



102  
241

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“Evaluación y Jerarquización de Proyectos de  
Infraestructura Hidráulica”**

T E S I S

Que para obtener el título de:  
Ingeniero Civil

presenta:

Rommel Ramírez Ruiz



Director de Tesis: Dr. Servio T. Guillén Burguete

Ciudad Universitaria, D.F. abril 1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-198/95

Señor  
**ROMMEL RAMIREZ RUIZ**  
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **DR. SERVIO TULIO GUILLEN BURGUETE**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

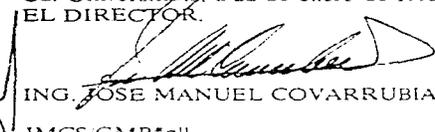
**"EVALUACION Y JERARQUIZACION DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA  
HIDRAULICA"**

- INTRODUCCION**
- I. EL MODELO DE LAS PREFERENCIAS SEGUN LA TEORIA DE UTILIDAD**
  - II. MODELOS MULTICRITERIO DE PREFERENCIAS**
  - III. EL METODO DE JERARQUIZACION ANALITICA**
  - IV. REVISION BIBLIOGRAFICA DE LOS METODOS PARA LA EVALUACION DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA**
  - V. LOS METODOS DE EVALUACION USADOS EN MEXICO PARA LA EVALUACION Y JERARQUIZACION DE OBRAS HIDRAULICAS**
  - VI. PROPUESTAS PARA UN SISTEMA DE EVALUACION Y JERARQUIZACION DE OBRAS HIDRAULICAS**
  - VII. CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitario, a 22 de enero de 1995.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS:GMP\*nl

*Dedico esta tesis :*

*A mi madre por haberme dado la vida, por darnos a mi hermana y a mí todo el amor con que es capaz de amar una madre, por consolarme en mis momentos de tristeza, por alentarme a seguir a delante, por eso y mucho más.*

*A mi padre por su cariño y eterno apoyo, por guiarme en momentos difíciles, por haber hecho de mí lo que soy ahora, por alentarme con su eterno "pisa el acelerador", por sus consejos y demás detalles.*

*A mi hermana Brenda por mostrarme mis fortalezas y debilidades, por soportarme y quererme pese que he sido hermano insoportable, por haber compartido conmigo momentos inolvidables al regalarme sus enojos y alegrías, por todo eso.*

*A mi abuelita Ernestina por habernos dado siempre un cariño y apoyo infinito, por preocuparse por nosotros al regañarnos así como al regalarnos momentos de dicha, por ser como es.*

*A todos ellos, con cariño*

*Rommel.*

## **RECONOCIMIENTOS:**

**A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme formado como profesionista dentro de sus aulas.**

**Al Dr. Servio Tulio Guillén Burguete, por haber dedicado parte de su tiempo al asesorar, revisar y editar este trabajo, así como al orientar y explicar los temas relacionados con este trabajo ya que sin su ayuda no habría sido posible realizar esta tesis.**

**Al Instituto de Ingeniería, así como a la DGAPA (proyecto IN500696) por el apoyo recibido, ya que permitieron la realización material de este trabajo.**

**Al Ing. Raymundo Gabino Noriega, Subgerente de Integración de Catálogo de Proyectos de la CNA, por proporcionar material indispensable para el desarrollo del cap.5 de esta tesis.**

## INDICE

TEMA	PÁGINA
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO 1: EL MODELADO DE LAS PREFERENCIAS SEGUN LA TEORÍA DE UTILIDAD.</b>	<b>9</b>
1.1 LA TOMA DE DECISIONES Y EL MODELADO DE LAS PREFERENCIAS	9
1.2 MODELOS DE PREFERENCIA DE UTILIDAD ESPERADA.	11
1.3 PROPIEDADES ASOCIADAS A LA "RACIONALIDAD" DE LAS PREFERENCIAS.	15
<b>CAPÍTULO 2: MODELOS MULTICRITERIO DE PREFERENCIA.</b>	<b>17</b>
2.1 EL CONCEPTO DE MATRIZ DE DECISIONES.	17
2.2 EL MODELO ADITIVO.	18
2.3 EL MÉTODO ELECTRE I.	19
2.3.1 EJEMPLO ILUSTRATIVO.	22
2.4 OTROS MÉTODOS DE SOBRECLASIFICACIÓN.	26
2.5 ÍNDICES DE CREDIBILIDAD DE LAS PREFERENCIAS.	27
2.6 EL CONCEPTO DEL DSS.	29
<b>CAPÍTULO 3: EL MÉTODO DE JERARQUIZACIÓN ANALÍTICA.</b>	<b>31</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO.	31
3.1.1 DISEÑO DE LA JERARQUÍA.	32
3.1.2 COMPARACIÓN POR PARES.	33
3.1.2.1 CONSISTENCIA.	34
3.1.3 SÍNTESIS DE PRIORIDADES.	35
3.2 VENTAJAS DEL MÉTODO.	36
3.3 EJEMPLO ILUSTRATIVO.	37

<b>CAPÍTULO 4: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURAHIDRÁULICA.</b>	<b>42</b>
4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE TOMA DE DECISIONES.	42
4.2 LA TOMA DE DECISIONES EN INGENIERÍA.	44
4.3 CONTRIBUCIONES DE LOS MÉTODOS DE TOMA DE DECISIONES A PROYECTOS HIDRAULICOS.	46
<b>CAPÍTULO 5: LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN USADOS EN MÉXICO PARA LA EVALUACIÓN YJERARQUIZACIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS.</b>	<b>49</b>
5.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PROGRAMACIÓN DE INVERSIONES EN IRRIGACIÓN Y DRENAJE.	50
5.1.1 INFORMACIÓN SOBRE LOS PROYECTOS.	51
5.1.2 EVALUACIÓN DE LOS PROYECTOS.	52
5.1.3 ESCENARIOS DE PROGRAMACIÓN.	57
5.1.4 MODELOS DE PROGRAMACIÓN	58
5.1.4.1 EL SISTEMA DE COMPUTO "EVALECYs".	60
5.2 LIMITANTES DE LAS TÉCNICAS ACTUALES DE EVALUACIÓN.	60
<b>CAPÍTULO 6: PROPUESTAS PARA UN SISTEMA DE EVALUACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS.</b>	<b>64</b>
6.1 ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA.	65
6.2 INFORMACIÓN A UTILIZAR EN LA EVALUACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE OBRAS HIDRAULICAS.	66
6.3 EVALUACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE PROYECTOS HIDRÁULICOS.	68
6.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	69
<b>CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES.</b>	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>73</b>

## **INTRODUCCIÓN**

---

**El presente trabajo analiza técnicas para resolver problemas de evaluación con criterios múltiples, con miras a su aplicación a la evaluación de proyectos de infraestructura hidráulica.**

**Los objetivos de esta Tesis son :**

- a) Realizar un análisis crítico de los procedimientos y modelos que actualmente se usan para la evaluación y jerarquización de proyectos de infraestructura hidráulica, incluyendo los procedimientos y modelos que actualmente se emplean en México.
  
- b) Elaborar recomendaciones sobre los métodos que serían apropiados para México, tomando en cuenta las condiciones nacionales de disponibilidad de la información.

### **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El agua es un factor indispensable para la existencia del hombre y su desarrollo. Su uso aparece en prácticamente todas las actividades. La concentración de la población en grandes núcleos, con las consiguientes ventajas en lo económico, social y cultural, ha sido posible gracias a la construcción de una gran infraestructura hidráulica, pero a su vez esta ha ocasionado múltiples problemas de contaminación y de abastecimiento de agua para usos múltiples.

Por lo cambiante de las condiciones, estos problemas no tienen una solución definitiva, permanente se deben estar buscando nuevas fuentes de aprovisionamiento, realizando estudios hidrológicos o geohidrológicos para poder ampliar los sistemas de distribución y almacenaje existentes. A medida que la población crece se requiere cada vez de más agua para la generación de electricidad, para la agricultura, etc.. Para esto se requiere ampliar permanentemente la infraestructura hidráulica, de modo que permita redistribuir el agua en el tiempo y el espacio, y racionalizar su uso agrícola, urbano e industrial en la forma más equitativa y eficiente. De lo anterior, cabe mencionar que los actuales métodos de evaluación de proyectos no consideran los métodos de evaluación multicriterio.

## SITUACIÓN ACTUAL

El agua actualmente es el principal problema en materia ambiental, la disponibilidad cada vez se ve reducida; el abasto, insuficiente; el uso, inadecuado; la contaminación de los cuerpos de agua, que es alta, se agrava; y el tratamiento, que ahora es ineficiente, se convertirá junto con los demás problemas en el principal reto a vencer en las próximas décadas.

La mitad del territorio nacional registra un déficit de este recurso, principalmente en los estados de Baja California, Sonora, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León y San Luis Potosí, así como en la zona metropolitana del valle de México y en la cuenca Lerma-Chapala. Las fuentes más importantes de agua se concentran en el sureste, donde la población y la demanda son bajas, lo anterior es tanto para recursos fluviales como pluviales; otro recurso importante lo constituyen los mantos acuíferos, sin embargo, hay una sobreexplotación como se aprecia en la ciudad de México.

## METODOLOGÍA

Las necesidades de evaluar y jerarquizar proyectos de infraestructura hidráulica se derivan de la limitación de recursos para realizar todas las obras que se requieren, y de la limitación del propio recurso acuífero, que es insuficiente para la gran cantidad y diversidad de usos tanto rurales como urbanos. Para evaluar estas obras, se requiere previamente una gran

cantidad de estudios de Ingeniería Civil, en las áreas de estructuras, mecánica de suelos, planeación y construcción.

Metodológicamente la evaluación y jerarquización de proyectos se reducen al modelado de las preferencias sobre los proyectos alternativos en consideración, por parte del tomador de decisiones o decisor, que en el caso de México es la Comisión Nacional del Agua, entidad gubernamental encargada de coordinar y conducir las decisiones buscando el interés nacional. El modelado de las preferencias consiste, en términos generales, en establecer reglas que determinan cuándo un proyecto es mejor que otro, por lo que dichas reglas tendrán que tomar en cuenta aspectos técnicos, ecológicos, económicos, sociales y legales. Las dificultades para comparar proyectos de infraestructura hidráulica se derivan principalmente de los conflictos que presentan la gran variedad de aspectos que intervienen en la evaluación y la diversidad de usos del agua en áreas urbanas y rurales.

Es por lo anterior que los capítulos I, II, y III de esta tesis tratan acerca del marco teórico para la evaluación y jerarquización de proyectos con múltiples criterios, como son los de infraestructura hidráulica, desarrollándose algunos de los modelos multicriterio más usados en la evaluación de proyectos hidráulicos como son los métodos ELECTRE I y AHP. En el capítulo IV se hace un análisis en publicaciones especializadas como es el Water Resources Bulletin entre otros, de los métodos para la evaluación de proyectos hidráulicos.

El capítulo V trata a cerca de los métodos utilizados por la CNA para evaluar y jerarquizar los proyectos de infraestructura hidráulica.

En el capítulo VI, tomando en cuenta el material desarrollado, se elabora una propuesta en relación con un sistema que ayude a evaluar los proyectos de acuerdo a las condiciones nacionales.

Por último, en el capítulo VII se presentan las conclusiones a las que se llegaron.

## **CAPITULO 1**

### **EL MODELADO DE LAS PREFERENCIAS SEGÚN LA TEORÍA DE UTILIDAD.**

---

En la actividad humana diaria, individual o colectiva se toman decisiones según las preferencias del tomador de decisiones, también llamado *decisor*, sobre las consecuencias o sus estimaciones de las distintas acciones alternativas. El conocimiento de estas preferencias es un elemento esencial para elegir la “mejor” alternativa disponible en el problema de toma de decisiones.

#### **1.1 LA TOMA DE DECISIONES Y EL MODELADO DE LAS PREFERENCIAS.**

No hay una definición universal para los términos *objetivos* y *criterios*. Sin embargo para efecto del desarrollo de esta tesis se entenderá por objetivo la dirección que se tomará al elegir una alternativa de solución que proporcione el mejor o mejores beneficios, y por criterio, las características que son relevantes para evaluar las alternativas.

Un *modelo* es una representación o abstracción de un objeto o de una situación. El modelo muestra las relaciones directas e indirectas y las interrelaciones de acción y reacción entre sus elementos. Ya que un modelo es una abstracción de la realidad, en general es menos complejo que la realidad misma. El modelo, para que sea útil, debe ser representativo de los aspectos de la realidad que se estén investigando.

Cuando el modelo se expresa en forma cuantitativa con una función objetivo y un conjunto de restricciones expresadas como funciones de las variables de decisión, entonces se dice que se trata de un *modelo matemático*.

Una de las principales ventajas para desarrollar modelos es que ayudan a descubrir las variables importantes para explicar el sistema real que se modela. El descubrimiento de las variables adecuadas está estrechamente ligado con la investigación de las relaciones que existen entre las variables.

El modelado de las preferencias ayudará a tener una descripción explícita de las preferencias del decisor. Este modelado parte de que el decisor es capaz de determinar, para cada par de alternativas  $a$  y  $b$  de un conjunto  $A$ , la posibilidad que ocurre:

$a P b \Rightarrow a$  se prefiere a  $b$

$a I b \Rightarrow$  es indiferente elegir entre  $a$  y  $b$

$a J b \Rightarrow$  no es posible compararlas

En los modelos de preferencia de teoría de valor y de utilidad esperada, el modelado de las preferencias transforma el problema de decisión en uno de optimizar una función  $g$ , definida sobre un conjunto de alternativas  $A$ . De acuerdo a Vincke (1992), este enfoque es equivalente a asumir que existe una función  $g$  sobre el conjunto de alternativas, con la cual se modelan las preferencias del decisor.

El llamado modelo de valor de las preferencias o modelo ordinal, consiste en una función  $g$  que modela las preferencias del decisor en el sentido que para todo par de alternativas  $a, b \in A$ ,

$$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b)$$

$$a I b \Leftrightarrow g(a) = g(b)$$

## 1.2 MODELO DE UTILIDAD ESPERADA.

Varios autores, como Keeney (1976), consideran que el modelo de utilidad esperada puede ser una guía útil para la toma de decisiones en condiciones de riesgo, especialmente cuando estas decisiones se deben de hacer de manera repetitiva, como ocurre en muchas organizaciones como la CNA. El modelo de utilidad esperada tiene la siguiente forma

$$a P b \Leftrightarrow E(U; a) > E(U; b)$$

$$a I b \Leftrightarrow E(U; a) = E(U; b)$$

donde:

- $U$  es una función real sobre el conjunto de consecuencias  $C$
- $a, b \in E$  dos alternativas cualesquiera en el conjunto de estimados de consecuencias
- $E(U; a)$  es el valor esperado de la función de utilidad  $U$  para la distribución de probabilidad  $a \in E$ , dado por:

$$E(U; a) = \sum_{x \in C} U(x)a(x) \quad C \text{ discreto}$$

$$E(U; a) = \int_{x \in C} U(x)da(x) \quad C \text{ continuo}$$

En este modelo la mejor alternativa es la que hace máximo el valor esperado de la función de utilidad. La función de utilidad  $U$  no es única, pues por la linealidad del valor esperado, cualquier otra función  $w$  sobre el conjunto de alternativas  $A$  es una función de utilidad si y solo si está relacionada con  $U$  por una transformación afín positiva<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>  $w$  y  $v$  están relacionados por una transformación afín positiva si y solo si existen  $\alpha, \beta, \alpha > 0$ , tal que  $w = \alpha u + \beta$

Es inmediato que toda función de utilidad es una función de valor (lo que confirma la existencia de preferencias sobre  $C$  antes considerada), pero una función de valor no necesariamente es una función de utilidad (las transformaciones afines positivas son un caso particular de transformación monótona no decreciente).

