



**INSTITUTO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE  
PLANIFICACION ECONOMICA Y SOCIAL - ILPES**

---

**DIRECCION DE PROYECTOS Y PROGRAMACION  
DE INVERSIONES**

**MANUAL PARA LA TOMA DE DECISIONES  
MULTICRITERIO**

**Sergio Barba-Romero**

**DIRECCION DE PROYECTOS Y PROGRAMACION DE INVERSIONES**

**Distr.  
LIMITADA**

**LC/IP/L.122  
3 de enero de 1996**

**ORIGINAL: ESPAÑOL**

**MANUAL PARA LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO**

**Sergio Barba-Romero \***

\* Consultor de la Dirección de Proyectos y Programación de Inversiones del ILPES. Profesor de la Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, España. Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de la exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la Organización.

INDICE

	<u>Página</u>
RESUMEN . . . . .	iii
PROLOGO . . . . .	v
1. INTRODUCCION . . . . .	1
2. ELEMENTOS TEORICOS DE LA DECISION MULTICRITERIO . . . . .	4
2.1 La metodología multicriterio para la toma de decisiones . . . . .	4
2.2 El marco de trabajo de la decisión multicriterio . . . . .	9
2.3 Identificación de alternativas . . . . .	11
2.4 Estructuración de los criterios . . . . .	12
2.5 Cuantificación y normalización de evaluaciones . . . . .	15
2.6 Preanálisis de dominación . . . . .	18
2.7 Preanálisis de satisfacción . . . . .	19
2.8 Asignación de pesos . . . . .	20
2.9 Métodos de ordenación agregada . . . . .	25
2.10 Método de ponderación lineal . . . . .	27
2.11 Análisis de sensibilidad . . . . .	31
2.12 Soportes informáticos para la decisión multicriterio . . . . .	33
2.13 El paquete informático SMC: un soporte multicriterio . . . . .	36
3. EJEMPLO DE APLICACION N° 1: Proyectos de Inversión Educativa en el Municipio de Río negro . . . . .	38
3.1 Descripción del caso RIONEGRO . . . . .	38
3.2 Análisis multicriterio . . . . .	39
4. EJEMPLO DE APLICACION N° 2: Selección Multicriterio de Proyectos de Inversión en varios sectores . . . . .	57
4.1 Descripción del caso SECTORES . . . . .	57
4.2 Análisis multicriterio . . . . .	59
5. INTERDEPENDENCIA ENTRE LOS PROYECTOS . . . . .	71
5.1 Introducción . . . . .	71
5.2 Propuesta de sistema informático . . . . .	75
6. BIBLIOGRAFIA . . . . .	78



## RESUMEN

Es frecuente la situación en la que en el seno de una institución pública a nivel nacional, departamental o municipal, se plantea la necesidad de seleccionar algunos proyectos ( los " mejores", o los que las posibilidades de financiación permitan) de entre un conjunto de proyectos candidatos.

Cualquiera que haya participado en un proceso de toma de decisiones, aunque en todo caso es fácil de imaginar, sabe de las dificultades que suelen aparecer a lo largo del mismo: recopilación de los datos de los proyectos, evaluación de los mismos, definición del procedimiento concreto de selección, obtención de un consenso final entre todos los sujetos que intervienen o se ven afectados, publicidad e implantación de las decisiones finales, etc. Gran parte de tales dificultades provienen del carácter multivariante de los proyectos, ya que, como es lógico, la descripción y valoración de los mismos no se efectúa desde un único punto de vista, sino desde múltiples perspectivas o criterios.

Este es exactamente el marco natural de trabajo de la metodología de toma de decisiones denominada **Decisión Multicriterio**. A describirla y a mostrar cómo utilizarla para la selección de proyectos de inversión en contextos de decisiones públicas, especialmente en el ámbito municipal, va destinado este manual. El enfoque será práctico y aplicado, con vocación de que sea una herramienta de apoyo a los funcionarios o responsables públicos de tales procesos de toma de decisiones. Pero acompañado del rigor teórico necesario para que los conceptos y los mecanismos de cálculo se comprendan y así puedan adaptarse y emplearse en aquellas situaciones aquí no previstas. En definitiva, una "caña de pescar", y no tan sólo "un pez", para que todos aquellos funcionarios con curiosidad, interés y una cierta formación básica, puedan acercarse a técnicas innovadoras de toma de decisiones a fin de utilizarlas en sus problemas profesionales.



## PROLOGO

Una vez concluida la etapa de evaluación de los proyectos de inversión y conocidas las restricciones de carácter presupuestal, el paso siguiente consiste en determinar cuáles proyectos, a partir de sus cualidades, pueden ser escogidos o incluidos en el plan de inversión pública. Es en este momento donde un esquema de jerarquización puede apoyar una eficiente y equitativa decisión sobre la asignación de los recursos.

En vista de lo anterior, en esta ocasión divulgamos con gran satisfacción el Manual sobre las características y aplicación del método de toma de decisiones denominado **Decisión Multicriterio**. A fin de facilitar su comprensión y utilización se exponen los elementos teóricos básicos, los requerimientos de información y en base a casos concretos se muestra la forma de trabajar el método y analizar sus resultados. Además, dado el énfasis fijado en los proyectos de índole municipal, el método adquiere una gran trascendencia dados los generalizados procesos de descentralización fiscal, traspaso y cofinanciación de la inversión local que adelantan la mayoría de los países de la región.

Dirección de Proyectos y  
Programación de Inversiones  
ILPES

## 1. INTRODUCCION

Es frecuente la situación en la que en el seno de una institución pública a nivel nacional, departamental o municipal, se plantea la necesidad de seleccionar algunos proyectos (los "mejores", o los que las posibilidades de financiación permitan) de entre un conjunto de proyectos candidatos. Hay variantes y matices importantes en lo anterior, pues no es lo mismo buscar un único proyecto seleccionado que varios, o tener restricciones presupuestaria fuertes y precisas que tenerlas más laxas. En todos los casos, sin embargo, va a precisarse construir una lista ordenada de los proyectos: de más a menos preferidos o prioritarios.

Cualquiera que haya participado en un proceso de este tipo, aunque en todo caso es fácil de imaginar, sabe de las dificultades que suelen aparecer a lo largo del mismo: recopilación de los datos de los proyectos, evaluación de los mismos, definición del procedimiento concreto de toma de decisiones, obtención de un consenso final entre todos los sujetos que intervienen o se ven afectados, publicidad e implantación de las decisiones finales, etc. Gran parte de tales dificultades provienen del carácter multivariante de los proyectos, ya que, como es lógico, la descripción y valoración de los mismos no se efectúa desde un único punto de vista, sino desde múltiples perspectivas o criterios.



Este es exactamente el marco natural de trabajo de la metodología de toma de decisiones denominada Decisión Multicriterio. A describirla y a mostrar cómo utilizarla para la selección de proyectos de inversión en contextos de decisiones públicas, especialmente en el ámbito municipal, va destinado este manual. El enfoque será práctico y aplicado, con vocación de que sea una herramienta de apoyo a los funcionarios o responsables públicos de tales procesos de toma de decisiones. Pero acompañado del rigor teórico necesario para que los conceptos y los mecanismos de cálculo se comprendan y así puedan adaptarse y emplearse en aquellas situaciones aquí no previstas. En definitiva, una "caña de pescar", y no tan sólo "un pez", para que todos aquellos funcionarios con curiosidad, interés y una cierta formación básica, puedan acercarse a técnicas innovadoras de toma de decisiones a fin de utilizarlas en sus problemas profesionales.

La estructura del manual viene condicionada por lo dicho. Así, en la próxima sección 2 pasaremos revista sistemática a aquellos elementos teóricos de la Decisión Multicriterio que son relevantes para el tipo de problema de selección de proyectos públicos de inversión que aquí nos interesan, aun cuando la exposición será lo suficientemente general para adaptarse a otros problemas análogos. Hablaremos asimismo de las herramientas informáticas que para ello pueden utilizarse -- y es conveniente así sea -- dada la relativa facilidad existente hoy en día para disponer de un ordenador personal.

Las dos siguientes secciones se destinan a exponer dos casos prácticos de aplicación. En la sección 3 veremos detalladamente cómo utilizar la metodología multicriterio en una típica situación de selección de proyectos de inversión educativa municipal, ilustrando así los conceptos expuestos en la sección anterior. La

sección 4 contiene otro caso más complejo de selección de inversiones municipales, ahora en dos sectores (educación y salud) con criterios comunes y no comunes de valoración.

En la sección 5 reflexionaremos sobre la dificultad que conlleva la selección de proyectos en la habitual situación en la que existen interdependencias entre los mismos (por ejemplo, la de que los proyectos seleccionados se ajusten lo más posible a las disponibilidades presupuestarias de inversión del municipio). El problema ya es más complejo, teniendo que recurrir a técnicas de optimización en variables enteras, cuyas características no podremos más que esbozar aquí. La sección 6 y última recogerá las referencias bibliográficas que se hayan ido efectuando.

## 2. ELEMENTOS TEORICOS DE LA DECISION MULTICRITERIO

### 2.1. La metodología multicriterio para la toma de decisiones

Aun cuando existen destacados precursores del análisis científico de la toma de decisiones (los Bernouilli, Borda, Condorcet, etc, del siglo XVIII europeo), el verdadero auge de la cuestión es un tema de ya bien entrado el siglo XX. Sin embargo, y a pesar de su gran interés, la difusión de las metodologías de análisis de la toma de decisiones y de las técnicas de aplicación práctica que de ellas se derivan ha tenido una evolución difícil e irregular. Podemos apuntar varias razones para ello.

En primer lugar, y achacable a los "expertos" de la Teoría de la Decisión, hay que reconocer el excesivo triunfalismo con el que muchas veces se han vendido sus técnicas, prometiéndole posibilidades que luego la realidad se encargaba ineluctablemente de desmontar. A este pernicioso efecto de frustración de expectativas generadas a los decisores se debe sin duda uno de los mayores obstáculos para una sana y extensa implantación de estas metodologías.

Añadamos a lo anterior el teoricismo que en multitud de ocasiones ha acompañado la exposición de los conceptos de la Teoría de la Decisión. La jerga de especialista y el relumbrón académico parecían ser más rentables a corto plazo que la exposición clara y comprensible para el decisor de las ideas, los métodos y los resultados. Aun cuando este vicio sea común a tantos otros campos de actuación de expertos o profesionales, ello no resta validez a la crítica. Es en este sentido, entre otros, que son tan valiosas las aportaciones de científicos como Herbert Simon (Simon, 1960).

Como tercera causa de dificultades, anotable en esta ocasión en el debe de los decisores, podemos citar la de su inmovilismo; es decir, la resistencia que ofrecen a la innovación y a la transparencia cuando ello supone compartir parcialmente situaciones establecidas de poder. Un decisor real, como ser humano que es, mostrará en mayor o menor medida estas reacciones ante metodologías que, al diseccionar sus mecanismos internos de toma de decisiones, puede interpretar que amenazan su posición. Si a ello le añadimos, en la línea de lo ya mencionado más arriba al hablar del triunfalismo, que durante mucho tiempo se ofrecían estas técnicas como sistemas que podían sustituir automáticamente al decisor humano, se comprenderá la racionalidad de la prevención expuesta.

Hoy en día hablamos de Sistemas de Ayuda a la Decisión, ya que se ha comprendido perfectamente que no es posible la sustitución del decisor humano, no sólo por motivos tácticos de ganar su confianza para poder implantar el sistema, sino mucho más importante: por la constatación de que no es eso lo que verdaderamente se necesita y realmente funciona en la práctica. Como certeramente sintetiza Blas Lara(1989), "Hemos de ser cautelosos con el culto excesivo a la racionalidad. A fuerza de querer racionalizar la decisión empobrecemos el conocimiento de las situaciones, despilfarramos nuestra profunda inteligencia del mundo, por lo general mucho más rica en la etapa intuitiva que en la etapa consciente".

Para afrontar específicamente la habitual situación en un problema de toma de decisión en la que son varios los objetivos o criterios que pretenden simultáneamente cubrirse, ha surgido en los últimos años la metodología multicriterio. La denominada Decisión Multicriterio es un campo interdisciplinario alimentado por fuentes muy diversas. En esencia, la Decisión Multicriterio es una

optimización con varias funciones objetivo simultáneas y un único agente decisor. Puede formularse matemáticamente de la siguiente manera:

$$\max_{\mathbf{x} \in X} F(\mathbf{x})$$

donde:  $\mathbf{x}$  es el vector  $[x_1, x_2, \dots, x_n]$  de las VARIABLES de decisión. El problema de decisión es el de asignar los "mejores" valores a estas variables (mejores en el sentido que las funciones objetivo, véase luego, definen).

$X$  es la denominada REGION FACTIBLE del problema (el conjunto de posibles valores que pueden tomar las variables).

$F(\mathbf{x})$  es el vector  $[f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_p(\mathbf{x})]$  de las  $p$  FUNCIONES OBJETIVO que recogen los criterios u objetivos simultáneos del problema. La formulación "max" (a maximizar), no es restrictiva pues siempre puede conseguirse mediante un adecuado cambio de signo.

No es frecuente que en un problema de este tipo exista una alternativa o solución (es decir, un valor concreto del vector  $\mathbf{x}$  de las variables), para la cual alcancen simultáneamente su valor óptimo todas y cada una de las funciones objetivo. Antes bien, suele ocurrir que debido al menor o mayor conflicto entre los diversos criterios, una solución sea mejor que las otras en algunos de ellos, mientras que para los restantes criterios sea superada por otras soluciones.

Sin embargo, sí es muy frecuente que existan soluciones dominadas, llamadas así porque hay otra u otras soluciones que las superan claramente en al menos un criterio, sin ser peor en los restantes. Generalmente, sólo las soluciones no-dominadas o eficientes serán las que le interesará seguir considerando al decisor.

Es importante que precisemos exactamente este concepto de solución eficiente, dado su papel fundamental en la teoría de la Decisión Multicriterio. Decimos que una solución  $\mathbf{a} = [a_1, a_2, \dots, a_n]$  ( $\mathbf{a} \in X$ ) es eficiente cuando no existe otra solución  $\mathbf{b} \in X$  tal que  $f_k(\mathbf{b}) \geq f_k(\mathbf{a})$ ,  $\forall k=1, p$ , con al menos un  $q$  tal que  $f_q(\mathbf{b}) > f_q(\mathbf{a})$ .

Es evidente, por la definición anterior, que si pasamos de una solución eficiente a otra también eficiente y una de las funciones objetivo mejora, entonces alguna al menos de las otras funciones objetivo debe empeorar (si no ocurriese así, la segunda solución dominaría a la primera, en contra de lo supuesto).

La elección entre soluciones eficientes es el verdadero problema de la Decisión Multicriterio, ya que en principio no hay ningún otro elemento de racionalidad "objetiva" que podamos manejar para descartar más soluciones. Nos vemos abocados a tener que hacer intervenir consideraciones de tipo subjetivo: las preferencias del decisor.

Un criterio clasificador en la Decisión Multicriterio atiende al número (finito o infinito) de alternativas a considerar en la decisión, existiendo métodos muy diferentes según cual sea el caso, aun cuando algunos de los fundamentos teóricos sean muchas veces aplicables a ambos tipos de situaciones. En primer lugar están aquellos problemas en los que las variables de decisión, y por

tanto las funciones objetivo, pueden tomar un número infinito de valores distintos (valores en un continuo), conduciendo así a un número infinito de alternativas posibles del problema. La rama continua de la Decisión Multicriterio, también llamada Decisión Multiobjetivo, se dedica precisamente a este tipo de problemas.

