



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA
Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

ÁREA DE CONOCIMIENTO: ING. DE SISTEMAS
CAMPO DISCIPLINARIO: PLANEACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

*Pautas para la selección de las técnicas
AHP, PROMETHEE y Ábaco de Régnier modificado*

T E S I S

Que para obtener el grado de

MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:

Ing. Elvia Ivonne Vergara Maldonado

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Gabriel de las Nieves Sánchez Guerrero

Ciudad Universitaria, México D. F.

2010



JURADO ASIGNADO:

Presidente:	Dr. Benito Sánchez Lara
Secretario:	Dr. Juan Manuel Estrada Medina
Vocal:	Dr. Gabriel de las Nieves Sánchez Guerrero
1er. Suplente:	Dr. Tomás Bautista Godínez
2do. Suplente:	M. I. Gustavo Rocha Beltrán

LUGAR DONDE SE REALIZÓ LA TESIS:

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México,
Ciudad Universitaria, México D. F.

Director de Tesis:

Dr. Gabriel de las Nieves Sánchez Guerrero

Firma

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería por recibirme nuevamente en sus aulas y brindarme la oportunidad de crecer personal y profesionalmente.

A los miembros de mi Jurado de Examen de Grado: M. en Ing. Gustavo Rocha Beltrán, Dr. Benito Sánchez Lara, Dr. Juan Manuel Estrada Medina, Dr. Tomás Bautista Godínez; por su orientación y sugerencias para mejorar esta tesis.

A mi Director de Tesis, Dr. Gabriel de las Nieves Sánchez Guerrero; por su tiempo, sus enseñanzas, y por ser guía y apoyo en este proceso.

A mi familia y amigos por su invaluable compañía, por brindarme ánimos y tener siempre para mí paciencia y palabras de aliento.

Al CONACYT por el financiamiento recibido para realizar mis estudios de maestría.

ÍNDICE

	Pág.
Resumen	5
Introducción	6
1. La toma de decisiones	
1.1 La importancia de la toma de decisiones	9
1.2 Desarrollo histórico de la toma de decisiones	11
1.3 La toma de decisiones multicriterio	13
1.4 La toma de decisiones multicriterio en procesos de grupo	14
1.5 El papel del practicante como apoyo en procesos de toma de decisiones multicriterio	20
2. Técnicas de apoyo para la toma de decisiones multicriterio	
2.1 Conceptos fundamentales de las técnicas	22
2.2 Evolución de las técnicas multicriterio	27
2.3 Principales enfoques en el análisis multicriterio	29
2.4 Técnicas multicriterio más empleadas	31
2.5 El problema a resolver: cómo elegir la técnica apropiada	32
3. Definición de los criterios	
3.1 Aproximación al estado del arte	43
3.2 Clasificación de los criterios estudiados	52
3.3 Criterios propuestos	61
4. Aplicación de los criterios para caracterizar las técnicas AHP, PROMETHEE y Ábaco de Régnier modificado	
4.1 Caracterización de la técnica AHP	68
Descripción de la técnica	69
El software Expert Choice	72
Ventajas y desventajas de AHP	73
Caracterización de AHP respecto a los criterios propuestos	74
4.2 Caracterización de la técnica PROMETHEE	76
Descripción de la técnica	76
El software Decision Lab	84
Ventajas y desventajas de PROMETHEE	84
Caracterización de PROMETHEE respecto a los criterios propuestos	85
4.3 Caracterización de la técnica Ábaco de Régnier	87
Descripción de la técnica original	87
Modificación propuesta: El Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio	90
Ventajas y desventajas de la propuesta	97
Caracterización de la propuesta respecto a los criterios propuestos	98
4.4 Pautas para la selección de las técnicas AHP, PROMETHEE y Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio	101
5. Conclusiones y recomendaciones	103
Referencias	105

RESUMEN

La gran variedad de técnicas disponibles para hacer frente a problemas de decisión con criterios múltiples ha dificultado la selección de estos métodos, ya que ninguno de ellos puede ser considerado como el “mejor”. Cada técnica tiene características que la hacen más o menos apropiada para determinadas situaciones, mientras que las particularidades de estas mismas situaciones hacen necesario el seleccionar una técnica multicriterio que favorezca el proceso de toma de decisiones y permita aprovechar los recursos invertidos en dicho proceso. En el mundo real, los practicantes se enfrentan ante un dilema cuando tratan de seleccionar una técnica y optan por aplicar aquella que mejor conocen, adaptando la situación a la técnica y no lo contrario. Esta problemática ha sido abordada por diversos autores, desde enfoques distintos, convergiendo la solución en el establecimiento de criterios que permitan diferenciar las prestaciones de uno u otro método. Mediante la revisión y análisis de dichas aportaciones, en este estudio se diseñaron 9 criterios para diferenciar las técnicas desde el punto de vista de las necesidades del practicante. Finalmente, se generaron pautas para la selección y aplicación de las técnicas PROMETHEE, AHP y Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio.

ABSTRACT

The wide variety of available techniques to deal with decision problems based on multiple criteria has made it difficult to select a method, since none of them can be considered as “the best”. On the one hand, the particularities of each technique, make it more or less appropriate for specific situations, and on other hand, the particularities of these situations make it necessary to select a multiple criteria technique that promotes the decision making process and that allows to take advantage of the resources invested in this process. In the real world, practitioners face a dilemma when they are trying to select a technique to solve a problem and they end up choosing to use the one they know best, trying to suit the situation to the technique instead of the opposite. This problem has been studied by several authors from different approaches, but converging in the establishment of criteria that allows differentiating the performance and applicability of each method. Through review and analysis of those criteria, this document proposes 9 criteria in order to differentiate these techniques from the practitioner's point of view and his/her needs, and it also proposes guidelines for the selection and application of techniques such as PROMETHEE, AHP and Régnier Abacus applied to multi-criteria decisions.

Introducción

La toma de decisiones es algo inherente a la naturaleza humana. Tomamos decisiones como reacción a los cambios, o bien, para provocarlos. Ante la realidad de que todo cambia y nada permanece, tomar decisiones en una actividad generalizada y constante, que marca nuestras vidas, el rumbo de las organizaciones y la historia de la humanidad. Un proceso tan generalizado y de tal trascendencia no podía dejar de ser estudiado y aunque al principio se recurrió a las estrellas o al oráculo para buscar orientación y tomar las mejores decisiones, el avance de la ciencia ha dotado a la toma de decisiones de herramientas más formales: el lenguaje matemático, la probabilidad, el riesgo, la psicología, la economía, la política, etc.

El estudio de la toma de decisiones ha ido evolucionando de acuerdo con el contexto histórico y cultural. Actualmente el mundo atraviesa por una etapa en la que pocas cosas pueden aislarse. Lo mismo ocurre con las decisiones. Ya no es suficiente saber si una alternativa es buena o no, ahora es necesario evaluarla a través de una escala determinada y enfrentarla con otras varias alternativas. Adicionalmente, este conjunto de alternativas requiere ser evaluado considerando varios criterios (económicos, políticos, ecológicos, técnicos, geográficos, etc.) con importancia distinta pero igualmente imprescindibles. La proliferación de este tipo de situaciones fue lo que motivó el surgimiento del paradigma multicriterio, mediante el cual se formalizó el análisis de la toma de decisiones bajo estas condiciones. Desde entonces el análisis de decisiones multicriterio es un área de investigación prolífica, de la que han surgido decenas de métodos numéricos, variaciones de estos, perfeccionamientos, análisis de casos especiales, aplicaciones, comparaciones, etc.

Los resultados de las técnicas multicriterio no se limitan a la obtención de una selección, una categorización o una jerarquización de alternativas. Los métodos multicriterio también pueden ser útiles para:

- Ayudar a los participantes a percibir de manera más clara la situación que será analizada a través de su estructuración en objetivos, alternativas, criterios, etc.
- Facilitar el registro, documentación y comprobación del proceso mediante el cual se toma la decisión.
- Permitir incluir la opinión de los involucrados o afectados, promover consensos y fomentar la toma de decisiones informadas.
- Servir de apoyo en la legitimación de decisiones.

Lo anterior son prestaciones adicionales a los resultados tradicionales que la aplicación de la técnica proporciona. Actualmente se busca aprovechar estas ventajas a través del empleo de técnicas multicriterio participativas en entornos organizacionales, es decir, fuera del ámbito académico que caracterizó durante mucho tiempo la investigación en esta área.

En el capítulo 2 de esta tesis se proporciona información relativa al desarrollo histórico y a los diferentes enfoques que caracterizan el análisis multicriterio. La información aportada muestra que al principio la investigación en torno a los métodos de apoyo a las decisiones multicriterio se centró en el análisis de las técnicas y sus complicaciones. El reto ahora es generalizar las técnicas con el fin de promover su utilización práctica. No es una tarea fácil si tomamos en cuenta el número de técnicas que existen, las diferencias entre ellas, el tipo de problemas que abordan, la información que requieren, la complejidad de los cálculos, las diferencias en los algoritmos, el enfoque desde el cual fueron concebidas, y otros conceptos inherentes a la teoría. Pero también es necesario tomar en cuenta el entorno en el cual se aplican, el tipo de organizaciones, las características de los grupos y los participantes, la preferencia por orientaciones cuantitativas o cualitativas, la perspectiva y nivel de conocimiento del decisor y del practicante que se encargará de guiar el proceso, entre otras cuestiones.

En la parte final del capítulo 2 se define la problemática específica que aborda este trabajo de tesis. Se plantea el hecho de que cuando se requiere utilizar estas técnicas mediante un proceso grupal, el decisor o encargado de generar la propuesta de solución busca la ayuda de expertos (practicantes) que apoyen el proceso guiando al grupo en la implementación de la técnica, facilitando la generación de parámetros, promoviendo el consenso, aplicando métodos adicionales para llegar a acuerdos y utilizando las herramientas informáticas disponibles para obtener el ordenamiento de las alternativas y formular recomendaciones al cliente o decisor, que será quien tome la decisión final. Se concluye que es debido a las diferencias que existen entre los diferentes modelos y las características propias del entorno en el cual serán aplicados, que la tarea de elegir la técnica apropiada se dificulta: la mayoría de los practicantes emplean la más popular, la que ellos más dominan, o bien, aquella en la cual tienen un interés específico (académico o de cualquier otra índole), adaptando la situación a la técnica y no lo contrario, como debiera ocurrir.