La teoría de utilidad se basa en la hipótesis de que existe una función real  $U$ , definida sobre el conjunto de acciones potenciales  $A$ , la cual se desea maximizar. La función  $U$  agrega en un solo los criterios  $g_1, g_2, \dots, g_n$  con los que se evalúan las acciones. El problema reside en determinar  $U$ . En el marco de esta teoría se ha trabajado en tres problemas:

- a) Cómo construir la función  $U$ .
- b) Cuáles deben ser las condiciones que debe cumplir las preferencias del decisor para que la función  $U(g_1, g_2, \dots, g_n)$  sea aditiva, multiplicativa, o combinada.
- c) Cómo probar e identificar esas condiciones.

El modelo de utilidad esperada requiere que se cumpla la propiedad de independencia preferencial. Sea  $F = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$  el conjunto de criterios y  $K \subset F$ :  $K$  es preferencialmente independiente en  $F$  si las preferencias entre acciones o alternativas que difieren solo para los criterios en  $K$ , no dependen de sus valores en los criterios en  $F \setminus K$ .

Un teorema básico señala que si existen  $n$  funciones reales  $U_1, U_2, \dots, U_n$  tales que  $U = U_1(g_1) + U_2(g_2) + \dots + U_n(g_n)$ , entonces  $\forall K \subset F$ ,  $K$  es preferencialmente independiente en  $F$ . El teorema inverso es válido siempre que se cumplan varias condiciones adicionales. Un teorema derivado señala que si  $K_1$  y  $K_2$  son preferencialmente independientes en  $F$  y si  $K_1 \cap K_2 \neq \emptyset$ , entonces  $K_1 \cup K_2$  y  $K_1 \cap K_2$  son preferencialmente independientes en  $F$ .

Otro concepto fundamental en la teoría de utilidad es el de la tasa de sustitución (trade off). Puesto que existe una función  $U$  que permite agregar los criterios  $g_1, g_2, \dots, g_n$ , debe existir también una función  $w_{ij}$  que determina la cantidad que el decisor está dispuesto a sacrificar en el criterio  $j$  por ganar una unidad en el criterio  $i$ ;  $w_{ij}$  es la *tasa de sustitución* del criterio  $i$  respecto del criterio  $j$ .

El modelo de utilidad esperada es útil sólo mientras refleje adecuadamente las preferencias del decisor. En situaciones que implican opciones similares que se repiten muchas veces o que implican riesgos relativamente bajos, el decisor es lo que se llama indiferente al riesgo, en el sentido que sus preferencias son congruentes con el valor esperado de los resultados, porque la función de utilidad prácticamente coincide con el valor de los resultados. Sin embargo, en decisiones que se hacen una sola vez y que implican riesgos relativamente altos, el decisor trata de evitar la posibilidad de un resultado desafortunado, aún cuando probabilísticamente la situación esté a su favor. Si es así se dice que el decisor es adverso al riesgo.

Se distinguen dos tipos de funciones, según intervenga o no el riesgo. Las funciones de valor consideran objetivos y criterios cuando no está presente la incertidumbre, mientras que las funciones de utilidad son apropiadas para manejar el riesgo.

En la construcción de la función de utilidad se generan valores para resultados (consecuencias) que pueden intervenir en situaciones inciertas. Por tanto, la incertidumbre se puede incorporar a través de la probabilidad.

Para determinar una función de utilidad se determina el valor bajo certeza de diversas loterías, cada una de las cuales es una distribución de probabilidad que da distinta de cero para un número finito de resultados (consecuencias), generalmente dos:

- Se elige el mejor resultado condicional  $\theta_1^*$  y el peor resultado condicional  $\theta_1$ , asignándoles la mayor y menor utilidad  $U(\theta_1^*) = 1$  y  $U(\theta_1) = 0$ .
- Se pide al tomador de decisiones que identifique algún otro resultado,  $\theta_i$ , tal que sea indiferente entre recibir  $\theta_i$  con certeza o aceptar los resultados de una lotería cuyas probabilidades son A y B entre el mejor y el peor de los resultados condicionales,  $\theta_1^*$  y  $\theta_1$ . Entonces,  $U(\theta_i) = A U(\theta_1^*) + B U(\theta_1)$ , es una utilidad esperada de los valores de la función de utilidad asignados a los resultados condicionales que aparecen en nuestro problema.

· Se siguen obteniendo distribuciones de probabilidad al A-B entre  $\theta_1^*$  y  $\theta_1$ , y entre  $\theta_1$  y  $\theta_1^*$ , repitiendo el proceso hasta que se haya obtenido suficientes puntos para determinar alguna de las curvas de la fig. 1.1.

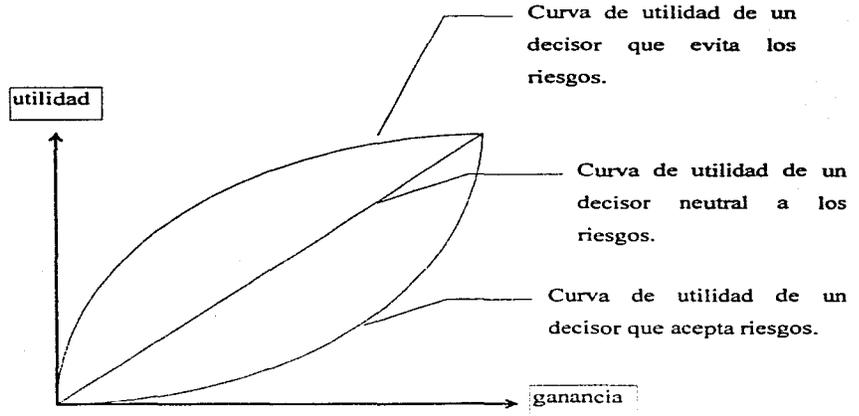


fig. 1.1

Otro método parecido al consiste en especificar  $\theta_1^*$ ,  $\theta_1$ , y  $\theta_1$  por adelantado; se pide al tomador de decisiones que determine la probabilidad  $p$  de obtener  $\theta_1^*$  de manera que el decisor sea indiferente entre  $\theta_1$  bajo certeza y la lotería en que se obtiene  $\theta_1^*$  con probabilidad  $p$  y  $\theta_1$  con probabilidad  $(1-p)$ .

Estos dos métodos para estimar las funciones de utilidad son los más utilizados y tienen una base teórica sólida, elaborada inicialmente por von Newman y Morgenstern (1947) para el caso de un criterio y por Keeney y Raiffa (1976) para el caso multiobjetivo.

El propósito de construir una función de utilidad para un tomador de decisiones es utilizarla para modelar sus preferencias y ayudarlo a tomar decisiones para distribuciones de

probabilidad sobre las consecuencias mucho más complicadas que las loterías que sirvieron para estimar su función de utilidad.

### 1.3 PROPIEDADES ASOCIADAS A LA “RACIONALIDAD” DE LAS PREFERENCIAS.

La racionalidad no se puede definir de manera absoluta, pero una forma de racionalidad se presenta cuando existe consistencia entre lo que se afirma y lo que se hace. Según Thierauf (1993), en teoría de decisiones la racionalidad depende de las situaciones y está dada por las condiciones que las preferencias del decisor deberían cumplir. Para esto hay que considerar:

- Las reglas deben hacer alusión a los valores de nuestros problemas. Estas deben ser posibles de articularse a sus preferencias y percepciones.
- Las reglas deben especificar qué es ser racional en presencia de incertidumbre.
- Las reglas deben proveer un cálculo para orientar el criterio del decisor a través de problemas complejos.

Dos propiedades asociadas a la racionalidad son la asimetría y la transitividad de las preferencias: La asimetría consiste en que si  $a$  es preferida a  $b$ , entonces  $b$  no es preferida a  $a$ .

La transitividad consiste en que si la alternativa  $a$  es preferida a la alternativa  $b$ , y también que  $b$  es preferida a  $c$ , entonces  $a$  se prefiere a  $c$ .

Notar que esta propiedad de transitividad también la cumple la inferencia lógica, en donde “alternativa” se sustituye por “proposición lógica” y “preferido a” por “implica”.

En general se consideran que las preferencias son inconsistentes si en las condiciones anteriores se prefiriere a  $c$  sobre  $a$ , en cuyo caso se dice que las preferencias son intransitivas y en consecuencia irracionales.

Para hacer ver que las condiciones de racionalidad no son absolutas, se puede mencionar que en la decisiones en grupo, como se deduce del teorema de imposibilidad de Arrow (1957), es aceptable la intransitividad de las preferencias, pues la agregación de preferencias individuales, perfectamente racionales, pueden dar lugar a preferencias que pueden llamarse irracionales.

## CAPITULO 2

### MODELOS MULTICRITERIO DE PREFERENCIA

---

El propósito de los modelos multicriterio de preferencia es proporcionar, a una persona o a un grupo de personas involucradas en un proceso de decisión, la representación de sus preferencias cuando las consecuencias se describen por un conjunto de criterios.

#### 2.1 EL CONCEPTO DE MATRIZ DE CONSECUENCIAS.

La matriz de consecuencias, también conocida como matriz de decisiones o de pagos, se utiliza para representar las consecuencias sobre los diversos criterios para las distintas alternativas. En esta tesis las alternativas se corresponden con los renglones y los criterios con las columnas. Además se supone que cada elemento de la matriz es una calificación  $\alpha_{ij}$ , de la alternativa  $i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , para el criterio  $j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ , donde  $n$  es el número de criterios y  $m$  el número de alternativas (fig.2.1). Se puede usar la convención de asignar cero a la calificación mas baja y diez o cien la más alta.

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$\cdot$	$\cdot$	$C_m$
$A_1$	$\alpha_{11}$	$\alpha_{12}$	$\alpha_{13}$	$\cdot$	$\cdot$	$\alpha_{1n}$
$A_2$	$\alpha_{21}$	$\alpha_{22}$	$\alpha_{23}$	$\cdot$	$\cdot$	$\alpha_{2n}$
$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$
$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$
$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$
$A_m$	$\alpha_{m1}$	$\alpha_{m2}$	$\alpha_{m3}$	$\cdot$	$\cdot$	$\alpha_{ma}$

fig. 2.1

Es importante el concepto de dominancia entre alternativas. Se dice que una alternativa *domina* a otra si la primera es al menos tan buena como la segunda, siendo mejor en al menos un criterio. Se acepta que cualquier modelo de preferencias debería incluir las dominancias, pues de lo contrario el modelo sería inaceptable. Si en la matriz de decisiones existe una alternativa que domina a todas las otras entonces evidentemente esta es la mejor independientemente del modelo utilizado, pero desafortunadamente esta situación difícilmente se presenta en la práctica. Cuando este no es el caso habrá que ocupar algún método multicriterio para elegir la "mejor" alternativa.

## 2.2 EL MODELO ADITIVO.

Los modelos multicriterio requieren una escala de medición para cada criterio; por ejemplo, el dinero medido en pesos o el tiempo en horas o minutos, y un parámetro que determina la importancia relativa de estos criterios. El proceso de formulación de un problema multicriterio, a través de un modelo aditivo es como sigue:

- 1.- Se hace un análisis del problema por medio de una matriz de consecuencias, donde la medida de la efectividad de cada alternativa en cada criterio se denota por  $r_{ij}$ , que es la evaluación de la alternativa  $i$  en el criterio  $j$ .
- 2.- Se asigna un valor numérico a la importancia a cada criterio, denotando por  $w_j$  el peso del criterio  $j$ . El peso asociado a cada criterio indica su importancia respecto a los demás criterio.
- 3.- Se califican las alternativas mediante una suma de los productos de los pesos de los criterios por las evaluaciones de las alternativas en los respectivos criterio,  $V_i = w_1 r_{i1} + w_2 r_{i2} + \dots + w_m r_{im}$ , donde  $V_i =$  es valor o calificación de la alternativa  $i$ .

Por su naturaleza cuantitativa, los modelos aditivos no permiten manejar directamente escalas cualitativas, pues aparecen productos de magnitudes numéricas. Cuando se manejan escalas cualitativas es conveniente predefinir un rango para cada criterio, dando los límites más bajos y más altos, especificando 0 al límite menos deseable y 1 ó 10 al más

deseable. Por ejemplo, en la determinación del estado de salud de una persona la capacidad cardiovascular se mide sobre una escala con los valores I, II, III y IV y el estado académico de un niño de primaria se especifica por el año que cursa, de 1° a 6° año, por lo que, por lo antes dicho, se asignaría el valor I a la medida de capacidad cardiovascular IV y al 6° año de primaria, respectivamente.

### 2.3 MÉTODO ELECTRE I.

El método ELECTRE (Elimination et Choix Traduisant la Réalité), fue desarrollado por Benayoun, Roy y Sussman en 1966, siendo este el primer método de sobreclasificación. Este método ha tenido a lo largo del tiempo sucesivas mejoras, como son los ELECTRE II y ELECTRE III. Se debe a David y Duckstein su primera aplicación a recursos hidráulicos en 1976. Este método hace una bipartición del conjunto  $A$  de proyectos, no sin antes definir previamente una relación de preferencia  $S$ . La bipartición consiste en especificar dos conjuntos complementarios, uno formado por los mejores elementos de  $A$  según  $S$ , es decir, los proyectos que no son "sobreclasificados", de entre los cuales se seleccionará "el mejor", y el otro, formado por los proyectos eliminados. El primero de estos conjuntos recibe el nombre de *núcleo*. Este método puede usarse con dos propósitos:

- 1.- Seleccionar la "mejor alternativa" dentro del núcleo, para lo cual el núcleo debe depurarse hasta que sólo contenga un elemento.
- 2.- Seleccionar un determinado número de proyectos, reduciendo o aumentando el núcleo hasta que contenga precisamente ese número de elementos.

