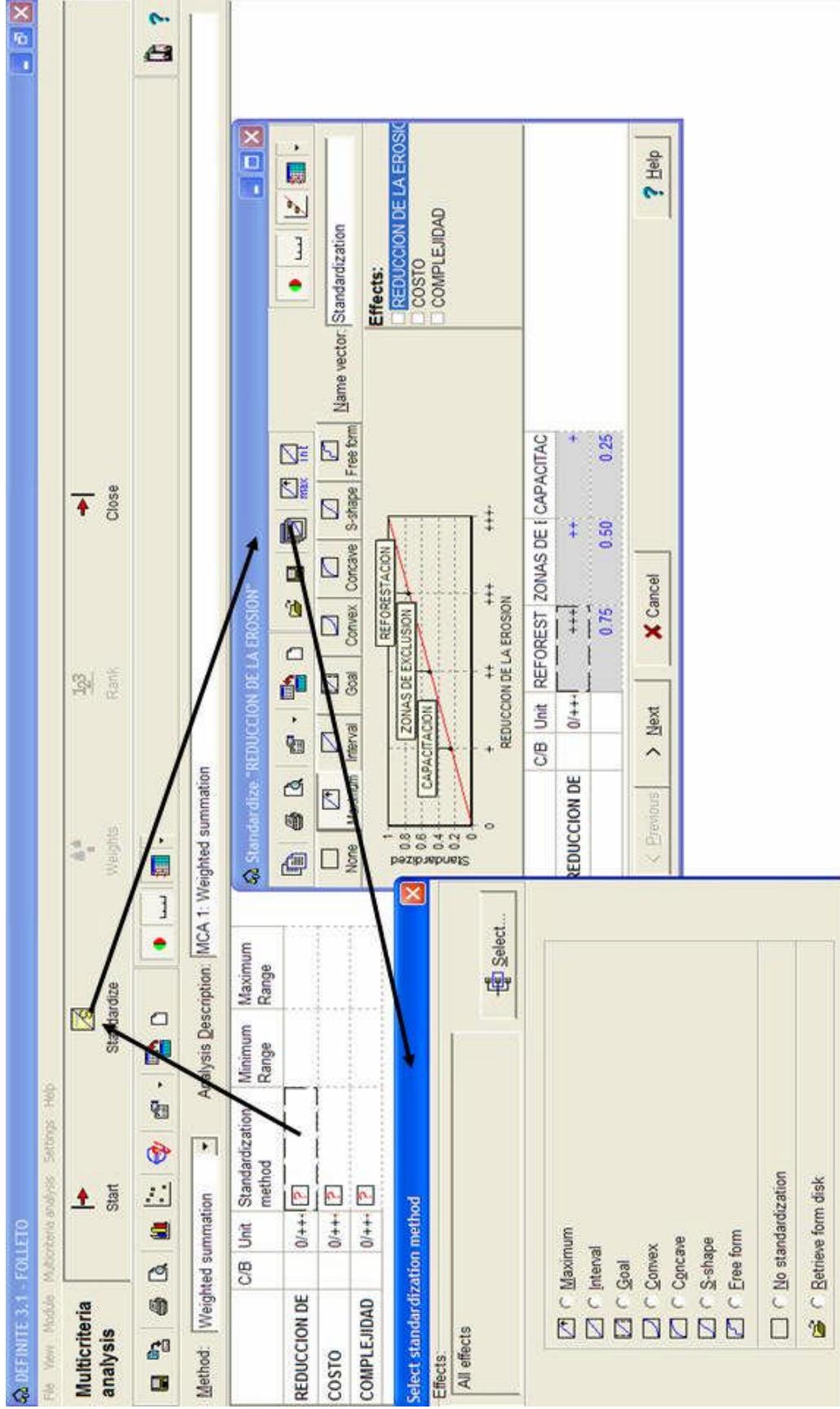


Software bajo licencia

En la primera pantalla se define el problema lo que resulta en una tabla de efectos que incluye las alternativas y los efectos (manera de evaluar las alternativas). Los valores de las celdas representan el tamaño de los efectos en cada alternativa. Se ha incluido en esta pantalla la gráfica que muestra la correlación entre los efectos. Esta correlación es un indicador de posible conflicto entre efectos (si la correlación es negativa), ó de que dos efectos están midiendo lo mismo (alta correlación positiva).



Mediante esta pantalla se define la escala de medición de los efectos; las flechas muestran los pasos seguidos. Es importante definir si el efecto constituye un costo (más es peor) ó un beneficio (más es mejor). Para el ejemplo se eligió una escala subjetiva acorde a la disponibilidad de información: 0/+++-. Es decir, el efecto de los factores en las alternativas va desde no efecto (cero) hasta bastante efecto (+++). Esto es convertido posteriormente a una escala objetiva (numérica). El pequeño icono que aparece a la derecha de cada efecto muestra el tipo de escala usada. Estas escalas han sido definidas con anterioridad.



En la siguiente pantalla se procede a la estandarización de los efectos. Existen diferentes funciones de escora y se deberá elegir la que mejor represente el efecto en cuestión. Las flechas indican (en el sentido de las manecillas del reloj) los pasos a seguir. Se pueden estandarizar todos los efectos en un solo paso indicando el tipo de función deseado.

DEFINITE 3.1 - FOLLETO

File View Module Multicriteria analysis Settings Help

Multicriteria analysis

Start Weights Rank Standardize Close

Method: Weighted summation Analysis Description: MCA 1: Weighted summation (interval)

C/B	Unit	Standardization method	Minimum Range	Maximum Range
REDUCCION DE	0/+++	<input checked="" type="checkbox"/> interval	+	+++
COSTO	0/+++	<input checked="" type="checkbox"/> interval	0	+++
COMPLEJIDAD	0/+++	<input checked="" type="checkbox"/> interval	0	++

Assess weights Effects

Method: **Pairw. Comparison**

Name vector: Weights

OK Help

	Minimum Range	Maximum Range
REDUCCION DE	+	+++
COSTO	0	+++
COMPLEJIDAD	0	++

Después de haber introducido los scores y su estandarización, se procede a establecer los pesos de los factores. Para esto también existen algunas opciones. La pantalla muestra la manera de invocar al procedimiento en el software así como las opciones han sido explicadas anteriormente.

Assess weights Effects

Method: Pairw. Comparison Name vector: Pairw. Comparison (REDUCCION DE LA EROSION: 0.659)

	REDUCCION DE LA EROSION	COSTO	COMPLEJIDAD	Weight
REDUCCION DE LA EROSION		3.000	5.000	0.659
COSTO	0.333		1.000	0.185
COMPLEJIDAD	0.200	1.000		0.156

Comparison: "REDUCCION DE LA EROSION" and "COSTO"

Rel. importance (1-9): 3.0

Comparisons:

- REDUCCION DE LA EROSION / COSTO
- REDUCCION DE LA EROSION / COMPLEJIDAD
- COSTO / COMPLEJIDAD

REDUCCION DE LA EROSION is moderately more important than COSTO

Bar chart showing relative importance: REDUCCION DE LA EROSION (blue bar, higher) and COSTO (yellow bar, lower).

Rel. importance (1-9): 3.0

Unit: 0/+++

Minimum Range: 0

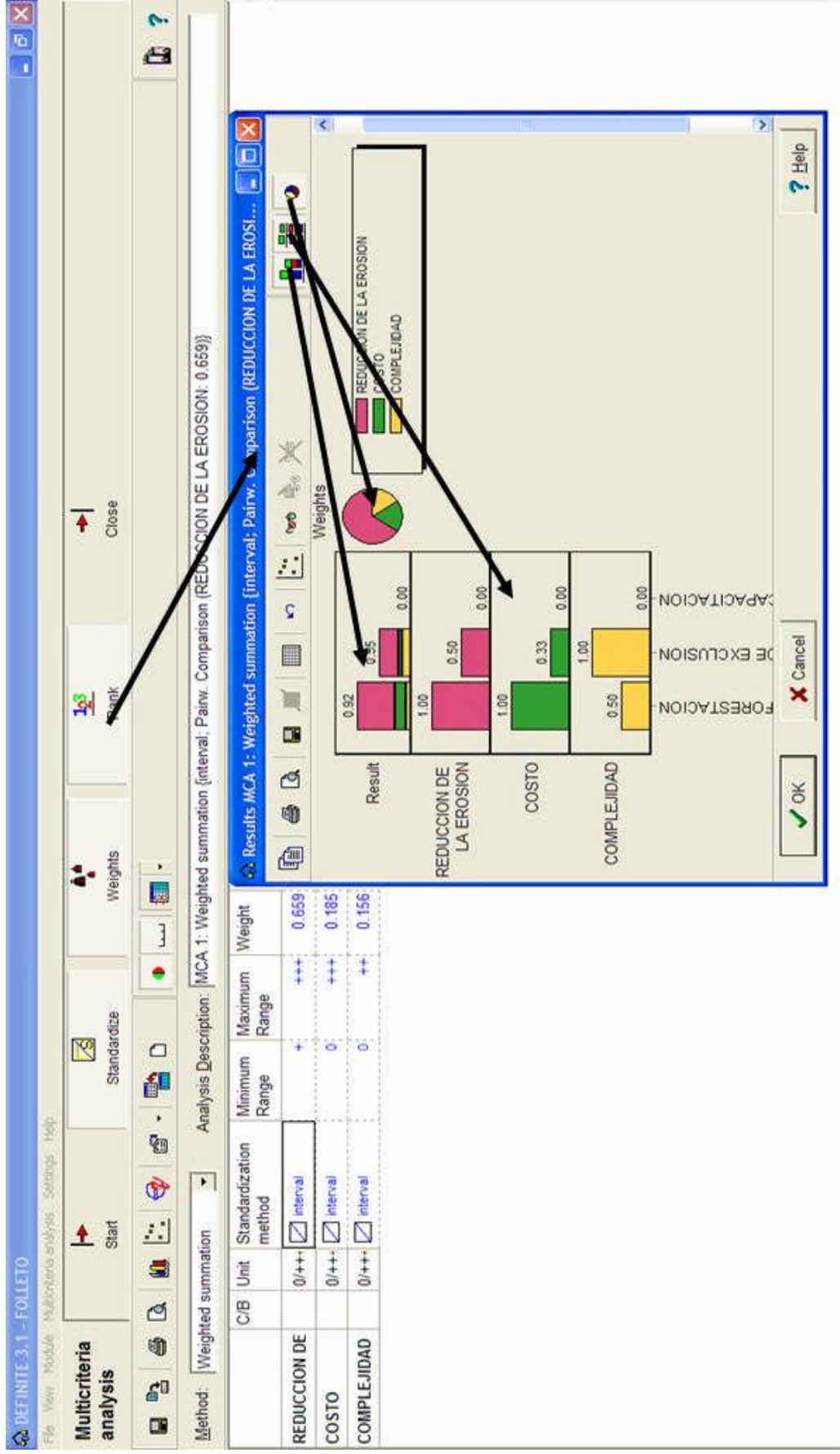
Maximum Range: +++

Buttons: OK, Cancel, Help

Inconsistency: 0.02

value above 0.1 is an indication for inconsistencies in the pairwise comparison table

Para el presente caso se eligió la comparación por pares (AHP) para la asignación de pesos. Cada factor fue comparado contra los otros obteniendo la matriz que se muestra. El índice de inconsistencia es < 0.10 por lo que no existe aleatoriedad en los juicios. Véase la teoría de AHP explicada anteriormente.



El siguiente paso es ver que tan buenas son las alternativas toda vez que han sido sometidas al escrutinio de los factores. La pantalla muestra el procedimiento en el que se puede notar lo siguiente: reforestación es la mejor alternativa seguida de zonas de exclusión y capacitación. La primera califica muy bien bajo los criterios de reducción de la erosión y costo, medianamente bajo el criterio de complejidad. El primer cuarto de la gráfica es el resultado global y se aprecia que el factor que más influyó para que la alternativa de reforestación fuera la mejor es reducción de la erosión. Las demás alternativas se interpretan similarmente.

MCA 1: Weighted summation {Interval; Pairw. Comparison (REDUCCION DE LA EROSION: 0.659)}

	Minimum Range	Maximum Range	Weight	REFORESTACION	ZONAS DE EXCLUSION	CAPACITACION
REDUCCION DE LA EROSION		+++	0.659	+++	++	+
COSTO	0	+++	0.185	+++	+	0
COMPLEJIDAD	0	++	0.156	+	++	0

Enter uncertainty percentages

	Weight	Weight Unc. [%]
REDUCCION DE LA EROSION	0.659	10.00
COSTO	0.185	10.00
COMPLEJIDAD	0.156	10.00

El siguiente paso es medir la incertidumbre de los resultados. Esto puede hacerse modificando los pesos o los scores o ambos. En el software el ranqueo de las alternativas es calculado varias veces con el cambio de scores ó pesos ó ambos. Para cada alternativa se calculan los scores mayor y menor y se grafican; esta grafica muestra la distribución de los scores finales; si la distribución es muy grande el segmento vertical es muy largo por lo que los valores de los scores finales son inciertos. La pantalla muestra el procedimiento en el que se evalúa el impacto en los pesos a un cambio de diez por ciento en su valor.