Con el fin de contribuir a la solución del problema anteriormente expuesto, en esta tesis se definen los criterios suficientes y necesarios para caracterizar las técnicas y facilitar la detección de sus diferencias y la conveniencia de emplearlas según las características de la situación particular a la que el practicante se enfrenta. Como puede suponerse, realizar esto para todas las técnicas multicriterio existentes sería un trabajo arduo y complicado ya que continuamente surgen nuevas técnicas o se realizan modificaciones a las ya desarrolladas. Es necesario por lo tanto delimitar esta investigación a un número reducido de técnicas, siendo las seleccionadas dos de las más empleadas: PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) y AHP (Analytic Hierarchy Process). Estas dos técnicas se caracterizan por el manejo cuantitativo que le dan a la información de entrada. Con el fin de contar con una alternativa más “suave”, en la que predomine un enfoque cualitativo, se realiza una adaptación a la técnica conocida como Abaco de Régnier, para que pueda ser empleada en la toma de decisiones con criterios múltiples.

Los criterios mencionados son definidos en el capítulo 3, a partir de la revisión de algunas publicaciones que han abordado este problema. Los hallazgos de esta etapa (una lista de los

critérios propuestos por los autores estudiados) son analizados y se integran en categorías de acuerdo con su relación con los factores relevantes para la intervención del practicante en la situación. Finalmente, se definen categorías que engloban de manera general la idea de cada uno de los criterios que las conforman, siendo estas últimas los criterios que se utilizarán en el capítulo 4 para describir y caracterizar las técnicas de interés, que es la información finalmente empleada para formular las pautas que indican cuándo es conveniente emplear cada una de las técnicas.

El objetivo general de esta tesis es:

Establecer pautas que apoyen al practicante en la selección de las técnicas multicriterio PROMETHEE, AHP y una versión propuesta de Ábaco de Régnier, con base en sus características y en las particularidades de las situaciones de decisión.

Los objetivos específicos son:

- Caracterizar las situaciones de toma grupal de decisiones multicriterio
- Obtener una lista de los criterios propuestos en la literatura para seleccionar técnicas multicriterio.
- Definir los criterios relevantes que caracterizan la aplicación de las técnicas multicriterio en procesos grupales
- Proponer una versión modificada del Ábaco de Régnier para aprovechar su carácter cualitativo en la toma de decisiones multicriterio
- Caracterizar las técnicas AHP, PROMETHEE y la modificación propuesta de Ábaco de Régnier con base en los criterios definidos.
- Establecer pautas o recomendaciones para seleccionar las técnicas caracterizadas

1.

La toma de decisiones

Contenido:

- 1.1 *La importancia de la toma de decisiones*
- 1.2 *Desarrollo histórico de la toma de decisiones*
- 1.3 *La toma de decisiones multicriterio*
- 1.4 *La toma de decisiones multicriterio en procesos de grupo*
- 1.5 *El papel del practicante como apoyo en procesos de toma de decisiones multicriterio*

1.1 La importancia de la toma de decisiones

La toma de decisiones es un proceso de naturaleza humana, frecuente y generalizado. La habilidad para tomar decisiones correctas es una tarea clave en cualquier aspecto de la vida, pero cobra especial relevancia cuando se trata de las decisiones dentro de una organización; por ello, los gerentes de los grandes corporativos son capacitados en técnicas metodológicas para elegir las mejores decisiones dentro de los límites de la racionalidad y de acuerdo con el tamaño o naturaleza de los riesgos involucrados. No obstante, la aplicación de la toma de decisiones en el ámbito organizacional es sólo una derivación de una corriente de pensamiento que data de cuando los hombres, al enfrentar la incertidumbre, trataban de encontrar la respuesta en el movimiento de las estrellas o en los designios del oráculo.

Buchanan y O'Connel (2006) ponen de manifiesto la importancia de la toma de decisiones al afirmar que lo relativo a quién toma la decisión y cómo lo hace, son cuestiones que han servido de fundamento para formar sistemas de gobierno, de justicia y de orden social y parafrasean a Albert Camus, quien dice que “la vida es la suma de todas las elecciones”, para afirmar que la historia, por lo tanto, es igual a la acumulación de las elecciones de la humanidad.

El estudio de la toma de decisiones es una integración de los logros alcanzados por disciplinas tan diversas como las matemáticas, la sociología, la psicología, la economía y las ciencias políticas; por nombrar algunas. Los filósofos han profundizado en el significado de lo que nuestras decisiones dicen acerca de nosotros mismos y de nuestros valores. Los historiadores toman como objeto de estudio los momentos en que las decisiones de los líderes (y sus consecuencias) han significado cambios trascendentales para el orden regional o incluso mundial. La investigación del

riesgo y el comportamiento organizacional proviene de un deseo más práctico: ayudar a las organizaciones a alcanzar mejores resultados.

En el entorno actual, en el que las decisiones en las organizaciones ya no sólo se limitan a un solo criterio (como pudiera ser su conveniencia económica o su pertinencia técnica), se busca involucrar a los expertos, a los interesados o a los afectados por la decisión en el proceso de discusión de los objetivos, en el análisis y determinación de los criterios y de su importancia relativa, y en la evaluación de las diferentes opciones o alternativas de acción. La toma de decisiones grupal permite aprovechar el conocimiento de los integrantes del grupo, promueve la discusión e integración de varios puntos de vista e incrementa la aceptación de la decisión final, facilitando posteriormente su implementación.

Tipos de decisiones

La clasificación más básica de las decisiones se basa en la naturaleza del evento que las origina. Una *decisión programada* se aplica a problemas estructurados o de rutina, para los cuales se puede establecer un método que ayude a decidir. Las *decisiones no programadas* se usan para situaciones no planeadas, nuevas o mal definidas, de naturaleza no repetitiva, por lo que no es posible establecer métodos para la toma de decisiones. La mayoría de las decisiones no son ni completamente programadas ni completamente no programadas; sino una combinación de ambas. Otra forma de clasificar las decisiones es de acuerdo con su origen y trascendencia. En esta clasificación tenemos las decisiones operativas, las coyunturales y las planeadas.

Las **decisiones operativas** son las que surgen como consecuencia de situaciones repetitivas, por lo que la información necesaria para tomar la decisión es fácilmente disponible, y los errores pueden corregirse fácilmente ya que su grado de manifestación es el corto plazo. El establecimiento de precios, el nivel de utilización de la capacidad instalada, las cantidades de insumos a utilizar (tales como materias primas, capital, mano de obra, etc.) representan ejemplos de decisiones operativas típicas.

Las **decisiones coyunturales** son aquellas que surgen de manera imprevista, son urgentes e inmediatas. Son fuertemente influenciadas por el entorno y se toman con base en la conveniencia y no en métodos, políticas o normas. En ocasiones dan soluciones momentáneas y casi siempre los problemas de raíz no son solucionados al no haber un análisis profundo de la situación.

Las **decisiones planeadas** son aquellas decisiones para las que se considera, de manera general, la situación presente, el entorno y un estado futuro deseado. Suelen ser decisiones a largo plazo y tienen un carácter no repetitivo. La información que se tiene para tomar este tipo de decisiones es escasa y los efectos que producen pueden comprometer el desarrollo o la supervivencia del sistema planeado; por ello, al tomar estas decisiones se requiere un alto grado de reflexión y de juicio por parte del decisor. Al proceso que respalda esta toma de decisiones se le conoce como planeación. De acuerdo con *Ackoff (1999)* las cinco fases del proceso de planeación son:

1. *Formulación de la problemática (diagnóstico)*
2. *Planificación de fines (visión, objetivos, escenarios)*
3. *Planificación de medios*
4. *Planificación de los recursos*
5. *Diseño de la implementación y control*

La tercera etapa, *planificación de medios*, requiere tomar decisiones para determinar qué soluciones o acciones son factibles de ser implementadas y cuáles se elegirán de acuerdo con su conveniencia para alcanzar los fines. Esta toma de decisiones puede realizarse de manera intuitiva

o puede apoyarse en modelos o representaciones de la realidad que sirven para entender cómo interactúan los elementos presentes en el análisis:

- Modelos físicos: representaciones a escala (maquetas, prototipos)
- Modelos esquemáticos: constituidos por esquemas, diagramas o gráficos
- Modelos matemáticos: ecuaciones y fórmulas matemáticas

Pero llegar al nivel actual de especialización en estos modelos requirió de mucho tiempo y trabajo dedicado al análisis de la toma de decisiones. En los siguientes párrafos se revisarán algunos de los hitos más representativos en el estudio de esta área.

1.2 Desarrollo histórico de la toma de decisiones

La toma de decisiones y su estudio se han caracterizado a lo largo del tiempo por la predominancia de algunos enfoques. Actualmente varios de estos enfoques se han integrado en modelos que tratan de entender y mejorar el proceso y para obtener resultados más satisfactorios para el decisor:

- *Indagación no formal.* En situaciones relevantes, cuando aún no se tenían herramientas matemáticas que permitieran formalizar un análisis, los hombres recurrían al oráculo, consultaban las estrellas o buscaban señales en la naturaleza que interpretaban como respuestas o pistas respecto a cuándo y qué decisiones tomar.
- *Experiencia y razonamiento.* Los primeros pasos hacia el establecimiento de un proceso de toma de decisiones incluyeron el razonamiento acerca de los hechos implicados y las consecuencias de decisiones tomadas en el pasado.
- *Formalización matemática y metodológica.* Con el surgimiento de las matemáticas se tuvieron los medios para expresar las variables, relaciones, supuestos, deducciones y derivaciones implicados en los procesos de decisión.
- *Probabilidad y riesgo.* Los avances logrados en el estudio de situaciones no determinísticas, para las que su análisis y tratamiento requería del concepto de probabilidad, aportaron un nuevo elemento de estudio en la toma de decisiones: el riesgo.
- *Teoría de la utilidad.* Enfoque surgido del ámbito económico, que agrega el concepto de utilidad al estudio de la toma de decisiones, entendido como el grado de satisfacción que se obtiene ante cierto resultado.
- *Árboles de decisión.* Se incluye al análisis el aspecto visual, en el cual las opciones o alternativas se representan gráficamente en una estructura arbórea que incluye probabilidades, riesgos y costos.
- *Criterios múltiples.* La naturaleza actual de las organizaciones ha hecho necesario involucrar el enfoque sistémico en la toma de decisiones, dando como resultado múltiples técnicas que buscan determinar el mejor curso de acción entre varias alternativas sometidas al escrutinio de diversos criterios en conflicto.
- *Lógica difusa.* Enfoque surgido como respuesta a la existencia de ambientes de decisión en los que los objetivos, las alternativas, los criterios y parámetros constituyen clases cuyos límites no están claramente definidos, existiendo transiciones graduales entre la pertenencia o no pertenencia a estas clases.