La comparación de dos proyectos con este método es como sigue. Dados dos proyectos  $a$ ,  $b$ , los criterios quedan divididos en dos grupos; el formado por aquellos que concuerdan con la hipótesis de que  $a$  es preferido a  $b$ , es decir,  $a$  sobreclasifica a  $b$  ( $a S b$ ), que recibe el nombre de conjunto de concordancia  $C_{(a, b)}$ :

$$C_{(a, b)} = \{ j/p_j(a) \geq p_j(b) \}$$

siendo  $p_j(a)$  la evaluación parcial del proyecto  $a$  de acuerdo con el criterio  $j$ . El resto de los criterios constituyen el conjunto de discordancia  $D(a, b)$ :

$$D(a, b) = \{ j/p_j(a) < p_j(b) \}$$

El ELECTRE I requiere asignar un peso  $p_j$  a cada criterio  $j$ . El proyecto  $a$  es preferible a  $b$  si la suma de los pesos que forman el conjunto  $C(a, b)$  es lo suficiente elevado respecto al peso total de los  $j$  criterios considerados. Para precisar esta idea se introduce el concepto de índice de concordancia  $c(a, b)$  cuyo valor se determina por la siguiente expresión:

$$c(a, b) = \frac{1}{P} \sum_{j: g_j(a) \geq g_j(b)} p_j \quad \text{Donde } P = \sum_{j=1}^n p_j$$

El valor máximo para este índice es 1, que corresponde a una preferencia absoluta, mientras que el valor mínimo es 0, en cuyo caso no hay preferencia de  $a$  sobre  $b$  para ninguno de los criterios. El índice de concordancia  $c(a, b)$  es una medida de la preferencia de la alternativa  $a$  sobre la alternativa  $b$ , la cual está ponderada por el peso de los distintos criterios. Calculando este índice para todas las posibles parejas de proyectos, se obtiene la llamada matriz de concordancia, la cual tiene dimensión  $n \times n$ , siendo  $n$  el número de proyectos. De manera similar, se determina un índice de discordancia  $d(a, b)$ , definido por la expresión:

$$d(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{si } g_j(a) \geq g_j(b), \forall j \\ \frac{1}{\delta} \max [g_j(b) - g_j(a)] & \end{cases}$$

Donde:

$$\delta = \max_{c, d, j} [g_j(c) - g_j(d)]$$

Siendo  $\delta$  el máximo desacuerdo posible, es decir, el mayor intervalo posible de variación de escalas. El valor de este índice se halla también comprendido entre 1 y 0, representando respectivamente, la existencia de desacuerdo máximo o la ausencia total de desacuerdo. El conjunto formado por todos los índices de discordancia constituye la matriz de discordancia, cuya dimensión será también  $n \times n$ . Una vez obtenidas las matrices de concordancia y discordancia debe procederse a definir la relación de preferencia, que será utilizada para realizar la bipartición en el conjunto de proyectos. Para ello basta con establecer dos umbrales  $p$  y  $q$ , llamados de *concordancia* y *discordancia*, respectivamente, cuyos valores se hallan, en general, próximos a 1 y 0, respectivamente. Se admitirá entonces que el proyecto  $a$  es preferible a  $b$  si el índice de concordancia  $c(a, b)$  es mayor o igual que  $p$  y el índice de discordancia  $d(a, b)$  es menor o igual que  $q$ , es decir:

$$a S b \begin{cases} c(a, b) \geq p \\ d(a, b) \leq q \end{cases}$$

La relación multidimensional de preferencia  $S_{(p, q)}$ , así definida, permite la construcción del correspondiente grafo de preferencias, a partir del cual será posible seleccionar o eliminar proyectos. Las relaciones de preferencia se representan a través de un grafo en el que:

- Si  $a$  se prefiere a  $b$ :  $a > b$ , entonces:  $a \rightarrow b$
- Si  $a$  es indiferente a  $b$ :  $a \sim b$ , entonces:  $a \leftrightarrow b$
- Si  $a$  es incomparable a  $b$ :  $a \neq b$ , entonces:  $a \not\sim b$   
( $a$  queda aislado de  $b$ )

El núcleo, es decir, el conjunto de proyectos que contiene la "mejor alternativa", se determina teniendo en cuenta que ha de cumplir las siguientes propiedades:

- Estabilidad interna: Esto significa que debe carecer de flechas entre sus elementos.

- Estabilidad externa: Se refiere a que cualquier elemento externo a de admitir al menos una flecha desde algún elemento del núcleo.

Al obtener el grafo de preferencia pueden plantearse diversas situaciones, desde la ausencia de núcleo, hasta la existencia de varios núcleos; en este caso, el procedimiento para encontrar “el mejor” o “mejores” proyectos consiste en modificar en forma progresiva los umbrales  $p$  y  $q$ , exigiendo menos concordancia (disminución de  $p$ ) y admitiendo una mayor discordancia (aumento de  $q$ ).

### 2.3.1 EJEMPLO ILUSTRATIVO.

Sea el conjunto de proyectos  $A$   $\{a, b, c, d\}$ , los cuales se evaluarán con el conjunto de criterios  $K = \{k_1, k_2, k_3, k_4\}$ , el cual tiene un vector de pesos asignados  $p$   $\{5, 5, 1, 3\}$ . La matriz de consecuencias se integra por las evaluaciones del proyecto  $m$  en el criterio  $n$ , las cuales pueden tomar valores entre 0 y 20, con base en la siguiente escala:

Excelente	20
Bueno	15
Neutro	10
Malo	5
Pésimo	0

Se muestra la matriz de consecuencias con las evaluaciones realizadas por un analista, encargado de la evaluación de los proyectos, y el decisor.

PROYECTO	CRITERIOS			
	k1	k2	k3	k4
a	20	15	15	5
b	10	6	9	17
c	15	7	8	16
d	17	5	17	20

#### · Cálculo de la matriz de concordancia

En el caso de la pareja de proyectos  $a, b$  se observa en la matriz de consecuencias que  $a$  domina a  $b$  para los criterios  $k_1, k_2$  y  $k_3$  con pesos respectivos de 5, 5 y 1; así mismo la

suma de todos los pesos da el valor  $5 + 5 + 1 + 3 = 14$ , el cual se mantendrá como denominador para todos los índices. El índice de concordancia de que  $a$  sobreclasifica a  $b$  se calcula como:

$$c(a, b) = \frac{5 + 5 + 1}{15 + 5 + 1 + 3} = \frac{11}{14} = 0.79,$$

de manera similar, el índice de concordancia de que  $b$  domina a  $a$  se obtiene como:

$$c(b, a) = \frac{3}{15 + 5 + 1 + 3} = \frac{3}{14} = 0.21$$

al comparar todas las parejas de proyectos se obtiene la siguiente matriz de concordancia:

PROYECTO DOMINANTE	PROYECTO DOMINADO			
	a	b	c	d
a	—	0.79	0.79	0.71
b	0.21	—	0.07	0.36
c	0.21	0.93	—	0.36
d	0.29	0.64	0.64	—

· Cálculo de la matriz de discordancia

En el caso de la pareja  $a, b$  se comparan las evaluaciones de la matriz de consecuencias en la que  $a$  domina a  $b$ , es decir  $d(a, b): a > b$ , lo cual sucede para los criterios  $k_1, k_2$  y  $k_3$ : de entre estos criterios se obtiene la mayor diferencia entre los valores de las calificaciones de  $a$  y  $b$

$$k_1: a_{11} - a_{21} = 20 - 10 = 10$$

$$k2: a_{12} - a_{22} = 15 - 6 = 9$$

$$k3: a_{13} - a_{23} = 15 - 9 = 6$$

Para obtener el índice de discordancia  $d(a, b)$ , la mayor diferencia entre las evaluaciones de  $a$  y  $b$ , que en este caso corresponde al criterio  $k1$ , se divide entre la mayor diferencia en la escala de calificaciones, que en este caso es 20 ya que la escala de calificación para todos los criterios que va de 0 (pésimo) a 20 (excelente).

$$d(a, b) = \frac{20 - 10}{20 - 0} = \frac{10}{20} = 0.50$$

de igual manera se obtiene el índice de discordancia en el que  $b$  sobreclasifica a  $a$ :

$$k4: 17 - 5 = 12$$

$$d(b, a) = \frac{17 - 5}{20 - 0} = \frac{12}{20} = 0.60$$

al comparar los pares de proyectos se construye la siguiente matriz de discordancia:

PROYECTO DOMINADO	PROYECTO DOMINANTE			
	a	b	c	d
a	—	0.50	0.40	0.25
b	0.60	—	0.05	0.05
c	0.55	0.25	—	0.10
d	0.75	0.40	0.45	—

Construcción del grafo

Se fijan los umbrales de concordancia  $p = 0.65$  y de discordancia  $q = 0.40$ , entonces se puede decir que para el par de alternativas  $a$  y  $b$ ,  $a$  sobreclasifica a  $b$  si:

$$c(a, b) = 0.79 \geq p = 0.65 \text{ y al mismo tiempo:}$$

$$d(a, b) = 0.50 \leq q = 0.33,$$

entonces, como la segunda condición no se cumple, se dibujará el siguiente grafo:

$$a \quad \cdot \quad b$$

para conocer si  $a$  se prefiere a  $c$ , se verifica que cumpla las anteriores condiciones, así:

$$c(a, c) = 0.79 \geq p = 0.65$$

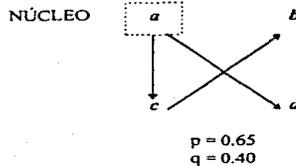
y

$$d(a, c) = 0.40 \leq q = 0.40$$

por lo tanto  $a$  se prefiere a  $c$  y en el grafo  $a$  y  $c$  quedan unidos:

$$a \rightarrow c$$

Al comparar cada par de proyectos se obtiene el siguiente grafo en el que es posible distinguir un núcleo de proyectos.



## 2.4 OTROS MÉTODOS DE SOBRECLASIFICACIÓN.

Conforme el paso del tiempo el método ELECTRE I tuvo constantes mejoras, originando el ELECTRE II y el ELECTRE III, así como el método PREFCALC, los cuales involucran el concepto sobreclasificación.

**METODO ELECTRE II :** Como se vio, el método ELECTRE I fue diseñado para la elección del mejor proyecto o alternativa de un conjunto; el ELECTRE II, por su parte, ayuda a ordenar los proyectos de mejor al peor, lo que se conoce como *ranking* de los proyectos. Los índices de concordancia y discordancia se definen como en el ELECTRE I, se especifican dos umbrales  $c_1$  y  $c_2$  tales que  $c_1 > c_2$ , el primero para una relación de sobreclasificación fuerte  $S^f$  y el segundo para una relación de sobreclasificación débil  $S^d$ , las cuales se construyen como sigue:

$$\begin{array}{l}
 a S^f b \text{ si } \left\{ \begin{array}{l}
 c(a, b) \geq c_1 \\
 \sum_{j: g_j(a) > g_j(b)} p_j > \sum_{j: g_j(a) < g_j(b)} p_j, \\
 (g_j(a), g_j(b)) \in D_j, \forall j;
 \end{array} \right. \\
 \\
 a S^d b \text{ si } \left\{ \begin{array}{l}
 c(a, b) \geq c_2 \\
 \sum_{j: g_j(a) > g_j(b)} p_j > \sum_{j: g_j(a) < g_j(b)} p_j \\
 (g_j(a), g_j(b)) \in D_j, \forall j.
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Para la clasificación de los mejores proyectos se empieza por reducir el circuito de  $S^f$ , se determina el conjunto B de proyectos, los cuales no son fuertemente sobreclasificados por cualquier otro proyecto; dentro de ese conjunto, los circuitos de  $S^d$  son reducidos y se determina el conjunto A de proyectos, los cuales no son sobreclasificaciones débiles por cualquier otro proyecto de B. El conjunto de A es la primera clasificación del *ranking* y el procedimiento empieza otra vez en el conjunto restante, por lo cual se obtiene un preorden completo.

Un segundo preorden completo se obtiene de forma análoga, solo que ahora se empieza con la clasificación de los "peores proyectos". El resultado es de dos preordenes obtenidos, que no serán los iguales necesariamente; si en estos es imposible hacer un ranking, se propone al decidir un preorden intermedio.

**ELECTRE III:** Este método es mucho más complicado que el ELECTRE II, esto es porque involucra un gran número de parámetros, los cuales deben ser fijados por el analista, y que según Vincke no tienen interpretación operacional. Algunos investigadores lo consideran demasiado complicado y difícil de interpretar, pero produce resultados estables ante un cambio de valores en las variables; se menciona en este subcapítulo por su interés histórico.

**PREFCALC:** Este método fue desarrollado por Jacquet-Lagrèze en 1989 y proporciona la elección de la mejor variante técnica de un proyecto de infraestructura hidráulica desde el punto de vista técnico y socio-económico. Para ello se considera al conjunto de proyectos como a continuación se muestra.

Sea  $B$  un conjunto de proyectos evaluados por una familia de criterios  $g_1, g_2, \dots, g_k$ . Se asume que la preferencia es una función monótona de cada criterio y que la preferencia global puede ser representada por una función de utilidad que corresponde a:

$$u(a) = \sum_{j=1}^k u_j [g_j(a)], \quad u_j [g_j(a)] \geq 0$$

$$u_j(g_j^*) = 0, \quad \sum_{j=1}^k u_j(g_j^*) = 1$$

Donde  $a$  es una variante dentro del conjunto  $B$ ,  $g_j(a)$  es el valor del criterio  $j$  para el proyecto  $a$ ,  $u_j [g_j(a)]$  es la utilidad marginal de la variante  $a$ , y  $g_j^-$ ,  $g_j^+$  son valores extremos del criterio  $j$ , el cual corresponde al menor y mayor valor de las preferencias en  $g_j^-$ , respectivamente. En éste modelo de agregación, la importancia de cada criterio está directamente relacionada con la definición de sus valores extremos.

## 2.5 ÍNDICES DE CREDIBILIDAD DE LAS PREFERENCIAS.

Para seleccionar una alternativa de varias en un problema multicriterio, algunas veces la diferencia de utilidad  $u(x) - u(y)$  se interpreta como un índice de intensidad de la preferencia

de  $x$  sobre  $y$ , esto quiere decir que si la diferencia  $u(x) - u(y)$  da como resultado un valor positivo ( $u(x) > u(y)$ ) entonces,  $x$  domina a  $y$  por lo tanto  $x$  es mejor que  $y$ . Lo anterior no es del todo cierto ya que para un modelo de la siguiente forma:

$$u(x) = \sum w_i x_i \quad x \in \mathbb{R}^n$$

donde:

$w_i = (w_1, \dots, w_n) \in \mathbb{R}^n$  y es constante con componentes no nulos

$u(x)$  = utilidad de la alternativa  $x$

para una diferencia dada positiva en utilidad  $u(x) - u(y) > 0$ , entre pares de alternativas  $x, y$ , las diferencias  $w_i(x_i - y_i)$  en la evaluación de las opciones para los distintos criterios pueden distribuirse de muy diferentes maneras. Una distribución extrema es  $w_i(x_i - y_i) \geq 0$  para todo  $i$ , y  $w_j(x_j - y_j) > 0$  para algún  $j$ , que significa que  $x$  domina a  $y$  (es decir,  $x$  es por lo menos tan bueno como  $y$  en todos los criterios y estrictamente mejor para al menos un criterio) y corresponde a un máximo de confianza en que  $x$  es mejor que  $y$  pues este resultado depende de los signos algebraicos de los pesos del modelo y no de sus valores absolutos.

Otro caso es cuando se tiene una preferencia menos segura si el resultado es sensible a pequeños cambios en los pesos del modelo. Para calificar las preferencias se puede realizar a través de funciones binarias según Guillén (marzo de 1993), definidas sobre el espacio de pares de opciones, denominando *índice de credibilidad de preferencia* a todo aquel que toma sus valores en el intervalo  $[0,1]$  e índice de *intensidad de preferencia* al que toma sus valores en el intervalo  $[-1,1]$ . Hay que señalar que a un índice de intensidad,  $i(\cdot)$  le corresponde uno de credibilidad,  $c(\cdot)$ , y recíprocamente teniendo las siguientes relaciones por transformaciones lineales:

$$c(x,y) = 0.5 + 0.5 i(x,y) \quad y \quad i(x,y) = 2 c(x,y) - 1$$

así como las definiciones:

$$i(x,y) = \frac{\sum w_i(x_i - y_i)}{\sum |w_i(x_i - y_i)|} \quad x \neq y \in R^n$$

$$c(x,y) = \frac{\sum_{i \in I^*(x,y)} w_i(x_i - y_i)}{\sum |w_i(x_i - y_i)|} \quad x \neq y \in R^n$$

donde por definición  $i(x,x) = 0$  para todo  $x \in R^n$ , dado que en  $c(x,y)$  los términos del numerador son no negativos,  $c(x,y)$ , es la proporción donde el conjunto de criterios  $I^*(x,y)$ , para los que  $x$  es mejor que  $y$ , contribuye a la diferencia de evaluación de las acciones  $x,y$ , la proporción  $c(x,y)$  favorece a  $x$  y la proporción  $c(y,x)$  favorece a  $y$ .