MCA 1: Weighted summation [interval; Pairw. Comparison (REDUCCION DE LA EROSION: 0.659)]

	Minimum Range	Maximum Range	Weight	REFORESTACION	ZONAS DE EXCLUSION	CAPACITACION
REDUCCION DE LA ER	+	+++	0.659	+++	++	+
COSTO	0	+++	0.185	+++	+	0
COMPLEJIDAD	0	++	0.156	+	++	0

Results sensitivity analysis

[WghtUnc.: 10.00 %] (Weight - Uncertainty)

Alternatives	Total	Score (sens. anal.)	Conclusi
REFORESTACION	0.92	3.00	
ZONAS DE EXCLUSION	0.55	2.00	
CAPACITACION	0.00	1.00	

MCA 1: Weighted summation [interval; Pairw. Comparison (REDUCCION DE LA EROSION: 0.659)]

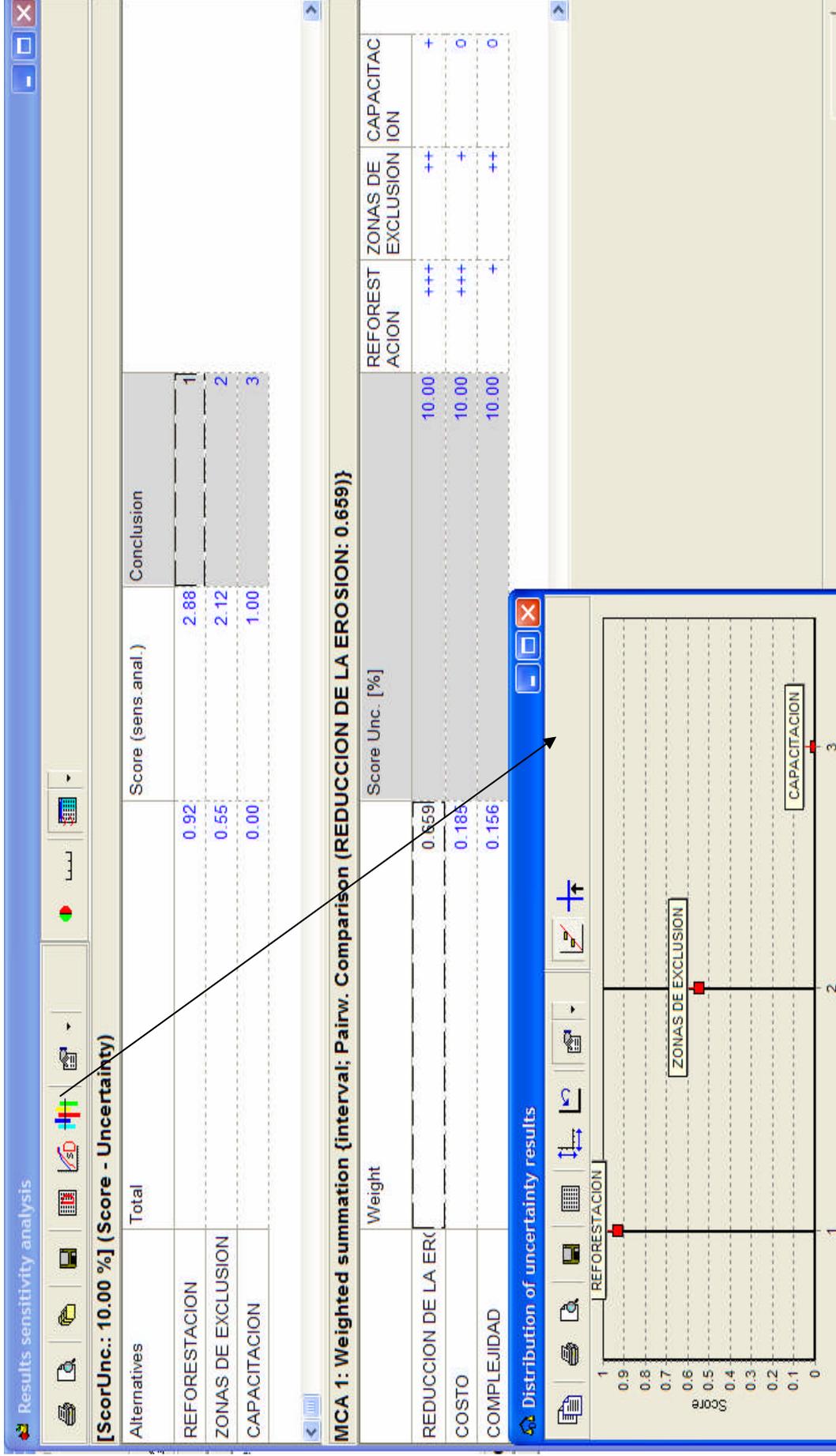
Weight	Weight Unc. [%]
REDUCCION DE LA ER	0.659

Distribution of uncertainty results

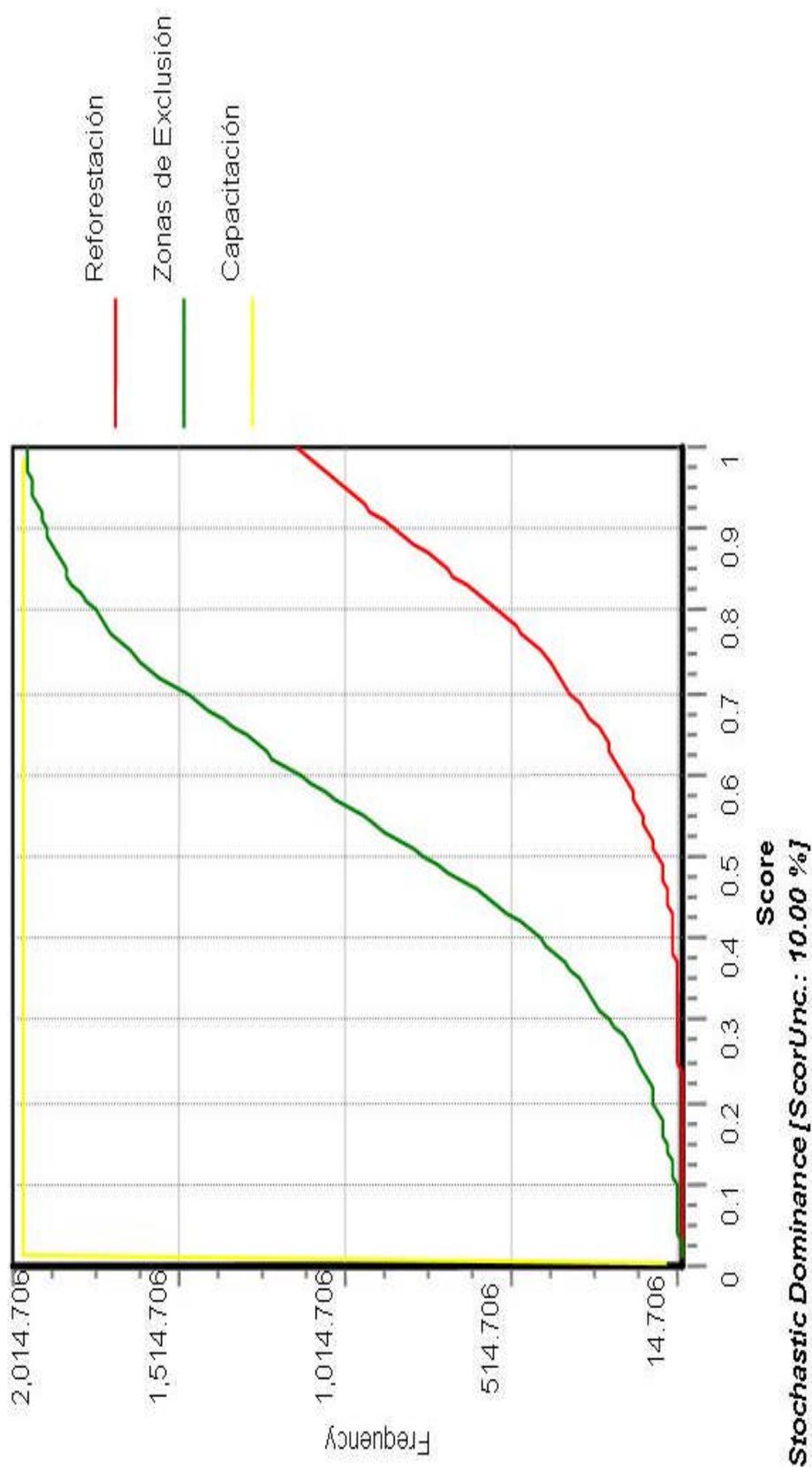
OK

Windows Li... 2 Microso... TOMA DE ... 2 Microso... Decision A... Facilitator... FOLLETO - ... DEFINITE F... ES FOLLETO - ... 11:15 a

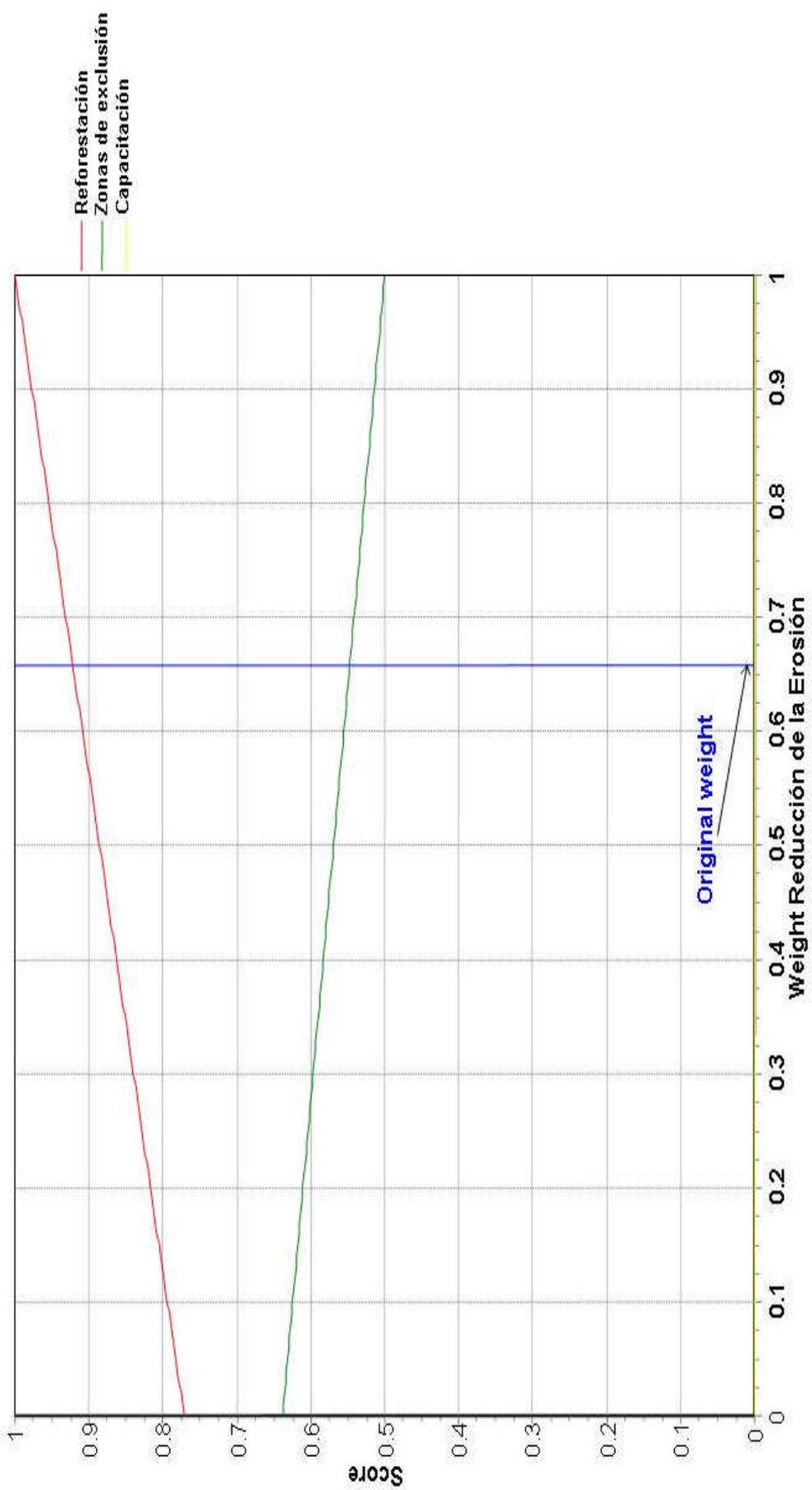
Al cambiar en diez por ciento los pesos se observa que el orden de las alternativas permanece; se observa también la poca sensibilidad a este cambio.