- *Enfoque no racional.* Los desarrollos en esta dirección cuestionan la efectividad de los métodos racionales e involucran el aspecto psicológico, la intuición y la influencia de las creencias y las actitudes en los procesos de toma de decisiones.

Con el paso del tiempo, la toma de decisiones fue tomando importancia y comenzaron a desarrollarse teorías encaminadas a entender y controlar este proceso. Algunas de las aportaciones más representativas son las siguientes:

Época	Científico	Aportación
1620	Francis Bacon	Declara la superioridad del razonamiento inductivo en la ciencia
1641	René Descartes	Propone que la razón es superior a la experiencia en términos de adquirir conocimiento y establece el marco para el método científico.
1654	Blaise Pascal y Pierre de Fermat	Desarrollan el concepto del cálculo de probabilidades para los eventos fortuitos.
1738	Daniel Bernoulli	Establece los fundamentos de la teoría del riesgo examinando eventos aleatorios.
18??	Carl Friedrich Gauss	Estudia la curva en forma de campana (descrita con anterioridad por Moivre) y desarrolla una estructura para entender la ocurrencia de eventos aleatorios.
1900	Sigmund Freud	Sugiere que las decisiones tomadas por los individuos están influenciadas por causas ocultas en su inconsciente.
1907	Irving Fisher	Introduce el Valor Presente Neto como una herramienta para tomar decisiones
1921	Francis Knight	Establece la distinción entre riesgo, en el cual la probabilidad del resultado puede ser conocida, e incertidumbre, en la cual es imposible conocer esta probabilidad.
1944	John von Neumann, Oskar Morgenstern	En su libro de Teoría de Juegos, describen la base matemática para la toma de decisiones económicas, bajo un enfoque de racionalidad y consistencia.
1947	Herbert Simon	Desecha la noción clásica de que los decisores actúan con perfecta racionalidad, dice que los costos de adquirir información hacen que los ejecutivos sólo tomen decisiones con una racionalidad limitada.
1952	Harry Markowitz	Demuestra matemáticamente cómo elegir un portafolio de opciones financieras cuyo retorno sea consistente.
1960	Edmund Learned, Roland Christensen, Kenneth Andrews.	Desarrollan el análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) como un modelo para la toma de decisiones cuando el tiempo es poco y las circunstancias son complejas.
1968	Howard Raiffa	En su libro <i>Decision Analysis</i> explica muchas técnicas fundamentales para la toma de decisiones, incluyendo árboles de decisión y el valor esperado cuando no se cuenta con información perfecta.
1970	John D. C. Little	Desarrolla la teoría que fundamenta y avanza la capacidad de los sistemas de soporte para la toma de decisiones.
1972	Irving Janis	Introduce el término "pensamiento grupal" que valora el consenso por encima del mejor resultado.
1972	---	Primer Congreso Mundial sobre Toma de Decisiones Multicriterio
1984	Daniel Isenberg	Explica que los ejecutivos combinan el rigor de la planeación con la intuición cuando se enfrentan con situaciones con altos niveles de incertidumbre.
1995	Anthony Greenwald	Desarrolla The Implicit Association Test, que devela creencias y actitudes inconscientes que pueden afectar el juicio durante la toma de decisiones.
2005	Malcolm Gladwell	Explora la posibilidad de que las decisiones inmediatas son, en ocasiones, mejores que aquellas que se toman con base en análisis racionales.

Tabla 1.1 Aportaciones teóricas a la toma de decisiones (Adaptación de Buchanan y O'Connell, 2006).

Es a principios de la década de los 70 del siglo XX cuando surge una línea que habría de marcar un cambio de paradigma en la toma de decisiones: el análisis de decisiones multicriterio.

1.3 La toma de decisiones multicriterio

En las situaciones en las que el análisis se reduce a un solo criterio, como por ejemplo el coeficiente costo-beneficio, se utilizan modelos unicriterio como apoyo para la toma de decisiones. Sin embargo, no todas las decisiones pueden ser tomadas por medio de estos modelos, la complejidad de los problemas se incrementa en tanto se incluyan más características o criterios para evaluar las alternativas existentes. La necesidad de tomar decisiones en problemas en los que se involucran varias alternativas con un desempeño desigual en varios criterios fue el inicio del enfoque multicriterio en la toma de decisiones. A continuación se enlistan algunas de las ventajas y desventajas de la aplicación del enfoque multicriterio (*Europe Aid Cooperation Office, 2005, Evaluation – Guidelines*).

Ventajas:

- Simplifica situaciones. Facilita el encontrar una solución en ambientes complejos y permite identificar las variables y relaciones presentes en la situación.
- Es un método comprensible. Las bases sobre las que se realiza la evaluación de criterios y la puntuación de resultados son a menudo fácilmente comprensibles.
- Es un método racional. Gracias al estudio homogéneo y simultáneo de un gran número de factores que permite una valoración estable de los diferentes elementos incluidos en el análisis.
- Es una herramienta de negociación útil en discusiones complejas y en contextos conflictivos. Contribuye a racionalizar el debate y a aumentar y desarrollar la comunicación entre los actores.

Desventajas:

- Se requieren análisis adicionales para establecer condiciones previas. Dado que se requiere un mínimo de puntos de acuerdo entre los actores respecto a los objetivos, criterios, pesos, etc. Esto involucra tiempo, procesos y recursos adicionales.
- Dificultad para llegar a acuerdos respecto a la selección de acciones o alternativas a estudiar al definir los criterios de comparación y elaborar las tablas de puntuación, etc.
- Tiempos prolongados. Los análisis multicriterio suelen basarse en procesos prolongados e iterativos, que pueden requerir un importante y largo período de negociación.
- Grado de tecnicidad. Además de las herramientas informáticas que hay que saber manejar, los conceptos y los métodos matemáticos de agregación de datos requieren la capacitación adecuada; de lo contrario, pueden surgir confusiones en el análisis y llegarse a conclusiones erróneas.
- El análisis puede incluir cierto grado subjetivo. A pesar de su enfoque racional, debido a que se incluyen datos provenientes de fuentes que pueden tener intereses diversos.

En la utilización de modelos con múltiples criterios se toman en cuenta factores que quizá no son considerados por métodos puramente intuitivos. *Easton (1978)* afirma que sin ayuda alguna, la mente humana está limitada en su habilidad para considerar simultáneamente más de un objetivo al mismo tiempo, por lo general, en momentos de tensión. Así pues, mediante una decisión intuitiva es más probable que haya influencias debido a indisposiciones, emociones y otros factores temporales aunque irrelevantes; y es más probable que exista un enfoque sobre un solo criterio.

De manera general, un análisis multicriterio está definido por:

- Un conjunto de alternativas o líneas de acción;
- Un conjunto de criterios que evaluarán las alternativas;
- Una tabla de desempeño de cada una de las alternativas en cada criterio;
- Un método de agregación para jerarquizar las alternativas por preferencia.

Cada uno de estos elementos tiene características que varían de una técnica a otra. Por ejemplo, hay técnicas que manejan conjuntos finitos de alternativas, mientras otras manejan un conjunto infinito de estas. La información requerida de los criterios (importancia, tasas de intercambio, umbrales de preferencia, etc.) también es diferente en cada técnica. El manejo de los datos y el procesamiento de la información también se llevan a cabo con algoritmos distintos, diseñados para tratar problemas con características específicas. Algunos autores han detectado cientos de técnicas (Hajkowicz, 2008), pero no todas son idóneas para todas las situaciones, por ello es importante identificar la técnica que mejor se adecue a la problemática particular que busca resolverse. La variación de la información disponible, las características propias del problema, el tipo de organización, los resultados que se esperan, el tiempo, los recursos, etc. son factores que hacen la diferencia entre usar uno u otro método.

Las técnicas de toma de decisiones multicriterio son una herramienta que ayuda a generar consenso en contextos complejos de decisión. Se pueden aplicar estas técnicas a casos en los que sea necesaria la confluencia de intereses y puntos de vista de diferentes grupos o personas. Esto permite que todas las partes interesadas participen en el proceso de toma de decisiones favoreciendo de este modo la participación en la decisión final, lo cual hace que el resultado tenga un mayor grado de aceptación y por tanto aumenten las posibilidades de aplicar con éxito las iniciativas o alternativas propuestas. Estas ventajas, adicionales a los resultados que arrojan las técnicas multicriterio, hacen deseable su uso en entornos organizacionales en los que la toma de decisiones requiere de la participación de expertos, involucrados o afectados por la decisión. A continuación se revisarán algunas de los rasgos distintivos de la aplicación del análisis multicriterio en procesos de grupo.

1.4 La toma de decisiones multicriterio en procesos de grupo

Se realiza un proceso grupal de toma de decisiones cuando un grupo de personas se enfrenta a un problema que les es común y cuya solución les interesa a todos. Una característica importante de un proceso grupal de toma de decisiones es que todos los involucrados pertenecen al sistema y aunque pueden diferir en sus percepciones del problema y tener diferentes intereses, son todos responsables del buen funcionamiento del mismo y comparten la responsabilidad de las consecuencias de la decisión tomada. En las situaciones en las que se detecta la necesidad de aplicar el análisis multicriterio para tomar una decisión en la que se requiere la participación de los involucrados, se puede recurrir al apoyo de un profesional experto en la aplicación de este tipo de análisis. Los principales actores que intervienen en un proceso de este tipo son:

- **Decisor o cliente:** a diferencia del concepto de decisor (*DM o Decision Maker*) que se maneja en la literatura consultada, en la que se generaliza al decisor como *los participantes en el proceso o el grupo de decisión* (Belton y Hodgkin, 1999), para fines de esta tesis este concepto debe entenderse más como el SDM (*Supra Decision Maker*) de Leyva-López (2003), es decir, *una entidad que representa los intereses de la organización y que establece las reglas de constitución del grupo de participantes en el proceso y de los caminos por los cuales el grupo acuerda tomar la decisión*. Esta entidad es quien

solicita la intervención del practicante y puede no participar en el proceso, pero funge como encargado de la situación en la que debe tomarse la decisión. Es el responsable de tomar la decisión final, o bien, de reportar los hallazgos logrados en el proceso a otra persona o instancia con mayor poder jerárquico para tomarla.