## 2.6 EL CONCEPTO DEL DSS.

Se acepta que el procesamiento electrónicos de datos y los decisores humanos son complementarios uno del otro, debido a que los procesos de datos electrónicos, EDP (por sus siglas en inglés "Electronic Data Processing" ), son muy superiores o más potentes en términos de precisión y tiempo de procesamiento de datos, en particular en procesos simultáneos y paralelos, mientras que los decisores humanos son más capaces para la comunicación de datos incompletos, hacer juicios, etc. Los decisores humanos pueden aprovechar la ayuda de los EDP por su capacidad para procesar información y por su facilidad para accederla y almacenarla. Al usar el equipo de EDP, los problemas de decisión deben ser modelados de forma adecuada para que los modelos realmente representen los problemas del decisor y puedan ser manejados por la máquina. Esto implica que el decisor debe saber cómo resolver el problema y qué algoritmo de solución debe tener el modelado usado para ser programado en la máquina. En este caso, el procedimiento de solución, que será llamado proceso de decisión, está bien definido en la máquina y los datos introducidos al programa determinarán completamente el resultado de

el proceso. A tal programa EDP se le llamará Sistema de Ayuda a la Decisión, también conocido como DSS ( por sus siglas en inglés "Decision Supporting Systems" ).

Los DSS son sistemas de información interactivos, basados en computadora, que disponen de herramientas para formular y analizar problemas de toma de decisiones. Estos sistemas pueden estar dirigidos a decisiones individuales o en grupo, y en este último caso contener programas para ayudar a cada miembro a decidir su posición respecto del problema en consideración.

El DSS ayuda al decisor en problemas multicriterio con restricciones tanto estrictas como flexibles, de acuerdo. Esta clase de sistemas consta de tres componentes según Bodily (1985):

1.- Comunicación hombre-máquina.

Esta parte tiene las siguientes tareas:

- Guiar al decisor a través del sistema directamente por un menú.
- Presentar el procesamiento de datos al decisor.
- Facilitar el cambio de los datos y las variables por el decisor.

2.- Manejo de los datos.

Esta sección contiene las siguientes actividades:

- Procesamiento de los datos.
- Poner al día los datos.

3.- Comunicación sistema-máquina.

Esta parte es la interfase a otro sistema de software usado por el DSS. En esta sección se hace las siguientes actividades:

- Generar los archivos de interface.
- Supervisar y controlar la ejecución del sistema de software en uso.

## **CAPITULO 3**

### **EL MÉTODO DE JERARQUIZACIÓN ANALÍTICA**

---

El Proceso de Jerarquización Analítica, llamado por sus siglas en inglés AHP, de Analytic Hierarchy Process, es un método de ayuda a la toma de decisiones desarrollado por Thomas Lorie Saaty en 1971. Es una técnica para evaluar alternativas multicriterios con objetivos en conflicto. El proceso, involucra la descomposición jerárquica del problema total de evaluación en etapas que puedan ser más fácilmente comprendidas y evaluadas. La aplicación del método se efectúa en tres etapas:

- Diseño de una jerarquía
- Comparaciones por pares
- Síntesis de prioridades

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO**

El AHP es usado para derivar escalas proporcionales, a través de comparaciones por pares, las cuales pueden ser tomadas de mediciones reales o de escalas subjetivas que reflejan el peso relativo de las preferencias del decisor. Permite decisiones efectivas en problemas complejos, simplificando y aligerando el proceso natural de toma de decisiones, a través de tres principios:

- Principio de descomposición
- Principio de opiniones comparadas
- Principio de síntesis

### 3.1.1 DISEÑO DE LA JERARQUÍA

A través del principio de descomposición, se llega a la estructuración de una jerarquía que contiene los elementos básicos del problema. En el AHP los elementos básicos del problema se estructuran en niveles que representan las partes del sistema en el que se enmarca el problema.

Al construir la jerarquía se debe considerar el ambiente que rodea al problema, identificar los criterios que describen la solución, los actores asociados con el problema, así como las posibles alternativas de solución. La estructuración de la jerarquía depende de la visión que se tenga del sistema, de la cantidad de información relativa al problema con la que se cuente y de las respuestas que se desean obtener con la solución del problema.

Para el diseño de una Jerarquía, el método requiere que el objetivo general del problema quede en el primer nivel, en los subsecuentes niveles los elementos relevantes del problema y en el último nivel las alternativas de solución como se muestra en la fig. 3.1.

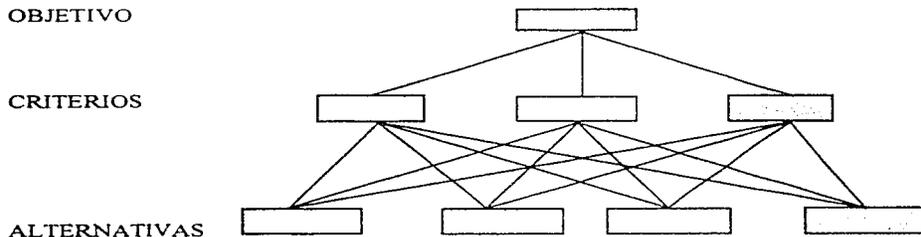


fig. 3.1

Los elementos en cada nivel pueden ser considerados como restricciones, refinamientos o descomposiciones de los elementos del nivel inmediato superior. La jerarquía se dice

completa si todos los elementos en un nivel tienen a todos los elementos en el nivel que le sucede como descendientes.

### 3.1.2 COMPARACION POR PARES.

En esta etapa se determinan las matrices de comparaciones por pares a través del principio de opiniones comparadas. Los elementos de un nivel son comparados entre sí en términos relativos, acerca de su importancia o contribución a un criterio dado en el nivel inmediato superior. Este proceso de comparaciones conduce a asignar pesos de los elementos del nivel para lo cual se sigue la escala que propone Saaty y que se indica en la tabla 3. 1.

INTENSIDAD DE IMPORTANCIA	DEFINICIÓN	EXPLICACIÓN
1	Igual importancia	Las dos actividades contribuyen de igual manera al objetivo.
3	Importancia moderada de una sobre la otra	Experiencia y opinión moderadamente a favor de una actividad sobre la otra.
5	Importancia esencial o fuerte	Experiencia y opinión fuertemente a favor de una actividad sobre la otra.
7	Importancia muy fuerte	Una actividad es fuertemente favorecida y su dominio demostrado en la práctica.
9	Extrema importancia	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra es del mayor orden posible de confirmación.
2,4,6,8	Juicio intermedio entre las opiniones adyacentes. Se puede utilizar decimales si la comparación de los elementos está muy cerrada respecto a lo indicado en la escala.	

Tabla No.3.1

Las opiniones emitidas por cualquier persona se toman cualitativamente y se traducen a valores numéricos absolutos de acuerdo con la escala. Si se asigna el valor  $a_{ij}$  al comparar la actividad  $i$  con la  $j$ , entonces se asigna el valor  $a_{ji} = 1/a_{ij}$  al comparar la  $j$  con la  $i$ . Puesto que se requiere que el decisor maneje todos los valores de la escala al mismo tiempo, y como según Saaty. Miller en 1956 un individuo no puede comparar más de  $7 \pm 2$  objetos

sin llegar a confundirse, se llega a que la escala no debe tener más de 9 valores. Formalmente, para cada nivel esta comparación se desarrolla de la siguiente manera: Dados los  $n$  elementos de un nivel de una jerarquía, por ejemplo el  $k$ -ésimo, y un elemento  $e$  del nivel más alto, los elementos del nivel  $k$  se comparan por pares en relación al grado de influencia de uno sobre el otro respecto del elemento  $e$ . El decisor evalúa esa influencia de acuerdo con la escala numérica establecida ( tabla 3.1 ) y se coloca ese número en la entrada correspondiente de una matriz  $A = ( a_{ij} )_{i,j=1,\dots,n}$  de orden  $n$ , cuyas filas y columnas corresponden a los elementos del nivel. Esta matriz resulta ser recíproca puesto que si  $E$  es  $x$  veces más preferido que  $F$ , entonces  $F$  es  $1/x$  más preferido que  $E$ . Si  $\lambda_{\max}$  denota el máximo valor característico de  $A$ , el vector característico correspondiente, normalizado, es el vector de prioridades de los elementos del nivel (vector de pesos). Los elementos del vector característico se denominan *prioridades locales* y corresponden al grado de influencia, importancia o contribución relativa, según el caso, de los elementos del nivel  $k$  respecto a  $e$ .

### 3.1.2.1 CONSISTENCIA.

Se interpreta  $\lambda_{\max}$  como una medida de la consistencia de las opiniones emitidas sobre  $S$ (pesos). La consistencia involucra dos aspectos:

- El primero se refiere a la agrupación de ideas u objetos, de acuerdo con su homogeneidad y relevancia.
- El segundo es la forma lógica de justificar la intensidad de preferencias entre objetos o ideas basadas en un criterio específico.

Se dice que  $A$  es una matriz consistente si para todo  $i, j, k = 1, \dots, n$ , si satisface que:

$$a_{ij} a_{jk} = a_{ik}$$

en cuyo caso es suficiente conocer una de sus filas para determinar las entradas restantes. Es decir  $A$  es consistente si y solo si  $\lambda_{\max} \geq n$  y  $\lambda_{\max} = n$ , la desviación de la consistencia se puede representar por  $( \lambda_{\max} - n ) / ( n-1 )$ , llamado *índice de consistencia* ( IC ). Este

número representa el promedio del resto de los valores característicos de la matriz. Dado que la suma de los valores característicos es  $n$ , este promedio debe ser igual a cero si la matriz es consistente. Por lo tanto, mientras más cerca esté  $\lambda_{\max}$  de  $n$ , mayor será la consistencia del decisor. Similarmente, Saaty define el *índice aleatorio promedio* ( IAP ) de matrices recíprocas generadas con la escala de 1 a 9 como se muestra en la tabla 3.2.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
IAP	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

Tabla 3.2

Estos índices los generó el laboratorio nacional de Oak Ridge en Estados Unidos para matrices de orden 1 al 9 usando una muestra de tamaño 100. La razón del índice de consistencia ( IC ) y el índice aleatorio promedio ( IAP ) correspondiente, según el orden de la matriz, es llamada *la razón de consistencia* ( RC ).  $RC = IC / IAP$ . Una razón de consistencia de 0.10 ó menos es considerada aceptable, en caso contrario, se hace necesaria una revisión del problema y de las opiniones.

### 3.1.3 SÍNTESIS DE PRIORIDADES .

En ésta última etapa se utiliza el principio de síntesis. Este principio es usado para generar la *prioridad global* de los elementos del nivel más bajo de la jerarquía, las alternativas, respecto al nivel más alto que es el objetivo general del problema. Para esto, se sintetizan las prioridades obtenidas en las comparaciones por pares, esto es, se procesan de manera que se obtenga un único número que indique la prioridad de cada una de las acciones.

Las prioridades se sintetizan a partir del segundo nivel hacia abajo, multiplicando la matriz cuyas columnas respectivas son las prioridades locales de los elementos del nivel respecto a los criterios del nivel superior, por el vector de prioridades de estos criterios (la prioridad del objetivo general es igual a uno). Esto produce el vector de prioridades de los elementos en el nivel, el cual será usado para ponderar las prioridades locales de los elementos en el nivel siguiente, y así hasta determinar la prioridad global de las alternativas.

Así, si la jerarquía que representa el problema es de  $h$  niveles, si  $B_2$  es el vector de prioridades relativas de los elementos del segundo nivel respecto del objetivo y si, en general,  $B_k$  es la matriz de prioridades locales de los elementos del nivel  $K$ , entonces el vector  $W$  de prioridades de las alternativas respecto al objetivo general es:

$$W = B_h B_{h-1} \dots B_2$$

### 3.2 VENTAJAS DEL MÉTODO

Este método como su nombre lo dice es jerárquico en su naturaleza, y va de lo particular a lo general, tener muchas ventajas como las que plantea Foster (1991), entre las que se pueden mencionar:

1. - Es conceptualmente simple.
2. - El proceso simula la actividad de la mente cuando se enfrenta a la necesidad de analizar una situación: la mente estructura realidades complejas en sus partes constitutivas, estas a su vez en otras y así, jerárquicamente.
3. - La necesidad de descomponer el problema en los elementos más relevantes que intervienen, hace que las personas que intervienen al decidir afinen su conceptualización acerca de él.
4. - Organiza el problema de manera que no permite pensar en no más de dos elementos.
5. - Maneja la *consistencia* al utilizar la habilidad humana para establecer relaciones entre objetos o ideas de manera coherente. Ofrece una manera para medir esa consistencia al momento de emitir opiniones.
6. - Incorpora los aspectos cualitativos y cuantitativos del pensamiento humano:
  7. · El cualitativo al definir el problema
  8. · El cuantitativo al expresar las opiniones y las preferencias en forma concisa.
9. - Integra los sentimientos y los valores personales a la opinión, en una forma lógica.
10. - Utiliza una escala que permite manejar pequeñas diferencias entre las opiniones. identificar sus efectos en los resultados y medir valores intangibles, tales como la satisfacción, la comodidad etc.

- 11.- Es suficientemente flexible para permitir revisiones, ya sea en las opiniones o en la estructuración jerárquica.
- 12.- Permite tomar en consideración las prioridades relativas que existen entre los componentes del sistema.
- 13.- Conduce a un estimado global de qué tan efectivas son cada una de las alternativas.

### 3.3 EJEMPLO ILUSTRATIVO.

Se considera el problema de seleccionar entre tres ofertas de empleo de un Ing. Civil con experiencia laboral en el área de construcción y con intereses académicos. Las diferencias de salario no se consideran relevantes, resultando como criterios de decisión los siguientes:

- Perspectivas de crecimiento
- Prestaciones ( IMSS, Seguro de Vida, Bonos extras etc.)
- Ubicación del trabajo
- Ambiente de cooperación en el trabajo ( Poder trabajar en equipo sin dificultad )

Siguiendo el AHP , el decisor formula la estructura jerárquica de los diversos componentes, como se muestra en la fig. 3.2.

En ésta puede observarse que el primer nivel de la jerarquía lo ocupa el objetivo del problema, esto es la selección del mejor trabajo. También puede observarse que el segundo nivel de la jerarquía es ocupada por los criterios y el último por las alternativas.

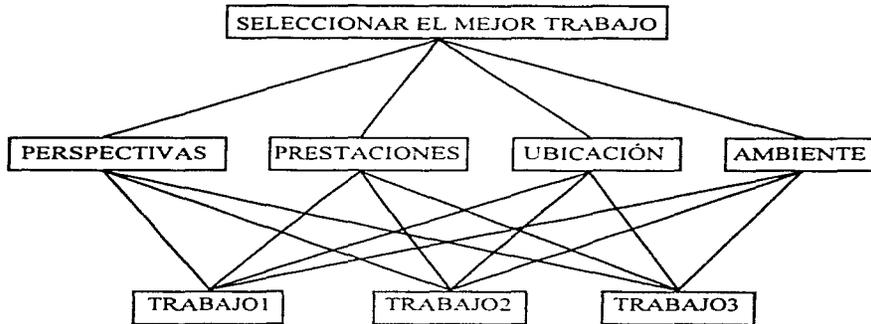


fig.3.2

Donde cada alternativa de trabajo se describe como sigue:

**TRABAJO1.-** Jefe del departamento de construcción en una empresa ubicada en el centro histórico de la Ciudad de México.

**TRABAJO2.-** Director Responsable de Obra sin lugar fijo para realizar su trabajo.

**TRABAJO3.-** Profesor de tiempo completo a nivel Preparatoria y Licenciatura en una Universidad Privada al sur de la Ciudad de México.

El siguiente paso es jerarquizar tanto a los criterios como a las alternativas. En este paso se procede a efectuar preguntas al decisor como:

- ¿ Qué tan importantes son las “prestaciones” del trabajo comparados con la “ubicación” del mismo ?
- ¿Qué tan importante son los beneficios frente a las perspectivas o el ambiente ?