Al incorporar diez por ciento de incertidumbre en los scores, se observa gran impacto en la variación de los valores (a excepción de la alternativa capacitación) por lo que habrá que poner sumo cuidado en su cuantificación en el grupo de análisis (expertos).

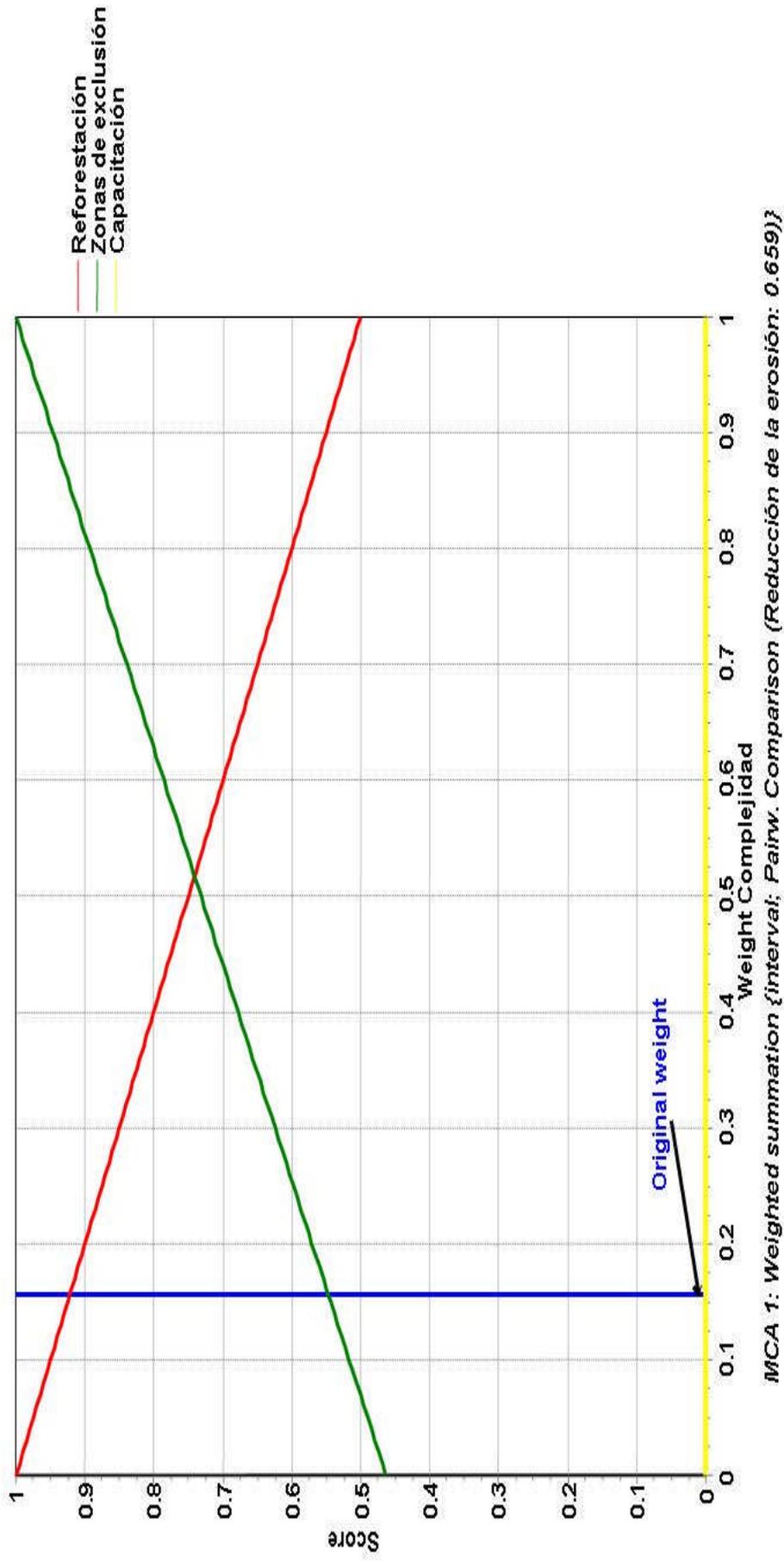


En la dominancia estocástica se observa que la alternativa Reforestación domina a zonas de exclusión y capacitación. El eje de las "y" muestra el número de veces que la alternativa obtuvo un score igual o menor al mostrado en el eje de las "X". Es pertinente mencionar que se puede modificar el número de iteraciones para este proceso.



MCA 1: Weighted summation {interval; Pairw. Comparison (Reducción de la erosión: 0.659)}

Esta pantalla muestra la sensibilidad de las alternativas al cambiar los pesos. También se puede conocer el punto (ó peso del criterio) en el que una alternativa deja de ser la mejor. En la pantalla la alternativa deforestación incrementaría su score si el peso del criterio reducción de la erosión se incrementara; caso contrario con la alternativa zonas de exclusión.



Con respecto al criterio complejidad, si el peso de éste sobrepasara 0.51, la alternativa reforestación dejaría de ser la mejor adquiriendo su lugar zonas de exclusión.

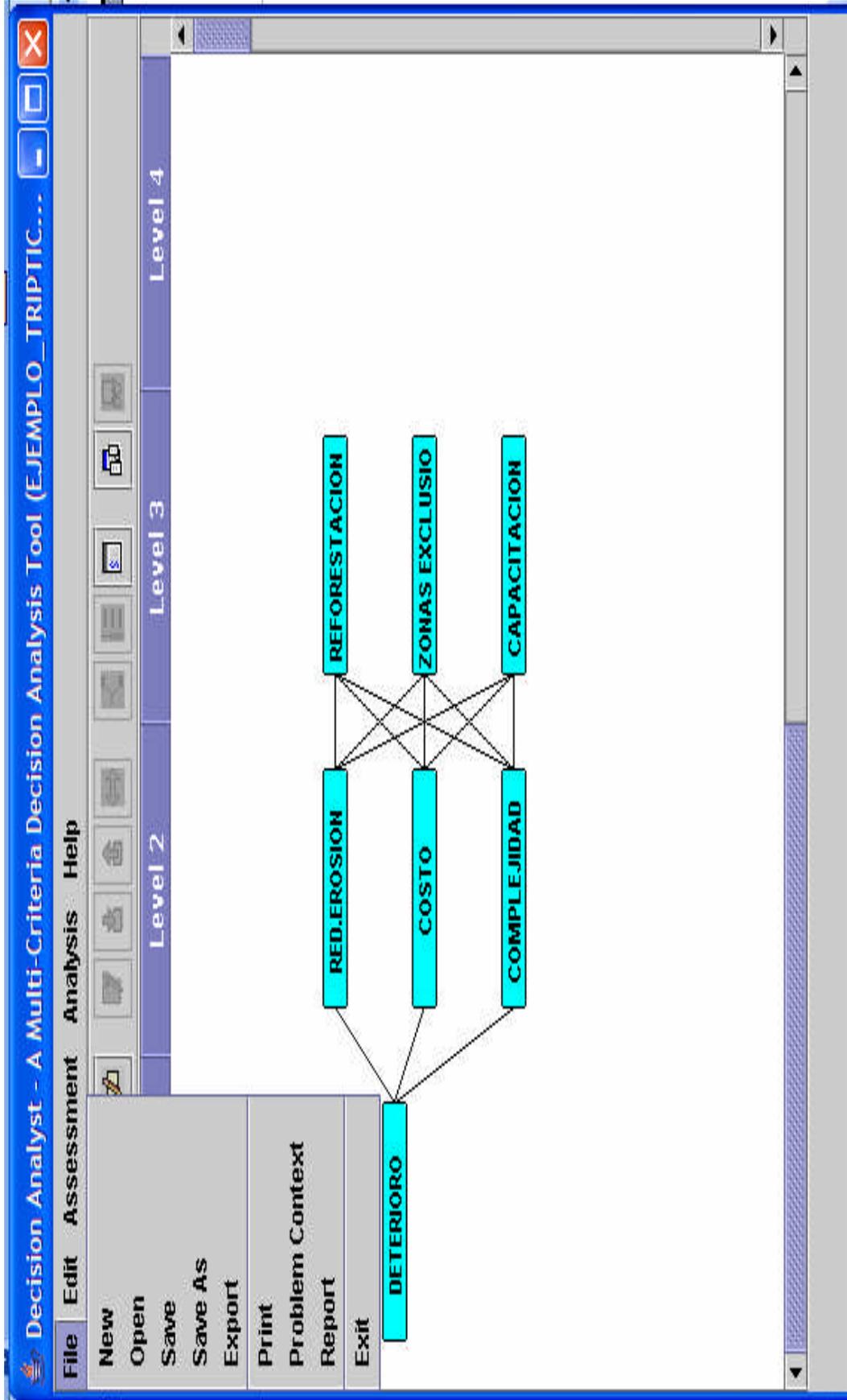
Decision Analyst

El software Decision Analyst (DA) es de dominio público y puede ser obtenido mediante la URL: http://www.mca/decision_analyst.html. El DSS Decision Analyst fue diseñado para auxiliar en el proceso de decisión multicriterio; se fundamenta en el Proceso Jerárquico Analítico (AHP) discutido anteriormente. Los objetivos esenciales para los que el DA fue diseñado son:

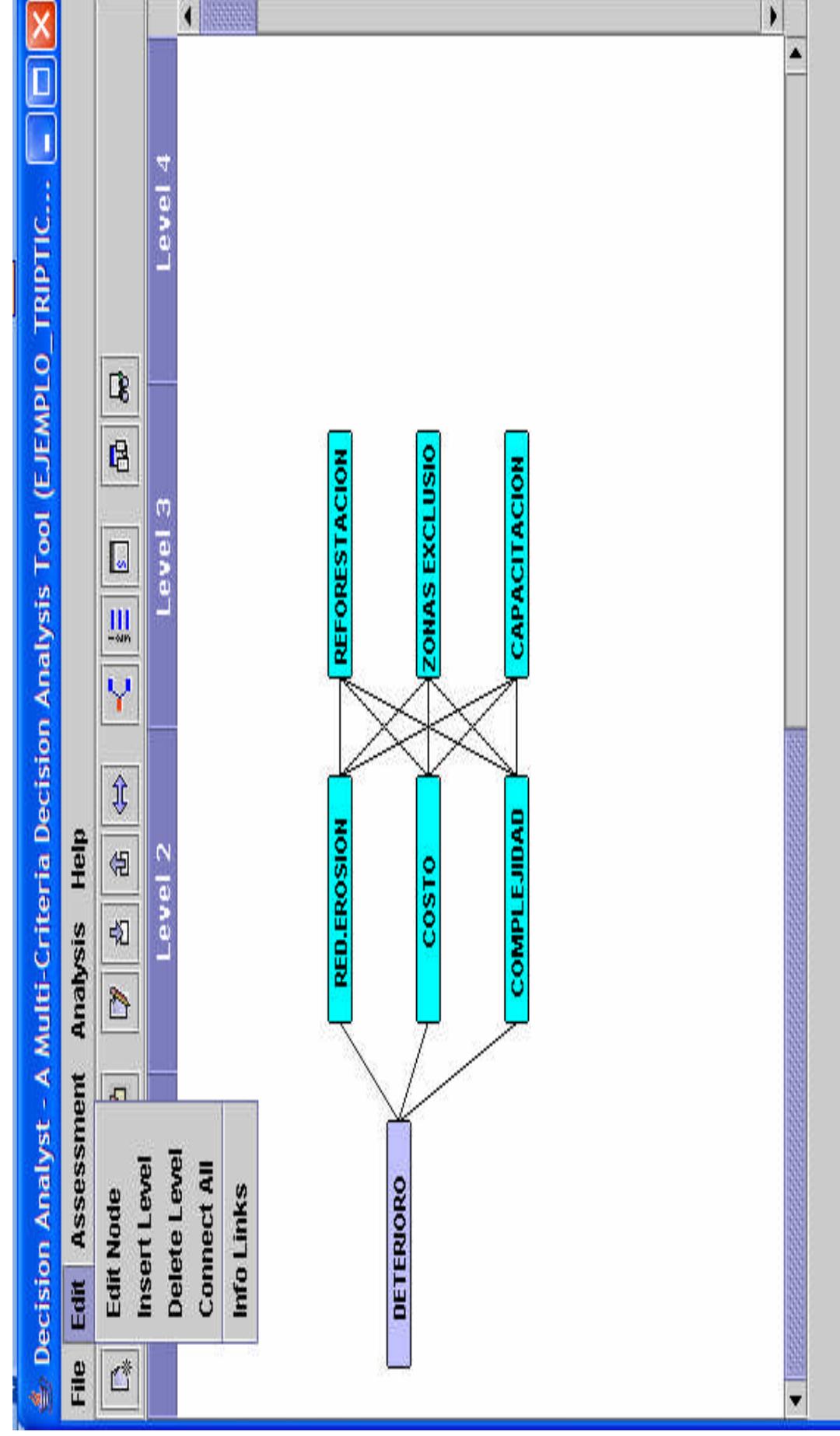
- Evaluación de alternativas para políticas de desarrollo.
- Identificación de cursos de acción ambientales.
- Priorización de proyectos de desarrollo.
- Evaluaciones de desempeño.
- Solución de conflictos por el uso de los recursos naturales.