Otra gran clase de problemas la constituyen aquéllos en los que las alternativas de decisión lo son en número finito y, generalmente, pequeño (conjunto discreto de alternativas). Ejemplos típicos son el de elegir el emplazamiento de una nueva incineradora de basuras entre los posibles preestudiados, el de seleccionar el o los mejores proyectos de inversión en una organización o el de decidir qué modelo de automóvil compraré de la gama ofrecida por el mercado. En todos los casos citados la decisión se basará, naturalmente, en las diversas características o atributos de las alternativas respecto a los criterios de decisión relevantes. Tales problemas se denominan de Decisión Multicriterio Discreta y les son aplicables algunos de los métodos de la Decisión Multiobjetivo. No obstante, existen para ellos métodos específicos, como los de Relaciones de Superación (Electre, Promethee,...), el Análisis Jerárquico de Saaty (AHP), los métodos de Permutación y otros muchos.

La Decisión Multicriterio Discreta nos va a interesar aquí especialmente. Una razón básica para esta elección es la de que aborda el tipo de problemas más frecuente en la práctica: los de selección por el decisor de entre varias alternativas (proyectos de inversión...) posibles, pocas y concretas. La otra gran rama, la Decisión Multiobjetivo, más adecuada para problemas tecnológicos de diseño multicriterio, no será considerada aquí en lo sucesivo. El lector hispanohablante tiene en el Romero(1993) una buena y reciente referencia para poder ampliar detalles sobre ella.

## 2.2. El marco de trabajo de la decisión multicriterio

Resumiendo un tratamiento más detallado de la problemática y metodología de la Decisión Multicriterio Discreta (DMD, en lo sucesivo), que puede verse en otros lugares (Barba-Romero,1994; Barba-Romero y Pomerol,1996), la Figura 2.1 recoge uno de los modelos más predominantes de trabajo (aun cuando existen otros más especializados, como los árboles jerárquicos del Analytic Hierarchy Process de Saaty o los modelos de Redes Neuronales Artificiales). Consta básicamente de dos tipos de datos que constituyen el punto de partida de los diversos métodos de DMD, los cuales habrán de ser proporcionados, estimados ó bien extraídos indirectamente del decisor.

		CRITERIOS				
		$C_1$	...	$C_j$	...	$C_n$
ALTERNATIVAS	$A_1$	MATRIZ		.		
	.	DE		.		
	.	DECISION		.		
	$A_i$	.	.	$r_{ij}$		
	$A_m$	.	.	.		
		$w_1$	...	$w_j$	...	$w_n$

Leyenda:  $r_{ij}$ : evaluación (rating) de la alternativa  $i$  respecto al criterio  $j$ .  
 $w_j$ : peso (weight) del criterio  $j$ .

Figura 2.1: Modelo de trabajo del problema de la DMD.



Se parte de una enumeración de las alternativas (proyectos, soluciones, candidatos,...)  $A_i$  ( $i=1,m$ ) en consideración. Tales alternativas son completamente disjuntas y exhaustivas. Es decir, no cabe concebir alternativas "intermedias" a las enumeradas (si tales alternativas quisieran considerarse añádanse simplemente con carácter individual a la lista anterior). En definitiva el conjunto  $\{A_i\}$  es discreto y universal a nuestros efectos.

Por otra parte, los criterios (atributos, características,...) sobre los cuales se basará la decisión también constituyen un conjunto discreto  $\{C_j\}$  ( $j=1,n$ ). Aquí sí pueden tener mucho sentido la posible subordinación de unos criterios a otros: es decir, la así llamada jerarquización de criterios, como veremos más adelante.

Descritos los conceptos y dimensiones de las alternativas y los criterios sólo resta estructurar adecuadamente la información que les relaciona y define. Estos son los dos tipos de datos más arriba aludidos y que aparecen en la Figura 2.1. En primer lugar, las evaluaciones  $r_{ij}$  de cada alternativa  $i$  respecto a cada criterio  $j$ , constituyendo la llamada matriz de decisión, las cuales describen cada alternativa considerada en función de los criterios. Por otro lado los pesos  $w_j$ , agrupados en el llamado vector de pesos, los cuales intentan representar la estructura de preferencias del decisor.

El problema general de la DMD, independientemente de la forma concreta en que se midan los  $r_{ij}$  y los  $w_j$ , es el de seleccionar aquella alternativa que "mejor" satisfaga las preferencias del decisor. Descartada en la DMD la posibilidad de alcanzar una solución óptima (el mismo concepto de óptimo carece de sentido en todo el ámbito de la Decisión Multicriterio), hemos de contentarnos

con ese "mejor" entrecomillado para significar que su definición está abierta a diversas interpretaciones más o menos racionales. De ahí los diferentes enfoques y métodos propuestos y las diversas soluciones en principio posibles al problema.

### **2.3. Identificación de alternativas**

En ciertos problemas de decisión las alternativas vienen claramente determinadas por sólidas razones administrativas: ofertas licitantes en una subasta pública, candidatos a un puesto de trabajo, etc. En tales casos no habrá más labor a efectuar que una enumeración cuidadosa de las mismas. En otras muchas ocasiones, sin embargo, la identificación de las alternativas puede ser, tal vez, la etapa más dificultosa y creativa de todo el proceso de toma de decisiones: Será preciso sistematizar las posibles soluciones ya conocidas, reflexionar analíticamente el problema, e incluso dejar volar la imaginación, a fin de que podamos estar razonablemente seguros de que ninguna alternativa interesante se ha quedado en el tintero.

Para estas últimas situaciones y aun cuando, naturalmente, cada problema concreto puede ser muy diferente, suele ser muy útil seguir un procedimiento más o menos sistemático como el siguiente:

- 1) Formular claramente los problemas a resolver.
- 2) Dilucidar y enumerar las causas que los provocan.
- 3) Plantear posibles soluciones a estas causas.

Una excelente ilustración, centrada en el sector educativo, de las posibilidades de este procedimiento de análisis para generar alternativas de solución, puede verse en las páginas 79 y siguientes del Vera y Aldunate(1995).

#### **2.4. Estructuración de los criterios**

Una adecuada selección y estructuración de los criterios relevantes al problema es esencial para que el análisis del mismo sea significativo y útil. A la hora de definir el conjunto de criterios convendrá asegurarse de que cumple las siguientes deseables propiedades:

- a) Exhaustividad: No se ha olvidado ningún criterio que permita discriminar las alternativas. Esta propiedad es la más inmediata de tener en cuenta en el momento de la modelización, procurando que todos los aspectos relevantes al problema de decisión aparezcan reflejados como criterios.
  
- b) Coherencia: Las preferencias globales del decisor son coherentes con las preferencias según cada criterio, en el sentido de que si dos alternativas **a** y **b** tienen la misma calificación en todos los criterios, y por tanto son globalmente indiferentes para el decisor, la mejora de **a** respecto a un criterio implica una preferencia global de **a** respecto a **b**. Esta propiedad deberá cumplirse si el decisor es racional.

- c) No redundancia: Un conjunto de criterios, verificando las dos propiedades anteriores, es no redundante si la supresión de uno solo de los mismos implica que el subconjunto de los restantes viola alguna de tales propiedades. Esta propiedad es deseable, pero no esencial, estando el peligro en la posibilidad de otorgar duplicada importancia a los criterios redundantes si ello no se tiene en cuenta en el momento de asignar y utilizar los pesos.

No debe confundirse la propiedad de no redundancia con la de la independencia de criterios, en el sentido de que no estén estadísticamente correlacionados (una vez que se hayan cuantificado las evaluaciones de las alternativas respecto a ellos). En efecto, esta propiedad de independencia se cumple raramente en la práctica (¿no está correlacionado, por ejemplo, el nivel de impacto acústico de una autopista con el coste de la misma?) por lo que es absurdo pretender exigirla.

Como consejo general puede darse el siguiente: El conjunto de criterios más adecuado es aquél que obedece a consideraciones descriptivas (mejor describe los datos disponibles del problema y más lo hace intuitivamente comprensible al decisor), en el caso de que éste sea único, o a consideraciones dictadas por la naturaleza del conflicto, si se está en un contexto de una decisión a negociar entre distintas partes interesadas.

Por otra parte, el número máximo de criterios posibles de utilizar puede estar limitado por el tipo de método de DMD que se vaya a emplear posteriormente para el análisis del problema. Así, no es aconsejable emplear más de 7 criterios en algunos métodos de agregación que exigen comparaciones globales de alternativas,

debido a la conocida limitación del cerebro humano para comparar simultáneamente más de siete cosas (el mágico número 7 que la psicometría nos ha desvelado: Miller, 1956). Pero aun cuando el método de DMD lo permita, no es aconsejable trabajar simultáneamente con más de 20 criterios en el mismo plano de igualdad por la dificultad entonces de percibir las características más significativas del problema de decisión en una visión global del mismo.

Ante la existencia de un número extenso de criterios, situación bien frecuente en la práctica, puede recurrirse sin embargo a estructurarlos en una jerarquía de criterios y subcriterios, incluso a varios niveles, que permita aliviar o hasta eliminar los inconvenientes mencionados. Este mecanismo de modelización de los criterios será casi obligado a la hora de asignar los pesos a los mismos (como comento en la sección 2.8) y es muy frecuente que los mejores soportes informáticos de DMD lo ofrezcan como faceta a disposición del usuario.

Otra importante ventaja que aporta la posibilidad de una estructuración jerárquica de los criterios se cifra en la flexibilidad que permite en aquellos problemas de decisión en los que las alternativas no tienen todas ellas los mismos criterios para evaluarlas, y sin embargo es preciso compararlas simultáneamente. El caso SECTORES de la sección 4 se destina precisamente a ilustrar este tipo de situaciones, por lo que no nos extenderemos más ahora sobre ello.

Unas palabras, antes de terminar esta subsección, respecto a la medida de la INCERTIDUMBRE. Una de las ventajas que aporta la metodología multicriterio es la de permitir fácilmente tener en cuenta este importante factor en las tomas de decisiones. En

efecto, independientemente de otras posibilidades que cada método concreto de DMD con frecuencia ofrece para abordarla, un procedimiento sencillo e inmediato es el de configurar un criterio o varios que la recojan expresamente. Así, el riesgo de que el coste de cada alternativa se desborde respecto a la evaluación establecida en el correspondiente criterio "coste" puede recogerse mediante otro criterio "riesgo de incremento del coste" cuyas evaluaciones se miden como las varianzas, o los costes máximos, o cualquier otra adecuada medida de dispersión, de la variable coste que ahora consideramos aleatoria.

## **2.5. Cuantificación y normalización de evaluaciones**

Denominamos evaluaciones a las distintas características que las alternativas presentan frente a cada criterio. Será necesario cuantificarlas de la manera más precisa posible, ya que representarán a las alternativas en todo el proceso de análisis posterior. De ello dependerá que al final del proceso el decisor no tenga la sensación subjetiva de que las conclusiones no son realistas. Sin embargo, la cuestión no es ciertamente fácil.

Para cada criterio, la escala de medida de las evaluaciones vendrá muy determinada por su propia naturaleza. Una primera clasificación de escalas es en cualitativas o cuantitativas. Cuando las evaluaciones se caracterizan por calificaciones del tipo "excelente, bueno, normal, regular o malo", estamos utilizando una escala cualitativa de medida. Este tipo de escalas son ciertamente útiles, a pesar de su imprecisión, ya que al emplear el lenguaje natural su comprensión es inmediata para el decisor, con lo que le resulta fácil y ágil utilizarla. Pero en dicho mérito reside

también su debilidad ya que la polisemia del lenguaje natural hará que distintos decisores, o aún el mismo decisor en distintos momentos o situaciones, entiendan cosas diferentes por, por ejemplo, el término "bueno". De ahí la mencionada imprecisión.

Aun cuando para la medición inicial o inmediata de las evaluaciones de un cierto criterio, una escala cualitativa pueda ser lo más adecuado, en algún momento será imprescindible, a fin de poder operar matemáticamente con ellas, "traducirlas" a una escala cuantitativa como las que comentamos a continuación. Existen propuestas de métodos de DMD que, utilizando la Teoría de los Conjuntos Difusos y/o técnicas de Sistemas Expertos, permiten afrontar directamente problemas en que las evaluaciones se miden en escalas cualitativas, pero no están exentos de complicaciones teóricas difíciles de resolver adecuadamente. Una introducción a este tema puede verse en Reyes y Barba-Romero(1986).

Las escalas cuantitativas son básicamente de dos tipos: ordinales o cardinales. Un criterio tiene una escala ordinal de medida de sus evaluaciones cuando respecto al mismo se establece una ordenación de mejor a peor (o viceversa) de las alternativas. La cuantificación numérica no consiste más que en algún convenio del tipo, por ejemplo, valor 1 a la peor alternativa, valor 2 a la siguiente mejor, etc. Estos valores tienen un significado estrictamente de ordenación: "2" significa que es mejor, según el convenio anterior, que "1", no que es el doble de bueno.

La escala cardinal es la más completa en cuanto a sus posibilidades de uso, pero al mismo tiempo la más exigente desde un punto de vista teórico y la más costosa generalmente de emplear, aun cuando para ciertos criterios (coste, peso, distancia,...) será la escala natural de medida. Simplificando la cuestión al caso

particular de una escala cardinal-ratio, aun cuando cabría hablar también de la cardinal-intervalo (véase el capítulo 2 del Barba-Romero y Pomerol(1996) para mayores detalles), una escala cardinal es aquélla en la que los valores de las evaluaciones admiten una interpretación de proporcionalidad: Ahora "2" significa efectivamente el doble que "1". Si esto es bueno o malo dependerá de lo que se esté midiendo, costes o beneficios, pero en todo caso la mencionada proporcionalidad existe.

Existen métodos de DMD (los llamados métodos ordinales) que no necesitan más que una escala ordinal para la medición de las evaluaciones, pero ni son los más potentes ni están exentos de complicaciones teóricas. Por otra parte, es frecuente que se disponga de datos cardinales cuya riqueza sería penoso derrochar degradándolos a datos ordinales, aun cuando esto sea por supuesto siempre posible. La legibilidad y potencial representativo que para el decisor tengan los valores numéricos que describen a las evaluaciones son un factor importante para orientar en el tipo de selecciones antedichas. Otro factor condicionante es, sin duda, el de la disponibilidad de los datos.

Casi todos los métodos de DMD precisan que las evaluaciones  $r_{ij}$  de una alternativa concreta  $i$ , correspondientes a todos y cada uno de los criterios  $j$ , sean comparables en magnitud, unidad de medida, posición del cero, dispersión de medida, etc. Es el problema de la normalización de las evaluaciones, para afrontar el cual existen diferentes procedimientos tales como dividir por el máximo o por el rango entre el máximo y el mínimo, u otros sobre los cuales no nos extenderemos aquí (pueden verse en los ya citados Barba-Romero,1994 o Barba-Romero y Pomerol,1996). No es neutral la elección, pues el resultado final puede verse considerablemente afectado por el procedimiento de normalización utilizado. Es por



ello que aquí reside una clara posibilidad de manipulación de los resultados de un problema de DMD, frente a la cual habrá que estar siempre muy conscientes. En los casos de aplicación de las secciones 3 y 4 ilustraremos con mayor detalle todas estas cuestiones.

## 2.6. Preanálisis de Dominación

Denominamos así a un análisis previo al intento de seleccionar la mejor alternativa, muy conveniente de realizar en la práctica debido a sus posibilidades de simplificación del problema, basado en el importante concepto de solución eficiente o no dominada definido en la subsección 2.1.