Todas las preguntas están dirigidas hacia a obtener la matriz de comparaciones por pares de los criterios, respecto al objetivo principal de la decisión; para ello se toma en cuenta la

escala propuesta por Saaty y que se resume en la tabla 3.1. Supóngase que resulta la matriz de comparaciones:

OBJETIVO	PERSPECTIVAS	PRESTACIONES	UBICACIÓN	AMBIENTE
PERSPECTIVAS	1	1/7	1/5	1/5
PRESTACIONES	7	1	2	3
UBICACIÓN	5	1/2	1	1
AMBIENTE	5	1/3	1	1

Para el cálculo del vector de pesos se recurre a la normalización de las columnas de la anterior matriz y se saca el promedio de las cuatro columnas, de tal manera que la matriz resultante es:

0.0556	0.0723	0.0476	0.0385
0.3889	0.5060	0.4762	0.5769
0.2778	0.2530	0.2381	0.1923
0.2778	0.1687	0.2381	0.1923

y el promedio de los cuatro renglones da:

$$W = (0.0535, 0.4870, 0.2403, 0.2192)$$

Así, multiplicando W por la matriz de comparaciones (WA) da como resultado un vector, que al dividirlo por W, resulta:

$$\lambda = (4.0187, 4.1062, 4.0387, 4.0570) \Rightarrow \lambda_{\max} = 4.1062$$

y la razón de consistencia asociada:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4.1062 - 4}{4 - 1} = 0.0354$$

$$\Rightarrow RC = \frac{IC}{IAP} = \frac{0.0354}{0.90} = 0.0393 < 0.10$$

Calculando ahora las matrices de comparaciones por pares de las alternativas respecto a cada uno de los criterios. Así, la matriz de comparación de los tres trabajos respecto al primer criterio, que corresponde a perspectivas, es:

PERSPECTIVAS	TRABAJO1	TRABAJO2	TRABAJO3
TRABAJO1	1	1/7	1/6
TRABAJO2	7	1	2
TRABAJO3	6	1/2	1

cuyo vector de prioridades locales es:

$$( \text{TRABAJO1, TRABAJO2, TRABAJO3} ) = ( 0.0703, 0.5801, 0.3496 )$$

y

$$\lambda = ( 3.0085, 3.0536, 3.0363 )$$

$$\Rightarrow \lambda_{\max} = 3.0536 \quad y \quad RC = 0.0462 < 0.10$$

En el caso de los criterios:

II.- Prestaciones

III.- Ubicación

IV.- Ambiente

se obtuvieron, respectivamente los siguientes vectores de prioridades locales:

$$\text{II.- } ( \text{TRABAJO1, TRABAJO2, TRABAJO3} ) = ( 0.0757, 0.7257, 0.2007 )$$

$$\lambda_{\max} = 3.0203 \quad y \quad RC = 0.0175$$

$$\text{III.- } ( \text{TRABAJO1, TRABAJO2, TRABAJO3} ) = ( 0.1676, 0.7380, 0.0944 )$$

$$\lambda_{\max} = 3.0309 \quad y \quad RC = 0.0262$$

IV.- ( TRABAJO1, TRABAJO2, TRABAJO3 ) = ( 0.1343, 0.7456, 0.1201 )

$$\lambda_{\max} = 3.0282 \text{ y } RC = 0.0243$$

Para obtener la prioridad global de los elementos del tercer nivel ( trabajos ), se procede a multiplicar la matriz cuyas columnas son las prioridades de los trabajos respecto a cada criterio, por el vector de prioridades de los criterios, como se muestra a continuación:

	CRITERIOS			
	I	II	III	IV
TRABAJO1	0.0703	0.0737	0.1676	0.1343
TRABAJO2	0.5801	0.7257	0.7380	0.7456
TRABAJO3	0.3496	0.2007	0.0944	0.1201

peso de los criterios:

$$W = ( 0.0535, 0.4870, 0.2403, 0.2192 )$$

en consecuencia:

	PESO GLOBAL
TRABAJO1	0.1094
TRABAJO2	0.7252
TRABAJO3	0.1655

De aquí se concluye que el TRABAJO2 es el más preferido, con una ponderación de 0.7252, siguiéndole el TRABAJO3, con una ponderación de 0.1655, y el TRABAJO1, con una ponderación de 0.1094.

## **CAPITULO 4**

# **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA**

---

Muy diversos métodos multicriterio se han propuesto para la elección y jerarquización de proyectos hidráulicos, lo cual se observa de los artículos publicados en diversas revistas especializadas, tanto en toma de decisiones como en el aprovechamiento de recursos hidráulicos. Entre estas últimas sobresale la del Water Resources Bulletin ( WRB ), y en particular un número de 1992 dedicado a este problema. En el Journal of Multicriteria Decision Analysis se encontraron varios artículos sobre el tema. En un documento del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas ( CEDEX ) de España, editado en el marco de un convenio de Cooperación Técnica Internacional México-España, se analizan varias técnicas multicriterio para priorización de proyectos de rehabilitación de sistemas de riego.

### **4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE TOMA DE DECISIONES.**

Para analizar los diversos métodos para la toma de decisiones, así como de sus aplicaciones, primero se hace una clasificación de sus características dentro de la investigación de operaciones, como se muestra en la tabla 4.1

<i>Características</i>	<i>Explicaciones</i>
Número de Decisores	Puede haber uno o más decisores.
Número de Objetivos	Cada decisor puede tener uno o más objetivos
Tipos de Preferencia	La preferencia para alternativas de solución o posibles escenarios pueden ser cuantitativas o cualitativas.
Probabilístico	El modelo puede manejar información probabilística y por tanto los valores futuros del sistema pueden ser previstos usando afirmaciones probabilísticas.
Determinístico	El modelo no contiene probabilidades o componentes estocásticos.
Borroso	El modelo puede tomar en cuenta información borrosa descrita mediante conjuntos borrosos.
Estado de la Información	Un decisor podría tener información acerca del problema bajo estudio o información parcial. En la teoría de Juegos hay diferentes estados de información.
Estático	Todos los parámetros del modelo permanecen fijos en el tiempo y en consecuencia el tiempo no es una variable del modelo.
Dinámico	El tiempo es una variable en el modelo que interviene para describir cómo cambia el sistema con el tiempo.
Normativo	Un enfoque normativo dicta cómo deben ser las preferencias del decisor para que éstas sean racionales.
Descriptivo	Un modelo descriptivo indica cómo son las preferencias del decisor, pudiendo ser estas no racionales.

Tabla 4.1

Dichos métodos también pueden ser clasificados de acuerdo con el número de decisores y objetivos, como se muestra en la tabla 4.2. La mayoría de los métodos de investigación de operaciones reflejan el punto de vista de un solo decisor, quien podría representar a un

individuo o a un grupo de personas que comparten los mismos objetivos, como en el caso de una empresa o una institución.

		OBJETIVOS	
		Uno	Múltiples
DECISORES	Uno	Programación Matemática	Toma de Decisiones con Múltiples Criterios
	Múltiples	Teoría de Equipo	Teoría de Juegos

Tabla 4.2

Una clase de técnicas de investigación de operaciones, seguidas por escuelas de Estados Unidos y de Europa, son los métodos de toma de decisiones multicriterio, llamadas técnicas MCDM por sus siglas en inglés, Multicriteria Decision Making, las cuales caen dentro de la celda de arriba a la derecha en la tabla 4.2. De hecho, varios tipos de métodos de MCDM constituyen las familias de técnicas de toma de decisiones más ampliamente usadas en problemas de recursos hidráulicos. Los métodos multicriterio son diseñados para encontrar las alternativas de solución "mejores", a problemas en los cuales las alternativas son evaluadas según varios criterios.

#### 4.2 LA TOMA DE DECISIONES EN INGENIERIA.

La fig. 4.1 resume un enfoque de diseño de sistemas de toma de decisiones en ingeniería. La parte de la izquierda de la figura muestra las principales factores que deben ser considerados para seleccionar un diseño apropiado según Keith (1992). Cualquier alternativa de solución debe ser evaluada no solo por su diseño técnico, sino también respecto sus efectos en el medio ambiente, la economía, las finanzas y sus efectos políticos y sociales. Para apoyar estas evaluaciones, varias técnicas de investigación de operaciones pueden emplearse en los procesos de toma de decisiones.

Así, la celda superior de la figura 4.1 indica que el resultado de todos los análisis debe proveer información para apoyar al decisor a tomar una decisión global. Como se muestra en las flechas en la parte izquierda de la figura, estudios adicionales pueden requerirse para un mejor entendimiento del problema.

Este procedimiento de decisión no se restringe al diseño, sino que podría usarse, por ejemplo, para mejorar reglas de operación de un sistema existente.

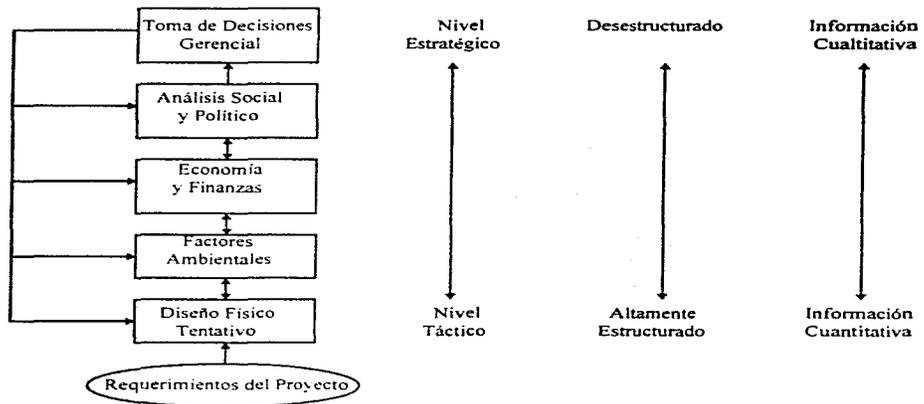


fig. 4.1

La sección derecha muestra las características que son incluidas en el marco jerárquico del proceso de decisión. Notar que al ir del nivel táctico de decisión al nivel estratégico, el problema cambia de altamente estructurado y cuantitativo a inestructurado y cualitativo. Se debe cuidar en seleccionar las técnicas apropiadas de investigación de operaciones y de otros tipos de herramientas para manejar todos los aspectos más relevantes del sistema estudiado.

### 4.3 CONTRIBUCIONES DE LOS MÉTODOS DE TOMA DE DECISIONES A PROYECTOS HIDRÁULICOS.

El Water Resources Bulletin publicó un resumen de las principales contribuciones de los métodos de toma de decisiones a problemas de infraestructura hidráulica. Éstas se presentan en la tabla No. 4.3. Esta tabla incluye los principales tipos de métodos aplicados a recursos hidráulicos. Se distinguen tres categorías de grupos de modelos. Los primeros nueve conjuntos son métodos MCDM, referidos en la parte superior derecha de la tabla No. 4.2; los siguientes tres se refieren a la teoría de juegos, que se encuentran en la parte inferior derecha de la misma tabla; los últimos cinco modelos corresponden a temas poco explorados en la toma de decisiones de recursos hidráulicos.

<i>Modelos</i>	<i>Contribuciones</i>
ELECTRE III PREFCALC	El ELECTRE III se usó para decidir sobre la prioridad de los usuarios para suministrar un nuevo sistema de agua en un área rural en Polonia. Con PREFCALC se seleccionó el mejor diseño técnico de un sistema de suministro de agua. (Roy 1992).
ELECTRE II MCQA II MCDM	Los tres métodos fueron utilizados para encontrar estrategias de compromiso en un problema de contaminación de agua superficial con objetivos múltiples en conflicto, para manejo y disposición de aguas negras. (Shafike 1992).
Programación por compromiso. Análisis de Reducción de Varianza y métodos multivariable.	Se aplicaron para el monitoreo y diseño de un sistema contra la contaminación de agua tóxica en cultivos en la isla de Rhode. (Woldt 1992).
Programación de arreglos Borrosos.	El método fue empleado para determinar si reducidas áreas de turismo en Hungría deberían haber sido expandidas, restringidas o desaparecidas. (Bárdossy 1992).
Resolución de Problemas Multiobjetivos de Secuencia Evolucionaria. Métodos de búsqueda.	Las dos técnicas fueron aplicadas a problemas de distribución de agua en Tailandia. En el proceso de encontrar la mejor alternativa de solución en una aplicación dada, las preferencias de un grupo de decisores fueron evaluadas interactivamente. (Bogardi 1992).
MATS-PC, EXPERT CHOICE, ARIADNE y ELECTRE	Los cuatro DSS determinaron la preferencia de planes alternativos para el suministro de agua en el área metropolitana de Washington D.C. (Goicoechea 1992).

ELECTRE I ELECTRE II	Fueron empleados para encontrar reglas de operación óptimas que reconocieran varias combinaciones de objetivos en sistemas de ríos en E.U. y Alemania. (Harboe 1992).
Algoritmos de Programación Multiobjetivos que incluyen asignación de pesos, e-restricciones, programación por metas, entre otros.	Varias técnicas multiobjetivo se usaron para generar soluciones no dominadas, a partir de lo cual se buscaron soluciones preferidas para encontrar una alternativa de preferencia que fuera aplicable a un sistema de operación de alguna cuenca en Korea.(Ko 1992).
Programación compuesta.	Fue usada para la elección del más apropiado de los métodos de toma de decisiones para planear recursos hidráulicos en E.U.(Teclé 1992).
Juegos Extensivos.	Fueron desarrollados para describir y analizar la inspección y el proceso de ejecución y regulación de leyes ambientales sobre recursos hidráulicos en E.U.(Kilgour 1992).
Técnicas de la Teoría de Juegos Cooperativos.	Fueron empleadas para la distribución equitativa de costos entre las coaliciones de fuentes de emisión de lluvia ácida en E.U.(Okada 1992).
ICANS (Interactive computer assisted negotiation process support system called).	Asistió a varias partes en la búsqueda de mutuos acuerdos para el uso de los sistemas hidráulicos.(Thiessen 1992).
Máxima entropía.	Esta técnica fue aplicada al problema de monitorear la calidad del agua por la alta contaminación en los ríos en Turquía.(Harmancioglu 1992)
Sistema de advertencia de Inundación.	Fue desarrollado como una nueva medida para advertencia de inundaciones.(Krzysztofowicz 1992).
PMRM. (Partitioned multiobjective risk method)	Es una herramienta para evaluar y administrar riesgos de eventos extremos con una estructura multiobjetivo en áreas de aplicación tales como seguridad de presas, control de inundaciones y clasificación de sitios por su peligrosidad. (Haimes 1992).
SEMOPS (Stochastic dynamic programming along with a weighting method for taking into account multiple objectives, simulation, compromise programming, and the sequential multiobjective solving techniques).	Un método de toma de decisiones multiobjetivo de tres etapas para determinar reglas de operación de almacenamiento óptimo de compromiso.(Laabs 1992).
Programación Dinámica multiobjetivo.	Se usa para la operación óptima de almacenamientos a través de objetivos múltiples, expresados como la cantidad de agua y controles de calidad.(Ikebuchi 1992)

Tabla 4.3

Jifa (1976) es otro autor que ha mostrado aplicaciones de los métodos MCDM a proyectos hidráulicos, a través del Journal of Multicriteria Decision Analysis, como es el caso de la ciudad de Qinhuangdao en China en la cual se perseguían los siguientes objetivos:

- Suministrar y distribuir agua a tres ciudades y a un distrito de riego, con usos municipales e industriales.
- Controlar inundaciones.

Para lo anterior se usó una serie de modelos de programación por metas. En estos modelos se especifica una meta a alcanzar y la solución es la alternativa que más se acerca a dicha meta.

Otro ejemplo de aplicación de los métodos MCDM es la que se hace en España a través del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). En éste centro se utiliza el modelo POP (Priorización y Ordenación de Proyectos), el cual emplea relaciones de preferencia para el establecimiento de prioridades, selección y clasificación de proyectos mediante la consideración de criterios de evaluación múltiples, para lo que emplea los métodos ELECTRE I y ELECTRE II, descritos en el capítulo 2.