A continuación se presenta una síntesis para el manejo del software.

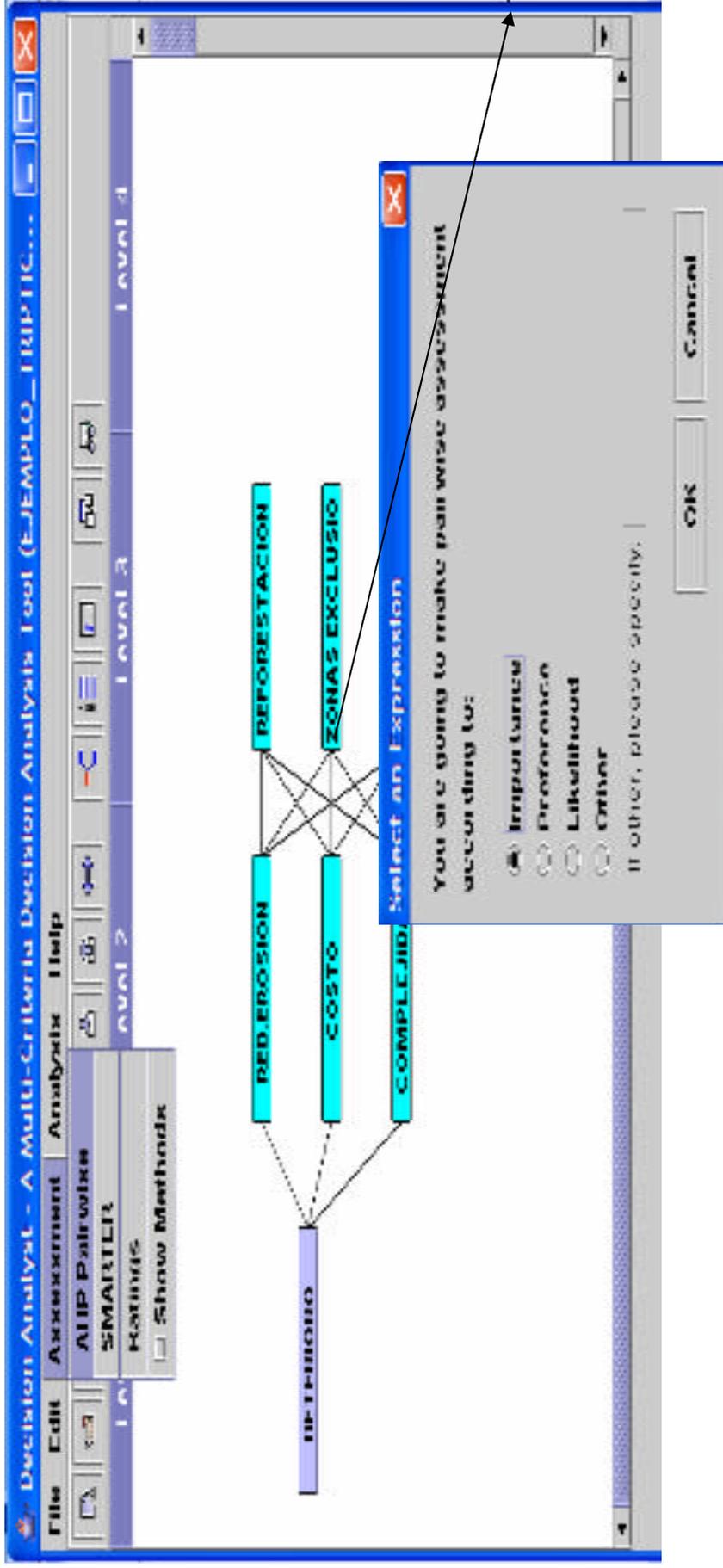
Tabla 8. Síntesis del seguimiento en el uso del software Decisión Analyst.



Este software tiene una interfase gráfica que permite construir el modelo jerárquico directamente en pantalla. Solo basta con posicionarse en el nivel adecuado y dar doble clic con el mouse para añadir un elemento; para nombrar el elemento solo hay que teclear el nombre en el. Normalmente el primer nivel es el objetivo general o problema; en el segundo nivel se colocan los factores o criterios con que serán evaluadas las alternativas; el nivel posterior puede servir para colocar sub criterios. Al nivel más bajo se coloca las alternativas.



Con el comando editar (barra superior) se pueden efectuar aspectos de insertar o borrar niveles y hacer las conexiones entre elementos.



Con el DA se puede elegir de entre tres métodos para la adjudicación de pesos. En el presente caso se elige AHP (ya explicado) y se asignaran estos pesos acorde al nivel de importancia. El otro método se llama SMARTER. Este método calcula el valor del centroide dado una serie de pesos; se fundamenta en: supóngase que W_1 es el peso del factor mas importante, W_2 es el peso del segundo mas importante y así sucesivamente de tal manera que para n criterios:

$$W_1 = (1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/n) / n$$

$$W_2 = (0 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/n) / n$$

$$W_n = (0 + 0 + 0 + \dots + 1/n) / n$$

Generalmente si $W_1 > W_2 > \dots$ W_n , entonces el peso del i th criterio u objetivo es: $W_i = (1/n)$

El método del centroide minimiza el error obteniendo el valor del centroide de todos los pesos manteniendo el orden de importancia del ranqueo de los criterios. El último método es el de asignación directa de pesos en un rango (0-1), mismo que es común al Facilitator y Definite.

With Respect to RED.EROSION

REFORESTACION has slight importance over ZONAS EXCLUSION

!EFORESTACION

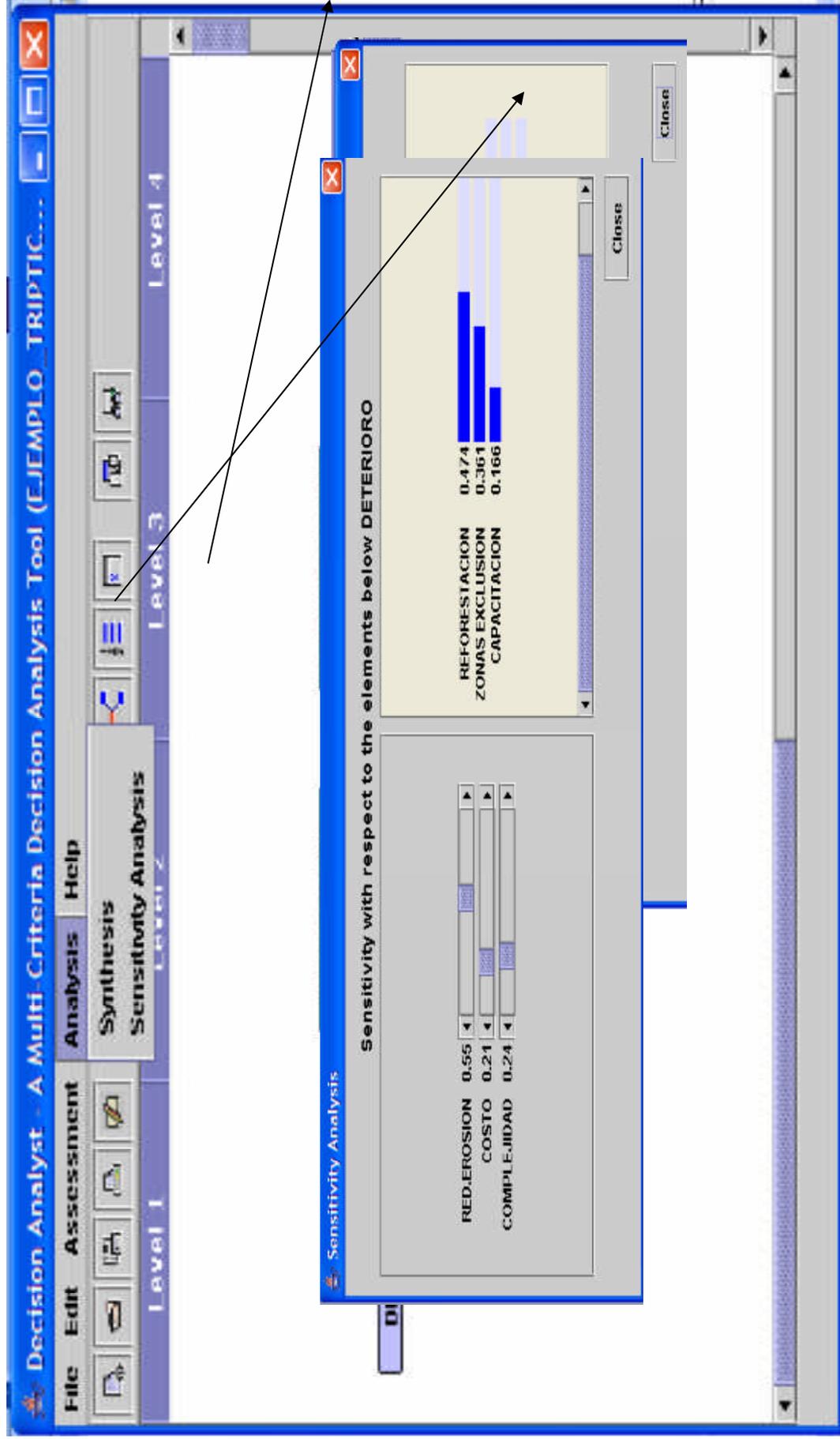
9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9

NAS EXCLUSION

Inconsistency Ratio = 0.0080

	A	B	C	Weight
A. REFORESTACION	1.0	2.0	3.0	0.54
B. ZONAS EXCLUSION	1/2	1.0	2.0	0.297
C. CAPACITACION	1/3	1/2	1.0	0.163

Cada nivel es comparado con los niveles inferiores a los que esta conectado. Aquí es muy importante el buen juicio de los participantes para mantener el índice de inconsistencia bajo (< 0.10). En el ejemplo se compara la alternativa reforestación con zonas de exclusión acorde al impacto que tendrían en la reducción de la erosión (factor). En este caso los participantes acordaron que la primera tiene una ligera importancia sobre la segunda (véase Tabla 1).



La pantalla de análisis muestra dos opciones: síntesis, que muestra el resultado en términos del score final de las alternativas y el análisis de sensibilidad. En este último se puede medir los cambios en los valores de los elementos inferiores al elemento analizado.

DSS y Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los problemas relacionados al óptimo uso del suelo son los principales candidatos para el uso de los DSS vinculados a los SIG. Estos pueden variar desde simples decisiones acerca de la potencialidad de uso hasta la adjudicación de tierras para diferentes usos en los que existen intereses en conflicto por diversos sectores de la población y en los que, la parte oficial - gubernamental estaría involucrada. En México tal es el caso de las Secretarías del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), entre otras.

La Evaluación Multicriterio (MCE) en los SIG se puede realizar por medio de dos aproximaciones: algebra booleana y combinación lineal ponderada (Eastman, 1999).

1.- Algebra Booleana: los criterios se reducen a argumentos lógicos y mapas binarios que después se combinan mediante los operadores “Y” (intersección) u “O” (unión). La Figura 4 muestra los diferentes operadores lógicos de un SIG.

		Maíz								
		0		1		0		1		
Suelo Arcilloso	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	1	1	0	1	1	1	0	1	0	
		Maíz "Y" Suelo arcilloso: celdas en ambos mapas son verdaderas			Maíz "O" Suelo arcilloso: celdas en cualquier mapa son verdaderas			Maíz "NO" Suelo arcilloso. Celdas en el mapa de maíz son verdaderas y en suelo arcilloso son falsas		

Figura 4. Operadores lógicos en los SIG para la obtención de mapas de disponibilidad.