Comencemos definiendo el concepto relacionado de alternativa dominante. La idea intuitiva es que una alternativa es dominante cuando sus evaluaciones son mejores, ó al menos iguales, que las correspondientes evaluaciones de cualquier otra alternativa. Suponiendo desde ahora, a fin de simplificar la notación, que las evaluaciones  $r_{ij}$  sean cardinales y crecientes en preferencias (es decir, criterios a maximizar), podemos dar una definición más formal del concepto anterior. Decimos que la alternativa  $A_i$  es dominante cuando  $r_{ij} \geq r_{kj}$ , para todo  $k=1, m$  y para todo  $j=1, n$ .

Este concepto es la generalización al contexto multicriterio del habitual concepto de óptimo global en la optimización o decisión monocriterio. La existencia y detección de una alternativa dominante en el problema de DMD que estemos abordando supone, como es natural, la inmediata solución de éste. Sin embargo la realidad no suele ser tan complaciente, por lo que en un problema real es raro que una alternativa sea dominante.

Lo que sí es habitual que ocurra es que coexistan varias alternativas no dominadas o eficientes en un problema de DMD. Cualquier alternativa que no sea eficiente es por tanto dominada por alguna ó algunas otras, y podemos excluirla de nuestra búsqueda de la mejor alternativa. En efecto, nunca será racional elegir tal alternativa cuando existe al menos otra que es mejor o igual en todos los criterios y la supera netamente en por lo menos uno. Lo anterior es aplicable a aquellos problemas en los que sólo se busque la mejor alternativa (los de tipo  $\alpha$ , en la terminología de Roy, 1985).

Sin embargo, en aquellos otros problemas en los que se desea una ordenación de las alternativas (problemas llamados de tipo  $\gamma$ ), sí puede tener interés conservar vivas las dominadas pues, aun siéndolo por alguna(s) otra(s) alternativas, no lo serán por las restantes, frente a las que pueden compararse favorablemente en una ordenación final (problema del "segundón brillante", en afortunada expresión de Schärliig, 1985).

## **2.7. Preanálisis de satisfacción**

De nuevo un análisis previo cuya utilidad práctica puede ser grande. Su concepto central es el de eliminar las alternativas no-satisfactorias en el sentido que enseguida definiremos.

La idea básica la propone Simon(1955) al plantear un modelo alternativo al paradigma vigente del decisor racional. El "hombre administrativo" de Simon dista del anterior ideal en varios aspectos importantes: Información limitada, capacidad limitada de cálculo, no necesidad de búsqueda del óptimo en los problemas reales sino tan sólo soluciones "satisfactorias", etc. Es por ello

que Simon habla de unos niveles de aspiración, fijados a priori por el decisor, cumplidos los cuales cualquier alternativa que primero encuentre le servirá como solución válida para su problema de decisión.

El análisis de satisfacción (también llamado a veces método conjuntivo) utiliza estas ideas de forma que, empleando unos umbrales de satisfacción para cada criterio (umbral inferior si tal criterio se maximiza; umbral superior si se minimiza) que el decisor pueda definir previamente, se eliminen las alternativas que, en algún criterio, no los pasen. Estas alternativas serían por tanto alternativas no-satisfactorias, lo que justifica su exclusión de posteriores análisis.

El preanálisis de satisfacción puede constituir por sí mismo un análisis completo del problema (un método de DMD) si el decisor altera dinámica e interactivamente los umbrales de satisfacción de los criterios con el fin de ir reduciendo el número de alternativas satisfactorias hasta que sólo sobreviva una de ellas. Esta es precisamente la filosofía del método PRIAM desarrollado por Lévine y Pomerol(1986), utilizando conceptos de Inteligencia Artificial.

## **2.8. Asignación de pesos**

En todo problema de DMD es casi inevitable que unos criterios tengan para el decisor más relevancia que otros. Por circunstancias muy diversas, entre las que lógicamente están sus preferencias personales (más o menos objetivables, o completamente subjetivas), el decisor puede considerar más importantes a unos criterios que a otros. Se denominan pesos (o ponderaciones) a estas medidas de la importancia relativa que los criterios tienen para el decisor,

y a la somera descripción de los procedimientos para estimarlos o asignarlos va destinada esta sección.

Se han propuesto muy diversos métodos de asignación de pesos y disponemos incluso de un cierto número de estudios comparativos de los mismos. Durante cierto tiempo se pensó que no era excesivamente crítico el método que se utilizase, dentro de una gama más ó menos aceptada de ellos, aconsejándose uno u otro más bien por razones de facilidad de uso ó de gusto personal. Sin embargo, estudios posteriores han dejado claro que no es neutral el método de asignación de pesos que se emplee.

Existe una amplia gama de métodos de asignación de pesos que podríamos denominar de Asignación Directa: Aquéllos en los que el decisor directamente asigna valores a los pesos, aunque pudiendo efectuarse a continuación algunos refinamientos más ó menos sofisticados de los mismos. Comentaremos brevemente algunos de ellos.

Comencemos por el más sencillo, el de la Ordenación Simple (ranking) de los criterios. Lo único que se le demanda al decisor es que efectúe una ordenación de los criterios según la importancia ó preferencia que para él tengan. Al último criterio de los así ordenados le daremos valor 1, al penúltimo valor 2, y así sucesivamente, con lo que el primero tendrá valor n, el número de criterios. Pueden admitirse empates, cuantificándose en tal caso los criterios empatados a su valor promedio, de acuerdo con la conocida sugerencia de Kendall(1970): "...promediar los valores que poseerían [los criterios empatados] si fueran distinguibles"; así, por ejemplo, dos criterios empatados para los valores 2 y 3 recibirían cada uno el valor-promedio  $2.5 = \frac{1}{2}(2+3)$ . Finalmente normalizaremos a suma uno tales valores.

A pesar de su evidente sencillez (de cálculo y de información demandada al decisor) este método tiene un grave inconveniente que conviene tener muy en cuenta: Su limitación intrínseca para que los pesos puedan tomar valores en todo el rango  $[0,1]$ . En efecto, llamemos  $r_j$  al valor (aún sin normalizar a suma uno) atribuido al criterio  $j$  por el procedimiento anterior. Puesto que la suma de los  $n$  primeros números naturales es  $\frac{1}{2}n(n+1)$  (expresión que acoge incluso las situaciones con empates resueltos mediante el criterio de Kendall, como puede demostrarse fácilmente), los pesos  $w_j$  normalizados serán iguales a:  $w_j = 2r_j/n(n+1)$ . Como  $1 \leq r_j \leq n$ , ocurre que  $2/n(n+1) \leq w_j \leq 2/(n+1)$ . En un caso de  $n=5$  criterios, por ejemplo, este método sólo permitiría valores de pesos comprendidos entre  $1/15$  y  $1/3$ , lo que no deja de ser arbitrario.

En el método de Tasación Simple (rating) ya se le pide al decisor que de una valoración de cada peso en una cierta escala de medida (de 0 a 5, de 0 a 100, etc), normalizándose posteriormente a suma 1, por ejemplo. Este método exige más información por parte del decisor que con el método anterior (cardinal en lugar de ordinal) pero tampoco excesivamente mayor, no teniendo sin embargo el inconveniente de la limitación de rango antes mencionado. Al menos en teoría. Ya que, como ha sido repetidamente puesto de manifiesto, es el propio decisor el que suele autolimitarse en sus valoraciones. Este efecto "conservador" consiste más precisamente en que los decisores tienden a asignar "...valores demasiado altos a criterios que consideran poco importantes, y demasiado bajos a los más preferidos" (Nutt,1980).

En general, los condicionamientos y las inercias psicológicas del decisor, como ser humano que es, suelen dar lugar a peligrosos sesgos e inconsistencias en este tipo de métodos muy difíciles de eliminar aun cuando se han propuesto ingeniosos mecanismos,

generalmente gráficos, que tienden a minimizarlos además de a hacer más sencilla e intuitiva su utilización por el decisor. Aún así hay que ser conscientes de que las asignaciones del decisor pueden variar en gran manera por aspectos absolutamente irrelevantes respecto al fondo del problema: El orden en que se le presentan los criterios a evaluar, las preconcepciones del decisor respecto al uso posterior de los valores numéricos que asigna, las connotaciones semánticas de las valoraciones utilizadas (mucho, poco, bueno, medio, etc.) cuando se emplea una escala verbal de medida, etc. Es esta una problemática ampliamente estudiada por la Psicología de la Decisión, con una abundante literatura al respecto.

Un procedimiento clásico de asignación directa de pesos, que trata de evitar los inconvenientes anteriores, es el propuesto por Churchman y Ackoff(1954), posteriormente analizado y mejorado por Knoll y Engelberg(1978), y denominado a veces como método de las utilidades relativas. Consiste básicamente en, partiendo de unas estimaciones provisionales, ir las afinando en el sentido de mejorar su consistencia interna por medio de comparaciones binarias de subgrupos de criterios.

Otro conjunto importante y amplio de procedimientos de estimación de pesos se basa en efectuar comparaciones binarias de los criterios. Representante significativo de este tipo es el conocido AHP (Analytic Hierarchy Process) de Saaty(1977), cuya descripción detallada puede verse en el capítulo 4 del Barba-Romero y Pomerol(1996).

Un método Delphi de consenso, combinado o no con los métodos anteriores, viene siendo propuesto recientemente como el más adecuado a fin de converger a un vector de pesos que recoja las

preferencias del grupo de decisores involucrados, en lugar del único decisor hasta ahora supuesto. Véase Khorramshahgol y Moustakis(1988) para un caso real de aplicación a decisiones de trazado de la autopista bolivariana.

Terminemos comentando un aspecto importante: el de la posible jerarquización de los criterios y la repercusión de ello en los pesos que se les asignen. Supongamos una estructura jerárquica de criterios a dos niveles: Un primer nivel de criterios "padres" y un segundo nivel de subcriterios "hijos" de aquéllos. Cabe preguntarse ahora lo siguiente: ¿Será mejor, en el sentido de recoger más fielmente las preferencias del decisor, comenzar asignando pesos a los criterios del primer nivel y "repartirlos" entre los criterios del segundo nivel?. Este reparto exigiría una asignación de pesos parciales ó relativos de cada grupo de criterios del segundo nivel con relación a su criterio padre del primer nivel, y una composición final de estos pesos relativos con los pesos de los del primer nivel, a fin de obtener los pesos definitivos de los criterios del segundo nivel. A este procedimiento se le denomina una asignación jerarquizada de pesos, frente a la asignación no jerarquizada que hasta ahora era la única que habíamos contemplado.

Tales cuestiones se han estudiado experimentalmente en diversas ocasiones y las conclusiones vienen siendo coincidentes: La asignación jerarquizada es más rica que la no jerarquizada, en el sentido de un mayor contraste (mayor varianza) de los pesos obtenidos. Sin embargo, también se constata la significativa influencia, en los valores finales de los pesos, del modelo elegido para la agrupación de los criterios en una estructura jerárquica, lo que no parece muy tranquilizador. Sea como fuere, el concepto de jerarquía de criterios es muy relevante en los problemas reales

y comienza a utilizarse cada vez más. El ya comentado método AHP de Saaty, por ejemplo, toma el modelo jerárquico como concepto central de su metodología de trabajo, y muchos paquetes informáticos de DMD permiten una jerarquización opcional de criterios y una asignación, jerárquica o no, de los pesos.

## **2.9. Métodos de ordenación agregada**

Denominamos así a los diferentes métodos propuestos para llevar a cabo uno de los aspectos más relevantes de la metodología multicriterio: el de agregar toda la información contenida en la matriz de decisión y en el vector de pesos, a fin de obtener una ordenación de las alternativas, de más a menos preferidas.

Como factores relevantes a la hora de clasificar los métodos de la DMD podríamos considerar los siguientes: Las dimensiones ( $m \times n$ ) de la matriz de decisión, la forma (cardinal, ordinal, etc) de medirse las evaluaciones y los pesos, los procedimientos de trabajo que plantean al decisor (estimación de datos, comparaciones entre alternativas, interactividad,...), su carácter compensatorio ó no, el tipo de resultados que ofrecen (desde un preorden parcial de las alternativas, como en el ELECTRE I, hasta una cardinalidad completa de las mismas, como en los métodos de función de utilidad), etc. Dichas características son importantes, pero aisladamente incompletas como factores determinantes de una clasificación, por lo que tal vez la clasificación más relevante pueda basarse en la similitud de estructura y de operativa de los métodos más extendidos y utilizados. Los ya centenares de métodos de ordenación propuestos en la literatura, podrían agruparse, según el punto de vista expuesto, en las once grandes especies o categorías siguientes:



- \* Ordinales y Lexicográficos
- \* Utilidad Multiatributo
- \* Ponderación Lineal
- \* Método Jerárquico de Saaty (AHP)
- \* Concordancia
- \* Relaciones de Superación
- \* Comparación de Alternativas
- \* Distancia al Ideal
- \* Permutación
- \* Análisis Multivariante
- \* Inteligencia Artificial y Redes Neuronales

No es éste el lugar para entrar en una descripción, ni tan siquiera esquemática, de tales categorías de métodos, remitiendo para ello a la ya citada obra de Barba-Romero y Pomerol(1996). Baste decir que, naturalmente, la experiencia viene mostrando que unos métodos son mejores que otros, pero sin que pueda afirmarse que uno de ellos es netamente el mejor, ya que tal cosa dependerá de muchas circunstancias (dimensiones, tipo de datos, resultados buscados, etc.) relativos al problema del que en cada momento se trate. De entre los que en la actualidad más se utilizan podemos destacar los de Relaciones de Superación (como el Promethee de Brans et al.,1986), Distancia al Ideal (como el Topsis de Hwang y Yoon,1981) y el de Ponderación Lineal. Este último, por su difusión práctica y su funcionamiento intuitivo, merece que nos detengamos algo más en él.

## 2.10. Método de Ponderación Lineal

### 2.10.1. Introducción

El clásico método de la Ponderación Lineal consiste en calcular una puntuación global  $R_i$  para cada alternativa  $A_i$ :

$$R_i = \sum_j w_j r_{ij}$$

Aceptada esta formulación lineal, con todo lo que implica de independencia<sup>1</sup> y compensatoriedad de criterios, el problema se traslada directamente a una adecuada estimación de los pesos  $w_j$ , en escala cardinal.

Método típicamente compensatorio, necesita imprescindiblemente una normalización previa de las evaluaciones, pero aún así puede ofrecer resultados distintos según sea el procedimiento de normalización utilizado, como veremos posteriormente. Sencillo y muy intuitivo de aplicar es quizás uno de los que más se utilizan, a veces incorrectamente si no se cuidan los aspectos arriba mencionados.

### 2.10.2. Descripción del método

El mecanismo de trabajo de este método es, como decíamos, muy sencillo, pero conviene detallar con precisión sus datos de partida, la elaboración previa de los mismos y la aplicación del método en sí:

---

1

En el sentido de Keeney y Raiffa de que las comparaciones de las alternativas, respecto a dos de los criterios, no se vean influidas por sus valores en los otros criterios.

**A) Datos de partida:**

A.1. Se supone un problema de DMD con  $m$  alternativas y  $n$  criterios. La característica objetiva o la utilidad que, para el criterio  $j$ , el decisor estima tiene cada alternativa  $i$ , la recoge la evaluación  $a_{ij}$  de la matriz de decisión, que supondremos es de tipo cardinal ratio (las razones de exigir esto se verán luego).

A.2. Asimismo supondremos ya asignados unos pesos  $w_j$  ( $j=1,n$ ), también de tipo cardinal ratio, para cada uno de los criterios  $C_j$ .