Con respecto a la aplicación de los métodos utilizados en otros países para la evaluación y jerarquización de proyectos hidráulicos, se puede decir que todos los métodos mencionados podrían ser de utilidad en la selección de proyectos en México, aplicados correctamente.

Un punto importante para la aplicación de estos métodos, es la ponderación de los criterios por parte del decisor. Lo anterior requiere de una adecuada comunicación entre el analista que ayuda a la decisión y el decisor, que lleve a identificar y modelar las preferencias de este último. Por último no hay que olvidar que algunos de los métodos más importantes no manejan la incertidumbre dentro de su análisis, por lo que habría que manejarse información veraz y oportuna.

## **CAPITULO 5**

# **LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN USADOS EN MÉXICO PARA LA EVALUACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS**

---

La Comisión Nacional del Agua (CNA), unidad administrativa descentralizada de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), tiene las atribuciones que se establecen en la Ley de Aguas Nacionales, su Reglamento, el Reglamento interno de la SEMARNAP y las demás disposiciones aplicables.

Entre sus funciones están: administrar y custodiar las aguas nacionales, así como los bienes que se vinculan a éstas, de conformidad con las disposiciones jurídicas aplicables, además de vigilar el cumplimiento de la Ley de Aguas Nacionales y proveer lo necesario para la preservación de su calidad y cantidad para lograr su uso integral sustentable. También está encargada de estudiar, normar, proyectar, construir, vigilar, administrar, operar, conservar y rehabilitar la infraestructura hidráulica, así como las obras complementarias que correspondan al Gobierno Federal (datos tomados de la página de la CNA en Internet, <http://smn.cna.gob.mx/>).

## 5.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PROGRAMACIÓN DE INVERSIONES EN IRRIGACIÓN Y DRENAJE.

De acuerdo al sistema de programación de inversiones en irrigación y drenaje elaborado por la entonces dirección general de seguimiento y control de obras hidráulicas de la extinta SARH, se da una alta prioridad al aprovechamiento del agua en el riego agrícola, pues ha constituido y previsiblemente seguirá siendo un factor importante para incrementar la producción de alimentos e insumos industriales, así como para elevar el nivel de ingresos de la población, generar empleos y divisas e inducir la creación de polos de desarrollo. Para el aprovechamiento del agua en el campo mexicano, la CNA actualmente aplica el sistema de programación de inversiones en irrigación y drenaje antes mencionado, que permite la elaboración de alternativas "óptimas" de programas de inversión de corto y mediano plazos..

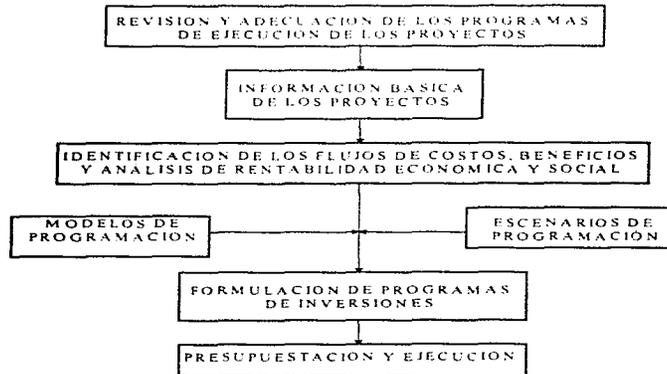


fig. 5.1

La primera etapa de este sistema (fig. 5.1) es la estructuración que ayuda a llevar a cabo una revisión y adecuación de los programas de ejecución de cada uno de los proyectos.

buscando, ante la escasez de recursos, identificar y proponer las variantes idóneas de ejecución de cada proyecto. La siguiente etapa del sistema consiste en acopiar la información básica relevante que permite identificar las características de cada uno de los proyectos de ejecución, así como de aquellos cuya ejecución aún no se inicia

Utilizando esta información, las inversiones por realizar en cada proyecto son sometidas a un análisis de su rentabilidad económica y social. Identificadas las características de cada proyecto, y estimada su rentabilidad, se caracterizan los diversos escenarios financieros y sociopolíticos, bajo los cuales previsiblemente habrán de suceder los programas. Con esta información se aplica un modelo matemático de optimización, que permite formular los programas de inversiones de mayor rendimiento económico y social. Estos programas de inversiones definen los recursos presupuestarios que conviene asignar a cada proyecto durante cada uno de los años del horizonte de análisis. Enseguida se describe con mayor detalle el contenido de los análisis en cada parte del sistema.

#### 5.1.1 INFORMACIÓN SOBRE LOS PROYECTOS.

La revisión y adecuación de los programas de ejecución de cada proyecto la llevan a cabo las instancias locales y regionales encargadas del estudio o la ejecución de cada proyecto, atendiendo a los lineamientos generales y criterios de diseño establecidos a nivel central, que facilitan la identificación de las componentes de mayor y más inmediato impacto. Esta revisión y adecuación comprende, en algunos casos, el planteamiento por etapas de la ejecución de algunos proyectos. Asimismo, incluye considerar las posibilidades de postergar la ejecución de algunos componentes que no sean indispensables de inmediato para la consecución de la mayor parte de los beneficios esperados, tales como el revestimiento de ciertos canales y caminos, determinadas obras de mejoramiento parcelario, algunas obras de drenaje, etc.

Las mismas instancias locales y regionales se encargan de integrar y proporcionar la información básica sobre los proyectos, tomando en cuenta las adecuaciones que haya convenido realizar. Esta información se refiere, en el caso de los proyectos cuya ejecución ya se inició, a las acciones que resta por realizar. Se haya o no iniciado la ejecución de los proyectos, la información que se recaba consiste básicamente en una descripción del proyecto, sus obras principales y su localización, las fuentes de agua por utilizar y su

disponibilidad, el costo desglosado de los trabajos por efectuar; la extensión de las superficies beneficiables, su uso actual y potencial, así como su clasificación agrícola actual y potencial, datos sobre las estructuras de la producción y de la tenencia de la tierra actuales y futuras, y un resumen de otros aspectos relevantes que caracterizan al proyecto.

Asimismo, para cada proyecto se recaba el programa de ejecución de las obras que el responsable local de su construcción o estudio juzga más recomendable, suponiendo que no existirían restricciones presupuestales que lo retardaran, y tomando en cuenta la disponibilidad y capacidad de formulación de los estudios y diseños de las obras, así como, en su caso, la capacidad de las empresas constructoras para ejecutar los trabajos, etc. De estos programas de ejecución de las obras se derivan, sobre todo en el caso de los grandes proyectos, otros programas alternativos, que consideran ritmos de ejecución más modestos, en concordancia con las previsible condiciones financieras restrictivas.

#### 5.1.2 EVALUACIÓN DE LOS PROYECTOS.

El sistema de programación de inversiones en irrigación y drenaje es un instrumento con el cual se definen propuestas de asignación de recursos, de forma tal que se logren los mayores efectos en los objetivos de desarrollo. En este caso, los objetivos considerados son favorecer el crecimiento del ingreso nacional y proporcionar la mejor distribución de dicho ingreso entre la población. En consecuencia, el análisis al que se someten los proyectos está enfocado a estimar las contribuciones de cada uno de ellos, a los objetivos recién aludidos.

La metodología empleada para estimar las contribuciones de los proyectos a los objetivos de desarrollo es el análisis beneficio-costos, en el cual se identifican y valoran los flujos de ingreso que previsiblemente se tendrían con y sin la realización de cada proyecto.

Para ello, se precisa conocer los efectos económicos que implica la disponibilidad adicional de productos agropecuarios, y la utilización de los insumos y factores de la producción. El cálculo de estos efectos económicos se realiza, para el caso de los productos e insumos comercializables internacionalmente (o sea, aquéllos en que se considera que su producción o utilización marginal implica un cambio en las exportaciones o en las importaciones, respectivamente), utilizando como referencia las previsiones disponibles sobre los precios internacionales de estos productos o insumos, en los mercados en los que se

comercializarían. En el caso de los insumos y productos no comercializables internacionalmente, el efecto de su utilización se estima calculando el costo económico de producirlos, o valorando el efecto económico de su uso alternativo, según el caso. Así, la conveniencia económica y social de cada proyecto de riego y drenaje se valora a través de su contribución a los objetivos de promover el crecimiento más igualitario del ingreso. Tal contribución se cuantifica según el método beneficio-costo, considerando como medida de efectividad el valor presente de los beneficios sociales netos. A la rentabilidad económica de los proyectos (calculada mediante la relación de utilidades entre inversiones, debiendo dar un valor mayor o igual a 1 para que el proyecto se considere rentable) se le suma un valor que estima el efecto que tendrían el proyecto en la mejoría de la distribución del ingreso. Este efecto será positivo o negativo en la medida que se beneficie a personas de menores o mayores ingresos, respectivamente.

Para determinar el valor presente, es necesario definir los flujos de ingresos que en el horizonte de análisis obtendrían las personas involucradas, con y sin la realización de los proyectos. Para las iniciativas de infraestructura hidroagrícola en cuestión se han identificado los siguientes grupos de personas:

- Los agricultores usufructuarios de los terrenos ubicados en las zonas de proyecto, distinguiendo entre nuevos agricultores y los ya asentados en el área.
- Los jornaleros que se ocuparían en la construcción de las obras y en la realización de las labores agropecuarias.
- El gobierno, que participaría principalmente en el financiamiento de las inversiones requeridas para la ejecución del proyecto, en el comercio internacional de productos e insumos agropecuarios y en la recepción de impuestos y otorgamientos de subsidios.

Para el caso más general, a continuación se describe la forma en que se estiman los ingresos anuales que recibirían estos grupos, con y sin la ejecución de los proyectos. En cada caso, se indican entre paréntesis las abreviaturas empleadas para identificar las variables involucradas en el proceso. Esta simbología también se emplea en el la tabla 5.1, donde se resume la distribución anual de los ingresos de cada grupo.

Ingresos de los Agricultores: Con o sin la ejecución del proyecto, los agricultores percibirían ingresos por la venta de sus productos agropecuarios (vpm) y pagarían, a los precios del mercado, los insumos y materiales, y el costo de utilización de la maquinaria agrícola (cpm). También pagarían los salarios de la mano de obra contratada para la realización de las labores agropecuarias (mo), así como las cuotas para la operación y conservación de las obras y otros impuestos (cu).

En los proyectos en los que se ejecutaría alguna reestructuración de la tenencia de la tierra, los correspondientes agricultores, originalmente usufructuarios de los terrenos, recibirían el pago de la indemnización del caso (irt).

A su vez, los nuevos agricultores, quienes se considera provendrían del grupo de jornaleros, percibirían el ingreso correspondiente a este grupo hasta el año en que pasarían a ser usufructuarios de las tierras por afectar. A partir de entonces obtendrían los ingresos señalados para el grupo de agricultores.

Ingresos de los jornaleros: Con o sin proyecto, los jornaleros recibirían los salarios correspondientes a la mano de obra ocupada en las labores agropecuarias. Con proyecto, obtendrían además los pagos a la fuerza de trabajo no calificada contratada para la construcción de las obras.

Ingresos del gobierno: Atención especial requiere la identificación de los ingresos del gobierno, quien comercia en el mercado internacional de insumos y productos agropecuarios, donde, dependiendo de la diferencia de los precios en el mercado interno (precios de mercado) y los precios de cuenta (valor económico de oportunidad atribuido a la disponibilidad o utilización marginal del bien o servicio en cuestión), ahorraría o utilizaría recursos.

Así, con o sin la ejecución de los proyectos, el gobierno recibiría o aportaría la diferencia entre el valor de la producción estimado a precios de cuenta (vpc) y el estimado a precios del mercado interno o de garantía (vpm).

GRUPO	CON PROYECTO		SIN PROYECTO	
	INGRESOS	EGRESOS	INGRESOS	EGRESOS
AGRICULTORES ASENTADOS EN LA ZONA DE PROYECTO	vpm	cpm	vpm	cpm
	irt	mo	-	mo
	iao	cu	-	cu
AGRICULTORES NUEVOS	vpm	cpm	mo	-
	-	mo	-	-
	-	cu	-	-
JORNALEROS	mo	-	mo	-
	moi	-	-	-
GOBIERNO	(vpc-vpm)	(cpc-cpm)	(vpc-vpm)	(cpc-cpm)
	cu	es	cu	es
	-	ic	-	-
	-	moi	-	-
	-	irt	-	-
	-	iao	-	-

**ABREVIATURAS:**

- vpm Valor de la producción a precios de mercado.
- vpc Valor de la producción a precios de cuenta.
- cpm Costos de la producción a precios de mercado.
- cpc Costos de producción a precios de cuenta.
- mo Mano de obra contratada para las labores agrícolas.
- cu Cuotas y otras aportaciones al gobierno.
- es Costos de operación y conservación de las obras.
- ic Inversión para la construcción de las obras.
- moi Mano de obra contratada para la construcción de la obra.
- irt Indemnizaciones por reestructuración de la tenencia de la tierra.
- iao Indemnizaciones por afectaciones de obra.

Tabla 5.1

También al gobierno correspondería la diferencia de los costos asociados a esa producción, valorados según los precios de mercado y a precios de cuenta (cpm y cpc), en virtud de las diferencias de los mismos precios de los insumos, los materiales y la maquinaria agrícola.

Asimismo, con o sin proyecto, el gobierno pagaría la diferencia entre los costos de la operación y conservación de las obras, estimados a precios de cuenta (cs), y las cuotas que recibiría por este concepto y otros impuestos asociados al proceso productivo (cu).

Con proyecto, el gobierno pagaría además: el monto de la inversión necesaria para la construcción de las obras, valorando a precios de cuenta (ic); la mano de obra que se contrataría en la construcción (moi), y las indemnizaciones debidas a la reestructuración de la tenencia de la tierra (irt) y las correspondientes a las afectaciones por la construcción de las obras (iao).

La forma en que se incorpora en los análisis la estimación de las contribuciones de los proyectos al objetivo de distribuir más equitativamente el ingreso entre la población, consiste en revalorar los ingresos generados por los proyectos, ponderándolos en función del nivel relativo de ingresos de la población afectada, y en calcular la rentabilidad de los proyectos considerando estos flujos de ingreso revalorados.

Para calcular los factores de ponderación de los flujos de ingresos, se aplica una función que intenta reflejar la utilidad que el gobierno atribuye a los incrementos de ingreso de los grupos afectados, dependiendo del nivel relativo de ingresos que esos grupos tengan. La función con que se valora la utilidad de los cambios marginales de ingresos es la siguiente:

$$\text{Utilidad del ingreso marginal} = \left[ \frac{\text{Nivel del ingreso del grupo}}{\text{Ingreso medio nacional}} \right]^n$$

Esta función tiene la particularidad deseada de que a medida que aumente el nivel de ingresos del grupo, es menor la utilidad que se le atribuye a su ingreso marginal. A su vez, a medida que es mayor el valor del parámetro "n" de esa función, más elevada es la tasa con que decrece la utilidad del ingreso marginal. Puede observarse que para un valor "n" igual a cero, la utilidad del ingreso marginal es independiente del nivel de ingresos del grupo, lo

cual denotaría el desinterés del gobierno en favorecer (por medio de la ejecución de los proyectos) una mayor equidad en la distribución del ingreso.

Cabe insistir en que tanto la forma de esta función como el valor de sus parámetros, intentan reflejar juicios de valor (políticos) del sector gobierno sobre la utilidad del ingreso. Además, la introducción del objetivo igualitario en la evaluación de los proyectos de inversión se basa en la hipótesis de que el gobierno tiene limitaciones o mayores costos para fomentar mediante otros instrumentos (como pueden ser las políticas de precios, fiscal y monetaria) una mejor distribución del ingreso.