- **Practicante:** La definición de *analista o facilitador* de Belton y Hodjkin (1999) se acerca a lo que debe entenderse por *practicante* en esta tesis: es la persona contratada por el decisor por mérito de su expertise, la cual abarca al menos familiaridad con el método y el software que será empleado. Para Rauschmayer (2009) el practicante es aquel experto que modelará las principales características del problema, estructurando el problema de acuerdo con la herramienta de apoyo que va a emplear, obteniendo resultados de acuerdo con las preferencias expresadas. El concepto de practicante empleado en esta tesis debe entenderse como la conjunción de estas dos definiciones: es aquel profesional con experiencia en procesos grupales de toma de decisiones multicriterio que intervendrá en la situación por solicitud del cliente, con el fin de liderar el ejercicio, promover y controlar la interacción entre los participantes, lograr acuerdos en las preferencias y brindar apoyo técnico en la aplicación de la técnica.
- **Grupo de decisión:** es el grupo de personas que participará en el ejercicio proporcionando información sobre sus preferencias, generando los parámetros necesarios para la aplicación de la técnica y obteniendo la jerarquización final de las alternativas. Este grupo será definido por el decisor o cliente ya sea por que el asunto compete a sus áreas de responsabilidad, por sus conocimientos en el tema o porque serán afectados directamente por la decisión. El grupo puede estar integrado por participantes internos o externos a la organización, con homogeneidad en el nivel jerárquico y disciplina o conformado de manera heterogénea.

Cuando una decisión involucra diversos actores, cada uno con sus valores e información, la decisión final será generalmente el resultado de la interacción de las preferencias individuales de unos y otros. Esta interacción no está libre de conflictos, por ejemplo, diferencias en creencias, en objetivos o por roles dentro de la organización. Cualquiera que sea el origen del conflicto, afecta generalmente la evolución del proceso de decisión en formas que no se tenían previstas desde el inicio (Leyva-López, 2003), por ello, es necesaria la intervención del practicante con el fin de evitar estos conflictos. El desacuerdo es un hecho bastante común, incluso en los casos donde hay acuerdo en las metas del proceso, por esta razón el practicante debe controlar el ejercicio e implantar sistemas y técnicas que identifiquen este desacuerdo y apoyen su erradicación. Goletsis Yorgos (2003) afirma que la combinación de técnicas de toma de decisiones grupales con métodos multicriterio hasta ahora no ha sido explorada adecuadamente, no obstante que es un campo especialmente prometedor.

El estilo de la organización o del decisor o cliente definirá el tipo de apoyo a la toma de decisiones que se busque implementar. Para Nutt (1976) los grupos interactivos son generalmente superiores a otros grupos en las tareas de evaluación o toma de decisiones. Los grupos nominales (cara a cara, no interactivos), los grupos sintéticos (agregación de puntos de vista individuales) y los grupos Delphi (no presenciales, no interactivos) son mejores que los interactivos en generar ideas, pero también pueden ser usados para tareas de evaluación y toma de decisiones. Este autor menciona también que cuando se usa un grupo interactivo para seleccionar entre alternativas definidas, la selección grupal es más arriesgada que lo que sería si se hubiera elegido individualmente debido a que puede excluirse información por la inhibición de algunos participantes o pueden surgir tendencias por el grado de influencia de algunos, incrementando el nivel de subjetividad del análisis.

La toma de decisiones cubre un amplio rango de situaciones. El interés de esta tesis se enfoca en problemas o situaciones con las siguientes características:

- Existe una situación en la que debe elegirse una entre varias alternativas sometidas al escrutinio de diversos criterios en conflicto.
- El dueño o responsable de la situación desea conocer la opinión de los expertos, de los actores relacionados o de quienes serán afectados por la decisión, a través de un ejercicio presencial.
- El cliente o decisor (que puede ser una sola persona o un grupo) puede establecer reglas y brindar información a-priori al grupo.
- El proceso será guiado por un practicante o experto en la aplicación práctica de las técnicas multicriterio.
- Cada actor considera el mismo conjunto de alternativas y de criterios.
- Cada miembro del grupo participa en el proceso brindando información acerca de sus preferencias y creencias, contribuyendo de esta manera en la decisión final. Generalmente existe un fin último o meta principal que es compartida por todos los integrantes, pero estos difieren en las maneras en que se puede alcanzar esta meta.
- Es posible aplicar técnicas grupales para definir parámetros o llegar a acuerdos en los valores de estos.
- Los miembros del grupo generarán una selección, categorización o jerarquización final derivada de la agregación de sus opiniones, pero la decisión final será tomada por el decisor, quien recibirá recomendaciones del practicante que apoye el proceso.

La toma de decisiones en grupo es usualmente entendida como la reducción de las diferentes preferencias individuales en un índice de preferencia colectiva; sin embargo, *Leyva-López (2003)* afirma que hasta ahora no hay muchas propuestas acerca de cómo dar una solución aceptable al problema de jerarquización de alternativas cuando se toman decisiones en grupo, y que las propuestas existentes descansan en una heurística pobre que hace difícil apoyar la decisión en un consenso de la jerarquización, e identifica dos enfoques principales en las técnicas para agregación de preferencias de un grupo:

- A) En primer lugar, al grupo se le solicita llegar a un acuerdo respecto a alternativas, criterios, calificaciones, pesos, umbrales y otros parámetros antes de aplicar el modelo. La discusión del grupo se enfoca en qué acciones y criterios deberían ser considerados, y en qué pesos o parámetros necesarios son apropiados. Una vez que la discusión está cerrada y toda la información individual ha sido reunida, se utiliza alguna técnica para obtener los valores que representen la opinión colectiva. Esta información, alimentada al modelo multicriterio elegido, nos dará la jerarquización grupal.
- B) Aunque los miembros del grupo pueden intercambiar opiniones e información relevante, es necesario el consenso sólo para definir el conjunto de acciones potenciales. Cada miembro define sus propios criterios, los parámetros y evaluaciones y entonces el método multicriterio es usado para obtener una jerarquización personal. A continuación, cada actor es considerado como un juicio individual y su información de preferencias (contenida en su jerarquización particular) es agregada en un ordenamiento colectivo, con el mismo método multicriterio (aunque puede ser distinto).

Leyva-López (2003) menciona que pueden surgir algunos problemas cuando se aplica el enfoque A: con la finalidad de ser una opinión colectiva real, los parámetros del modelo (por ejemplo: pesos, evaluaciones, umbrales) deben representar un consenso fuerte derivado de la unanimidad, o al menos, de una fuerte mayoría y si los valores de los pesos son determinados por un subconjunto mayoritario de los miembros del grupo, el practicante debe tener cuidado de que otros parámetros importantes sean determinados por el mismo subconjunto; de otra manera, según el autor, el

conjunto final de parámetros elegidos puede no representar a nadie, en cuyo caso será imposible hablar de opinión colectiva. A favor del enfoque B, el mismo autor afirma que es posible tomar cada actor como un diferente punto de vista, o un juicio distinto en el problema de decisión y que no es necesario contar con “parámetros colectivos” pobremente definidos. Por otro lado, *Goletsis (2003)* afirma que la agregación de las preferencias individuales no se logra mediante la agregación de las jerarquizaciones individuales, como pareciera sugerir el enfoque B. En conclusión, no existe un consenso en el enfoque que debe emplearse, siendo esta una cuestión que continúa siendo investigada.

En la figura 1.1 se muestran 4 diferentes enfoques que pueden surgir en la toma de decisiones grupales. Estos enfoques surgen de las diferentes maneras de considerar las preferencias individuales y su modelación.

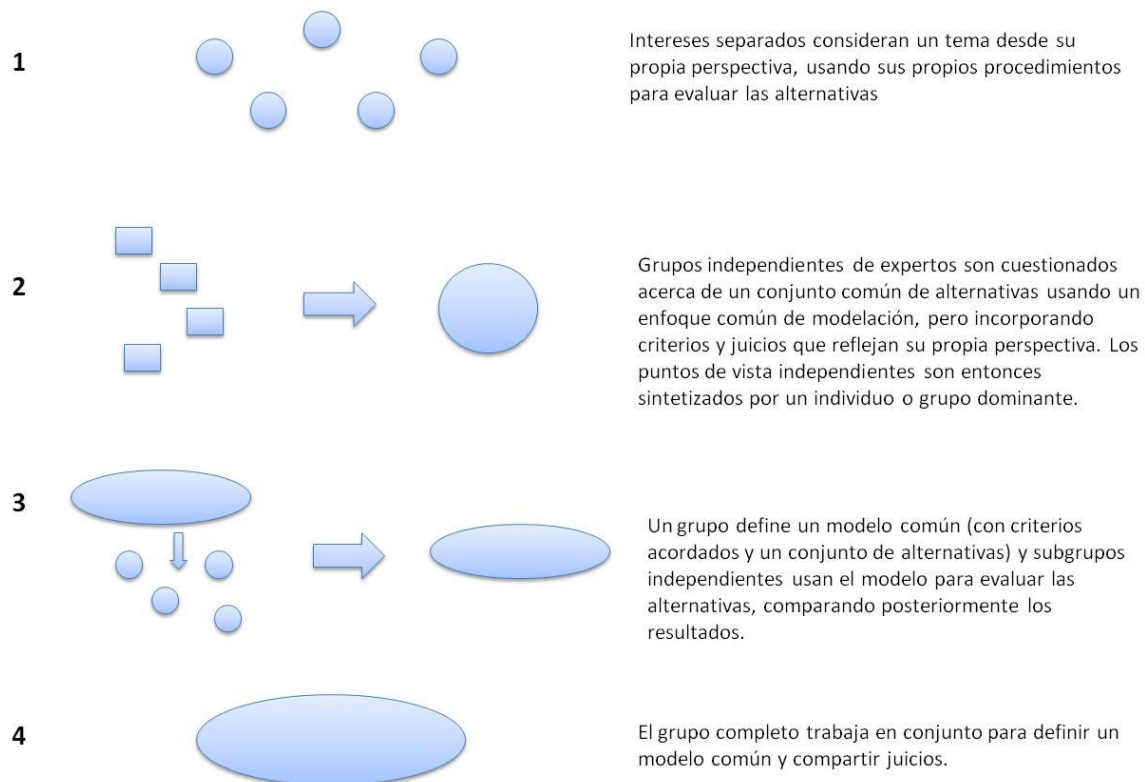


Figura 1.1. Gradiente de enfoques para decisiones individuales y de grupo (Mendoza, 2006)

El enfoque utilizado en esta tesis es una combinación del enfoque A de *Leyva-López (2003)* y el nivel 3 y 4 del gradiente de *Mendoza (2006)*. Es decir, el decisor o cliente proporcionará el conjunto de alternativas, criterios y el modelo a emplear; mientras que otros parámetros propios de cada técnica (como los pesos, umbrales, criterios generalizados, etc.) podrán ser obtenidos por medio de técnicas que busquen el consenso o el promedio de las preferencias individuales del grupo. Este enfoque será utilizado para adaptar las etapas recomendadas por la *Europe Aid Cooperation Office (2005)* en su sección titulada *¿Cómo aplicar el análisis multicriterio?*, con el fin de diseñar el proceso de interés de este trabajo de tesis. Las recomendaciones de este organismo son las siguientes:

1. **Determinar el ámbito de aplicación y la lógica de intervención**, es decir, en qué contexto surge la necesidad de tomar la decisión y cómo se planea tomarla.