Esta metodología se considera adversa al riesgo dado lo estricto de su procedimiento; por ejemplo, si una alternativa está siendo evaluada por tres criterios de calidad y ésta alternativa, aplicando el operador lógico “Y”, califica bien en dos de los tres criterios y en uno no, la alternativa es descartada sin considerar las bondades de los otros dos criterios en las que calificó bien. Por otro lado, si se aplica el operador lógico “O”, cualquier alternativa puede ser elegida dado que solo se requiere que al menos uno de los criterios se cumpla. En este contexto es necesario aplicar una metodología que permita compensar las bondades de las alternativas con las vicisitudes del método (tradeoff).

2.- Combinación lineal ponderada (WLC): En esta metodología los criterios o factores se estandarizan a un rango común numérico y posteriormente se

combinan por medio de un promedio ponderado. El resultado es un mapa continuo de zonas de disponibilidad que puede después ser afectado por una o más restricciones booleanas.

Evaluación y análisis multi criterio–multi objetivo con GIS

Al igual que en los DSS analizados anteriormente, en los SIG la manera de representar la relación de alternativas y los criterios que definirán el comportamiento de éstas alternativas, es mediante una matriz de decisión (como las mostradas en las Tablas 4 y 5). Los valores de ésta matriz son adjudicados por los expertos, interesados, autoridades y en algunos casos, por modelos de simulación de procesos hidrológicos, en un ejercicio conjunto con participación general en el planteamiento del problema y las posibles alternativas. En virtud de que los criterios no estarán representados por las mismas unidades (metros, kilos, cubierta vegetal, dinero, etc.), es necesario su estandarización en aras de hacerlos comparables (véase Figuras 5 y 6). Las funciones para estandarizar las variables dependerán del criterio asignado a la alternativa (por ejemplo si el criterio es cantidad de suelo perdido, la función que describe este proceso es decreciente pudiendo ser exponencial o lineal entre dos límites).

La ponderación de los scores asignados en la matriz de decisión es necesaria para obtener una apreciación objetiva de la solución bajo diferentes criterios de prioridad en las alternativas y para un análisis de sensibilidad que indique lo robusto de la decisión.

El método de agregación WLC, multiplica cada mapa que ha sido estandarizado (cada píxel o celda dentro de cada mapa) por el peso de cada factor y posteriormente suma los resultados. Puesto que el conjunto de pesos de una evaluación debe sumar uno (véase ecuaciones 2 y 3), el mapa resultante tendrá el mismo rango de valores que los mapas de los factores estandarizados que se usaron (Figura 6).

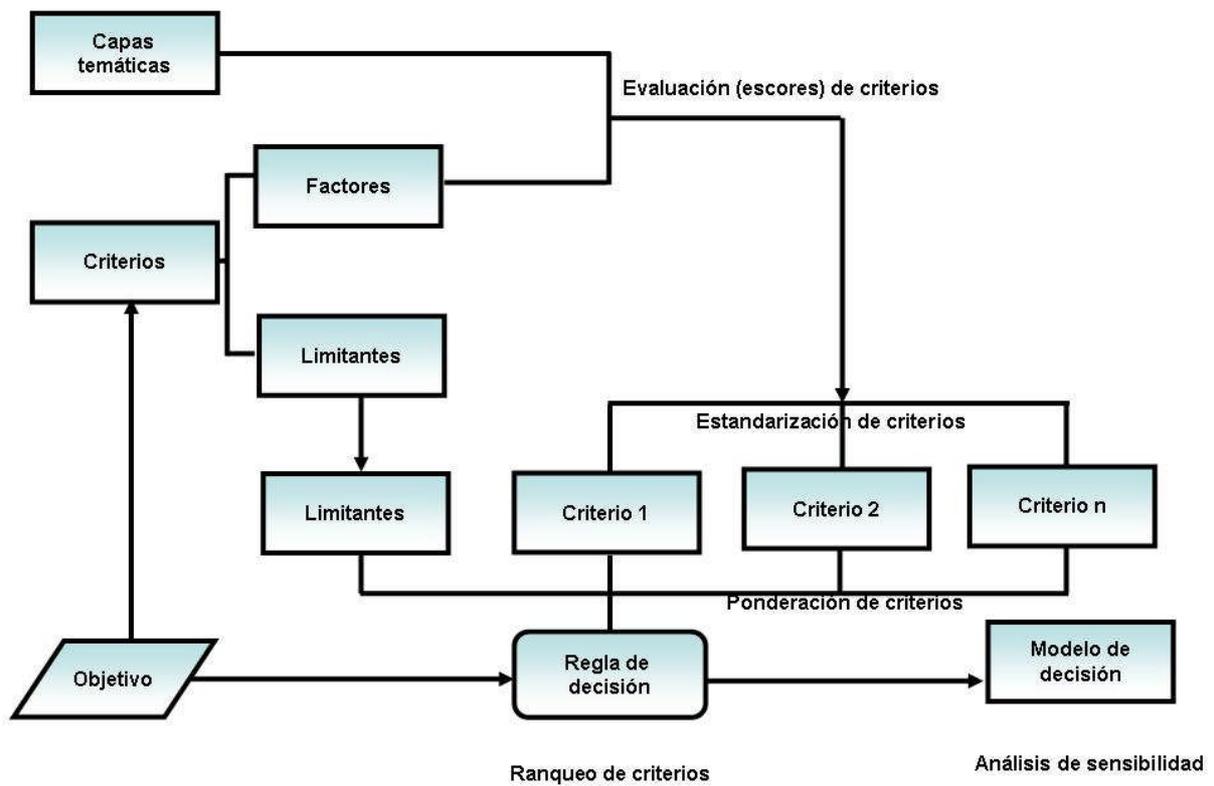


Figura 5. Modelo de integración del Sistema de Información Geográfica y el Análisis Multi Criterio (Modificado de Gómez y Barredo, 2006).

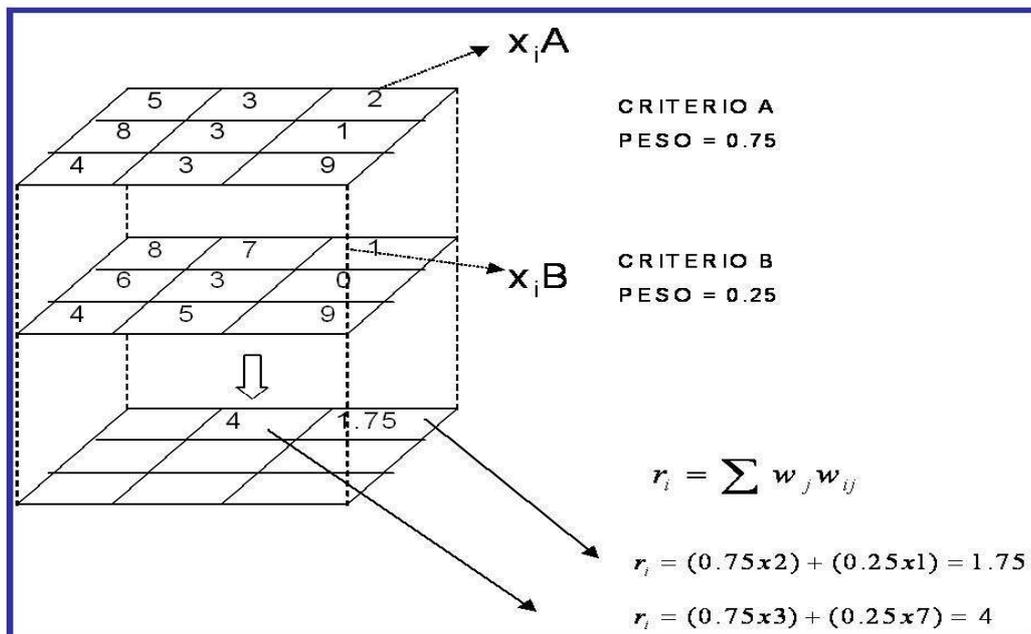


Figura 6. La aplicación del modelo espacial considerando los criterios y pesos relativos de éstos.

DSS IDRISI ²

La incorporación del DSS en los SIG es relativamente nueva. Uno de los SIG que ofrece una interfase muy amigable es el IDRISI; a través de sus módulos el usuario es guiado paso a paso en el seguimiento del algoritmo. Similar a como se hizo anteriormente con los DSS Facilitator, Definite y Decision Analyst, a continuación se detalla los pasos del uso del SIG IDRISI a través de un ejemplo. En este ejemplo se cuenta con tres imágenes base para decidir en donde instalar una planta de procesamiento de fruta³: distancia a los accesos (camino), distancia a los cuerpos de agua y distancia a la ciudad. Estos mapas fueron derivados a su vez de un mapa de uso del suelo mismo que fue reclasificado para calcular las distancias de la ciudad a los atributos antes señalados. En IDRISI esto se logra mediante los comandos: distance, buffer y reclass.

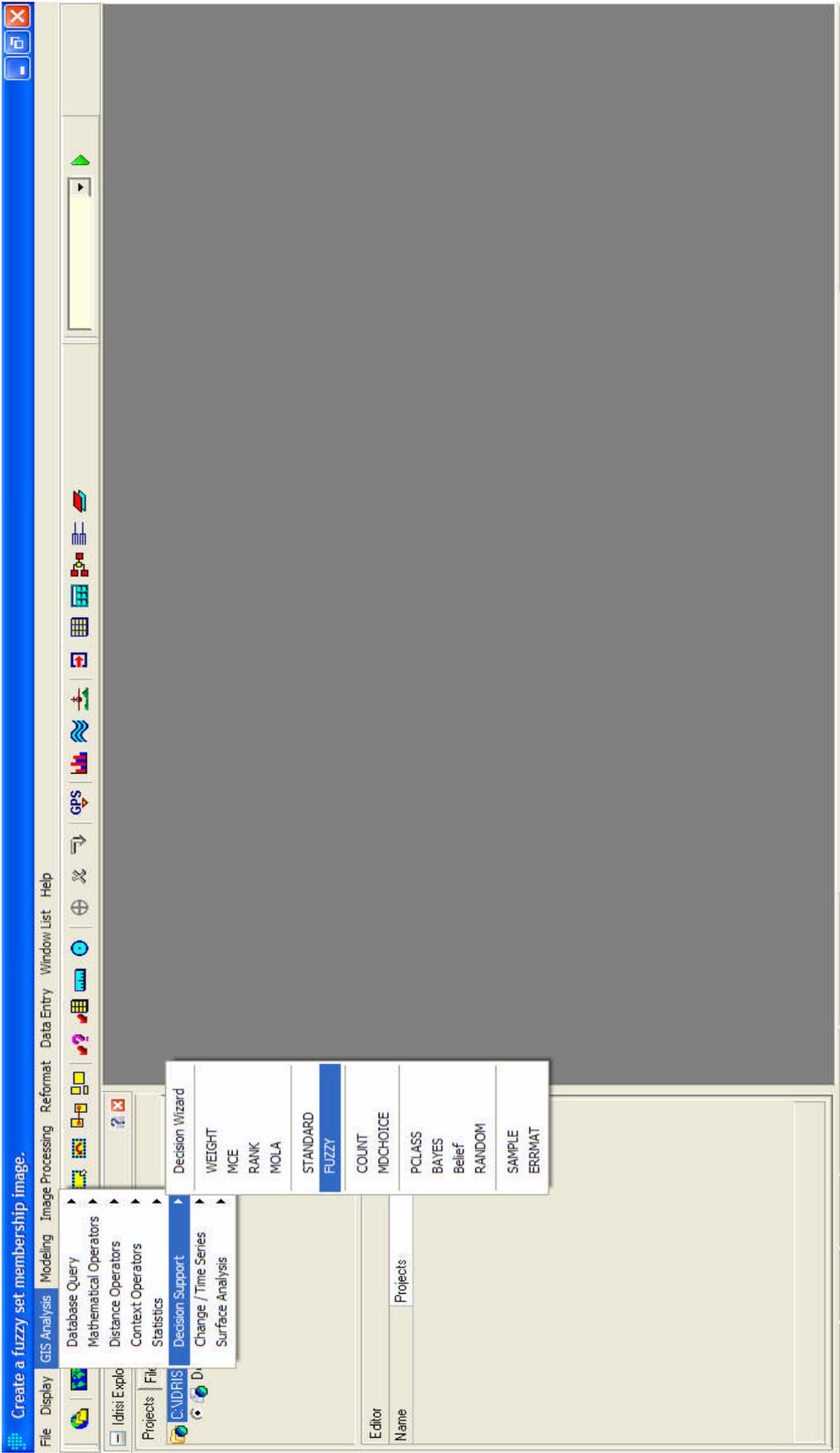
El seguimiento desglosado al que hace referencia la Figura 5 para el análisis con SIG es:

1. Obtener los mapas de las restricciones y criterios (factores y limitantes). En el software esto se realiza mediante procesos de reclasificación.
2. Estandarizar a escala continua de 0–255. En el IDRISI esto se logra con el comando FUZZY. El rango 0-255 provee de la máxima diferenciación con datos tipo byte; este comando se ubica en el módulo DECISION SUPPORT.
3. Asignación de los pesos (AHP u otro método) con el comando WEIGHT
4. Realizar la combinación lineal ponderada (WLC) mediante la aplicación MCE.