Determinados los flujos de incrementos de ingreso generados por el proyecto para cada grupo, y revalorados de acuerdo con la función de utilidad descrita, se calcula, para diferentes valores del parámetro "n", el valor presente de los beneficios netos del proyecto, definido como la suma de los incrementos de ingreso revalorados de cada grupo, actualizados con una tasa anual de descuento del 12%. Dicho valor presente constituye así la medida de la contribución del proyecto a los objetivos de desarrollo del subsector.

### 5.1.3 ESCENARIOS DE PROGRAMACIÓN:

Los resultados de los análisis de los proyectos de la cartera constituyen la información que alimenta los modelos de asignación de recursos con los que se formulan las alternativas de programas de inversión. Estas alternativas consideran, a su vez, determinados escenarios sobre las condiciones financieras y sociopolíticas en los que previsiblemente se llevarán a cabo los programas.

El planteamiento de las hipótesis sobre el contexto en el cual sucederán los programas de inversiones incluye, entre los aspectos financieros:

- Las disponibilidades de recursos presupuestales previsibles en el corto y mediano plazos para realizar los programas.
- Las posibilidades de contar con recursos adicionales a los presupuestos normales, mediante otros mecanismos de financiamiento, tales como la participación de los beneficiarios para llevar a cabo tales o cuales proyectos; o la participación de organismos financieros nacionales o internacionales, cuyos aportes de fondos no se incluyen en los presupuestos.

Por su parte, el análisis de las condiciones sociopolíticas en que se enmarcan la realización de los programas induce a plantear, por ejemplo, alternativas de escenarios en relación con:

- El valor del parámetro "n" que, según se vio, expresa el nivel de disposición del sector gobierno a favorecer una mayor equidad en la distribución del ingreso mediante las inversiones en riego y drenaje.
- La necesidad o conveniencia de asignar obligatoriamente a un determinado proyecto o conjunto de proyectos, n determinado monto de recursos presupuestarios o de ejecutar uno o varios proyectos a un determinado ritmo o en cierto orden.
- La necesidad o conveniencia de asignar a alguna(s) entidad(es) federativa(s) o región(es) un mínimo de recursos presupuestarios.

#### 5.1.4 MODELOS DE PROGRAMACIÓN.

En el sistema de programación de inversiones en irrigación y drenaje se formulan propuestas con las que, en el contexto de las restricciones previsibles, se obtendrían los mayores impactos agregados de las inversiones en los objetivos de desarrollo.

Determinadas las contribuciones que cada iniciativa ofrece a esos objetivos, sus requerimientos de recursos, y los escenarios sobre las condiciones en que los programas se realizarían, las propuestas se definen aplicando los modelos matemáticos de asignación de recursos que se han desarrollado al propósito.

Los modelos de programación aludidos plantean el problema de optimización en forma lineal-entera, y para resolverlo se utilizan las técnicas de programación matemática apropiadas al caso.

La función objetivo del modelo del modelo [z], que se maximiza, se define como la suma del valor presente de beneficios netos para un valor "n" dado [VPBN<sup>n</sup><sub>ij</sub>], (VPBN<sup>n</sup><sub>ij</sub> es el valor presente de los beneficios netos del proyecto i, con ritmo de ejecución j según el valor de "n" que se adopte) de las variantes de ejecución de los proyectos que se incluyan en el programa de inversiones, es decir:

$$z = \sum_{ij} \text{VPBN}^n_{ij} x_{ij} \text{ (función objetivo)}$$

El elemento  $x_{ij}$  de esta expresión adopta valores cero o uno, constituye una de las variables de decisión del modelo, y está asociado a cada una de las variantes  $i$  de ejecución del proyecto  $j$ . El valor de cero para un elemento  $x_{ij}$  indica que la variante de ejecución  $i$  del proyecto  $j$  al que se refiere no se incluiría en el programa; y un valor de 1 indica que sí se incluye, es decir, indica que el proyecto  $i$  tendrá un ritmo de ejecución  $j$ . A su vez, las restricciones a las que está sujeta la asignación de los recursos se expresan en el modelo de la siguiente manera:

- Se establece que en el período de programación, la suma de los requerimientos presupuestarios en cada año de las variantes de ejecución de los proyectos, incluidos en el programa de inversiones  $[C_{ij}]$  no sea mayor que las disponibilidades presupuestarias que se han definido en el escenario respectivo  $[P_l]$ , o sea:

$$\sum_{ij} C_{ij} x_{ij} \leq P_l ; \quad \forall l$$

donde:

$C_{ij}$  es la inversión necesaria en el año  $l$  del proyecto  $i$  con ritmo de ejecución  $j$ .

$P_l$  es el presupuesto disponible en el año  $l$ .

- En el caso de los escenarios de programación en los que se considera que debe incluirse forzosamente algún o algunos proyectos específicos, o alguna variante de ejecución de cierto proyecto, se establece que sea igual a uno la suma de los elementos  $x_{ij}$  que se refieren a las variantes de ejecución del proyecto  $j$  que se desea incluir forzosamente.

$$\sum_i x_{ij} = 1; \quad \forall j$$

Adicionalmente, se establecen por supuesto las condiciones de no negatividad de las variables de decisión  $[x_{ij} \geq 0]$ , de su carácter binario  $[x_{ij} = 0, 1]$ , y del carácter excluyente de una variante de ejecución de un proyecto en relación con las otras variantes de ese mismo proyecto  $[\sum_i x_{ij} \leq 1; \forall i$  referente a las variantes de ejecución de un mismo proyecto  $j]$ .

Una de las características importantes de los modelos utilizados es que permiten cuantificar los efectos económicos y distributivos de las restricciones impuestas, proporcionando así elementos que permitan a las autoridades ponderar en su justa medida las decisiones de orden sociopolítico. Esto se realiza, por ejemplo, comparando los efectos económicos entre dos o más programas que consideren diferentes valores del parámetro "n", con lo cual se determina el costo económico de favorecer con mayor o menor intensidad una equitativa distribución del ingreso. O bien, por ejemplo, comparando los efectos socioeconómicos de los programas en que se incluyen o no ciertos proyectos, con lo cual se cuantifica el costo de la decisión de incluirlos.

#### 5.1.4.1 EL SISTEMA DE CÓMPUTO "EVALECYs".

El sistema de cómputo "EVALECYs", ha sido instrumentado para aplicar la metodología adoptada en la evaluación económica y social de los proyectos de irrigación y drenaje, con propósitos de integrar el programa de inversiones de mediano plazo en dichos proyectos.

El sistema consta de varios módulos de programas de computadora desarrollados para ejecutar los procesos de evaluación. Los objetivos principales del sistema son:

- Mantener actualizada la cartera de proyectos, con todos los datos necesarios para su evaluación.
- Procesar la información que existe en la PC, con que cuentan las gerencias regionales.
- Procesar la información para obtener los resultados de la evaluación de proyectos que permitan realizar diversos análisis sobre los mismos.
- Integrar la información que se genere en las diferentes entidades de la CNA.

## 5.2 LIMITACIONES DE LAS TÉCNICAS ACTUALES DE EVALUACIÓN.

La necesidad de medir los diferentes efectos de los proyectos sobre el medio ambiente y los distintos grupos interesados, ha sido ya reconocida; desafortunadamente las técnicas para medir tales factores están poco desarrolladas en México.

Para resaltar algunos de los aspectos que deben estudiarse, se considera la naturaleza del tradicional método de evaluación del beneficio-costos, el cual a grandes rasgos, identifica y

evalúa los impactos de un proyecto en términos monetarios, suma los beneficios y los costos separadamente, los actualiza y calcula el coeficiente beneficio-costos.

Uno de los principales problemas del análisis beneficio-costos de acuerdo con investigaciones de Cárdenas (1987), es que usualmente oculta aspectos sociales esenciales, al calcular todos los impactos sobre diferentes grupos de población, como si fueran uno solo y medirlos a través del uso de unidades monetarias, ya que de este modo no es posible conocer las incidencias diferenciales sobre los grupos e individuos, de las distintas alternativas de solución. Además, tal enfoque presupone que todos los beneficios y costos pueden ser expresados en términos cuantitativos, con lo que resulta que muchos impactos que pueden ser muy significativos, tales como cualidades sociales o del medio ambiente, pueden ser omitidos del análisis conjunto, en la medida en que dichos impactos no se prestan a la cuantificación monetaria.

Más aún, el análisis beneficio-costos, se usa para jerarquizar alternativas que han sido ya concebidas y diseñadas, toda vez que lo que se requiere más apropiadamente, son los criterios que determinen cuáles alternativas deben ser desarrolladas y diseñadas, de tal manera que el diseño pueda reflejar más cercanamente las mezclas deseadas de impactos sobre los diferentes grupos.

Estos comentarios acerca del análisis beneficio-costos pueden aplicarse a muchos de los modelos o técnicas de evaluación en las cuales se intenta reducir o expresar todos los impactos en un sólo indicador total, como el método del valor presente, sistemas de puntaje, y las técnicas de la programación matemática.

El problema con estas técnicas, o la manera en que son usadas, es que ignoran los siguientes aspectos fundamentales:

- ¿ De quién son los objetivos que deberán usarse o considerarse en la selección de alguna alternativa ?
- ¿ Cómo obtener información acerca de los objetivos de los diferentes grupos sociales involucrados ?
- ¿ Qué objetivos persiguen las alternativas de diseño desarrolladas ?

- ¿ Puede anunciarse el conjunto de objetivos de una sociedad de manera suficientemente clara y operativa para encontrar las alternativas viables para el logro de sus objetivos ?
- ¿Cuál es el proceso a través del cual instituciones públicas y privadas, grupos interesados e individuos pueden interactuar para participar en una decisión ?

Los cuestionamientos anteriores plantean los aspectos fundamentales acerca de la interacción entre el proceso técnico de análisis y el proceso político.

En lugar de técnicas como la de beneficio-costos, se requieren métodos para evaluar proyectos alternativos, donde explícitamente se identifiquen los grupos que serían beneficiados o perjudicados por cada alternativa, tales como los métodos multicriterio. Lo anterior significa tratar de medir impactos difíciles de cuantificar, por lo que se requiere de una interacción efectiva y constructiva entre el grupo técnico encargado de estudiar los proyectos (decisor, analista y ayudantes, integrado por profesionistas multidisciplinarios que tienen la tarea de hacer estudios de proyectos alternativos, dependientes del Gobierno Municipal, Estatal o Federal, o ser una firma privada de consultoría) y los grupos e individuos potencialmente afectados.

Sin embargo, la obtención de información de parte de los grupos sociales, respecto de algún proyecto, no resulta sencilla y requiere de una buena capacidad de comunicación entre los encargados de la conducción de la evaluación. En la mayoría de los casos, las personas no pueden expresar en forma abstracta objetivos plenamente definidos, consistentes y operacionalizados. No obstante ello, los individuos son capaces de seleccionar explícitamente entre alternativas discretas y bien definidas.

Por ejemplo, si se le pide a una persona en la calle, que asigne un valor económico a la reducción de accidentes en una carretera, contra la pérdida de una área de recreo, seguramente tendría dificultades para identificar estos valores relativos. En cambio, si se le presentan 3 ó 4 alternativas de caminos, cada uno con diferentes costos de construcción, tasas de accidentes y áreas de afectación, probablemente puede tomar una decisión acerca de la mejor alternativa. Resulta por lo tanto importante, darse cuenta que es poco realista

reducir a números los valores de una comunidad, y que un equipo técnico de trabajo requiere realizar esfuerzos mayores y más amplios para encontrar alternativas mejores.

## **CAPITULO 6**

### **PROPUESTAS PARA UN SISTEMA DE EVALUACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS**

---

La tarea más importante de una administración o de un ejecutivo es tomar **decisiones**. Muchas decisiones, triviales e importantes, deberán ser tomadas día con día para encaminar o dirigir la organización hacia el logro de sus objetivos. Algunas de estas decisiones requerirán personal altamente capacitado y grandes inversiones en dinero. Tales decisiones podrían ser:

Diseñar un nuevo modelo de distribución de agua.

Introducir una red hidráulica en una nueva área geográfica.

Adquirir nuevo equipo de bombeo.

etc.

Este tipo de decisiones normalmente requiere un análisis detallado, y el buen desarrollo de la administración requiere que muchas de estas decisiones sean hechas correctamente. Es por lo anterior que, en base al material desarrollado en los anteriores capítulos se propone un sistema para la evaluación y jerarquización de obras hidráulicas.

## 6.1 ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA.

De acuerdo con Guillén (1993), en la toma de decisiones ocurre que cuando se pasa de la teoría a la práctica, la teoría es insuficiente para resolver los problemas, y los modelos, aunque útiles, dan una imagen poco exacta de los que ocurre en la realidad, debiendo complementarlos con conocimiento empírico.

Por lo anterior, es recomendable estructurar el problema de toma de decisiones siguiendo los siguientes pasos:

- Formular el problema: a través de responder ¿ cuál es el problema ?
- Identificar los objetivos de la decisión: ellos son las respuestas a preguntar del tipo ¿ para qué.... ?
- Identificar y posiblemente diseñar cursos de acción alternativos: estos son medios para lograr los objetivos y responden a preguntas del tipo ¿ cómo lograr el objetivo.... ?
- Estimar consecuencias: la respuesta a ¿ qué ocurriría si se llevara a cabo el curso de acción ....? es el estimado de la consecuencia del curso de acción considerado.
- Comparar preferencialmente las alternativas: la respuesta a ¿ qué alternativa tiene asociado el mejor estimado de consecuencias? es la solución del problema.

En la toma de decisiones intervienen elementos de carácter eminentemente subjetivo, que son las preferencias del decisor sobre las distintas consecuencias de las alternativas, y también elementos los cuales es deseable sean lo más objetivos posible, que son el conocimiento sobre las alternativas disponibles y sus posibles consecuencias.

El decisor puede requerir ayuda en situaciones tales como:

- Es necesario un esfuerzo importante para identificar o diseñar las alternativas.
- Es claro de qué alternativas se dispone pero se dificulta estimar las correspondientes consecuencias.
- Se sabe qué alternativas están disponibles y sus consecuencias, pero las preferencias del decisor son suficientemente claras como para llegar a una decisión.
- Se requiere de una formulación del problema y de una guía metodológica para racionalizar el proceso de toma de decisiones.

En las dos primeras situaciones la ayuda es proporcionada por un especialista (arquitecto, contador, ingeniero, médico, urbanista, etc.) o grupo de especialistas que aportan el conocimiento objetivo necesario para tomar la decisión.

En los dos últimos incisos la ayuda es proporcionada por un planificador o analista en investigación de operaciones conocedor de los métodos de toma de decisiones.

Elegir el método de toma de decisiones más apropiado para resolver un determinado problema es a su vez un problema de toma de decisiones; en esta elección se debe buscar que las preguntas que tiene que responder el decisor tengan sentido para él y estimulen su creatividad para imaginar nuevos cursos de acción y su sensibilidad para recibir sus propias preferencias.

La elección del método de toma de decisiones prácticamente no ha sido tocada en la literatura, aunque hay proyectos de investigación en esta dirección, como lo son algunas propuestas de Teclé (1992).

## 6.2 INFORMACIÓN A UTILIZAR EN LA EVALUACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS.

Para empezar a recabar información, es necesario plantear los objetivos del sistema propuesto, como se ve en la sección anterior. Entre estos objetivos de evaluación del sistema propuesto se pueden mencionar los siguientes:

- Conservación y mejorar la infraestructura existente.
- Ahorro del recurso hidráulico mediante el incremento de la eficiencia de los sistemas de distribución.
- Maximizar el uso del agua disponible.
- Etc.