2. **Designar al grupo (o grupos) de negociación o de juicio**, seleccionando a los integrantes de acuerdo con su nivel de injerencia en la decisión, siendo éstos actores directos (beneficiarios, víctimas, especialistas, responsables administrativos) o bien, delegados de los actores directos. Se debe cuidar el nivel de representatividad y una conformación que facilite el llegar a acuerdos.
3. **Designar al equipo técnico que colaborará con el grupo de juicio**, con el número de personas necesarias para asegurar las siguientes tareas: coordinación, asistencia técnica y asesoría de expertos competentes en la materia.
4. **Determinar la lista de alternativas para incluir en el análisis multicriterio**, es decir, qué acciones serán evaluadas mediante el ejercicio.
5. **Identificar y seleccionar los criterios de juicio**, aplicando técnicas como la tormenta de ideas o partiendo de una lista predefinida por el coordinador del ejercicio. Es importante remitirse a las familias de criterios para asegurarse de no olvidar ninguno: criterios económicos, ambientales, políticos, sociales, etc.
6. **Determinar el peso relativo de los criterios de juicio**, es decir, otorgar valores de ponderación a los diferentes criterios, expresando mediante su importancia relativa. Para esta etapa pueden emplearse diferentes técnicas para consensar estos pesos. En esta etapa también se incluye la determinación de los parámetros que serán utilizados en el ejercicio, de acuerdo con la técnica multicriterio que será empleada.
7. **Puntuación y juicio de las acciones por criterio, una vez definidos los criterios**, etapa en la que corresponde a cada uno de los participantes emitir su juicio sobre cada una de las acciones que se comparan, en relación con cada uno de los criterios.
8. **Agregación de los juicios**, etapa en la que se aplicará la regla de agregación mediante la cual se “integrarán” las evaluaciones del desempeño de cada alternativa con respecto a cada criterio.

La adaptación del proceso anterior y la conjunción ya mencionada de los enfoques de *Leyva-López (2003)* y *Mendoza (2006)*, se lleva a cabo por medio del proceso ilustrado en la figura 1.2.

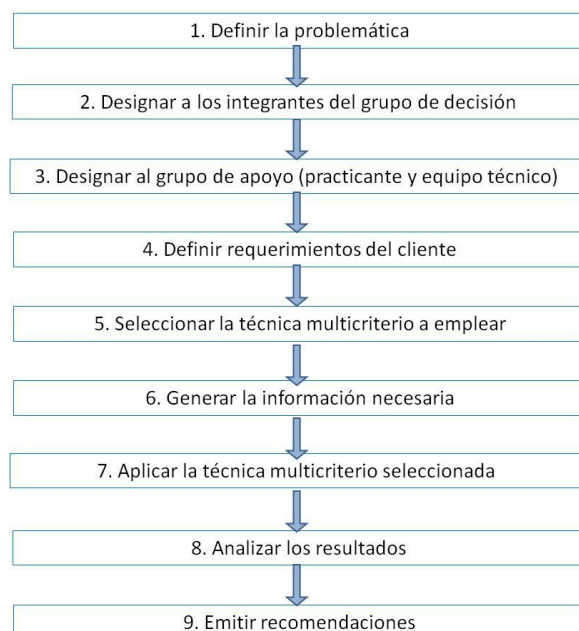


Figura 1.2 Proceso de toma de decisiones multicriterio en grupo con apoyo de un practicante

La descripción del proceso ilustrado en la figura 1.2 es la siguiente:

1. Definir la problemática

Este primer paso es realizado por el decisor o cliente, quien a partir de la situación o problemática que se le presenta, definirá los objetivos, las alternativas posibles de solución y los criterios para evaluarlas, así como los medios que planea utilizar para apoyar su decisión (por ejemplo, utilizar el análisis multicriterio a través de un ejercicio grupal).

2. Designar a los integrantes del grupo de decisión

En esta etapa, el decisor hará una valoración de los intereses involucrados y de los actores que debieran estar presentes en el proceso de análisis. Posteriormente, elegirá a los participantes de acuerdo con su experiencia o con su relación con la situación.

3. Designar al grupo de apoyo (practicante y equipo técnico)

El decisor elegirá al grupo de apoyo que guiará el ejercicio de acuerdo con su experiencia en procesos grupales de toma de decisiones multicriterio.. Este grupo debe contar con al menos dos funciones bien definidas: coordinación (guiar el proceso, establecer reglas y asegurar que se cumplan, promover un ambiente de respeto y confianza) y apoyo técnico (tareas de apoyo como son los cálculos, la alimentación de información a los sistemas de cómputo y facilitar el entendimiento de los participantes).

4. Definir requerimientos del cliente

Una vez establecido el contacto cliente-practicante, éste deberá recolectar toda la información disponible respecto a la situación para la cual se requiere la decisión, cuál es el resultado esperado, cuáles son las características de la información disponible, si el decisor tiene preferencia por alguna técnica en especial, si busca simplemente la jerarquización de las alternativas o si desea además recibir retroalimentación respecto al desempeño del grupo, quiénes son los participantes involucrados, si el grupo es homogéneo o heterogéneo, si hay participantes con un nivel mayor de jerarquía, etc.

5. Seleccionar la técnica multicriterio a emplear

El practicante, con base en la información recopilada en la etapa anterior, deberá elegir la técnica que más se adecue a la situación y con la que se pueda obtener el mayor provecho con los menores recursos. En esta etapa será fundamental contar con información relativa a la situación particular que se aborda y al desempeño de las técnicas de acuerdo con estas características. Esta etapa es la fase de interés de este trabajo de tesis.

6. Generar la información necesaria

En esta etapa comienza el trabajo del practicante con el grupo de decisión para generar la información o parámetros necesarios para aplicar la técnica seleccionada en el paso anterior. Algunas técnicas cuentan ya con una etapa para obtener esta información, mientras que para otras es necesario aplicar técnicas adicionales que permitan generar consensos, realizar votaciones para lograr una mayoría u obtener los datos para calcular la posición promedio de las preferencias individuales. El tiempo disponible para esta etapa es un factor que debe tomarse en cuenta para elegir la técnica.

7. Aplicar la técnica multicriterio seleccionada

Una vez que se ha logrado el consenso, la mayoría o el promedio de las preferencias individuales de los integrantes del grupo, se procede a aplicar la técnica seleccionada. Esto puede llevarse a cabo a través de software (si es que existe), aplicando el algoritmo de manera grupal, o bien, asignando pequeñas tareas o etapas a subgrupos de participantes.

8. Analizar los resultados

Una vez que se ha aplicado el algoritmo de agregación para sintetizar las evaluaciones y preferencias individuales, se procede a analizar los resultados obtenidos. Si es posible, se hace un análisis de sensibilidad que permita ver claramente a los participantes las

variaciones que pueden surgir en la jerarquización o clasificación final al variar algunos de los parámetros del modelo. Esto se facilita si la técnica cuenta con software que permita visualizar estas variaciones.

9. Emitir recomendaciones

Finalmente, el equipo de apoyo (practicante, analistas, facilitadores) elaborará un reporte con los resultados obtenidos, el análisis de sensibilidad y los principales hallazgos detectados durante el ejercicio. Este reporte contendrá recomendaciones para el decisor o cliente, pues será él el responsable de elegir finalmente la alternativa que se implementará, que probablemente no sea la que mejor se posicionó en la jerarquización final.

Como puede observarse, el papel del practicante es vital en este proceso. A continuación se describe a más detalle el rol que desempeña este actor en los procesos grupales de toma de decisiones multicriterio.

1.5 El papel del practicante como apoyo en procesos de toma de decisiones multicriterio

Como ya se explicó en párrafos anteriores, el proceso de analizar de manera grupal una situación a través de una técnica multicriterio es complejo, por ello es importante contar con apoyo de expertos para guiar y controlar este proceso. *Figueira (2005)* define este apoyo como “la actividad que una persona, a través del uso de modelos explícitos aunque no completamente formalizados, ayuda a obtener elementos para responder a las preguntas planteadas por un stakeholder en procesos de decisión”. Esta ayuda es la que brinda el grupo de apoyo mencionado en la figura 1.2. Algunas de las actividades que realiza este grupo de apoyo son:

- Organizar el proceso de decisión para incrementar su coherencia tanto en los valores relativos a las alternativas y criterios como en la obtención de la jerarquización final de alternativas;
- Motivar la cooperación entre los actores proponiendo reglas para mejorar el mutuo entendimiento y un marco o esquema que favorezca el debate;
- Elaborar recomendaciones usando los resultados provenientes del modelo;
- Participar en la legitimación de la decisión final.

Este grupo de apoyo puede conformarse por un solo experto, pero en la mayoría de los casos es un equipo en el que se distinguen al menos dos roles básicos: practicante y equipo técnico, cuyas funciones son, respectivamente:

COORDINACIÓN. Esta actividad es la que realiza el practicante (o líder del grupo de apoyo). Su función es fundamental para el buen desempeño del grupo de decisión, ya que fungirá como guía del proceso. Sus principales responsabilidades son:

- Definir, con apoyo del cliente, el tema objeto del análisis y la problemática.
- Analizar las características de la situación y contrastarla con las prestaciones o características de diferentes técnicas multicriterio.
- Presentar al cliente las diferentes opciones de técnicas multicriterio por medio de las cuáles se pueden obtener los resultados deseados. Emitir recomendaciones al cliente de qué técnica emplear.

- Presentar al grupo de participantes la técnica seleccionada y asegurarse que se comprende el proceso para que exista control y confianza en el ejercicio.
- Apoyar al grupo en la identificación de los pesos de los criterios o en otros parámetros necesarios para la técnica seleccionada.
- Garantizar, en caso necesario, la asistencia técnica de un experto que domine a la perfección los programas informáticos necesarios para realizar determinados tipos de análisis multicriterio.
- Coordinar el funcionamiento del proceso de análisis, manteniendo la cohesión del grupo y asegurándose de que todos participen.

ASISTENCIA TÉCNICA. Este trabajo es realizado por el equipo técnico, quien deberá dominar el funcionamiento de los programas informáticos necesarios de acuerdo a la técnica multicriterio seleccionada. El empleo de estas herramientas requiere la calificación adecuada, por lo que es necesario recurrir a personas con conocimientos técnicos necesarios para manejar esos programas. Finalmente, es importante que el técnico conozca la operación de la técnica y sepa formular los resultados de forma que sean fácilmente comprensibles.