**B) Elaboración previa de los datos:**

B.1. Normalicemos las evaluaciones  $a_{ij}$  por cualquiera de los procedimientos de normalización que no alteran la proporcionalidad. Los nuevos  $a_{ij}$  deben quedar comprendidos entre 0 y 1, con mejor evaluación cuanto más cercano a 1.

B.2. Normalicemos los pesos  $w_j$  de forma que sumen la unidad (basta dividir los pesos originales por la suma de todos ellos).

A partir de ahora consideramos que los  $a_{ij}$  y los  $w_j$  ya están normalizados según lo dicho.

**C) Aplicación del método:**

Para cada alternativa  $i$  se calcula su puntuación global:

$$R_i = \sum_j w_j a_{ij} \quad (i=1,m) \quad [2.1]$$

La alternativa a escoger será aquella cuya puntuación global sea máxima. Si hubiese varias en esa situación, cualquiera de ellas nos sirve.

El método de Ponderación Lineal se apoya en unos supuestos teóricos que conviene explicar a fin de no utilizarlo incorrectamente. En efecto, éste método supone la existencia subyacente de una función de utilidad cardinal aditiva para las alternativas. Esta es una hipótesis de trabajo bastante fuerte, por lo que a su vez presupone de independencia entre los criterios y de comparabilidad total en las elecciones del decisor, así como por la aceptación de que los criterios pueden compensarse entre sí al valorar las alternativas (los pesos tienen el significado concreto de tasas de sustitución). Sin entrar ahora a fondo en todo ello quede aquí constancia de estas exigencias, causantes de las ya dichas de cardinalidad de los datos (evaluaciones y pesos) y de una adecuada normalización previa de los mismos.

### **2.10.3. Influencia del procedimiento de normalización**

Dicha normalización previa no es, por otra parte, neutral. En efecto, es perfectamente posible que el resultado final dependa del procedimiento de normalización de las evaluaciones que hayamos elegido. Así lo demuestra el siguiente ejemplo.

---

**Ejemplo:** Influencia del procedimiento de normalización de las evaluaciones en los resultados del método de Ponderación Lineal.

Sea un problema de DMD con los siguientes datos:

		Criterios	
		MAX C1	MAX C2
Alternativas	A1	9	3
	A2	1	8
Pesos		w	0.4      0.6

en donde las evaluaciones toman valores en una común escala [0,1], y los pesos ya están normalizados de forma que sumen la unidad.

Normalizando las evaluaciones por fracción del máximo de cada criterio y aplicando el método de Ponderación Lineal se obtiene:

	C1	C2	R
A1	1	0.375	$(0.4)(1) + (0.6)(0.375) = 0.625$
A2	0.111	1	$(0.4)(0.111) + (0.6)(1) = \underline{0.644}$
w	0.4	0.6	

Mientras que normalizando por fracción de la suma y haciendo lo propio:

	C1	C2	R
A1	0.9	0.273	$(0.4)(0.9) + (0.6)(0.273) = \underline{0.524}$
A2	0.1	0.727	$(0.4)(0.1) + (0.6)(0.727) = 0.476$
w	0.4	0.6	

En el primer caso sería A2 la alternativa elegida, mientras que A1 lo sería en el segundo.

¿Cuáles son entonces las razones que nos mueven a utilizar el método de Ponderación Lineal, tan plagado de requisitos teóricos y de peligros y arbitrariedades en su aplicación? Pues no muchas, pero las suficientes para que sea tal vez el método de DMD más conocido y utilizado (y también el más malutilizado). En definitiva, y además de por su innegable sencillez de cálculo, por la inmediata comprensión intuitiva de su esencia por cualquier decisor, incluso los no muy amantes de las matemáticas.

### **2.11. Análisis de sensibilidad**

La puntuación global de las alternativas, y por tanto su ordenación final, depende de todas las medidas (evaluaciones, pesos) y procedimientos (normalizaciones, agregaciones) que se han ido efectuando hasta obtenerla. A veces, según los problemas y los datos, esta dependencia es muy débil, por lo que la ordenación final conduce a decisiones "robustas", que no se ven afectadas por ligeros (o incluso grandes) cambios en los datos (o en los procedimientos, aunque estos no suelen modificarse una vez elegidos). Por el contrario, otras veces la ordenación final es muy sensible a cualquier pequeño cambio en los datos, por lo que las decisiones finales son muy críticas. Estos efectos es muy conveniente que el decisor los conozca y que pueda experimentar con ellos hasta calibrarlos debidamente. Existen diversas posibilidades para ello, ya que las capacidades interactivas y de cálculo de la actual informática personal así lo permite.

En lo que respecta a las evaluaciones, muchas veces sufren de imprecisiones, ambigüedades o incertidumbres que impiden fijar un

valor concreto a las mismas (el lector habrá pensado ya en algún ejemplo propio, por lo que no nos entretendremos en dar aquí ninguno adicional). Para ciertos métodos de agregación, como el de Ponderación Lineal, puede perfectamente construirse un mecanismo matemático-informático que tenga en cuenta esto de manera que calcule una Puntuación Global Intervalo para cada alternativa, en lugar de un valor concreto. La ordenación final puede seguir existiendo (por ejemplo, tomando como puntuaciones globales las medianas de dichos intervalos), pero la información ahora es más difusa dada la naturaleza de los datos de partida. Todo esto puede incluso visualizarse adecuadamente de manera gráfica muy útil para que el decisor pueda tomar decisiones, aunque sean parciales, aun con esta información imprecisa o incompleta.

En lo que respecta a los pesos, y también para ciertos métodos como el de Ponderación Lineal u otros, pueden efectuarse ciertos análisis de sensibilidad aún más potentes. Uno de ellos, que denomino Análisis Gráfico de Sensibilidad, consiste en examinar por medios gráficos muy ilustrativos el efecto en la Ordenación Final (y en las Puntuaciones Globales) de la o las alternativas que el decisor escoja, consecuencia de cambios en los pesos (ceteris paribus, es decir, cambiando sólo uno cada vez, mientras los demás permanecen constantes).

Otro análisis de sensibilidad, denominado Intervalos de Estabilidad de Pesos, calcula los más amplios intervalos en los que un peso puede oscilar (ceteris paribus) sin que se altere la ordenación final de las n primeras alternativas (n lo escoge el decisor), aun cuando puede variar la ordenación de las restantes.

## **2.12. Soportes informáticos para la decisión multicriterio**

El decisor necesita herramientas para realizar el proceso de toma de una decisión. Cualquier cosa que le ayude en dicha tarea podrá ser calificada, por tanto, como un soporte de toma de decisiones: una moneda que lanza a cara o cruz, un manual con el procedimiento predeterminado a seguir para conceder un crédito, un programa informático que le da una respuesta o solución tras preguntarle varios datos, o un sistema informático más complejo y completo.

Estando en la era del ordenador consideraremos únicamente como tales soportes los que están informatizados: al fin y al cabo, tanto la moneda como el manual de procedimientos pueden simularse por ordenador, por lo que todos los ejemplos anteriores podrían traducirse a un soporte informático y por tanto cumplir la pseudo-restricción que acabamos de establecer.

Ahora bien, nuestro concepto de soporte a la toma de decisiones no es el de todo aquello que es susceptible de informatizarse y de, en mayor o menor medida, ayudar a un ser humano a tomar decisiones, sino tan sólo el de aquellos sistemas informáticos que se adapten a los paradigmas y el marco conceptual de la Teoría de la Decisión. Esto sí excluye ya a la moneda y al manual de procedimientos, por muy informatizados que estén. También excluye a cualquier programa clásico del tipo nómina (o facturación, o pedidos, etc.), en el que la "decisión" final de cuánto abonar a un empleado depende de algunos datos concretos (puesto de trabajo, antigüedad, situación familiar, ...) previamente suministrados y con los que se efectúan unos cálculos preestablecidos.



En realidad, lo mínimo que podemos exigirle a un soporte de toma de decisiones que merezca tal nombre es que exista una cierta búsqueda heurística de la solución (la "decisión") y que en dicho proceso el decisor tenga al menos un control parcial. Es decir, siguiendo la terminología de Wirth, que el resultado final no venga exclusivamente determinado por los datos (data driven). Estamos hablando, por tanto, de los denominados SIAD, sobre los que enseguida hablaremos más en extenso.

El vocablo SIAD proviene de las siglas de Sistema Interactivo de Ayuda a la Decisión, y corresponde al término original anglosajón DSS (Decision Support System), puesto en circulación por Scott Morton a principios de los años 70. Ni la traducción literal SSD (Sistema Soporte de Decisiones), ni otras acepciones manejadas por diversos autores han logrado sobrevivir frente a la anterior denominación SIAD, de fuerte carácter descriptivo como enseguida justificaré.

Las características fundamentales que hacen que un sistema informático merezca el nombre de SIAD son las siguientes:

- \* Sistema: Es decir, una estructura funcional más o menos compleja, no limitándose a un simple programa ad-hoc para un tipo concreto de problemas. Más abajo se comentan las partes usuales de dicha estructura.
- \* Interactivo: Dirigido por el decisor (o persona en quien delegue o le asesore, o comité de decisión al unísono), de manera que sea éste quien determine la acción siguiente en función de los resultados hasta el momento. Accesible tantas veces como se quiera y con tiempos de respuesta coherentes con la decisión de que se trate.

- \* de Ayuda: Sin sustituir al decisor, sin automatizar completamente la decisión.
  
- \* a la Decisión: Lo que significa dos cosas. La primera que es un sistema específico para la toma de decisiones; es más, para una categoría determinada de problemas de decisión. Y la segunda, que ayuda durante todo o casi todo el proceso de decisión, no tan sólo para una fase muy concreta del mismo.

La estructura funcional de un SIAD suele constar de las tres partes siguientes:

- 1) Interfases de diálogo y de salida de informes.
- 2) Memoria de datos y modelos (Base de Datos).
- 3) Capacidades de proceso de información (algoritmos de la Teoría de la Decisión).

Una vez establecidos los principales conceptos de los SIAD, no creo sea necesario profundizar más en los detalles, los cuales podrá con más provecho encontrarlos el lector interesado en alguno de los textos especializados en este tema, como el Lévine y Pomerol(1989). En Angehrn y Jelassi(1994) se ofrecen unas reflexiones críticas aún más actualizadas.

Asistimos en los últimos años a una verdadera plétora de realizaciones de SIAD dedicados a la Decisión Multicriterio, de los cuales el capítulo 10 del Barba-Romero y Pomerol(1996) ofrece un inventario bastante completo, que no tiene sentido intentar resumir aquí. En lugar de ello, describiré con cierto detalle uno de los de la última generación, el cual será utilizado en los ejemplos de las próximas secciones.

### 2.13. El paquete informático SMC: un Soporte MultiCriterio

El SMC es un soporte para la toma de decisiones multicriterio discretas, realizado por este autor y colaboradores de la Universidad de Alcalá. Se ha desarrollado en lenguaje Visual Basic para Windows, a fin de que su interfaz de usuario sea cómoda y estándar. La pantalla de trabajo es del tipo Hoja de Cálculo, de manera que el decisor tiene siempre a la vista tanto los datos del problema como los resultados que vaya obteniendo. Se maneja, en general, mediante comandos accesibles en menús. La Figura 2.2 muestra dicha pantalla principal de trabajo del SMC.

Modelo: ANONIMO									
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda									
<input type="checkbox"/> Recálculo Automático									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	
Crit:									
Pesos	Total: 0	0	0	0	0	0	0	0	0
A1									
A2									
A3									
A4									
A5									
A6									
A7									
A8									
A9									
A10									
A11									
A12									
A13									
A14									
A15									
A16									
A17									
A18									
A19									
A20									

Figura 2.2: Pantalla de trabajo del SMC

La metodología de trabajo del SMC permite que el usuario edite y manipule un problema, descarte opcionalmente alternativas detectadas en los preanálisis de dominación o de satisfacción, emplee diversos métodos de ordenación con las restantes (Ponderación Lineal, Promethee y Distancia al Ideal), y realice variados análisis de sensibilidad. Todo ello de forma cómoda, flexible y eficiente. Este enfoque metodológico de emplear una batería de métodos de ordenación ya se proponía en un paquete antecesor del SMC (Barba-Romero, 1987 y 1988), y es hoy el fundamento de otros SIAD publicados en la literatura (Balestra y Tsoukias, 1990; Hong y Vogel, 1991; Antunes et al., 1994).

Las capacidades detalladas del SMC las podrá apreciar el lector en las próximas secciones 3 y 4 en las que se utilizará para analizar los dos ejemplos de aplicación de la metodología multicriterio que en ellas se describen y tratan.

### **3. EJEMPLO DE APLICACION n°1: Proyectos de Inversión Educativa en el Municipio de Ríonegro**

#### **3.1. Descripción del caso RIONEGRO**

Con el fin de ilustrar la metodología multicriterio cuyos principales conceptos teóricos acaban de exponerse, abordamos a continuación el primero de los dos ejemplos prometidos.

Este caso se basa en el ejercicio de aplicación descrito y tratado en las páginas 77 a 81 de la "Guía para la preparación y ejecución de planes de inversión municipal" de Sanín y Saldarriaga(1995), y referido al municipio de Ríonegro, del Departamento de Antioquía en Colombia. Se trata de establecer una jerarquización de cuatro posibles proyectos de inversión en el sector educativo, a fin de seleccionar el mejor situado, ya que las disponibilidades financieras sólo permiten acometer uno de ellos.

En la mencionada referencia se afirma asimismo (pág. 79) la imposibilidad de comparar proyectos de distintos sectores (educación, saneamiento, vivienda, etc.), motivo por el que se renuncia a efectuar comparaciones entre todos los proyectos de inversión existentes como candidatos. La cuestión no es trivial, en efecto, pero como veremos en el ejemplo de aplicación de la próxima sección, puede construirse un procedimiento multicriterio que permita afrontar este tipo de situaciones.

Volviendo a nuestro caso RIONEGRO, los datos (la matriz de decisión) correspondientes a los cuatro proyectos del sector educación que se pretenden jerarquizar son los siguientes:

CRITERIOS:	Prioridad Comunidad	% pobres atendidos	Inversión por beneficiario	Prioridad Administración
PESOS:	35	30	20	15
ALTERNATIVAS				
Colegio Santa Bárbara	2	72%	\$ 85000	1
Colegio Josefina Muñoz	1	89%	\$ 77000	1
Guardería Santa Ana	3	82%	\$ 30000	2
Biblioteca El Porvenir	4	48%	\$ 57000	3

**Figura 3.1: Matriz de decisión del caso RIONEGRO**

### 3.2. Análisis multicriterio

La matriz de datos de la Figura 3.1 recoge las alternativas, los criterios, las evaluaciones (en sus escalas naturales de medida) y los pesos. Damos, pues, por salvadas todas las dificultades que sin duda debieron presentarse para la caracterización de todos ellos (ampliamente comentadas en las anteriores subsecciones 2.3 a 2.5 y 2.8), y los tomamos aquí como base de partida de nuestros análisis posteriores. Utilizaremos el paquete SMC (reseñado en la subsección 2.13) para efectuar tales análisis, aun cuando en casi todos ellos ejemplificaremos también cómo podríamos calcularlos "a mano". El lector pronto apreciará, sin embargo, que el así hacerlo es bastante laborioso e ineficiente, no estando justificado más que por razones didácticas o por la imposibilidad de utilizar un ordenador.

La Figura 3.2 muestra la pantalla de trabajo del SMC con la lista ya creada de los proyectos en consideración.