Una vez establecidos los objetivos del sistema, se proponen, sin limitarse a ellos, algunos criterios para la evaluación de obras hidráulicas. Para lo anterior se supone una total disponibilidad de información en todos los rubros. Dentro de los criterios que se consideran más importantes están:

**PROPUESTAS PARA UN SISTEMA DE EVALUACIÓN Y JERARQUIZACION DE OBRAS HIDRÁULICAS**

- La rentabilidad del proyecto.
- Tiempo de recuperación de la inversión.
- La calidad del agua.
- Ahorro de agua.
- El número de habitantes beneficiados.
- El número de hectáreas regadas.
- Impacto ambiental.
- Inconvenientes legales.

Los anteriores criterios deberán ser ponderados, es decir, se les deberá asignar un peso que indique las preferencias del decisor y al mismo tiempo indique los criterios más importantes para la evaluación de los proyectos.

Una vez hecho lo anterior, se deberá elaborar un catálogo de proyectos en el que se comprenda la mayor cantidad de información necesaria para poder evaluarlos teniendo en cuenta todas sus características.

	RENTABILIDAD	CALIDAD DEL AGUA				IMPACTO AMBIENTAL	INCONVENIENTES LEGALES
PROY. 1							
PROY. 2							
PROY. 3							
PROY.n							

Tabla No. 6.1

Elaborado el catálogo de proyectos así como la ponderación de los criterios, se procede a hacer una matriz de decisiones como la que se muestra en la tabla No. 6.1, utilizando para ello un sistema de cómputo o un DSS, ya que muchas veces el catálogo de proyectos de

demasiado grande como para manejar los datos manualmente y hacer los cálculos de sus evaluaciones.

### 6.3 EVALUACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE PROYECTOS HIDRÁULICOS.

Para hacer la evaluación y jerarquización de los proyectos se recomiendan los siguientes pasos:

1- Hacer una predicción y análisis de los impactos de las alternativas diseñadas, identificando para cada una de ellas quiénes son los afectados, cuándo, dónde y cómo, para estimar los impactos del proyecto.

2- Identificar las principales diferencias entre las alternativas para comparar la importancia relativa de cada una de ellas. Asimismo identificar posibles grupos que requieren compensaciones o acciones para aminorar los impactos negativos. Lo anterior se puede hacer por medio de una matriz de decisiones, donde es posible evaluar los proyectos a través de algún método multicriterio, como los ya tratados en capítulos anteriores. La selección del método de evaluación de los proyectos, dependerá de la interacción entre el decisor y el analista. Aregai Teclé plantea que para la selección del método correcto se tiene que contestar algunas preguntas tales como:

- ¿ Qué tanto conocimiento se necesita por parte del decisor para entender las técnicas ?
- ¿ Qué tanto esta dispuesto el decisor a interactuar durante el proceso de evaluación de los proyectos?
- ¿ Cuánto tiempo esta dispuesto el decisor a utilizar la técnica ?
- ¿ Cuánto conocimiento necesita el decisor para usar el método de evaluación ?
- ¿Cuál es el nivel de habilidad requerido por parte del analista para aplicar el método ?

Dentro de sus análisis Teclé ha encontrado que los métodos ELECTRE I y AHP han dado buenos resultados en la práctica. Además, estos métodos han sido ampliamente utilizados e

investigados en la evaluación de proyectos hidráulicos. Es por esto que estos métodos son buenos candidatos a usarse en la evaluación de los proyectos hidráulicos.

Para la elección entre estos dos métodos se propone considerar en primer lugar el tipo de respuestas que pueda dar el decisor a las preguntas anteriores; por supuesto, para poderlas contestar.

Para el método ELECTRE I es necesario elaborar la matriz de decisiones, junto con una tabla que califique todos los criterios, sobre una escala predeterminada, pudiéndose adoptar la escala que se ocupó en el ejemplo de la sección 2.3.1. Una vez realizado lo anterior, es posible obtener las matrices de concordancia y discordancia, que al mismo tiempo servirán para obtener el grafo correspondiente, en donde se muestran los proyectos que deberán ser seleccionados para su ejecución.

Con respecto al método AHP, lo primero es hacer una jerarquía que represente el objetivo principal en el primer renglón, en el siguiente los criterios que habrán de calificar las opciones y por último las opciones a elegir.

No hay que olvidar que existen muchos más métodos para evaluar proyectos con criterios múltiples y que la selección de cada método, corresponderá con el estilo del decisor, que es el que estará en contacto directo con el método así como con la claridad que proporcione los resultados.

3- Realizar un análisis de sensibilidad para apreciar cómo cambian la evaluación y la jerarquización de los proyectos ante cambios de ponderación de los criterios.

#### 6.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

Generalmente existe un elemento de incertidumbre asociado en las alternativas de selección. No sólo son problemáticos los estimativos de las condiciones económicas o políticas futuras, sino que además los efectos futuros de la mayoría de los proyectos solamente son conocidos con un grado de seguridad relativo. Es precisamente esta falta de certeza sobre el futuro lo que hace a la toma de decisiones una de las tareas más difíciles que deben realizar los individuos, las industrias y el gobierno.

Además, es un hecho que el decisor rara vez se conforma con los resultados simples de un análisis. Generalmente lo que le interesa es un rango completo de los posibles resultados que pueden ocurrir como una consecuencia de variaciones en las estimaciones iniciales de los parámetros del proyecto. Por consiguiente, un estudio completo debe incluir la sensibilidad de los criterios a cambios en las estimaciones usadas. Para solucionar ese tipo de incertidumbre se somete a los proyectos a un análisis de sensibilidad.

Con objeto de apreciar la influencia de la ponderación de algunos criterios en las prioridades asignadas, se recomienda modificar los pesos asignados a algunos de ellos. Este análisis se basa en cambiar los pesos de los criterios que se utilizan para evaluar. Por ejemplo al criterio que tenía el peso más alto se le asigna un peso intermedio, y al que tenía un peso intermedio se le asigna un peso alto, etc..

- Al hacer los cambios de los pesos se van registrando los resultados obtenidos, observando los cambios que se obtienen, es decir, si los resultados se mantienen igual o si la variación es importante.
- Si los resultados se mantienen más o menos igual es señal de que hay una cierta estabilidad en las soluciones correspondientes a las diferentes hipótesis de ponderación, si los resultados varían mucho es recomendable revisar la información suministrada, así como tratar de hacer la evaluación con algún otro método para verificar los resultados, haciendo después otro análisis de sensibilidad.

Por último, ante la cantidad de información que se recaba, es conveniente usar un sistema de ayuda a la decisión DSS, para manejar la gran cantidad de datos que se requieren y realizar los cálculos, además de suministrar información al usuario mediante ejemplos de demostración y otras ayudas.

## **CAPÍTULO 7**

### **CONCLUSIONES**

---

Después de haber analizado diferentes métodos multicriterio en publicaciones donde se describe sus aplicaciones a proyectos de infraestructura hidráulica, se puede afirmar que los métodos que sobresalen con un gran número de aplicaciones a problemas de toma de decisiones de proyectos con criterios en conflicto corresponden a el ELECTRE I y el AHP. Estos métodos toman en cuenta criterios como el impacto ambiental, ahorro del agua, número de beneficiarios, inconvenientes legales, etc.

Así, el principal objetivo de los métodos ELECTRE I y AHP, es proporcionar un herramienta que sirva para seleccionar los mejores proyectos con criterios en conflicto. Además de los análisis al ELECTRE I se desprende que:

- Este modelo es determinístico pues no puede manejar la incertidumbre.
- El método tiene la ventaja de manejar datos cualitativos.
- Proporciona resultados estables ante un análisis de sensibilidad

Por otra parte del método AHP se puede decir que:

- No maneja la incertidumbre.
- La escala que maneja no necesariamente tiene ser la que se ocupe.
- Compara los criterios entre si para seleccionar los que tendrán el mayor influencia.

Dichos métodos podrían ser utilizados en México, ya que se cuenta con gente preparada para poderlos implantar en organizaciones encargadas del diseño y construcción de obras hidráulicas.

Ambos métodos pueden dar la pauta a seguir en la evaluación de proyectos hidráulicos sin limitarse a ellos ya que también podrían utilizarse para la elección de localidades donde construir edificaciones tales como hospitales o centros de salud, o el lugar más apropiado para un puerto o un aeropuerto tomando en cuenta, por supuesto, las condiciones físicas del lugar así como su impacto ambiental y social. Además estos métodos se podrían aplicar en organizaciones tanto privadas como gubernamentales.

No hay que olvidar, que los métodos solo reflejarán un correcto resultado, siempre y cuando se proporcione la cantidad de información necesaria y se modele adecuadamente las preferencias del decisor..

Por otra parte se hace necesario la unión de ideas a través de los profesionistas involucrados en el diseño técnico de la obra por construir con un analista que los ayude a tomar una decisión. Además no hay que olvidar que para esto debe haber una correcta interacción entre el decisor o decisores y el analista. Al mismo tiempo se hace indispensable la elaboración e implementación de un DSS que ayude al decisor a manejar la gran cantidad de información que se analiza al evaluar proyectos.

En conclusión, desde el punto de vista de infraestructura, las obras que se seleccionen traerán un número de ventajas como lo es la generación de energía eléctrica y la planificación del agua para riego y cultivo, así como de su distribución en poblaciones donde se carece de agua.

Desde el punto de vista social, obras como estas necesitan de un mediano a un largo período de tiempo para ser realizadas, lo que permite generar empleo de muchos obreros al igual que profesionistas y técnicos por un período constante.

Desde el punto de vista económico, las ventajas son muy importantes ya que desarrollan la actividad económica de la región así como la de la del país.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANTÚN Callaba Juan Pablo, *Toma de Decisiones Multicriterio: El enfoque ELECTRE*, Series del II No.D-38, UNAM, México,1994.
- AREGAI Tecele, *Selecting a multicriterion decision making technique for watershed resources management*, Water Resources Bulletin Vol.28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.
- BACA Urbina Gabriel, *Evaluación de proyectos*, Mc Graw Hill, México,1995.
- BÁRDOSY A. and Duckstein L., *Analysis of a karstic aquifer management problem by fuzzy composite programming*, Water Resources Bulletin Vol.28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.
- BODILY Samuel E., *Modern decision making (A guide to modeling with decision support systems )*, Mc Graw-Hill Book Company, Estados Unidos, 1985.
- BOGARDI J. J. and Duckstein L., *Interactive multiobjective analysis embedding the decision maker's implicit preference function*, Water Resources Bulletin Vol.28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.
- BODILY Samuel E., *Modern decision making (A guide to modeling with decision support systems)*, Mc Graw-Hill Book Company, Estados Unidos, 1985.
- BUFFA Elmoood S. y Dyer James S., *Ciencias de la administración e investigación de operaciones*, Editorial Limusa, México, 1994.
- CÁRDENAS Gutiérrez Eusebio, *Los aspectos sociales en la evaluación de proyectos y principios de análisis de programas*, UAEM, México, 1987.

- CEDEX, CNA, IMTA, *Jornadas Españolas (Cooperación técnica internacional México-España) priorización de proyectos de rehabilitación II, rehabilitación de un sistema de riego II*, México, 1990.
- CNA, *Manual de operación del sistema de evaluación de proyectos de irrigación y drenaje*, México, julio de 1990.
- COSS Bu Raúl, *Análisis y evaluación de proyectos de inversión*, Editorial Limusa, México, 1996.
- FOSTER Vega Manuela, *Un Método para la agregación en la toma de decisiones multiatributo con varios decisores*, Tesis Doctoral, DEPFI, UNAM, México, 1991.
- GOICOECHEA A. Stakhiv E. Z. and Fu Li, *Experimental evaluation of multiple criteria decision models for application to water resources planning*, Water Resources Bulletin Vol.28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.
- GUILLÉN Burguete Servio Tulio, *Relaciones valuadas de preferencias en la toma de decisiones multicriterio*, Tesis Doctoral, DEPFI, UNAM, México, 1993.
- GUILLÉN Burguete Servio Tulio, *Índices de preferencia asociados a modelos aditivos multicriterio*, Series del II No.556, UNAM, México, 1993.
- HAIMES Y. Y. Lamberrt J. H. and Li D., *Risk of extreme events in a multiobjective framework*, Water Resources Bulletin Vol. 28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.
- HARBOE R., *Multiobjective decision making techniques for reservoir operation*, Water Resources Bulletin Vol.28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.

- HARMANCIOGLU N. B. and Alpaslan N., *Water quality monitoring network design: A problem of multi-objective decision making*, Water Resources Bulletin Vol. 28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.
- IKEBUCHI H. and Kojiri T., *Multi-objective reservoir operation including turbidity control*, Water Resources Bulletin Vol. 28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.
- JIFA Gu and Xijin Tang, *An application of MCDM in water resources problems*, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, vol. 5, John Wiley & Sons, Inglaterra, 1996.
- KEENEY Ralph L. and Raiffa Howard, *Decisions with Multiple objectives: Preferences and value tradeoffs*, John Wiley & Sons Inc., Estados Unidos, 1976.
- KEITH W. Hipel, *Multiple objective decision making in water resources*, Water Resources Bulletin Vol. 28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.
- KILGOUR D. M., Fang L. and Hipel K. W., *Game-theoretic analyses of enforcement of environmental laws and regulations*, Water Resources Bulletin Vol. 28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.
- KO S. K., Fontane D. G. and Labadie J. W., *Multiobjective optimization of reservoir systems operation*, Water Resources Bulletin Vol. 28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.
- KRZYSZTOFOWICZ R., *Performance tradeoff characteristic of a flood warning system*, Water Resources Bulletin Vol. 28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.
- LAABS H. and Schultz G. A., *Reservoir management rules derived with the aid of multiple objective decision making techniques*, Water Resources Bulletin Vol. 28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.

- 
- OKADA N. and Mikami, *A game-theoretic approach to acid rain abatement: conflict analysis of environmental load conflicts*, Water Resources Bulletin Vol. 28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.
- PRAWDA Witenberg Juan, *Métodos y modelos de investigación de operaciones Vol. 2 (Modelos estocásticos)*, Editorial Limusa, México, 1987.
- SAATY Thomas L. and Alexander Joyce M. , *Thinking with models* , Pergamon Press, Estados Unidos, 1981.
- SHAFIKE N. G., Duckstein L. and Maddock III T., *Multicriterion analysis of groundwater contamination management*, Water Resources Bulletin Vol. 28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.
- ROY B., Slowin'ski R. and Treichel W., *Multicriteria programming of water supply systems for rural areas*, Water Resources Bulletin Vol. 28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.
- SARH, *Sistemas de programación de inversiones en irrigación y drenaje*. Grupo editorial código, S.A. de C.V., México, 1987.
- TAHA Hamdy A., *Investigación de operaciones*, Editorial Alfaomega, México, 1992.
- TECLE A, *Selecting a multicriterion decision making technique for watershed resources management*. Water Resources Bulletin Vol. 28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.
- THIERAUF Robert J. , *Introducción a la investigación de operaciones*, Editorial Limusa, México, 1993.

THIESSEN E. M. and Loucks D. P., *Computer assisted negotiation of multi-objective water resources conflicts*, Water Resources Bulletin Vol. 28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.

VINCKE Philippe, *Multicriteria decision-aid*, Jhon Wiley & Sons, Estados Unidos, 1992.

WATSON Stephen R. and Dennis M. Buede, *Decision synthesis (The principles and practice of decision analysis)*, Cambridge University Press, Inglaterra, 1988.

WHITE D.J., *Teoría de la decisión*, Alianza Editorial S.A. España, 1972.

WOLDT W. and Bogardi I., *Ground water monitoring network design using multiple criteria decision making and geostatistics*, Water Resources Bulletin Vol. 28 No.1, Estados Unidos, febrero de 1992.

ZIMMERMANN Hans Y. , *Fuzzy sets, decision making, and expert systems*, International Series in Management/Operations Research, Estados Unidos, 1987.