En la figura 1.3 se muestra el proceso de toma de decisiones multicriterio en grupo ya descrito en párrafos anteriores, dividiendo las fases de acuerdo con el actor o actores que intervienen.

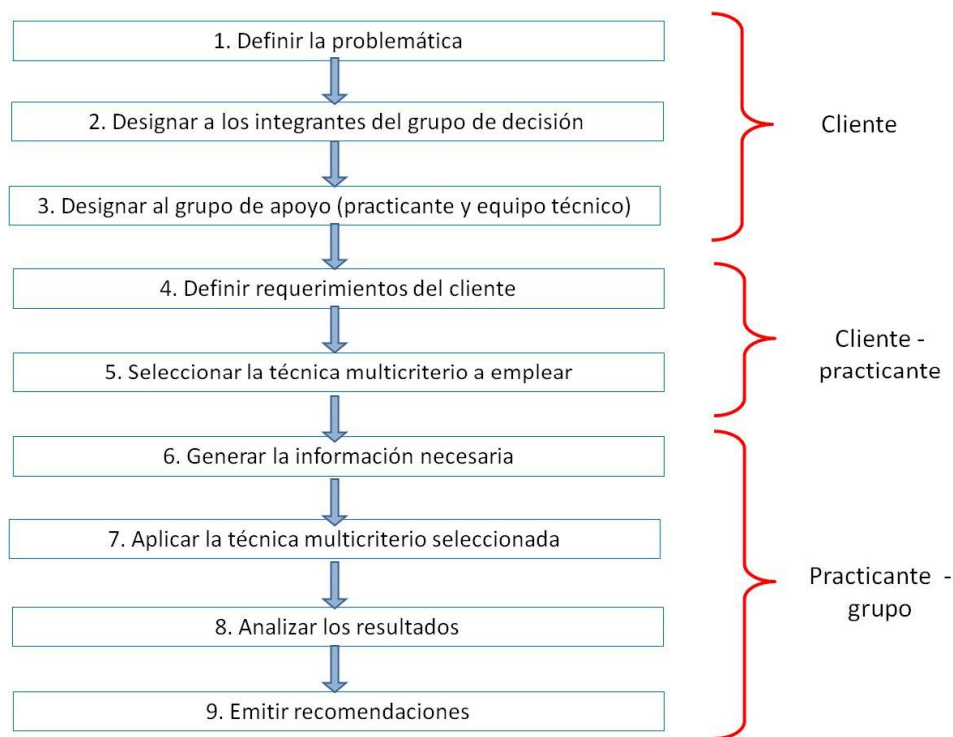


Figura 1.3 Etapas de intervención del practicante en el proceso de toma de decisiones multicriterio en grupo

El punto de interés de esta tesis es principalmente la etapa 5, aunque se debe conocer qué es lo que involucra el resto de las etapas para poder entender claramente cómo se lleva a cabo la selección de la técnica a emplear y qué debe considerarse en este proceso. En el capítulo siguiente se revisan los conceptos fundamentales de la toma de decisiones multicriterio; se caracterizan las situaciones de toma grupal de decisiones de este tipo y se define la problemática específica que aborda esta tesis.

2.

Técnicas de apoyo para la toma de decisiones multicriterio

Contenido:

- 2.1 *Conceptos fundamentales de las técnicas*
- 2.2 *Evolución de las técnicas multicriterio*
- 2.3 *Principales enfoques en el análisis multicriterio*
- 2.4 *Técnicas multicriterio más empleadas*
- 2.5 *El problema a resolver: cómo elegir la técnica apropiada*

2.1 Conceptos fundamentales de las técnicas

En el análisis de toma de decisiones multicriterio hay cuatro conceptos que juegan un rol fundamental para analizar y estructurar el proceso de apoyo a la decisión: objetivos, alternativas, criterios y procedimiento de agregación.

1. **Objetivos (tipo de solución buscada)**

El análisis multicriterio busca resolver las situaciones en las cuales no hay una manera clara y fácil de seleccionar la alternativa que mejor satisface todos los requerimientos o criterios con los que está siendo evaluada; sin embargo, este objetivo (el encontrar la “mejor” alternativa) no es el único al que se enfoca el análisis multicriterio; también puede desearse encontrar un grupo de “mejores alternativas” o incluso requerirse un proceso de dos pasos en el cual primero se selecciona un primer “mejor” grupo a partir del cual se selecciona después una sola “mejor” alternativa. Otro tipo de objetivo puede requerir que las alternativas sean ordenadas de la “mejor” a la “peor”. En el campo de las decisiones multicriterio se emplea la palabra *problemática* para

definir qué es lo que se espera obtener del análisis. De manera general existen tres tipos distintos de problemática:

1. **Problemática de selección (P,α).** La ayuda se orienta hacia la selección de un número pequeño (lo más posible) de “buenas” acciones, de tal manera que una sola alternativa pueda ser finalmente escogida; esto no significa que la selección es necesariamente orientada hacia la determinación de una o todas las alternativas que puedan ser consideradas como óptimas, el procedimiento de selección también puede, más modestamente, estar basado en comparaciones entre alternativas para eliminar el mayor número de ellas, el subconjunto N de las alternativas seleccionadas (el cual puede ser visto como una primera opción) contiene las más satisfactorias, las cuales continúan como no comparables unas a otras.
2. **Problemática de categorización (P,β).** El apoyo es orientado hacia la asignación de cada alternativa a una categoría entre una familia de categorías predefinidas; esta familia debe ser concebida con base en distintos tipos de tratamientos o juicios concebidos de acuerdo con lo que motiva la categorización. Tales categorías no requieren siempre estar ordenadas, ya que pueden ser establecidas de manera ordinal, cardinal o una combinación de ambas.
3. **Problemática de jerarquización (P, γ).** El apoyo está orientado hacia un pre-orden parcial o completo del conjunto A, el cual puede ser considerado como un instrumento adecuado para comparar alternativas, este pre-orden es resultado de un procedimiento de clasificación que nos permite otorgar un valor a cada alternativa, usándolo luego para ordenarlas conforme a este valor.

2. Alternativas

Las alternativas son acciones, soluciones o caminos posibles que pueden ser implantados como respuesta a una situación, y se caracterizan por estar dotadas con ventajas o inconvenientes con respecto a los criterios con los cuáles son evaluadas. Una alternativa es una opción factible, asequible, caracterizada por su desempeño con respecto a los criterios establecidos. El conjunto de las alternativas está definido como:

$$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$$

La identificación de alternativas es una parte esencial en la toma de decisiones. La decisión final no podrá alcanzar mejores resultados que lo que le permita la mejor alternativa del conjunto evaluado. Algunos caminos para identificar alternativas son:

1. Utilizar información o evidencias del pasado para hacer comparaciones entre el problema actual y los que anteriormente fueron resueltos de manera eficiente;
2. Escuchar los consejos y las recomendaciones de expertos calificados que hayan tratado problemas similares;
3. Atender a la experiencia de colegas;
4. Tener en cuenta la creatividad y habilidad colectiva de comités internos formados con el propósito de tratar el problema;
5. Prestar atención a las respuestas de los representantes de los grupos de interés que serán afectados por la decisión.

En la mayoría de las técnicas multicriterio se asume que las alternativas son independientes, lo que implica que al seleccionar una alternativa no se puede elegir otra al mismo tiempo. El número de alternativas es determinante para saber qué técnica emplear, pues los métodos discretos (los de interés en esta tesis) sólo manejan problemas con un número finito de alternativas, mientras que los problemas continuos pueden manejar un número infinito de ellas.

3. Criterios

Los criterios son aquellos aspectos que son considerados para definir la conveniencia o inconveniencia de las alternativas. Estos criterios pueden ser cualitativos o cuantitativos y son definidos de acuerdo con los intereses de los tomadores de decisiones. Estos aspectos pueden pertenecer a las siguientes familias de criterios (*Europe Aid Cooperation Office, 2005*):

- económicos,
- tecnológicos,
- medioambientales,
- sociales u organizativos,
- legales y políticos,

Un criterio g es una condición que nos permite establecer juicios para evaluar y comparar alternativas. La evaluación de cada alternativa a debe tomar en cuenta todos los efectos ligados al criterio considerado. Esto se denota como

$$g(a)$$

Y denota el desempeño de la alternativa a de acuerdo con el criterio g . Frecuentemente $g(a)$ es un número real, pero en todos los casos es necesario definir explícitamente el conjunto X_g de todos los posibles valores que el criterio puede tomar. Los elementos $x \in X_g$ son llamados grados de la escala. Cada grado puede ser determinado por un número, un enunciado o un pictograma. Cuando para comparar dos alternativas con respecto al criterio g comparamos los dos grados usados para evaluar sus respectivos desempeños, es importante analizar el significado concreto en términos de las preferencias cubiertas por dichos grados. Esto nos lleva a establecer los siguientes tipos de escalas:

a) Escala ordinal (Escala cualitativa)

Escala en la que la distancia entre dos grados no tiene un significado claro en términos de la diferencia de preferencias; este es el caso de:

- I. Escala verbal
Cuando nada nos permite establecer que el par de grados consecutivos reflejan igual diferencia de preferencias a lo largo de toda la escala.
- II. Escala numérica
Cuando nada nos permite establecer que una diferencia dada y entre dos grados refleja una diferencia de preferencias invariable cuando movemos el par de grados considerados a lo largo de la escala.

Los criterios que se expresan como *atributos* son aquellos en los que únicamente son posibles dos estados: sí o no; pasan o reprueban; buenos o malos, etc. Generalmente las variables se representan en una escala numérica. Los atributos se representan con “uno” (pasan) o “cero” (reprueban). Los atributos se pueden

subdividir en **críticos** (el que tiene tanta importancia que si no obtuviera la puntuación “uno” descalificaría a la alternativa, independientemente de cómo sea evaluada para otros criterios) y **no críticos** (cuando la importancia del criterio es mínima o no impide descalificar la alternativa aun cuando esta no cumpla con dicho criterio)

b) Escala cardinal (Escala cuantitativa)

Escala numérica cuyos grados están definidos por valor concreto que da sentido; por un lado, a la ausencia de cantidad (grado 0), y por el otro, a la existencia de una unidad que nos permite interpretar cada grado como la adición de un número dado (entero o fracción) a tal unidad. En tales condiciones, la proporción entre dos grados puede recibir un significado el cual no depende de los dos grados particulares considerados.

En las técnicas multicriterio es esencial conocer qué tipo de escala estamos manejando para estar seguros de usar sus grados de forma correcta. De acuerdo con el tipo de escala considerada, ciertos tipos de razonamientos y operaciones aritméticas son significativos en términos de preferencias.