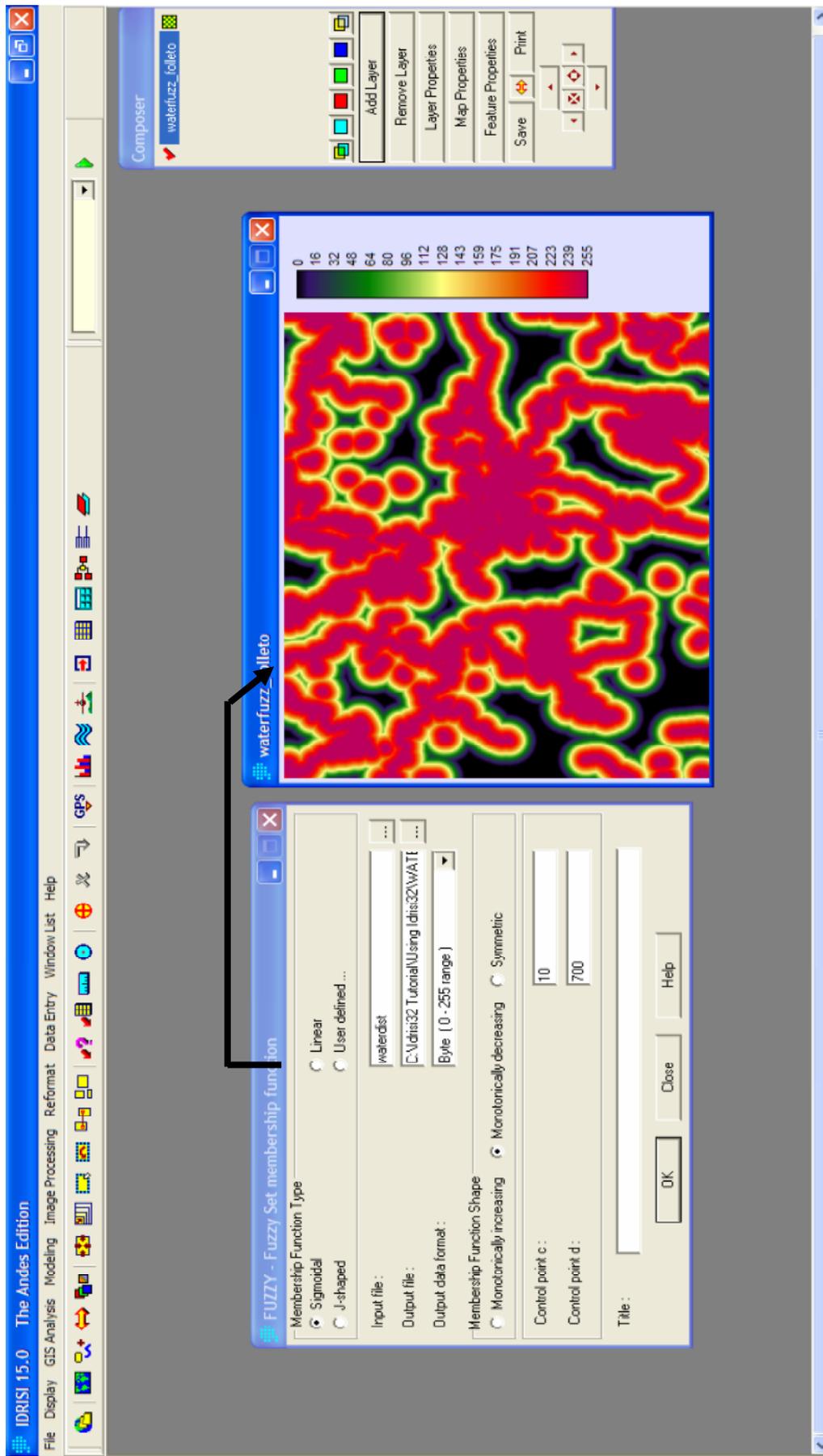
² Software bajo licencia.

³ Ejemplo hipotético de los autores. Los mapas base se obtuvieron de Eastman, 1999

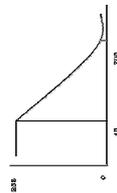
Tabla 9. Síntesis del seguimiento en el uso del software IDRISI.

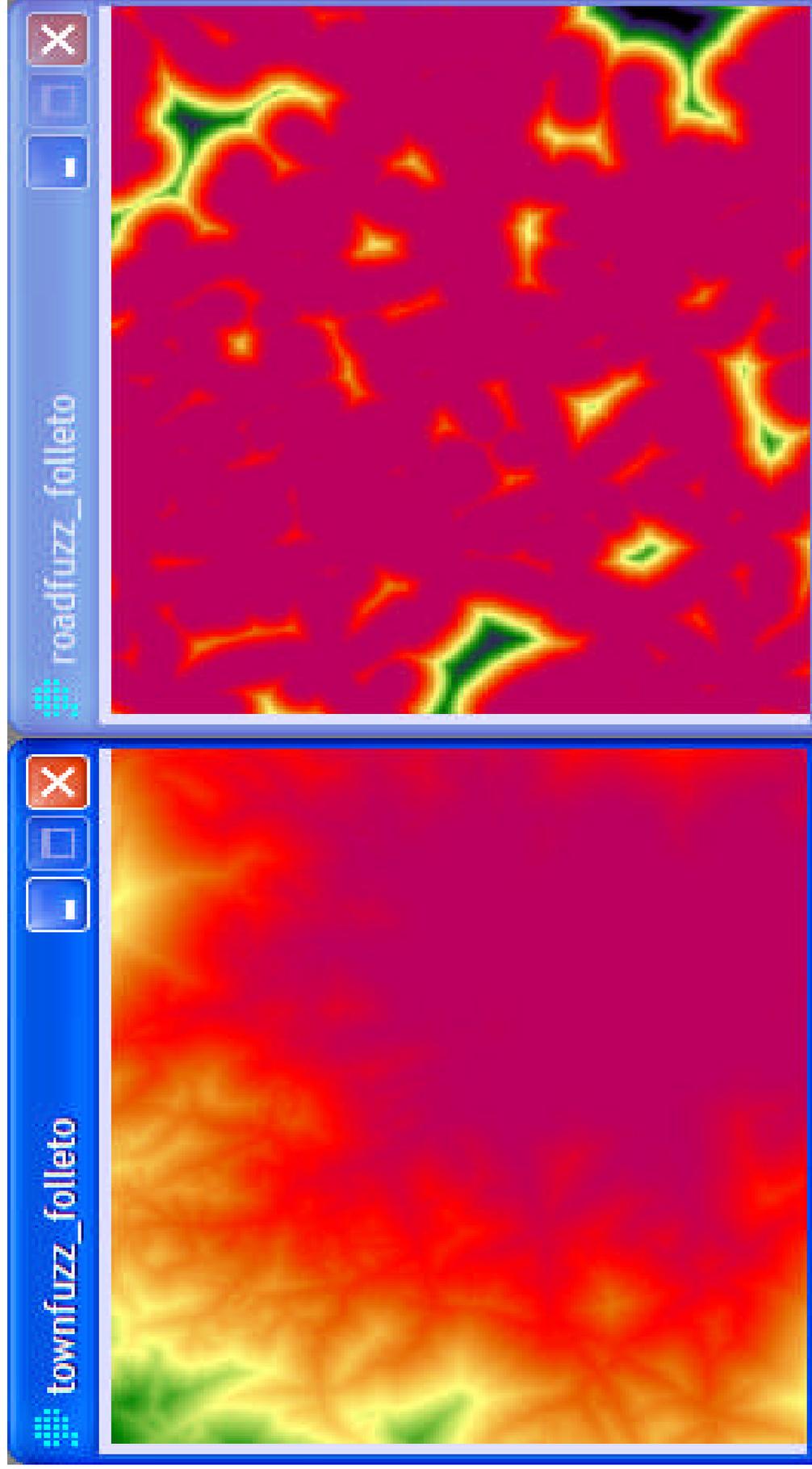


Para el uso de las imágenes en el análisis multicriterio es necesario que estas sean reescaladas o estandarizadas a una misma escala a través del módulo FUZZY. A este punto se asume que ya se tienen las imágenes temáticas disponibles.

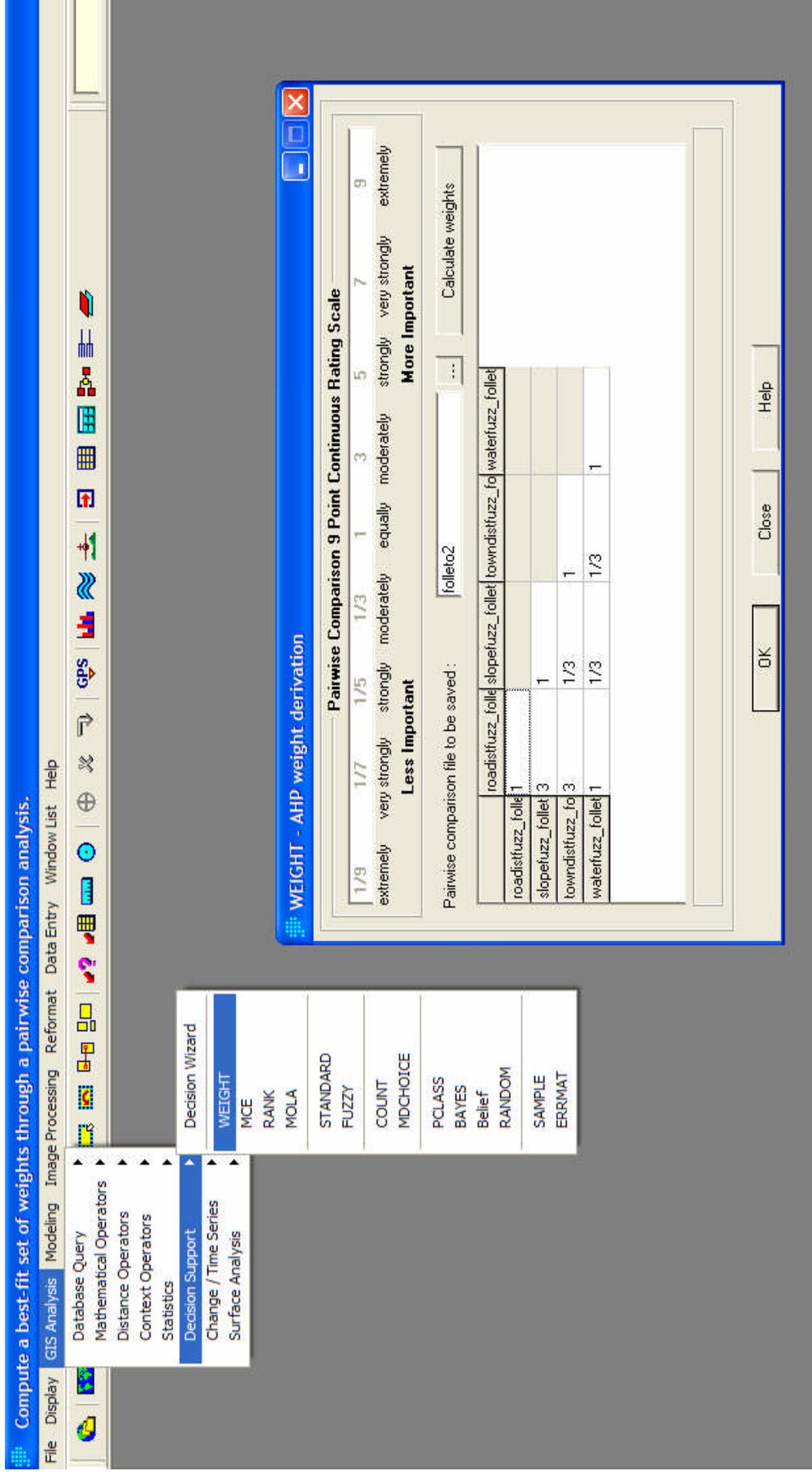


Para la reclasificación del factor distancia a cuerpos de agua, se eligió una función sigmoideal decreciente en la que áreas con distancia a cuerpos de agua < diez m se les dio un valor de 255 y áreas entre diez y 700 m un valor decreciente desde 255 hasta 0.