MODELO: c:\ilpes\ronegro	
Modelo	Edición Preanálisis Global Informes Ayuda
<input type="checkbox"/> Recálculo Automático	
<b>Crit:</b>	
<b>Pesos Total:</b> 0	
<b>A1</b>	Colegio Santa Bárbara
<b>A2</b>	Colegio Josefina Muñoz
<b>A3</b>	Guardería Santa Ana
<b>A4</b>	Biblioteca El Porvenir

Figura 3.2

En la Figura 3.3 ya se han rotulado también los nombres de los criterios, y asignado los pesos deseados de los mismos. No es necesario que los pesos sumen 100 para el funcionamiento del SMC, ya que internamente siempre se normalizan a suma unidad.

MODELO: c:\ilpes\ronegro	
Modelo	Edición Preanálisis Global Informes Ayuda
<input type="checkbox"/> Recálculo Automático	
<b>Crit:</b>	<b>C1 C2 C3 C4</b>
	<b>Prioridad % pobres Inversión por Prioridad</b> <b>Comunidad atendidos beneficiario Administración</b>
<b>Pesos Total:</b> 100	35 30 20 15
<b>A1</b>	Colegio Santa Bárbara
<b>A2</b>	Colegio Josefina Muñoz
<b>A3</b>	Guardería Santa Ana
<b>A4</b>	Biblioteca El Porvenir

Figura 3.3

El siguiente paso es el de escoger unas escalas de medida adecuadas de los criterios. El SMC ofrece todas las posibilidades que aparecen en las Figuras 3.4 (para criterios Crecientes o a maximizar) y 3.5 (para criterios Decrecientes o a minimizar).

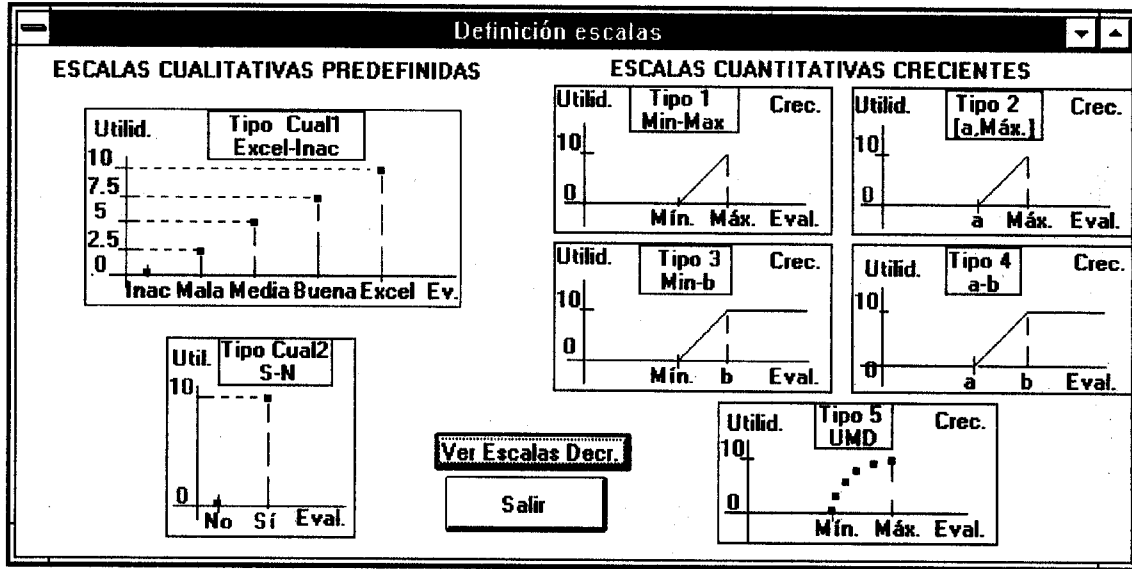


Figura 3.4

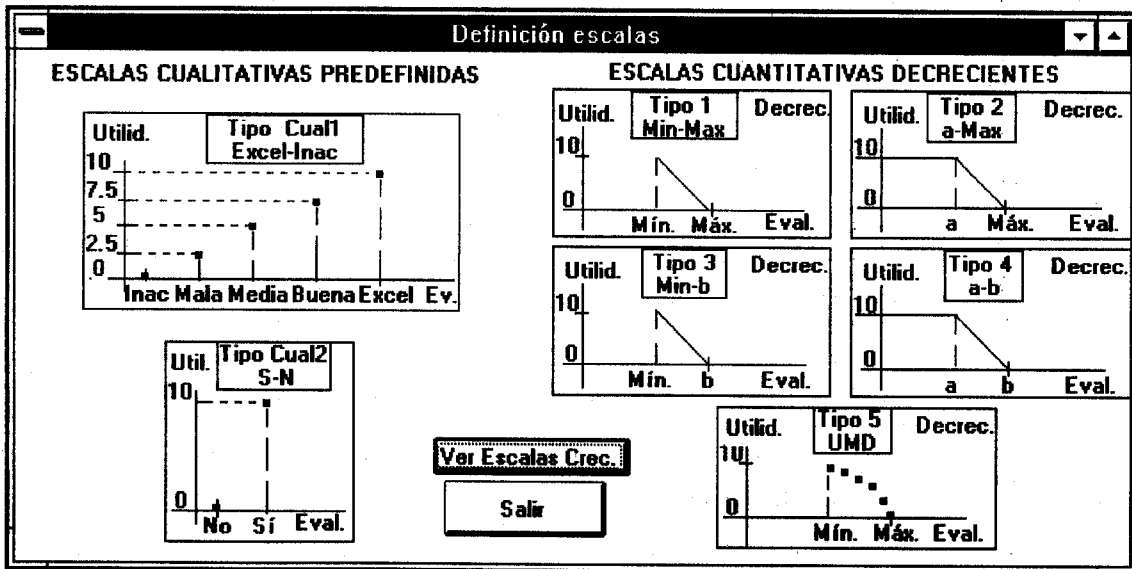


Figura 3.5



Obsérvese que pueden utilizarse dos escalas cualitativas muy usuales (Inaceptable-Mala-Media-Buena-Excelente y Sí-No), a fin de que el decisor se sienta cómodo con las evaluaciones en pantalla, sin necesidad de tener que traducir sus ideas a números: esto lo hace el programa internamente, cuando lo necesite, según los valores de las "utilidades" (o evaluaciones normalizadas en una escala [0,10]) que aparecen en los gráficos anteriores.

En nuestro ejemplo no necesitamos tales tipos de escalas, pero sí haremos uso de las diversas escalas cuantitativas. Así, para cada criterio escogeremos lo siguiente:

Criterio nº1: Sus evaluaciones van de 1 a 4, siendo mejor cuanto más baja. La escala tipo "a-b" para criterios Decrecientes, con  $a=1$  y  $b=4$ , parece una elección lógica. De esta manera (obsérvese la correspondiente gráfica de traducción a utilidad, en la Figura 3.5) la utilidad de una evaluación 1 es la máxima (10), la de una evaluación 4 es la mínima (0), y las de las evaluaciones intermedias 2 y 3 serán linealmente proporcionales a estos valores extremos (esto lo calculará el programa).

Criterio nº2: Evaluaciones desde 0% (lo peor) hasta la máxima de ellas (lo mejor). Criterio Creciente. La escala tipo "a-Max", con  $a=0$  parece adecuada. También podría serlo la "a-b" con  $b=100$ , ya que son porcentajes, pero de la manera propuesta automáticamente tiene utilidad 10 la evaluación máxima, lo que se considera deseable a fin de no deteriorar indirectamente el peso de este criterio.

Criterio nº3: Criterio Decreciente (cuanto menor es la inversión por beneficiario, mejor), con evaluaciones desde \$85000 (lo peor) hasta \$30000 (lo mejor). Adoptamos una escala tipo "Min-b" con  $b=100000$ , que normalizará los \$30000 a utilidad 10 y los (hipotéticos) \$100000 a utilidad 0, siendo linealmente proporcionales los intermedios. Caben también aquí otras opciones, que no serán neutrales, habiéndose escogida ésta a fin de ilustrar la posibilidad expuesta.

Criterio nº4: Idéntico que en el Criterio nº1: sus evaluaciones van de 1 a 4, siendo mejor cuanto más baja. También aquí adoptamos la escala tipo "a-b" para criterios Decrecientes, con  $a=1$  y  $b=4$ .

Las anteriores elecciones de sentido de criterios, tipo de escalas y parámetros de las mismas, se realizan en una pantalla específica del SMC, tal y como la Figura 3.6 ilustra. (pase por alto el lector las filas con conceptos aún no comentados, que en ella aparecen).

MODELO: c:\ilpes\rionegro					
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda					
<input type="checkbox"/> Recálculo Automático					
		C1	C2	C3	C4
<b>Crit:</b>		Prioridad Comunidad	% pobres atendidos	Inversión por beneficiario	Prioridad Administración
<b>Pesos</b>	Total: 100	35	30	20	15
	Crec/Decr	Decr	Crec	Decr	Decr
	Tipo Esc.	a-b	a-Max	Min-b	a-b
	Param. a	1	0		1
	Param. b	4		100000	4
	Nivel Satis.				
	PROM Ind	0	0	0	0
	PROM Pref	0	0	0	0
	Ev. Ideal	Ópt	Ópt	Ópt	Ópt
<b>A1</b>	Colegio Santa Bárbara				
<b>A2</b>	Colegio Josefina Muñoz				
<b>A3</b>	Guardería Santa Ana				
<b>A4</b>	Biblioteca El Porvenir				

Figura 3.6

Hecho lo anterior, podemos introducir ya las evaluaciones de cada alternativa, respecto a cada criterio (Figura 3.7)

MODELO: c:\ilpes\trionegro					
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda					
<input type="checkbox"/> Recálculo Automático					
		C1	C2	C3	C4
Crit:		Prioridad Comunidad	% pobres atendidos	Inversión por beneficiario	Prioridad Administración
<b>Pesos</b>	Total: 100	35	30	20	15
A1	Colegio Santa Bárbara	2	72	85000	1
A2	Colegio Josefina Muñoz	1	89	77000	1
A3	Guardería Santa Ana	3	82	30000	2
A4	Biblioteca El Porvenir	4	48	57000	3

Figura 3.7

Pueden visualizarse fácilmente las "utilidades" que el programa calcula y utilizará, a fin de que comprobemos de un vistazo que no hemos cometido errores de bulto (olvidarnos de poner como Decreciente un criterio a minimizar, etc.) (Figura 3.8).

MODELO: c:\ilpes\trionegro					
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda					
<input type="checkbox"/> Recálculo Automático					
HOJA DE UTILIDADES					
		C1	C2	C3	C4
Crit:		Prioridad Comunidad	% pobres atendidos	Inversión por beneficiario	Prioridad Administración
<b>Pesos</b>	Total: 100	35	30	20	15
A1	Colegio Santa Bárbara	6.67	8.09	2.14	10.00
A2	Colegio Josefina Muñoz	10.00	10.00	3.29	10.00
A3	Guardería Santa Ana	3.33	9.21	10.00	6.67
A4	Biblioteca El Porvenir	0.00	5.39	6.14	3.33

Figura 3.8

En este punto de nuestro análisis es interesante que comparemos las utilidades anteriores con los "puntajes" que en la página 81 del mencionado trabajo de Sanín y Saldarriaga(1995) se atribuyen a las evaluaciones. Dichos puntajes no dejan de ser un tanto arbitrarios, a pesar del procedimiento sistemático y riguroso mediante el que se describe su obtención, ya que no tienen ciertas propiedades matemáticamente deseables, como la de la proporcionalidad.

Así, por ejemplo, en el criterio nº2 puede observarse en la Figura 3.8 que la utilidad de la alternativa A4 es 5.39 y la de la alternativa A2 es 10, siendo esta misma proporción la que tenían las evaluaciones originales (48 y 89) de dichas alternativas:  $48/89=0.539$ . Los puntajes para dichas alternativas son sin embargo, en Sanín y Saldarriaga(1995), de 10 y 30 respectivamente, por lo que su relación de 1/3 no mantiene la proporcionalidad de las evaluaciones originales.

Esto podrá repercutir, como así veremos que ocurre, en las puntuaciones globales de los proyectos y la jerarquización que como consecuencia se les atribuye.

Pero antes de calcular tales cosas será bueno efectuar unos preanálisis. Comencemos por el de Dominación, cuyos resultados aparecen en la Figura 3.9

MODELO: c:\ilpes\trionegro			
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda			
		<input checked="" type="button" value="Salir"/> <input type="checkbox"/> Recálculo Automático	
RELAC. DE DOMINACIÓN DE PARETO			
		C1	Alt. es dominada por las Alternativas
Crit:		Prioridad Comunid	A1 A2 A3
Pesos	Total: 100	35	A4
A1	Colegio Santa Bárbara	2	
A2	Colegio Josefina Muñoz	1	
A3	Guardería Santa Ana	3	
A4	Biblioteca El Porvenir	4	

Figura 3.9

Puede apreciarse que dos de los proyectos no son eficientes, en el sentido de que están dominados por algún otro. Así, por ejemplo, la alternativa A1 está dominada por la A2 ya que, compruébelo el lector, es peor en los tres primeros criterios e igual en el cuarto.

Si está claro que sólo puede llevarse a cabo un único proyecto, podríamos eliminar estos dos proyectos dominados de análisis posteriores, pues nunca sería racional elegir uno de ellos pudiendo elegir otro que le domina. Pero recordemos aquí las consideraciones hechas en la subsección 2.6 respecto al "segundón brillante": tal vez interese conservar los proyectos dominados (excepto el caso de aquél que fuese dominado por todos los demás) por si posteriormente se descartan por alguna razón los que le dominan, pues pueden aún ser una buena opción frente a los restantes.

Cualquiera de las dos posibilidades (mantenerlas o marcarlas como eliminadas a las alternativas dominadas) las permite efectuar fácilmente el SMC. En nuestro ejemplo, si deseásemos lo segundo, la Figura 3.10 nos muestra cómo aparecerían marcadas (con una D de Dominada) tales alternativas, y ya no se tendrían en cuenta en los cálculos de ordenación (aun cuando siguen vivos sus datos y pueden reactivarse en cualquier momento, a voluntad del decisor).

MODELO: c:\ilpes\trionegro						
Modelo		Edición	Preanálisis	Global	Informes	Ayuda
						<input type="checkbox"/> Recálculo Automático
Resultados Pond. Lineal						
			C1	C2	C3	C4
Crit:			Prioridad Comunidad	% pobres atendidos	Inversión por beneficiario	Prioridad Administración
Pesos	Total: 100		35	30	20	15
A1	Colegio Santa Bárbara	D 2	72	85000	1	
A2	Colegio Josefina Muñoz	1	89	77000	1	
A3	Guardería Santa Ana	3	82	30000	2	
A4	Biblioteca El Porvenir	D 4	48	57000	3	

Figura 3.10

Independientemente de lo anterior puede realizarse también un preanálisis de Satisfacción, como por ejemplo el siguiente: Se considera que un proyecto que no cubra al menos un 50% de pobres atendidos no puede ser satisfactorio. El SMC nos ayuda fácilmente a detectar tales proyectos, si existen, sin más que introducir este nivel de satisfacción (50) para el criterio nº2 en la pantalla ya conocida de características de los criterios (Figura 3.11)

MODELO: c:\ilpes\trionegro					
Modelo Edición Preactual Global Informes Ayuda					
					<input type="checkbox"/> Recálculo Automático
Resultados Pond. Lineal					
		C1	C2	C3	C4
Crit:		Prioridad Comunidad	% pobres atendidos	Inversión por beneficiario	Prioridad Administración
Pesos	Total: 100	35	30	20	15
	Crec/Decr	Decr	Crec	Decr	Decr
	Tipo Esc.	a-b	a-Max	Min-b	a-b
	Param. a	1	0		1
	Param. b	4		100000	4
	Nivel Satis.		50		
	PROM Ind	0	0	0	0
	PROM Pref	0	0	0	0
	Ev. Ideal	Ópt	Ópt	Ópt	Ópt
A1	Colegio Santa Bárbara	D 2	72	85000	1
A2	Colegio Josefina Muñoz	1	89	77000	1
A3	Guardería Santa Ana	3	82	30000	2
A4	Biblioteca El Porvenir	D 4	48	57000	3

Figura 3.11

Las alternativas insatisfactorias que se detecten (la A4 en nuestro caso), pueden de nuevo dejarse activas o no, a voluntad del decisor, como muestra la Figura 3.12, donde dicha alternativa A4 aparece con una V de Vetada (además de las antes detectadas como dominadas, aún marcadas como tales por el decisor).