En algunos procesos de apoyo a la toma de decisiones, uno de los primeros pasos es construir o definir todos los criterios que constituirán la familia de criterios. Para estar seguros que este conjunto de criterios jugará su rol en el proceso de manera correcta, es necesario verificar que:

- El significado de cada criterio es suficientemente entendible por cada uno de los participantes
- Cada criterio es percibido como un elemento de juicio para comparar alternativas a lo largo de la escala asociada a él; sin prejuicio de su importancia relativa, la cual podría variar considerablemente de un participante a otro.
- Todos los criterios considerados satisfacen los requerimientos lógicos de exhaustividad, cohesividad y de no redundancia.

Generalmente se asume que cada criterio puede ser representado por una medida de su desempeño, representada por algunos atributos medibles de las consecuencias de su implementación. Para conveniencia de la explicación, podemos adoptar el supuesto de que cada alternativa $a \in A$ puede asociarse a un vector de atributos (*Stewart, 1991*)

$$z^a = (z_1^a, z_2^a, z_3^a, \dots, z_p^a)$$

Donde:

p = número del criterio

z_i^a = atributo que representa la evaluación de la alternativa a de acuerdo con el criterio i .

Si para dos alternativas a y b ,

$$z_i^a \geq z_i^b \quad \text{para todo } 1 \leq i \leq p$$

entonces podemos decir que la alternativa representada por z^a **domina** a z^b .

Un concepto asociado a los criterios es el relacionado con su peso o importancia relativa. La ordenación de los criterios por importancia es una tarea sencilla cuando hay un solo involucrado más no así cuando hay más de una persona implicada ya que sus ordenaciones pueden no coincidir perfectamente. El problema puede involucrar los intereses de más de una sección de una organización o entidad política, cada una de las cuales tiene diferentes preferencias.

Uno de los conceptos más importantes en el análisis multicriterio es el de **preferencias** (Koen, 2008). Estas preferencias deben proveer una guía para determinar la importancia relativa que cada criterio lleva consigo, con el fin de jerarquizar exitosamente las alternativas. Los métodos multicriterio emplean diferentes tipos de preferencias, por ejemplo, para decidir cuándo una alternativa o criterio es preferido a otro, o cuándo decidir en situaciones en la que no es posible establecer una preferencia clara. Todos los métodos multicriterio utilizan las preferencias del decisor para hacer recomendaciones. La dificultad principal que enfrentan los métodos radica en la valoración y modelación de estas preferencias, ya que los supuestos acerca de ellas afectan el proceso y la solución de los métodos multicriterio. Más aún, el decisor puede estar involucrado de manera emocional o psicológica en el proceso y estas emociones afectarán el análisis. Guitouni y Martel (1998) definen las siguientes relaciones de preferencia:

- Preferencia estricta (**P**): aPb , a es estrictamente preferida sobre b . En el caso de que exista suficiente evidencia para concluir que a es realmente mejor, o más preferida, que b .
- Indiferencia (**I**): aIb , a es indiferente sobre b , lo que significa que no hay diferencia entre las alternativas, o bien, que la diferencia es muy pequeña para ser considerada una distinción real entre ellas.
- Preferencia débil (**Q**): aQb , cuando hay indecisión entre las situaciones de preferencia e indiferencia, no se está seguro si a es preferida sobre b , o no.
- Incomparabilidad (**R**): aRb , cuando se presenta indecisión para aseverar que a es preferida sobre b , o b es preferida sobre a (aPb o bPa). Esto pasa cuando a es mejor que b para ciertos criterios y b es mejor que a en otros.
- Superación (**S**): aSb , cuando hay una razón fuerte para creer que respecto a todos los criterios la alternativa a es al menos tan buena como la alternativa b , sin ninguna razón que impida llegar a esta conclusión.

Una vez que se ha definido el objetivo, las alternativas y los criterios, surge otro concepto fundamental en el análisis multicriterio (aunque a un nivel distinto a los descritos en párrafos anteriores). Este concepto es el relativo a la agregación de las diferentes evaluaciones de cada alternativa.

4. Procedimiento de agregación

El concepto de agregación está relacionado con el método por medio del cual se sintetizarán las puntuaciones (evaluaciones) de cada alternativa con respecto a los criterios ponderados, en un índice mediante el cual las alternativas puedan compararse (cifra de mérito). Easton (1978) menciona que este procedimiento puede ser un factor determinante en la clasificación final de las alternativas. Los métodos de apoyo a la toma de decisiones usados con mayor frecuencia están basados en procedimientos matemáticos explícitos, llamados *procedimientos de agregación multicriterio* (MCAP, *Multi-Criteria Aggregation Procedures*). Por definición, un MCAP es un procedimiento para el cual, para cada par de alternativas, da una respuesta clara al problema de agregación. Para ello utiliza:

- **Parámetros inter-criterio.** Tales como pesos, escalas, vetos, niveles de aspiración, niveles de rechazo, etc., los cuales permiten definir el rol específico que cada criterio juega con respecto a los otros. Algunos otros parámetros pueden también estar presentes.

- **La lógica de agregación.** Esta toma en cuenta lo siguiente:
 - Los posibles tipos de dependencia que quisiéramos asignar a ciertos criterios
 - Las condiciones bajo las cuales se aceptan o rechazan las compensaciones entre desempeños "buenos" o "malos".

Para dar un valor numérico a los parámetros inter-criterio y otros parámetros técnicos es absolutamente necesario referirse a la lógica de agregación del MCAP considerado. Fuera de esta lógica, tales parámetros no tienen significado.

Como puede observarse en párrafos anteriores, ahora existe un lenguaje propio y formalizado para el análisis multicriterio, sin embargo esto requirió de tiempo y trabajo por parte de los pioneros y desarrolladores de este campo. A continuación se revisarán algunas de las aportaciones más representativas para el avance de esta área.

2.2 Evolución de las técnicas multicriterio

Fue en la década de los años setenta cuando se produjo en gran parte de los países desarrollados un indiscutible progreso en el campo de la teoría de la decisión, con el surgimiento del llamado paradigma de decisión multicriterio, que declara que los agentes decisores pretenden buscar un equilibrio entre criterios de forma que la alternativa preferida satisfaga al máximo posible los criterios considerados (*Rodríguez, 2000*). El paradigma multicriterio nace en cierta forma contrapuesto al paradigma de la optimización, según el cual, los diferentes criterios se integran en una única función que hay que maximizar.

Las técnicas multicriterio, como tal, han sido materia de investigación desde 1950. En 1960 adquirieron su propio vocabulario y la definición de la problemática que buscan resolver. Esta área de investigación se consolida en 1972 con la realización de la I Conferencia Mundial sobre Toma de Decisiones Multicriterio.

A continuación se describen las principales escuelas en la toma de decisiones multicriterio, según lo publicado por el grupo *AMEVA (Analysis of Methodology of Evaluation)* de la Universidad Pontificia de Valencia. Estas escuelas definen la manera en que los problemas de decisión multicriterio son percibidos y modelados, siendo el origen de las diferencias entre los diferentes enfoques:

- **La vía del realismo.** Este enfoque considera que existe una realidad cierta independientemente del grado de conocimiento que se tenga de ella y por tanto la función del investigador es descubrirla. Bajo este punto de vista, en un contexto de toma de decisiones, se considera que existen una serie de restricciones que delimitan el conjunto de acciones, soluciones, decisiones, etc. posibles que existen objetivamente fuera del tiempo e independientemente de los actores implicados. Las investigaciones se orientan a encontrar las soluciones que se pueden clasificar en mejores y peores, considerando un sistema de preferencias implícito y preexistente en la mente de un decisor perfectamente definido. El investigador trata de describir lo que existe para descubrir las soluciones.
- **La vía axiomática.** Este enfoque investiga el establecimiento de unas normas para prescribir. Un axioma es una verdad que no precisa demostración porque es evidente para cualquiera que entienda su significado o también una afirmación evidente, una hipótesis a partir de la cual se extraen consecuencias lógicas. Los investigadores que siguen este

camino tratan de encontrar unos principios fundamentales a partir de los cuales, una vez aceptados, se pueden extraer unas consecuencias lógicas que conducirán a la verdad.

- **La vía del constructivismo.** Este enfoque trata de ir buscando gradualmente los elementos necesarios para resolver un problema cuyos datos van cambiando y van apareciendo nuevos factores que sustituyen a los originales durante el proceso de resolución del problema. Se consideran conceptos, modelos, procedimientos y resultados capaces de ir resolviendo los problemas planteados. Con esta vía no se pretende descubrir una verdad existente ajena a los sujetos implicados, sino desarrollar unos métodos que sirvan de herramienta para progresar de acuerdo con los objetivos y sistemas de valor del decisor. Bajo este enfoque, el problema de la toma de decisiones multicriterio consiste en construir una relación de preferencia global sobre el conjunto de alternativas, teniendo en cuenta las características individuales del decisor. El problema del analista, según los partidarios de este enfoque, no consiste en describir actitudes básicas, sino en estructurar las preferencias del decisor sobre las bases de convenciones con las que él está de acuerdo.

En Estados Unidos las discusiones sobre la toma de decisiones multicriterio se centraron en los años 70 sobre la aditividad de las preferencias, es decir, sobre la posibilidad de agregar las diferentes funciones de utilidad de cada criterio en una única función "suma" de las anteriores, siguiendo la vía del realismo. Esta función de utilidad global, que refleja las preferencias del decisor, se toma como punto de partida del problema de programación matemática multiobjetivo. Este modelo tiene un fundamento teórico sólido que constituye la denominada Teoría de la Utilidad Multiatributo (MAUT, por sus siglas en inglés), que unas veces se integra dentro de la estructura de la toma de decisiones multicriterio y en ocasiones, sobre todo cuando el riesgo y la incertidumbre juegan un papel relevante, se considera como una disciplina separada.

En contraposición a este modelo, el matemático francés Bernard Roy planteó un nuevo enfoque, proponiendo el Método ELECTRE I, precursor de una nueva familia de métodos y de lo que posteriormente se ha denominado la "Escuela Francesa", que se desmarca de la teoría de la decisión clásica, inspirada en la vía del realismo, y crea lo que denomina la "Ciencia de Ayuda a la Decisión Multicriterio" (*Multicriteria Decision Aid, MCDA*) que sigue la vía del constructivismo. Esta escuela pretende, mediante el establecimiento de conceptos rigurosos, modelos bien formalizados, procedimientos de cálculo precisos y resultados basados en axiomas bien establecidos, construir una ciencia que ayude al decisor a encontrar soluciones satisfactorias.