El mismo procedimiento anterior se siguió con los otros dos factores distancia a la ciudad y distancia a los accesos (caminos). Las funciones elegidas fueron sigmoideal decreciente y los puntos de inflexión fueron 100-800 m para accesos y 30-800 m para distancia a la ciudad.



El siguiente paso es la asignación de pesos. El modulo weight realiza esto mediante el procedimiento AHP discutido con anterioridad. Los participantes deberán hacer la comparación por pares. Nótese que este procedimiento es el mismo que se utiliza en los otros programas computacionales discutidos.

Module Results

The eigenvector of weights is :

roadistfuzz_folletto	:	0.1182
slopefuzz_folletto	:	0.4874
towndistfuzz_folletto	:	0.2762
waterfuzz_folletto	:	0.1182

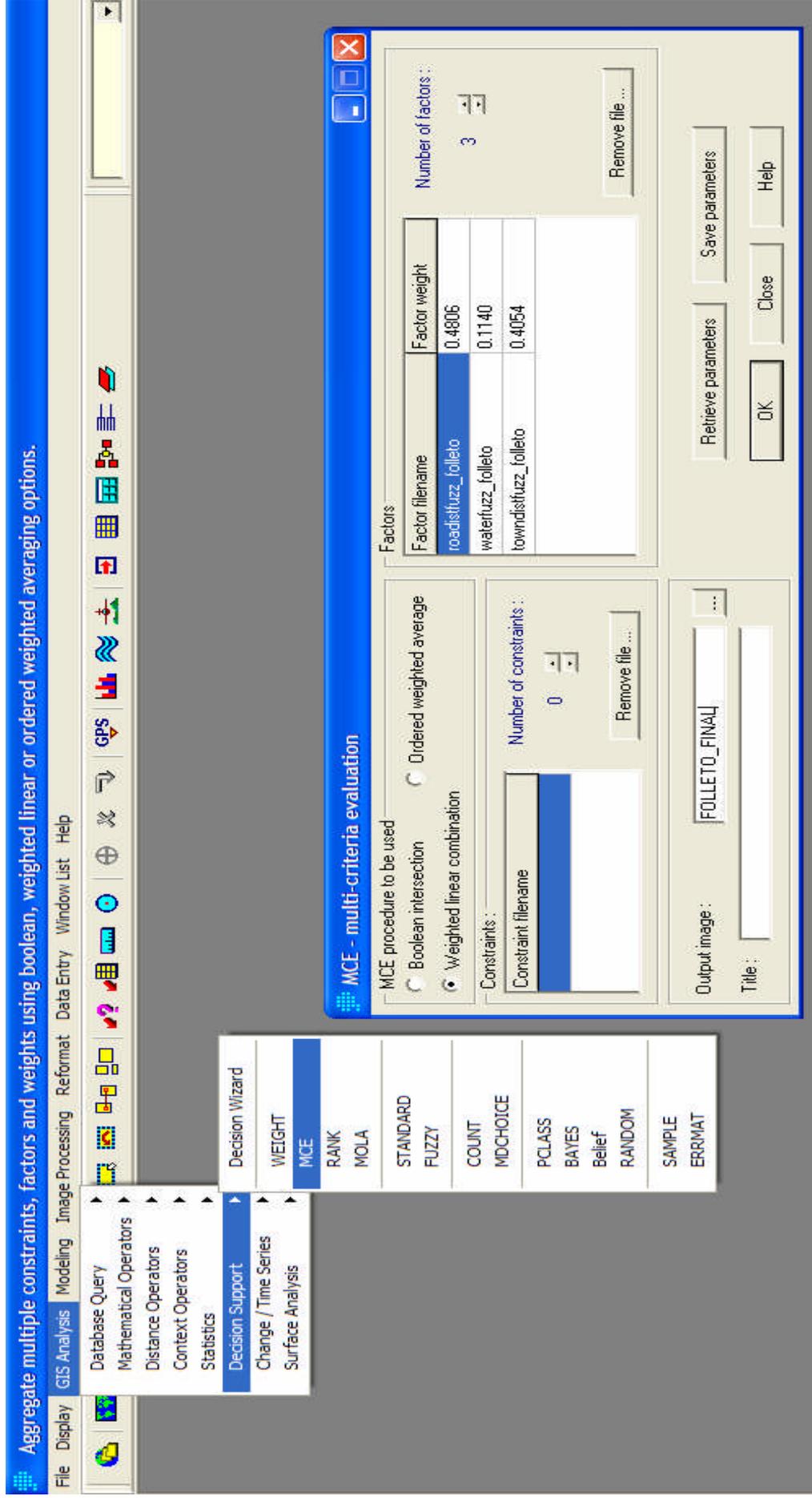
Consistency ratio = 0.06
Consistency is acceptable.

Print Contents

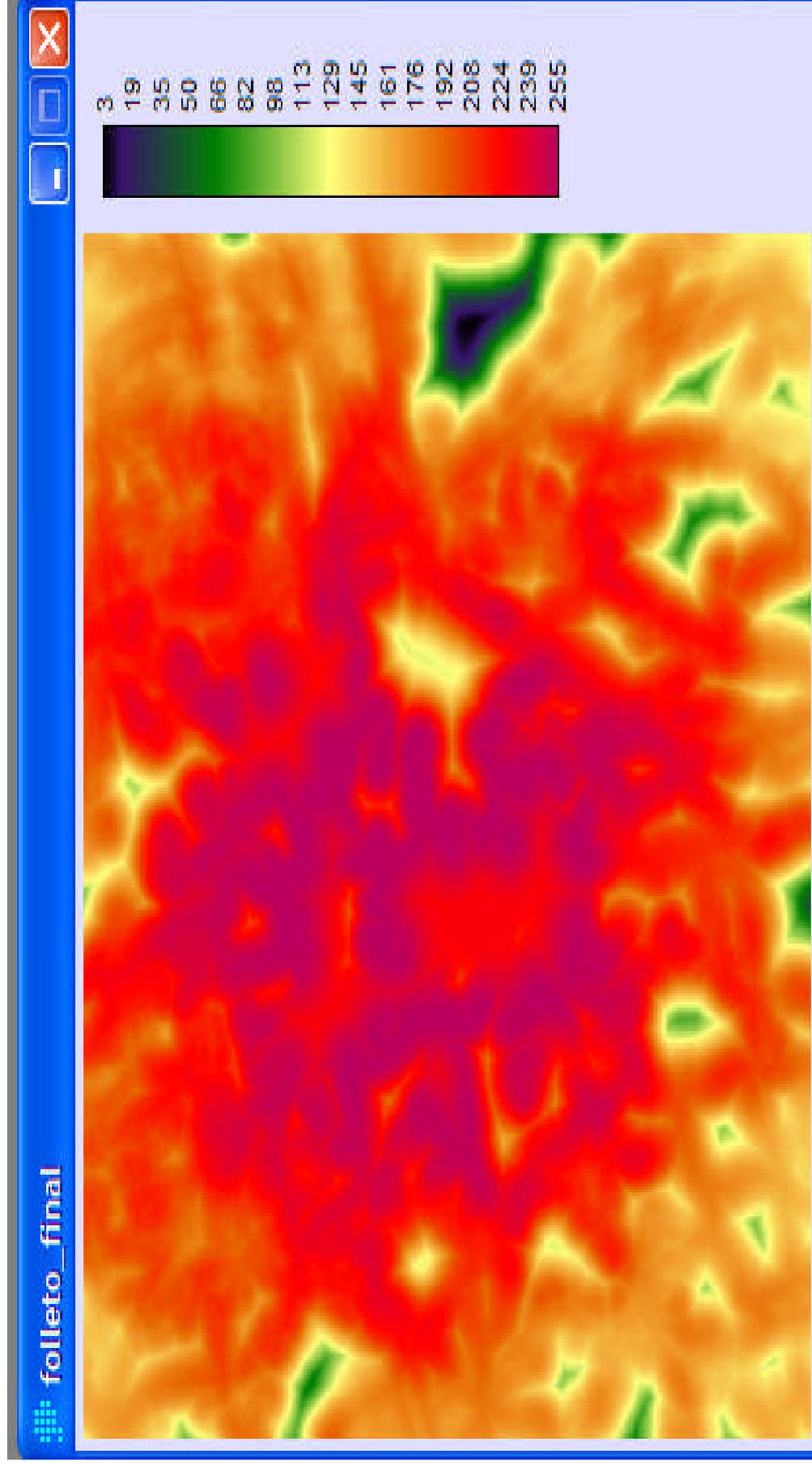
Save to File

Copy to Clipboard

El cociente de consistencia es aceptable (< 0.1) acorde a las reglas del AHP (ecuación 5).



La pantalla muestra el seguimiento para el uso del comando MCE (análisis multi criterio). En este se invoca la ponderación realizada en la pantalla anterior y se da un nombre al archivo: en este caso FOLLETO_FINAL



La pantalla muestra el mapa final de áreas potenciales para el desarrollo de la planta. Mientras más alto el valor el sitio es mejor. Para arribar a esto el software realizó los cálculos pertinentes (ecuaciones 2 a la 5) que en forma esquemática se ha resumido en la Figura 6.

CONCLUSIONES

El primer paso para la toma de decisiones en grupo en relación al manejo de los recursos naturales, es reconocer que la magnitud y naturaleza del problema requiere de la multidisciplina en aras de incorporar elementos de diferentes áreas del conocimiento a la solución de un problema multi objetivo y quizás con intereses contrapuestos. Posteriormente se tiene que decidir o elegir las herramientas que auxiliarán en la decisión; tal es el caso de los Sistemas de Ayuda en la Toma de Decisiones (DSS).

Existen diversos programas computacionales, adicionales a los aquí expuestos, para la evaluación multicriterio, algunos de estos son: ELECTRE (Roy, 1983; *et al.*, 1981), ORESTE (Roubens 1982, Pastijn and Leysen, 1989), PROMETHEE (Brans *et al.*, 1984), MAUT (Keeney and Rafia, 1976), EXPERT CHOICE (Saaty, 1977), VIMDA (Korhonen, 1988), AIM (Lotfi *et al.*, 1992).

Quizá la variable de decisión de más peso para elegir un determinado software, además del objetivo, es la disponibilidad de información, su calidad y la formación y conocimiento de quienes participarán en el proceso de construir el modelo de decisión. Por ejemplo, de los tres programas computacionales expuestos en la presente publicación, sin pérdida de generalidad, pueden ser usados bajo las siguientes circunstancias:

1. **Facilitator:** Excelente para decisiones en grupo; de fácil operación y amigable interfase con los usuarios. El procedimiento para cambiar la jerarquía de los criterios es fácil y comprensible a la vista. Los criterios son ponderados por el orden de jerarquía impuesto por los usuarios. Las gráficas de las opciones se producen asumiendo diversos puntos de vista del grupo lo que significa que existen amplios rangos potenciales de los resultados. Esto permite llegar a acuerdos consensuados de manera rápida. El reporte hiper texto que arroja es de fácil seguimiento y mantiene memoria de todas las corridas que se hicieron para retomarlas en grupo. La solución del problema lineal que plantea para la obtención del máximo y mínimo score de cada alternativa provee de un resultado visual en el que se puede apreciar simultáneamente la robustez de las alternativas así como su prioridad en la solución. La gráfica polar que presenta es una excelente herramienta para conocer que tan separadas quedaron las alternativas del óptimo. Este software es ideal para efectos de docencia.
2. **Definite:** excelente cuando se requiere de medir de manera precisa la sensibilidad de los pesos y scores o de ambos simultáneamente. La gama de opciones que presenta para la obtención de los pesos, las opciones de funciones para estandarización y la interfase visual, hacen de este software uno de los mas completos. La opción de calificar alternativas de manera subjetiva (escala ---/+++) y posterior emigración numérica, es una característica distintiva del software de mucha utilidad bajo escenarios de poca disponibilidad de información y de calidad de ésta. Sin embargo, presenta cierta complejidad en su operación y el usuario necesita cierto

antecedente académico para aprovechar al máximo las bondades de la herramienta. Otra situación no favorable de este software es su precio.