MODELO: c:\ilpes\rionegro							
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda							
						<input type="checkbox"/> Recálculo Automático	
Resultados Pond. Lineal							
			C1	C2	C3	C4	
Crit:			Prioridad Comunidad	% pobres atendidos	Inversión por beneficiario	Prioridad Administración	
<b>Pesos</b>	Total: 100		35	30	20	15	
<b>A1</b>	Colegio Santa Bárbara	D	2	72	85000	1	
<b>A2</b>	Colegio Josefina Muñoz		1	89	77000	1	
<b>A3</b>	Guardería Santa Ana		3	82	30000	2	
<b>A4</b>	Biblioteca El Porvenir	D	4	48	57000	3	

Figura 3.12

Desactivemos las alternativas dominadas, pero no la alternativa insatisfactoria anterior, y pidamos al SMC que calcule por Ponderación Lineal (su método básico de ordenación agregada) las puntuaciones globales. La Figura 3.13 lo recoge.

MODELO: c:\ilpes\rionegro								
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda								
						<input type="checkbox"/> Recálculo Automático		
Resultados Pond. Lineal								
			C1	C2	C3	C4	Punt. Gl. (de 4 alt.)	Orden
Crit:			Prioridad Comunidad	% pobres atendidos	Inversión por beneficiario	Prioridad Administración		
<b>Pesos</b>	Total: 100		35	30	20	15		
<b>A1</b>	Colegio Santa Bárbara		2	72	85000	1	A1 6.69	3
<b>A2</b>	Colegio Josefina Muñoz		1	89	77000	1	A2 8.66	1
<b>A3</b>	Guardería Santa Ana		3	82	30000	2	A3 6.93	2
<b>A4</b>	Biblioteca El Porvenir	V	4	48	57000	3	A4 3.35	VET

Figura 3.13

Puede observarse que se calculan las puntuaciones globales de todas las alternativas, incluso la de marcada como insatisfactoria, y el orden correspondiente (la jerarquización) a tales puntuaciones globales, aunque ahora la VETada no se tiene en cuenta en dicho orden.

El decisor prefiere desactivar ahora como vetada a la alternativa A4, con lo que la pantalla anterior queda como en la Figura 3.14.

MODELO: c:\ilpes\trionegro								
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda								
							<input type="checkbox"/> Recálculo Automático	
							Resultados Pond. Lineal	
		C1	C2	C3	C4		Punt. Gl. (de 4 alt.)	Orden
Crit:		Prioridad Comunidad	% pobres atendidos	Inversión por beneficiario	Prioridad Administración			
<b>Pesos</b>	Total: 100	35	30	20	15			
A1	Colegio Santa Bárbara	2	72	85000	1	A1	6.69	3
A2	Colegio Josefina Muñoz	1	89	77000	1	A2	8.66	1
A3	Guardería Santa Ana	3	82	30000	2	A3	6.93	2
A4	Biblioteca El Porvenir	4	48	57000	3	A4	3.35	4

Figura 3.14

La jerarquización A2-A3-A1-A4 aquí obtenida difiere ligeramente de la A2-A1-A3-A4 que aparece en la página 81 del Sanín y Saldarriaga(1995), y la explicación reside en la ya comentada diferente normalización de evaluaciones allí seguida. Puede apreciar así el lector, una vez más, la gran influencia de este necesario procedimiento en los resultados finales.

A título de curiosidad, ya que no hemos visto en detalle este método de agregación en la sección 2, la Figura 3.15 recoge la ordenación final de las alternativas cuando se emplea el método Promethee, uno de los más reconocidos dentro de la categoría de los de Relaciones de Superación.

MODLLO: c:\ilpes\trionegro									
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda									
<input type="button" value="Salir"/> <input type="checkbox"/> Recálculo Automático									
Resultados PROMETHEE							Resultados Pond. Lineal		
Crit:			Fl. sal.	Fl. ent.	Fl. neto	orden	Punt. Gl.	Orden	
							(de 4 alt.)		
<b>Pesos</b>	Total: 100								
<b>A1</b>	Colegio Santa Bárbara	<b>A1</b>	0.32	0.39	-0.06	3	<b>A1</b>	6.69	3
<b>A2</b>	Colegio Josefina Muñoz	<b>A2</b>	0.61	0.10	0.51	1	<b>A2</b>	8.66	1
<b>A3</b>	Guardería Santa Ana	<b>A3</b>	0.42	0.32	0.10	2	<b>A3</b>	6.93	2
<b>A4</b>	Biblioteca El Porvenir	<b>A4</b>	0.10	0.65	-0.55	4	<b>A4</b>	3.35	4

Figura 3.15

Puede apreciarse que la ordenación final es idéntica a la obtenida por Ponderación Lineal, lo que en general no tiene por qué ocurrir dados los diferentes fundamentos teóricos de ambos métodos. El que así ocurra en nuestro caso es un indicio más de la solvencia de los resultados obtenidos.

Finalmente, unos análisis de sensibilidad nos permitirán calibrar aún más algunas particularidades de la jerarquización obtenida. Comencemos por obtener los Intervalos de Estabilidad de pesos (véase la subsección 2.11). El SMC nos es ahora imprescindible, pues los procedimientos de cálculo no son triviales. Podemos escoger el número de alternativas que deseamos permanezcan fijas en sus primeras posiciones. Así, si fijamos que sean todas, los resultados son los de la Figura 3.16:

INTERVALOS DE ESTABILIDAD PARA LOS PESOS (4 alt)			
Crit	Nombres	Pesos	Intervalos
C1	Prioridad Comunidad	35	[9.10 , 42.26]
C2	% pobres atendidos	30	[8.48 , Inf]
C3	Inversión por beneficiario	20	[16.92 , 45.71]
C4	Prioridad Administración	15	[0 , 22.26]

Figura 3.16

Puede apreciarse, por ejemplo, que cualquier valor del peso del criterio n°2 que sea superior a 8.48 produciría la misma jerarquización final de los proyectos que la que ahora se tiene.

Los resultados son aún más llamativos si se calculan los Intervalos de Estabilidad cuando exigimos que tan sólo 1 alternativa (la primera, naturalmente) mantenga su posición (Figura 3.17).

INTERVALOS DE ESTABILIDAD PARA LOS PESOS (1 alt)			
Crit	Nombres	Pesos	Intervalos
C1	Prioridad Comunidad	35	[9.10 , Inf]
C2	% pobres atendidos	30	[0 , Inf]
C3	Inversión por beneficiario	20	[0 , 45.71]
C4	Prioridad Administración	15	[0 , Inf]

Figura 3.17

Según estos resultados, hay dos criterios cuyos pesos podrían ser cualesquiera sin que la primera posición del proyecto A2 se alterase. Dicho de otra forma, los criterios nº2 y nº4 se revelan irrelevantes para la decisión de qué proyecto educativo seleccionar, ya que en todo caso va a ser el Proyecto A2 el mejor situado.

Otro tipo de análisis de sensibilidad posible de efectuar se basa en la capacidad del SMC de calcular puntuaciones globales intervalo, cuando le falta información completa de las evaluaciones. Para ilustrar esta idea imaginemos que del proyecto A2 aún no disponemos del dato de su inversión por beneficiario. Dejemos pues en blanco esta evaluación en la pantalla de trabajo del SMC (Figura 3.18)

MODELO: c:\ilpes\trionegro						
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda						
<input checked="" type="checkbox"/> Recálculo Automático						
		C1	C2	C3	C4	
Crit:		Prioridad Comunidad	% pobres atendidos	Inversión por beneficiario	Prioridad Administración	
<b>Pesos</b>	Total: 100	35	30	20	15	
<b>A1</b>	Colegio Santa Bárbara	2	72	85000	1	
<b>A2</b>	Colegio Josefina Muñoz	1	89		1	
<b>A3</b>	Guardería Santa Ana	3	82	30000	2	
<b>A4</b>	Biblioteca El Porvenir	4	48	57000	3	

Figura 3.18

Si ahora pedimos calcular las puntuaciones globales por Ponderación Lineal, se obtienen los resultados de la Figura 3.19.

MODELO: c:\ilpes\trionegro							
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda							
<input checked="" type="checkbox"/> Recálculo Automático							
Resultados Pond. Lineal							
		C1	C2	C3	C4	Punt. Gl. (de 4 alt.)	Orden
Crit:		Prioridad Comunidad	% pobres atendidos	Inversión por beneficiario	Prioridad Administración		
<b>Pesos</b>	Total: 100	35	30	20	15		
<b>A1</b>	Colegio Santa Bárbara	2	72	85000	1	<b>A1</b> 6.26-6.69	2
<b>A2</b>	Colegio Josefina Muñoz	1	89		1	<b>A2</b> 8.00-10.00	1
<b>A3</b>	Guardería Santa Ana	3	82	30000	2	<b>A3</b> 4.93-6.93	3
<b>A4</b>	Biblioteca El Porvenir	4	48	57000	3	<b>A4</b> 2.12-3.35	4

Figura 3.19

Las puntuaciones globales de las alternativas son ahora unos intervalos, en lugar de valores concretos. Aún así, y en este caso, puede observarse una característica muy interesante de la alternativa A2: el extremo inferior de su intervalo (8.00) es mejor que el extremo superior del intervalo de cualquier otra alternativa, lo que significa que ningún otro proyecto podrá desbancar al A2 sea cual sea la inversión por beneficiario que éste finalmente tenga. Esto hace que la decisión de seleccionar al Proyecto A2 sea tremendamente robusta, al menos en lo que a los costes de inversión se refiere (también lo era respecto a los pesos de los criterios nº2 y nº4, como vimos anteriormente).





- \* Población beneficiada: En número de personas. A maximizar.
- \* Prioridad política: Índice de 1 (prioridad más alta) a 4 (más baja). A minimizar.
- \* Analfabetismo: Reducción estimada en la tasa (%) de analfabetismo de la zona. A maximizar.
- \* Cobertura escolar: Incremento estimado en la tasa (%) de cobertura escolar de la zona. A maximizar.

Por otro lado, se contemplan conjuntamente otros tres proyectos de inversión en el sector sanitario, con los también cinco siguientes criterios de valoración:

- \* Inversión: En miles de \$. A minimizar.
- \* Población beneficiada: En número de personas. A maximizar.
- \* Prioridad política: Índice de 1 (prioridad más alta) a 4 (más baja). A minimizar.
- \* Mortalidad infantil: Reducción estimada en la tasa (%) de mortalidad infantil de la zona. A maximizar.
- \* Desnutrición: Reducción estimada en la tasa (%) de desnutrición escolar de la zona. A maximizar.

Se observa que los tres primeros criterios son comunes para ambos sectores, mientras que los dos últimos de cada sector son ya específicos al mismo. Los datos completos y agrupados del caso SECTORES son los que aparecen en la Figura 4.1 a continuación.

CRITERIOS: ALTERNATIVAS	Inversión	Población benef.	Prioridad política	Mortalidad infantil	Desnutric.	Analfabet.	Cobertura escolar
Proyecto 1	100	40000	1	-	-	5	15
Proyecto 2	150	60000	4	-	-	3	10
Proyecto 3	85	80000	3	-	-	4	20
Proyecto 4	135	50000	2	-	-	2	30
Proyecto 5	90	60000	1	2	2	-	-
Proyecto 6	200	80000	2	4	4	-	-
Proyecto 7	150	50000	1	1	3	-	-

**Figura 4.1: Datos del caso SECTORES**

#### 4.2. Análisis multicriterio

Procedemos a continuación a analizar el caso, utilizando de nuevo la ayuda del paquete SMC. La Figura 4.2 recoge la creación de los criterios, junto con los pesos asignados a cada uno. Se observará que los criterios se han agrupado en tres Grupos o Supercriterios denominados COMUNES, SALUD y EDUCACION. Esta agrupación en supercriterios nos va a permitir tratar independiente y conjuntamente los proyectos de los dos sectores implicados.

MODELO: c:\ilpes\sectores											
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda											
											<input checked="" type="checkbox"/> Recálculo Automático
	C1	C2	C3	**G1**	C4	C5	**G2**	C6	C7	**G3**	
Crit:	Inversión	Población benef.	Prior. polít.		Mortal. infantil	Desnutr.		Analfab.	Cobert. Escolar		
Grup:	COMUNES				SALUD			EDUCACION			
Pesos	Total: 300	50	30	20	0	75	25	0	30	70	
	Sum. Parc:			100				100			100

Figura 4.2

Los pesos asignados en la Figura 4.2 a los criterios son de dos tipos: cada Supercriterio tiene su propio peso (denominado "Sum. Parc" en la figura), y los Criterios hijos de un supercriterio tienen sus propios pesos que son una parte del peso del padre (los que aparecen en la fila "Pesos" justo encima de la de las sumas parciales).

En nuestro caso, inicialmente, todos los Supercriterios tienen peso 100 (esto ayuda a pensar al decisor en lo que ahora se dice), mientras que los criterios hijos de cada supercriterio se reparten de manera distinta ese valor, según las preferencias del decisor, tal y como puede apreciarse en la Figura 4.2. Así, por ejemplo, el criterio Inversión tiene un 50% de la importancia total del grupo COMUNES, y el criterio Mortalidad infantil un 75% de la del grupo SALUD.

Pero los Supercriterios no tienen por qué tener todos el mismo peso 100. Podemos comparar ahora entre sí dichos supercriterios y estimar que, por ejemplo, los "superpesos" de los mismos han de ser 100, 60 y 40, tal y como aparecen en la siguiente Figura 4.3. Esta elección de pesos significa dos cosas: que el decisor atribuye un 50% de la importancia total a los criterios comunes, y que la importancia relativa entre los sectores salud y educación está en la relación 60/40.

MODLLO: c:\ilpes\sectores											
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda											
<input checked="" type="checkbox"/> Recálculo Automático											
		C1	C2	C3	**G1**	C4	C5	**G2**	C6	C7	**G3**
Crit:		Inversión	Población	Prior.		Mortal.	Desnutr.		Analfab.	Cobert.	
Grup:			benef.	polít.		infantil			Escolar		
		COMUNES				SALUD			EDUCA- CION		
Pesos	Total: 200	50	30	20	0	45	15	0	12	28	
	Sum. Parc:				100			60			40

Figura 4.3

Observará el lector que al hacer lo anterior los pesos de los criterios hijos han de recomponerse proporcionalmente de manera que su suma siga siendo la que ahora se fija para cada supercriterio. Así lo ha hecho automáticamente el SMC y, por ejemplo, Mortalidad infantil tiene ahora un peso de 45, correspondiente al deseado 75% del peso (ahora 60) de su supercriterio SALUD. El SMC permite alterar en todo momento, a voluntad del decisor, tanto los pesos hijos como los pesos padres, manteniéndose siempre las proporciones debidas de los primeros respecto a los segundos.

Este mecanismo posibilita la deseada consideración conjunta de alternativas con criterios no homogéneos (en todo o en parte, como aquí) en la forma, vía evaluaciones, que ahora se dirá. Pero antes necesitamos asignar escalas de medida a los criterios recién creados. Escogemos el tipo "Min-max" para todos ellos, y ponemos que sean Decrecientes los criterios los C1 y C3.

La Figura 4.4 ofrece la matriz de decisión ya completa, con las evaluaciones de los proyectos en todos los criterios (salvo en los supercriterios que, por ser agrupaciones de criterios, no tienen evaluaciones).

MODELO: c:\ilpes\sectores											
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda											
<input checked="" type="checkbox"/> Recálculo Automático											
		C1	C2	C3	**G1**	C4	C5	**G2**	C6	C7	**G3**
Crit:		Inversión	Población benef.	Prior. polít.		Mortal. infantil	Desnutr.		Analfab.	Cobert. Escolar	
Grup:		COMUNES				SALUD			EDUCACION		
Pesos	Total: 200	50	30	20	0	45	15	0	12	28	
	Sum. Parc:				100			60			40
A1	Proyecto 1	100	40000	1		0	0		5	15	
A2	Proyecto 2	150	60000	4		0	0		3	10	
A3	Proyecto 3	95	80000	3		0	0		4	20	
A4	Proyecto 4	135	50000	2		0	0		2	30	
A5	Proyecto 5	90	60000	1		2	2		0	0	
A6	Proyecto 6	200	80000	2		4	4		0	0	
A7	Proyecto 7	150	50000	1		1	3		0	0	

Figura 4.4

Se observa que hemos puesto ceros en las evaluaciones de los proyectos de un cierto sector, correspondientes a los criterios específicos del otro sector. Ello es así porque todos los criterios

específicos de sector son a maximizar, y por tanto la evaluación 0 significa lo peor o ausencia de valor en ese criterio. Si alguno hubiese sido a minimizar, la evaluación correcta para tales casos hubiese sido la peor posible (la más alta de las existentes para los proyectos específicos de ese sector).

Con este proceder, las utilidades (evaluaciones normalizadas) son las que aparecen en la Figura 4.5, quedando evidente que los proyectos sólo puntúan en los criterios Comunes y en los específicos de su sector, y que dichas puntuaciones se compondrán ponderadas por la importancia de los pesos de los mismos.

MODELO: c:\ilpes\sectores											
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda											
<input type="checkbox"/> Recálculo Automático											
HOJA DE UTILIDADES											
		C1	C2	C3	**G1**	C4	C5	**G2**	C6	C7	**G3**
Crit:		Inversión	Población	Prior.		Mortal.	Desnutr.		Analfab.	Cobert.	
Grup:		benef.	polít.			infantil			Escolar		
		COMUNES				SALUD				EDUCA- CION	
Pesos	Total: 200	50	30	20	0	45	15	0	12	28	
	Sum. Parc:				100			60			40
A1	Proyecto 1	8.70	0.00	10.00		0.00	0.00		10.00	5.00	
A2	Proyecto 2	4.35	5.00	0.00		0.00	0.00		6.00	3.33	
A3	Proyecto 3	10.00	10.00	3.33		0.00	0.00		8.00	6.67	
A4	Proyecto 4	5.65	2.50	6.67		0.00	0.00		4.00	10.00	
A5	Proyecto 5	9.57	5.00	10.00		5.00	5.00		0.00	0.00	
A6	Proyecto 6	0.00	10.00	6.67		10.00	10.00		0.00	0.00	
A7	Proyecto 7	4.35	2.50	10.00		2.50	7.50		0.00	0.00	

Figura 4.5

Pero antes de llevar a cabo dicha agregación final, será bueno detectar las alternativas dominadas que puedan existir (Figura 4.6)

MODELO: c:\ilpes\sectores				
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda				
<input type="button" value="Salir"/> <input type="checkbox"/> Recálculo Automático				
RELAC. DE DOMINACIÓN DE PARETO				
		C1	C2	Alt. es dominada por las Alternativas
Crit:		Inversión	Población benef.	A2 A3
Grup:				
Pesos	Total: 200	50	30	
	Sum. Parc:			
A1	Proyecto 1	100	40000	
A2	Proyecto 2	150	60000	
A3	Proyecto 3	85	80000	
A4	Proyecto 4	135	50000	
A5	Proyecto 5	90	60000	
A6	Proyecto 6	200	80000	
A7	Proyecto 7	150	50000	

Figura 4.6

En efecto, el Proyecto A2 está dominado por el A3, pues, como es fácil de comprobar, es peor en todos los criterios. Comentemos, de paso, la imposibilidad de que un proyecto de un sector pueda dominar a otro de otro sector, lo que no tendría mucho sentido lógico.

Tras el preanálisis anterior, dejamos marcado como dominado al Proyecto 2 y pedimos ya la agregación por Ponderación Lineal, la cual se ofrece en la Figura 4.7

MODELO: c:\ilpes\sectores											
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda											
										<input type="checkbox"/> Recálculo Automático	
										Resultados Pond. Lineal	
		C1	C2	C3	**G1**	C4	C5	**G2		Punt. Gl. (de 7 alt.)	Orden
Crit:		Inversión	Población benef.	Prior. polít.		Mortal. infantil	Desnutr.				
Grup:		COMUNES						SALU			
Pesos	Total: 200	50	30	20	0	45	15	0			
	Sum. Parc:				100			60			
A1	Proyecto 1	100	40000	1		0	0		A1	4.47	4
A2	Proyecto 2	150	60000	4		0	0		A2	2.66	7
A3	Proyecto 3	85	80000	3		0	0		A3	5.75	1
A4	Proyecto 4	135	50000	2		0	0		A4	4.09	5
A5	Proyecto 5	90	60000	1		2	2		A5	5.64	2
A6	Proyecto 6	200	80000	2		4	4		A6	5.17	3
A7	Proyecto 7	150	50000	1		1	3		A7	3.59	6

Figura 4.7

El mejor resulta ser el Proyecto 3, del sector Educación, seguido por el Proyecto 5, del sector Salud, etc.

En este momento caemos en la cuenta de que hemos cometido un pequeño error en nuestros datos, y que la prioridad política del Proyecto 2 no es 4, como habíamos dicho, sino 3. No parece que esto vaya a tener mucha importancia en los resultados obtenidos, puesto que dicho proyecto era el peor situado de todos (posición 7 en el orden final), e incluso estaba dominado por otro!. Sin embargo, queriendo comprobarlo y para que nadie nos acuse de manipular los datos, corregimos la evaluación mencionada y procedemos a recalcular las puntuaciones globales y el orden final (Figura 4.8)



MODELO: c:\ilpes\sectores												
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda												
<input checked="" type="checkbox"/> (Recálculo Automático)												
Resultados POND. LINEAL												
		C1	C2	C3	**G1**	C4	C5	**G2**		Punt. Gl.	Orden	
Crit:		Inversión	Población	Prior.		Mortal.	Desnutr.			(de 7 alt.)		
		benef.	benef.	polít.		infantil						
Grup:		COMUNES						SALU				
Pesos	Total: 200	50	30	20	0	45	15	0				
	Sum. Parc:				100			60				
A1	Proyecto 1	100	40000	1		0	0		A1	4.47	4	
A2	Proyecto 2	150	60000	3		0	0		A2	2.66	7	
A3	Proyecto 3	85	80000	3		0	0		A3	5.41	2	
A4	Proyecto 4	135	50000	2		0	0		A4	3.93	5	
A5	Proyecto 5	90	60000	1		2	2		A5	5.64	1	
A6	Proyecto 6	200	80000	2		4	4		A6	5.00	3	
A7	Proyecto 7	150	50000	1		1	3		A7	3.59	6	

Figura 4.8

Nuestra sorpresa es grande al observar que, aun cuando dicho Proyecto 2 no altera su última posición, ni tampoco otros proyectos la suya, sí lo hacen precisamente los Proyectos 3 y 5, que pasan a intercambiar sus posiciones primera y segunda. No se trata de un error, sino de una incorrecta elección de las escalas de medida, como ahora veremos, lo que causa este indeseable efecto conocido en la literatura como "no independencia respecto a las alternativas irrelevantes" (en el capítulo 5 del Barba-Romero y Pomerol, 1996 puede verse con profundidad este curioso tema).

La aludida incorrección proviene de haber escogido una escala "Min-max" para el criterio C3, ya que entonces las evaluaciones normalizadas van a depender de cuál es la evaluación máxima en ese criterio. Esto es justamente lo que ocurre en nuestro caso al cambiar de 3 a 4 la evaluación del Proyecto 2.

Para evitarlo podemos escoger una escala del tipo "a-b" en dicho criterio, eligiendo cuidadosamente los parámetros a y b de manera que no trunquen ninguna evaluación futura de alternativas respecto a ese criterio. En el caso del criterio C3 esto es fácil, puesto que por su propia naturaleza ya sabemos que las evaluaciones van a ser siempre cifras entre 1 y 4. La Figura 4.9 muestra los cambios que haríamos en las características del criterio C3 a fin de evitar los efectos comentados.

MODLLO: c:\ilpes\sectores											
Modelo Edición Preanálisis Global Informes Ayuda											
											<input type="checkbox"/> Recálculo Automático
		C1	C2	C3	**G1**	C4	C5	**G2**	C6	C7	**G3**
Crit:		Inversión	Población benef.	Prior. polít.		Mortal. infantil	Desnutr.		Analfab.	Cobert. Escolar	
Grup:		COMUNES				SALUD			EDUCACION		
Pesos	Total: 200	50	30	20	0	45	15	0	12	28	
	Sum. Parc:				100			60			40
	Crec/Decr	Decr	Crec	Decr		Crec	Crec		Crec	Crec	
	Tipo Esc.	Min-Max	Min-Max	a-b		Min-Max	Min-Max		Min-Max	Min-Max	
	Param. a			1							
	Param. b			4							
	Nivel Satis.										
	PROM Ind	0	0	0		0	0		0	0	
	PROM Pref	0	0	0		0	0		0	0	
	Ev. Ideal	Ópt	Ópt	Ópt		Ópt	Ópt		Ópt	Ópt	
A1	Proyecto 1	100	40000	1		0	0		5	15	
A2	Proyecto 2	150	60000	4		0	0		3	10	
A3	Proyecto 3	85	80000	3		0	0		4	20	
A4	Proyecto 4	135	50000	2		0	0		2	30	
A5	Proyecto 5	90	60000	1		2	2		0	0	
A6	Proyecto 6	200	80000	2		4	4		0	0	
A7	Proyecto 7	150	50000	1		1	3		0	0	

Figura 4.9

De esta manera, los resultados correctos vuelven a ser los de la anterior Figura 4.7. El lector habrá podido apreciar que cada tipo de escala tiene sus ventajas e inconvenientes. La del tipo "Max-min" es cómoda de utilizar, pues se adapta automáticamente a los datos, pero precisamente por eso permite efectos de no independencia frente a alternativas irrelevantes. La del tipo "a-b" exige más reflexión de uso a fin de fijar adecuadamente sus parámetros, pero una vez hecho esto (lo que para ciertos criterios se hará de forma muy fácil, dada su naturaleza) "blinda" los resultados frente a los arriba mencionados indeseables efectos. El SMC permite incluso escalas mixtas, como muestran las Figuras 3.4 y 3.5.

Finalmente pediremos al SMC un análisis de Intervalos de Estabilidad, como los de las Figuras 4.10, 4.11 y 4.12, exigiendo que las primeras 7 (es decir, todas), 3 (suponiendo sólo hay financiación para tres proyectos) o 1 (es decir, sólo la primera) alternativas no han de modificar su orden final.

<b>INTERVALOS DE ESTABILIDAD PARA LOS PESOS (7 alt)</b>			
<b>Crit</b>	<b>Nombres</b>	<b>Pesos</b>	<b>Intervalos</b>
C1	Inversión	50	[40.08 , 65.93]
C2	Población benef.	30	[25.79 , 48.99]
C3	Prior. polít.	20	[1.53 , 23.16]
C4	Mortal. infantil	45	[31.14 , 49.21]
C5	Desnutr.	15	[1.14 , 19.21]
C6	Analfab.	12	[9.37 , 25.86]
C7	Cobert. Escolar	28	[24.84 , 43.17]

**Figura 4.10**

<b>INTERVALOS DE ESTABILIDAD PARA LOS PESOS (3 alt)</b>			
<b>Crit</b>	<b>Nombres</b>	<b>Pesos</b>	<b>Intervalos</b>
C1	Inversión	50	[40.08 , 65.93]
C2	Población benef.	30	[25.79 , 48.99]
C3	Prior. polít.	20	[0 , 23.16]
C4	Mortal. infantil	45	[31.14 , 49.21]
C5	Desnutr.	15	[1.14 , 19.21]
C6	Analfab.	12	[9.37 , 25.86]
C7	Cobert. Escolar	28	[24.84 , 49.44]

Figura 4.11

<b>INTERVALOS DE ESTABILIDAD PARA LOS PESOS (1 alt)</b>			
<b>Crit</b>	<b>Nombres</b>	<b>Pesos</b>	<b>Intervalos</b>
C1	Inversión	50	[38.40 , Inf]
C2	Población benef.	30	[25.79 , Inf]
C3	Prior. polít.	20	[0 , 23.16]
C4	Mortal. infantil	45	[0 , 49.21]
C5	Desnutr.	15	[0 , 19.21]
C6	Analfab.	12	[9.37 , 139.28]
C7	Cobert. Escolar	28	[24.84 , 127.12]

Figura 4.12

Como era de esperar, los intervalos van siendo cada vez más amplios. En el último supuesto (que sólo permanezca invariable la mejor alternativa), algunos pesos de criterios pueden ya variar

ampliamente. Pero en este caso, en contraste con el caso Rionegro de la sección anterior, todos los criterios son relevantes: es decir, todos influyen en dicha primera posición del Proyecto 3, en el sentido de que podrían alterarla con una adecuada variación del peso que ahora tienen.

## 5. INTERDEPENDENCIA DE LOS PROYECTOS

### 5.1. Introducción

Es frecuente que el conjunto de proyectos de inversión, respecto a los cuales hay que hacer una selección, exhiban cierta interdependencia mutua en mayor o menor grado. Dicha interdependencia puede venir generada por diversas causas externas, generalmente difíciles de modelizar (influencias de tipo macroeconómico, social o político) o bien por causas internas.

Entre estas últimas, más factibles de acoger en los modelos cuantitativos de selección, pueden citarse las siguientes: Los condicionamientos de tipo lógico-técnico (por ejemplo, que un proyecto no puede comenzarse si previamente no se ha terminado otro); los recursos limitados (financieros, humanos, tecnológicos, ...) que necesariamente han de compartir los proyectos seleccionados; las interacciones y sinergias de resultados y de costes (economías y deseconomías de escala) que pueden producirse por la ejecución simultánea de algunos proyectos; etc.

Un caso muy habitual de interdependencia es el que aparece en razón de las universales limitaciones presupuestarias que suelen presentarse en la realidad. Consideremos la frecuente situación de que exista un Fondo de Inversión con el que deban financiarse unos cuantos proyectos de entre todos los posibles candidatos.