3. **Decisión Analyst:** se puede considerar como intermedio entre los otros dos DSS expuestos. Se fundamenta en el AHP que es el método más aceptado para llegar a decisiones consensuadas dado la estructura matemática que lo sustenta. La ventaja fundamental de este programa es la facilidad de construir y relacionar elementos en los diferentes niveles (objetivo-criterios-alternativas). La opción SMARTER para adjudicar pesos es bastante útil cuando se requiere de primeras apreciaciones del posible resultado y cuando la información no es suficiente. La interfase para calcular la sensibilidad de los criterios ó alternativas es de mucha facilidad en su operación mostrando resultados en tiempo real.
4. IDRISI: el módulo "Decisión Support" de este software es especialmente útil cuando existe información espacial (mapas) y se tiene el problema de adjudicación de terreno para alguna actividad o proyecto con objetivos múltiples y en conflicto. Este software ofrece una amplia gama de módulos para el procesamiento de información base, estandarización por procedimientos de lógica difusa (escala de cero a uno ó cero a 255) por medio de diferentes funciones: sigmoideal, lineal o definida por el usuario, asignación de pesos (AHP) y la combinación lineal ponderada (WLC) para la obtención de los resultados (mapas de disponibilidad) en los que se cumple con las restricciones y factores impuestos al modelo.

Como se ha expuesto, es necesario conocer las opciones existentes cuando de elegir un algoritmo de análisis se trata. El problema que los tomadores de decisiones afrontan es ¿cual de las opciones es la más adecuada acorde al objetivo perseguido? En los párrafos anteriores se han descrito las características generales y ámbito de aplicación de los DSS expuestos en la presente publicación; sin embargo, a continuación se provee de más elementos para realizar una selección más juiciosa de los diferentes softwares en el mercado.

Peniwati (1995) evaluó varios métodos de análisis multicriterio utilizando para ello 16 criterios:

1. Promover efectividad de liderazgo.
2. Promover el aprendizaje en grupo.
3. Promover la visión de abstracción de la decisión por medio de la discusión de grupo.
4. Promover la abstracción del problema que facilite el desarrollo de alternativas.
5. La estructura de los criterios usada para representar la decisión.
6. La profundidad (grado de disgregación en partes) de la estructura usada para representar la decisión.
7. El tipo de escala usada para representar los juicios u opiniones, el método usado y la exactitud.
8. Proveer los medios para el análisis, revisión y cuidadoso escrutinio de la decisión.
9. Justicia en la agregación de juicios individuales en un grupo.

10. Justicia al asignar pesos a los criterios de un grupo.
11. Justicia al considerar otros actores o líderes de opinión.
12. Generalidad científica y matemática del método.
13. Su aplicabilidad a tangibles e intangibles.
14. Su aplicabilidad psicofísica.
15. Su aplicabilidad en la resolución de conflictos, y
16. Su validez en predicción.

Por otro lado Cho (2007) establece que cualquier método de decisión debiera cumplir con al menos cinco meta criterios:

1. Debe de hacer posible el tratado de problemas de decisión complejos e intrincados.
2. Debe de ser capaz de ir más allá de los medios comunes de evaluar al tratar criterios intangibles como mérito político y habilidad artística.
3. Debe de ser potencialmente capaz de hacer predicciones en virtud de que las decisiones que se tomen con la herramienta pasarán por el escrutinio del azar y el riesgo del futuro. De otra manera, lo que es una buena decisión ahora pudiera ser un pésimo curso de acción mañana.
4. Los problemas de la vida real involucran diferentes tipos de dependencia que no se pueden dejar de lado asumiendo siempre independencia. Muchos métodos asumen independencia de los criterios y alternativas en su formulación. La pregunta es: ¿Cuáles de ellos se pueden generalizar y adaptar por dependencia de los criterios en las alternativas, y más aún, entre todos los elementos en la estructura de decisión sin comprometer la teoría?
5. El método debiera ser ameno para trabajo en grupo sin asumir que el consenso es siempre la manera de combinar decisiones grupales. El método debe ser capaz de capturar el poder y conocimiento de varios individuos involucrados en la decisión y transformar este conocimiento de una manera matemática precisa en una solución.

La bondad de un método depende de los objetivos con los que se usa; si estos difieren de aquellos que conformaron el algoritmo de su diseño, seguramente la utilidad será subestimada. Por otro lado, no se puede construir un algoritmo tomando las mejores partes de otros algoritmos; una buena teoría se sostiene por sí misma descansando en sus asunciones y estructura y debe de ser validado acorde a su rigor matemático. Sin embargo, una estructura matemática muy intrincada no necesariamente es sinónimo de robustez y no garantiza su validez.

Cualquier aproximación que se use en el proceso de toma de decisiones necesita ser reproducible, consistente, defendible y capaz de afrontar restricciones de tiempo, costo y, tratándose del manejo de los recursos naturales, debe ser capaz de balancear entre los objetivos de producción y conservación.

Por último, en el contexto de sustentabilidad de recursos, la mejor decisión es la que se toma en grupo dentro del cual quizá no se alcance consenso, pero el solo hecho de haber participado con opinión y haber demostrado que las participaciones conformaron la decisión final, es ya un indicio irrefutable de que se arribará a un buen curso de acción.

LITERATURA CITADA

- Bonczek, R.H., C.W. Holsapple and A. Whinston. 1976. Implementation of a decision support system for regional water quality processing. Paper 570. Krannert Graduate School of Management, Purdue University, West Lafayette, IN.
- Bonczek, R.H., C.W. Holsapple and A. Whinston. 1981. Foundations of decision support systems. Academic Press, New York.
- Brans, J. P., B. Mareschal and P. Vincke. 1984. Promethee: A new family of outranking methods in multicriteria analysis, In Operational Research '84; IFORS, Elsevier, North Holland, Amsterdam.
- Cho Keun Tae. 2007. Multicriteria Decision Methods: An Attempt To Evaluate and Unify. School of Systems Management Engineering, Sungkyunkwan University 300 Cheoncheon-dong, Jangan-gu, Suwon, Korea, 440-746.
- Eastman, J. R. 1999. idrisi 32 Tutorial. Clark Labs. Clark University. 298 pp.
- Gómez Delgado M., y J. I. Barredo Cano. 2006. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. 2.^a edición Madrid España, 250 pp.
- Heilman, P., J. Stone, I. Sanchez C., H. Macias R. and R. S. Man. 2006. Working Smarter: In: Modeling and Remote Sensing Applied to Agriculture (US and Mexico). Richardson, C., Baez, A. and M. Tiscareño Eds. 250 pp.
- Holsapple, C.W., and A.B. Whinston. 2001. Decision support systems: A knowledge-based approach. Thomson Learning/Delmar Publishers, Stamford, CT.
- Jakeman, A. J., R. A. Letcher, J. P. Norton, F. Andrews, C. Allen, R. Argent, S. Banks, C. Barber, G. Bazzani, P. Cormack, P. Cornisa, F. Chiew, B. Croke, S. Cuddy, S. Dovers, R. Eggins, C. Fellows, D. Fox, S. Franks. C. Giupponi, N. Gunningham, M. Hare, C. Johnston, L. Li, M. McAleer, A. MacKinnon, H Maier, J. Mysiak, B. Nancarrow, R. Nathan, C. Pahl-Wostl, A. Rizzoli, R. Nathan, W. Proctor, P. Sharma, C. Simmons, R. Soncini Sessa, F. Stagnitti, R. Vertéis, A. Voinov, J. Walker, G. Syme, and P. C. Young. 2003. Outstanding research issues in Integration and participation for Water resource planning and Management. Integrated Catchment Assessment and Management Centre. The Australian National University Canberra ACT 0200, Australia. 12 pp.
- Jasso I. R. 1999. Desarrollo tecnológico para el manejo integral de los recursos naturales en comunidades marginadas del Estado de Durango. Protocolo del proyecto CENID-RASPA INIFAP, Gómez Palacio Dgo., México.
- Keen, P.G.W. and M.S. Morton. 1978. Decision support systems: An organizational perspective. Addison-Wesley, Reading, MA.

- Keeney R. L. and H. Raiffa. 1976. Decisions with Multiple Objectives: Preference and Value Tradeoffs, John Wiley, New York.
- Knisel, W. G. 1980. CREAMS: A field – scale model for chemical, runoff, and erosion from agricultural management systems. USDA conservation research report No 26.
- Korhonen P. 1988. A visual reference direction approach to solving discrete multiple criteria problems, European Journal of Operational Research 34, 152-159.
- Lane, J. L., J. C. Ascough and T. E. Hakonson. 1991. Multiobjective Decision Theory–Decision Support Systems with Embedded Simulation Models. Irrigation and Drainage Proceedings. IR Div/ASCE.
- _____. D. S. Yakowitz, J. J. Stone, M. Hernandez, P. Heilman, B. Imam, J. Msterson and J. Abolt. 1994. A Multiple Objective Decision Support System for the USDA Water Quality Initiative. SWRC, Tucson. Az. 8 pp.
- 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 pp.
- Lawrence, P.A., J. Robinson, and R. Eisner. 2001. A decision environment: Going beyond a decision framework to improve the effectiveness of decision making in natural resource management. p. 1613-1618. *In* Ghassemi F. et al. (ed.) Int. Congr. on Modeling and Simulation (MODSIM 2001) Canberra, ACT, Australia. 10-13 Dec. 2001.
- Lawrence, P.A. and J. Robinson (ed.) 2002. Proc. of the 2nd Int. Conf. on Multiple Objective Decision Support Systems for Land, Water and Environmental Management (MODSS '99), Brisbane, Australia. 1-6 August 1999. Report QNRM02143. Queensland Dep. of Natural Resources, QLD, Australia. <http://www.coastal.crc.org.au/modss/conference99.asp>
- Leonard, R. A., W. G. Knisel, and D. A. Still. 1987. Ground Water Loading Effects of Agricultural Management Systems. Trans. ASAE 30 (5), pp 1403 – 1418.
- Letcher, R. A., and A. J. Jakeman. 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.
- Loffi, V., T. Stewart and S. Zionts. 1992. An aspiration-level interactive method for multiple criteria decision making, Computers and Operations Research 19.
- Nouvelot, J. F. 1997. 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.

- Oropeza, M. J. L. 1999. Modelos matemáticos y su aplicación al manejo de cuencas hidrológicas. Ponencia presentada en IX Congreso Nacional de Especialistas en Irrigación. Culiacán Sinaloa México.
- Pastijn H. and J. Leysen. 1989. Constructing an outranking relation with ORESTE, Mathematical and Computer Modeling 12, 1255-1268.
- Peniwati K. 1995. The Possibility Theorem for Group Decision Making: The Analytic Hierarchy Process, Ph.D. Thesis, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA.
- Power, D.J. 2003. A brief history of decision support systems. Version 2.8. [Online]. [1 p.] Available at <http://DSSResources.COM/history/dsshistory.html> (accessed 31 May 2003; verified 12 Jan. 2004).
- Roubens, M. 1982. Preference relations on actions and criteria in multicriteria decision making, European Journal of Operational Research 10, 51-55.
- Roy B. 1973. How outranking relation helps multiple criteria decision making, in Topics in Multiple Criteria Decision Making (Edited by J. Cochrane and M. Zeleny), University of South Carolina Press, 179-201.
- _____ and P. Vincke. 1981. Multicriteria analysis: Survey and new directions, European Journal of Operational Research 8, 207- 218.
- Saaty T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures, Journal of Mathematical Psychology 15 (3), 234-281.
- _____ and L. G. Vargas. 1984. Comparison of Eigenvalue and logarithmic least squares and least squares methods in estimating ratios. Mathematical modelling, Vol. 5, pp.309-324.
- _____ 2006. A Framework for Making a Better Decision. Resrarch Review. University of Pittsburg, Katz School of Business. Vol. 13 No. 4 pp.
- Sánchez C., I. 1995. Erosión Potencial en la Comarca Lagunera. Serie folletos INIFAP ORSTOM No.4 Gómez Palacio, Dgo., México. 30 pp.
- _____ 2005. Fundamentos para el aprovechamiento integral del agua. Una aproximación de simulación de procesos. Libro científico No. 2. INIFAP CENID RASPA. Gómez Palacio, Dgo. 272 pp.
- _____ H. Macias R., P. Heilman, G. González C., S. F. Mendoza M., M. A. Inzunza I. y J. Estrada A. 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. Vol XXI, núm. 3 pp 101-111.
- Stewart, T. J. 1995. Simplified Approaches for Multicriteria Decision Making under Uncertainty. Journal of multi-criteria decision analysis, Vol. 4, p. 246-258.

- _____ 1996. Robustness of Additive Value Function Methods in MCDM. Journal of multi-criteria decision analysis, Vol. 5, p. 301-309.
- Turban, E. and J.E. Aronson. 2000. Decision support systems and intelligent systems. 6th ed. (Available online at <http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/turban2/>) Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Williams, J. R., Renard, K. G., and Dyke, P.T. 1983. A new method for assessing the effect of erosion on productivity-The epic model. Journal of soil water conservation.
- Yakowitz, D.S., L.J. Lane, and F. Szidarovsky. 1993. Multi-attribute decision making: dominance with respect to an importance order of attributes. Applied Mathematics and Computation 54:167-181.