Para mostrar de una manera simple cómo este hecho afecta y complica el proceso de toma de decisiones, retomemos por un momento la jerarquización final que aparecía en la Figura 4.7 del caso SECTORES de la sección anterior, junto con la inversión que cada proyecto requería. Todo ello aparece sintetizado en la Figura 5.1.

Puntuación Global	Proyecto	Inversión	Inversión acumulada
5.75	A3	85	85
5.64	A5	90	175
5.17	A6	200	375
4.47	A1	100	475
4.09	A4	135	
3.59	A7	150	
2.66	A2	150	

**Figura 5.1: Jerarquización final de los proyectos del caso SECTORES**

Supongamos que el Fondo de Inversión del que se dispone tiene una cuantía de 410 (miles de \$). Por lo tanto, avanzando a lo largo de la lista anterior, sólo podríamos abordar los tres primeros proyectos, por un monto total de 375 mil\$.

Sin embargo, pueden considerarse otras posibilidades que tienen sus ventajas. Por ejemplo: ¿Por qué no seleccionar los proyectos A3, A5, A1 y A4, con una inversión total acumulada de justamente 410 mil\$?. Evidentemente nos hemos "saltado" al proyecto A6, mejor situado que los A1 y A4 que le siguen en la lista, pero de esta manera se ejecutarían cuatro proyectos en lugar de tres y se utilizaría a tope el Fondo de Inversión disponible. Tal vez, incluso, existan otras combinaciones interesantes, no tan fáciles de ver como ésta.

Un tratamiento adecuado de problemáticas como la expuesta, o de otras más sofisticadas como las de las sinergias y dependencias lógico-temporales que pueden existir entre los proyectos, sintéticamente esbozadas al inicio de esta subsección, exige recurrir a herramientas de Optimización Combinatoria (o en números enteros) cuya descripción y utilización están fuera de nuestro alcance aquí.

Debido a la mayor complicación analítica y operativa de este tipo de herramientas, el anterior enfoque de análisis no ha estado muy generalizado en los últimos años, salvo en ciertas organizaciones poderosas y tecnológicamente punteras. Sólo recientemente, con el auge de la informática personal, está comenzando a cambiar esta situación y empiezan a utilizarse con mayor intensidad, y en multitud de contextos descentralizados, las técnicas mencionadas.



Considerando el problema en su máximo nivel de complejidad (Multicriterio e Interdependencia), podría elegirse la siguiente vía de ataque. Comenzaríamos obteniendo la puntuación global (o índice de mérito) de cada uno de los proyectos, utilizando las técnicas ya comentadas de la Decisión Multicriterio, lo que produce una jerarquización inicial.

A continuación emplearíamos las técnicas de la Optimización Combinatoria a fin de seleccionar la lista de proyectos que, cumpliendo todas y cada una de las interdependencias establecidas bajo la forma de restricciones del modelo, optimizase la suma de los índices de mérito de los proyectos finalmente escogidos para realizarse.

Este enfoque conceptual, que recientemente está siendo utilizado en variados contextos de toma de decisiones por diversos autores (Golabi,1985; Liberatore,1987; Brans y Mareschal,1990), puede desarrollarse bajo la forma de un SIAD o sistema informático dedicado al tipo de problemas que en cada caso interese.

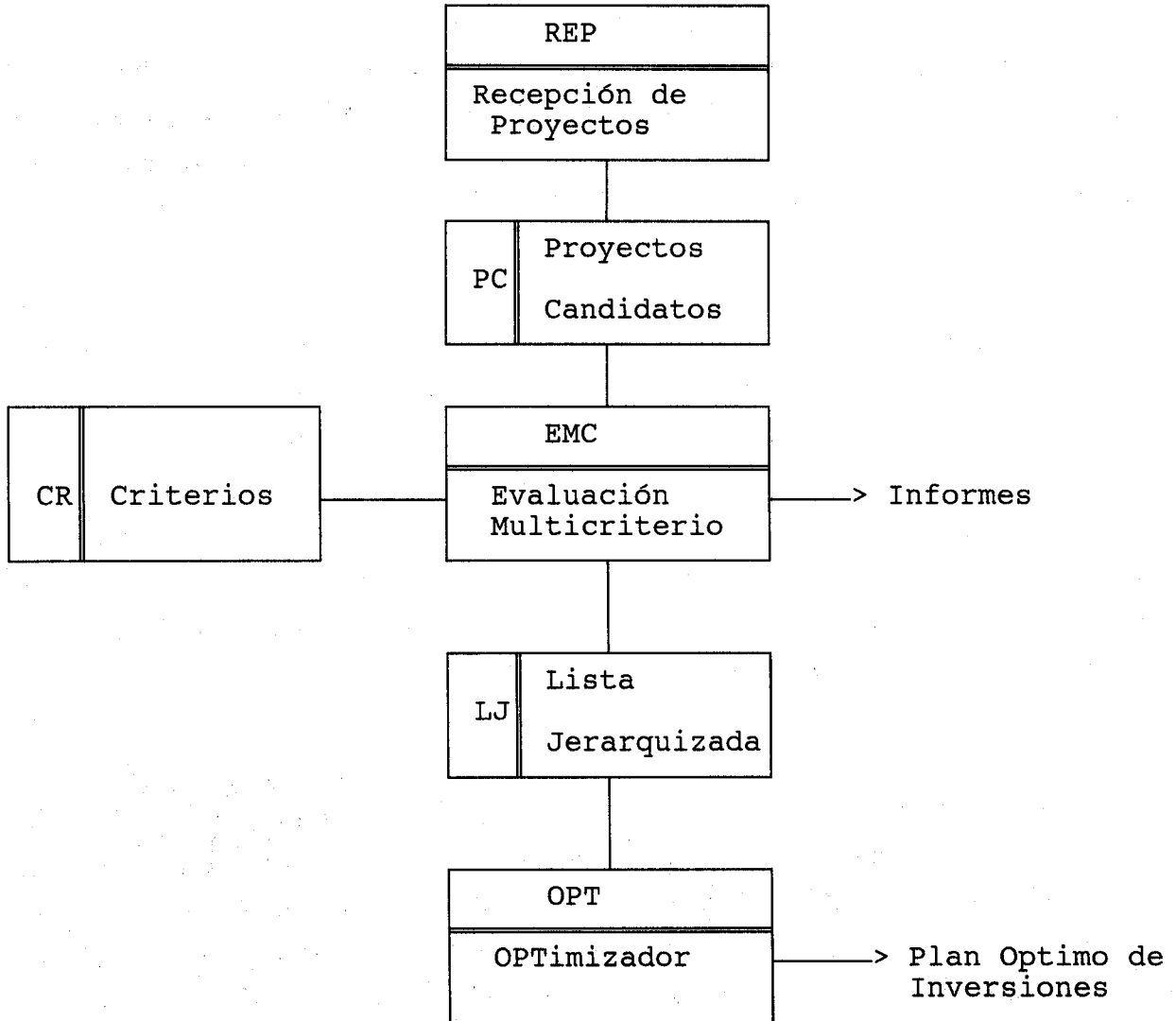
La próxima subsección 5.2 esboza una propuesta de sistema informático expresamente adaptado a la problemática de selección de proyectos de inversión pública que aquí nos atañe.

## 5.2. Propuesta de sistema informático

La Figura 5.2 describe la interrelación de los elementos (módulos de proceso y bancos de datos) constituyentes de un posible sistema de Selección de Proyectos de Inversión, construible de acuerdo con la propuesta teórica esbozada en el último párrafo de la anterior subsección 5.1.

El **módulo REP** (REcepción de Proyectos) sería el que admitiría las propuestas de posibles proyectos de inversión en un formato y mediante un procedimiento estandarizado. Aquí se realizaría ya, por personal no excesivamente especializado, e incluso a nivel descentralizado, una primera evaluación y cuantificación de los proyectos, e incluso un primer filtrado del tipo preanálisis de satisfacción, siguiendo directrices preestablecidas. Las propuestas factibles y ya evaluadas se almacenarían en el **banco de datos PC** (Proyectos Candidatos).

De este banco se alimentaría el segundo **módulo EMC** (Evaluación MultiCriterio), de acuerdo con los criterios y parámetros que en cada momento se estableciesen o se tomasen del **banco de datos CR** (Criterios). El usuario, que ahora ya sería un decisor o un experto del órgano centralizado responsable de seleccionar las inversiones, manejaría esta información de forma interactiva y podría efectuar diversos análisis con metodología multicriterio.



**Figura 5.2: Esquema general de la Propuesta**

El resultado principal del análisis del módulo EMC, además de una diversidad de informes posibles en modo interactivo, lo constituiría una Lista Jerarquizada de los proyectos analizados, en la que estos aparecerían ordenados según el Índice de Mérito global obtenido por cada uno (o marcados como insatisfactorios, si no superan los umbrales de satisfacción establecidos). El **banco de datos LJ** almacenaría tales listas.

De dicho banco LJ, además de desde otras fuentes de datos (PC, etc.), se alimentaría el **módulo final OPT**imizador a fin de obtener un Plan Optimo de Inversiones que pudiese tener en cuenta las interdependencias y restricciones adicionales que se considerasen oportunas. Tales interdependencias podría introducir las el decisor en forma amigable y flexible, con absoluta transparencia de los entresijos algorítmicos del módulo de optimización.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Angehrn,A. y Jelassi,T.(1994), DSS research and practice in perspective, Decision Support Systems, vol.12, pp.267-275.
- Antunes,C.H., Almeida,L.A., Lope,S.V. y Clímaco,J.N.(1994), A decision support system dedicated to discrete multiple criteria problems, Decision Support Systems, vol.12, pp.327-335.
- Balestra,G. y Tsoukias,A.(1990), Multicriteria analysis represented by artificial intelligence techniques, Journal of the Operational Research Society, vol.41, nº5, pp.419-430.
- Barba-Romero,S.(1987), Panorámica actual de la decisión multicriterio discreta, Investigaciones Económicas, vol.XI nº2, pp.279-308.
- Barba-Romero,S.(1988), Un sistema de soporte a las decisiones multicriterio discretas, Novática, vol.XIV, nº72, pp.15-22.
- Barba-Romero,S.(1994), Evaluación multicriterio de proyectos, en Martínez,E.(Ed.), Ciencia, Tecnología y Desarrollo: Interrelaciones Teóricas y Metodológicas, Ed. Nueva Sociedad, Caracas, pp.455-507.
- Barba-Romero,S. y Pomerol,J-Ch.(1996), Decisiones Multicriterio: Fundamentos teóricos y utilización práctica, Abacus, Madrid.
- Brans,J.P., Vincke,Ph. y Mareschal,B.(1986), How to select and how to rank projects: the PROMETHEE method, European Journal of Operational Research, vol.24, pp. 228-238.
- Brans,J-P. y Mareschal,B.(1990), PROMETHEE V: MCDM problems with segmentation constraints, Vrije Universiteit Brussel, STOOTW/250.
- Churchman,C.W. y Ackoff,R.L.(1954), An approximate measure of value, Journal of the Operational Research Society of America, vol.2, nº2, pp.172-187.
- Golabi,K.(1985), Selecting a portfolio of nonhomogeneous R&D proposals, European Journal of Operational Research, vol.21, no.3, pp.347-357.

Hong,H.B. y Vogel,D.R.(1991), Data and model management in a generalized MCDM-DSS, Decision Sciences, vol.22, pp.1-25.

Hwang C. y Yoon K., 1981, Multiple attribute decision making. Methods and applications survey, Springer.

Kendall M., 1970, Rank correlation methods, Charles Griffin, London, 4<sup>th</sup> edition.

Khorramshahgol,R. y Moustakis,V.S.(1988), Delphic hierarchy process (DHP): A methodology for priority setting derived from the Delphic method and analytical hierarchy process, European Journal of Operational Research, vol.37, nº3, pp.347-354.

Knoll,A.L. y Engelberg,A.(1978), Weighting multiple objectives. The Churchman-Ackoff technique revisited, Computers and Operations Research, vol.5, pp.165-177.

Lara,B.(1989), Patologías de la decisión humana, Diario El País, Madrid, 20 de marzo de 1989, p.20.

Lévine,P. y Pomerol,J.Ch.(1986), PRIAM, an interactive program for choosing among multiple attribute alternatives, European Journal of Operational Research, vol.25, pp.272-280.

Lévine,P. y Pomerol,J.Ch.(1989), Systèmes Interactifs d'Aide à La Décision et Systèmes Experts, Hermes, Paris.

Liberatore,M.(1987), An extension of the Analytic Hierarchy Process for industrial R&D, IEEE Trans. Engineering Management, vol.34, no.1, pp.12-18.

Miller,G.A.(1956), The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information, Psychological Review, vol.63, pp.81-97.

Nutt P.C., 1980, "Comparing methods for weighting decision criteria", OMEGA, vol.8 no.2, pp.163-172.

Ortegón,E.(1994), Manual de jerarquización de proyectos, Manual ILPES LC/IP/L.92, Santiago de Chile.

Reyes,J. y Barba-Romero,S.(1986), Expert systems and multicriteria decision making, presented at EURO VIII, Eight European Conference on Operational Research, Lisboa.

Romero,C.(1993), Teoría de La Decisión Multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones, Alianza, Madrid.

Roy,B.(1985), Methodologie Multicritère d'Aide a La Décision, Economica, Paris.

Saaty,T.L.(1977), A scaling method for priorities in hierarchical structures, Journal of Mathematical Psychology, vol.15, nº3, pp.234-281.

Sanín,H. y Saldarriaga,G.(1995), Guía para la preparación y ejecución de planes de inversión municipal, Manual ILPES LC/IP/L.113, Santiago de Chile.

Schärliig,A.(1985), Décider sur Plusieurs Critères, Presses Polytechniques Romandes, Lausanne.

Simon,H.A.(1955), A behavioral model of rational choice, Quarterly Journal of Economics, vol.69, nº1, pp.99-114.

Simon,H.A.(1960), The New Science of Management Decision, Harper and Brothers, New York.

Vera,P. y Aldunate,E.(1995), Guía para la identificación y formulación de proyectos de educación, Manual ILPES LC/IP/L.96, Santiago de Chile.

# DIRECCION DE PROYECTOS Y PROGRAMACION DE INVERSIONES

## INDICE

RESUMEN

PROLOGO

1. INTRODUCCION
2. ELEMENTOS TEORICOS DE LA DECISION MULTICRITERIO
  - 2.1 La metodología multicriterio para la toma de decisiones
  - 2.2 El marco de trabajo de la decisión multicriterio
  - 2.3 Identificación de alternativas
  - 2.4 Estructuración de los criterios
  - 2.5 Cuantificación y normalización de evaluaciones
  - 2.6 Preanálisis de dominación
  - 2.7 Preanálisis de satisfacción
  - 2.8 Asignación de pesos
  - 2.9 Métodos de ordenación agregada
  - 2.10 Método de ponderación lineal
  - 2.11 Análisis de sensibilidad
  - 2.12 Soportes informáticos para la decisión multicriterio
  - 2.13 El paquete informático SMC: un soporte multicriterio
3. EJEMPLO DE APLICACION N° 1: Proyectos de Inversión Educativa en el Municipio de Río negro
  - 3.1 Descripción del caso RIONEGRO
  - 3.2 Análisis multicriterio
4. EJEMPLO DE APLICACION N° 2: Selección Multicriterio de Proyectos de Inversión en varios sectores
  - 4.1 Descripción del caso SECTORES
  - 4.2 Análisis multicriterio
5. INTERDEPENDENCIA ENTRE LOS PROYECTOS
  - 5.1 Introducción
  - 5.2 Propuesta de sistema informático
6. BIBLIOGRAFIA