A partir del año 1975 el campo de la toma de decisiones multicriterio va tomando forma y durante la década de los 80 se van proponiendo diferentes métodos. Durante la década de los 90, en especial a finales de la misma, los métodos propuestos comienzan a trascender el ámbito académico y se extienden en el ámbito público y empresarial.

En lo que va de este siglo se han incorporado nuevos conceptos al análisis multicriterio. El desarrollo sustentable es un concepto multidimensional que involucra perspectivas socio-económicas, técnicas, ecológicas y éticas. Los temas relacionados con la sustentabilidad están caracterizados por un grado de conflicto elevado, por ello, el análisis multicriterio está siendo considerado como un enfoque adecuado para lidiar con estos conflictos a niveles micro y macro de análisis (*Figueira et. al., 2005*). La lógica difusa es otro concepto que ya desde el siglo XX fue integrado al análisis multicriterio y que actualmente es uno de los tópicos más mencionados en las publicaciones recientes.

Los aspectos éticos y de comportamiento también están siendo abordados a través del cuestionamiento a los métodos racionales, tratando de incluir nociones de psicología para entender y modelar de manera más cercana a la realidad las actitudes y creencias que influyen a los decisores. Aunque algunos usuarios de las técnicas multicriterio ven con agrado la estructuración

y robustez de estos procedimientos, también es cierto que existen cuestionamientos acerca de los resultados, pues pueden ser considerados una especie de “caja negra” cuya salida depende de información precisa y confiable, lo cual es en ocasiones difícil de lograr. Además, estas técnicas en su mayoría suponen que el usuario tiene un bagaje de conocimientos previos que le permiten su ágil manejo y que acepta los métodos analíticos; es decir, suponen una conducta racional del decisor, conducta que no puede ser generalizada cuando se aplica este tipo de procedimientos en problemas del mundo real (*Sánchez Guerrero, et al., 2008*). Otro cuestionamiento es que en la toma de decisiones se suelen utilizar criterios cuantitativos y cualitativos pero también es habitual que estos criterios se limiten a su carácter técnico o de evaluación de las alternativas; sin embargo, en muchas decisiones hay implícitas consecuencias y valoraciones que no se miden desde criterios técnicos sino desde criterios normativos éticos y axiológicos. Por lo anteriormente expuesto, hay interés para considerar las cuestiones éticas implícitas en los procesos de toma de decisiones y considerar la importancia de los valores del decisor.

Debido a la proliferación de métodos y sus variantes es importante comprenderlos y entender sus diferencias, así como la conveniencia de su aplicación en determinadas situaciones. Cada método usa técnicas numéricas para ayudar al decisor a elegir entre el conjunto de alternativas. La dificultad surge al tratar de comparar los métodos y elegir cuál es el mejor para aplicarlo en el problema particular que tenemos ante nosotros. Un primer paso para lograr lo anterior consiste en diferenciar los enfoques que han caracterizado el análisis multicriterio.

2.3 Principales enfoques en el análisis multicriterio

Los métodos de ayuda a la decisión multicriterio han sido clasificados de diferentes maneras. Una primera clasificación parte de la distinción entre MODM (*Multi Objective Decision Making*, Toma de Decisiones con Objetivos Múltiples) y MADM (*Multi Attribute Decision Making*, Toma de Decisiones con Atributos Múltiples). La principal distinción entre estos dos grupos de métodos se basa en el número de alternativas bajo evaluación. Los métodos MADM están diseñados para alternativas discretas, mientras que los métodos MODM son más adecuados para lidiar con problemas de planeación con varios objetivos, cuando un número teóricamente indefinido de alternativas continuas está definido por un conjunto de restricciones en un vector de variables de decisión (*Mendoza, 2006*).

Una clasificación más enfocada a la aplicación de las técnicas es la siguiente (*Mendoza, 2006*):

1. **Modelos de medida de valor:** se adoptan calificaciones numéricas para representar el grado por el cual una alternativa es preferida a otra. Tales calificaciones son desarrolladas inicialmente para cada criterio individual y posteriormente son sintetizadas para efectos de agregación en modelos de niveles de preferencia mayores.
2. **Modelos con metas o niveles de aspiración o referencia:** Se establecen niveles deseables o de satisfacción para cada criterio. El proceso busca descubrir las alternativas que están más cerca de tales niveles.
3. **Modelos de sobreclasificación (outranking):** las alternativas son comparadas por parejas en cada criterio para identificar el grado con el cual cada alternativa se impone sobre otra. En el proceso de agregación, el modelo busca establecer la evidencia a favor de la selección de una alternativa sobre otra.

Otras clasificaciones de los métodos multicriterio

1) Por el origen del método: **escuela normativa** (fundada por los norteamericanos y los ingleses, se basa en prescribir normas del modo en que el decisor debe pensar sistemáticamente, tiene una elegancia matemática dada por la modelación del problema, el conjunto de axiomas definidos, etc., utiliza como modelo la racionalidad) y la **escuela descriptiva** (desarrollada por los europeos -franceses, holandeses y belgas: renuncia a la idea de lo racional, trata de hacer un reflejo del modo en que el decisor toma las decisiones, también posee una formulación matemática pero menos impresionante que la escuela normativa).

2) De acuerdo al tipo de datos que utiliza (determinísticos, estocásticos o difusos), pero la mayoría ocupan una combinación de éstos.

3) De acuerdo con el número de decisores involucrados en el proceso de decisión: **decisión individual o decisión grupal**.

4) De acuerdo con el tipo de compensación: Dado que los criterios están en conflicto unos con otros, es necesario establecer *trade-offs* o razones de intercambio entre ellos. Es importante que estas razones de cambio sean cuantificadas correctamente para que reflejen las preferencias del decisor. Estos parámetros también suelen referirse como comparaciones **inter-criterio o de compensación**. Aunque se reconoce que no hay una definición unánime para caracterizar el grado de compensación, *Guitouni y Martell (1998)* dan la siguiente descripción:

Técnicas compensatorias: en este caso se admite que puede existir una compensación entre las diferentes evaluaciones de los criterios; es decir, el buen desempeño de un criterio puede estar en contrapeso con un desempeño pobre de otro criterio.

Técnicas no compensatorias: los *trade-offs* no están permitidos, el decisor puede establecer que los criterios son tan importantes que no se puede establecer ningún tipo de compensación entre ellos.

Técnicas parcialmente compensatorias: en este caso, se acepta algún tipo de compensación entre los criterios, el principal problema está en definir el grado de compensación de cada uno. La mayoría de las técnicas MCDA se incluyen en esta clase.

Así mismo, *Guitouni y Martell (1998)* aseveran que esta definición intuitiva no es tan útil, ya que no es una tarea sencilla clasificar un método como compensatorio, no compensatorio o parcialmente compensatorio.

5) De acuerdo con el número de alternativas: se clasifican en discretos (para un número definido y bien delimitado de alternativas) y continuos (para un número infinito de alternativas). En esta tesis sólo nos enfocaremos a las técnicas discretas. *Guitouni (1998)* asigna estas técnicas a las siguientes categorías:

- Enfoque basado en la síntesis de un criterio. *Métodos de teoría de utilidad multiatributo;*
- Enfoque basado en la síntesis de un sistema relacional de preferencias. *Métodos de outranking;* y
- Juicio local interactivo con enfoque de prueba y error. *Métodos interactivos*

Métodos de utilidad multiatributo. Este enfoque es el más tradicional. Está caracterizado por reglas formales que toman en cuenta los desempeños de cada alternativa y permiten asignarle una posición bien definida (generalmente a través de un valor numérico) en una escala apropiada. La forma de agregación se dirige a definir un pre-orden completo del conjunto de alternativas. Las

reglas formales consisten de una fórmula matemática que se dirige a la definición explícita de un criterio único que sintetice los desempeños de los criterios. Este es el caso de técnicas como MAUT, SMART, TOPSIS, MACBETH, AHP. En cualquier caso, no permite ninguna incomparabilidad, dirigiéndonos a una estructura de preferencia tipo (P, I) o en algunas técnicas, (P,Q, I).

Métodos de outranking (o de sobreclasificación). Este enfoque está basado en un procedimiento matemático explícito. La principal diferencia con el enfoque anterior proviene del hecho de que aquí el MCAP no trabaja de manera separada con cada alternativa, sino que compara sucesivamente cada alternativa con el resto. En otras palabras, el problema de agregación no se enfoca en términos de definir un pre-orden completo del conjunto de alternativas, sino en comparaciones por pares para diseñar un sistema relacional de preferencias. La idea primaria de los métodos de outranking surgió en el ámbito de la teoría de la elección social. La técnica ELECTRE fue el primer método que utilizó este enfoque; posteriormente le siguieron nuevas versiones de ELECTRE y otros métodos como PROMETHEE, ORESTE, REGIME y MELCHIOR.

Métodos interactivos. Estos métodos constan de tres pasos iterativos: primero, algún método específico es empleado para seleccionar un conjunto pequeño de alternativas factibles, si al decisor le satisface esta solución el proceso se detiene, si no, en una segunda etapa se le cuestiona sobre información que pueda mejorar el proceso; finalmente, se utiliza esta información para alimentar el proceso de selección, y se vuelve al paso 1.

Como puede observarse en párrafos anteriores, la variedad de enfoques ha dado lugar al desarrollo de múltiples técnicas. Saber qué técnica emplear requiere analizar primero cuáles son las características de la situación que deseamos resolver y después, cuáles son las características de las diferentes técnicas para distinguir cuáles se adaptan a las particularidades de la situación de interés. Sin embargo, hacer un análisis de todas las técnicas existentes es un trabajo arduo que difícilmente puede llevarse a buen término debido a la cantidad de métodos y a las variantes que surgen día con día. Aunque existe un gran número de técnicas, no todas son igualmente empleadas. A continuación se definirá cuáles son algunas de las técnicas más empleadas y cuáles las que se analizarán en esta tesis.

2.4 Técnicas multicriterio más empleadas

La variedad de técnicas para resolver un problema de decisión multicriterio ha crecido rápidamente en las últimas décadas. Investigaciones recientes identifican cientos de técnicas multicriterio para categorizar o calificar las opciones, dar peso a los criterios y transformarlos en unidades medibles (*Hajkowicz, 2008*).

Mendoza y Martins (2006) hacen una revisión de las técnicas más comúnmente empleadas para los problemas de toma de decisiones y aseveran que AHP es la más empleada por parte de los métodos de utilidad multiatributo, y PROMETHEE y ELECTRE las técnicas de sobreclasificación usadas con mayor frecuencia.

Gilliams (2005) elige estas tres técnicas para realizar un análisis comparativo “dado su amplio uso como apoyo a decisiones multicriterio en procesos de planeación”. Así mismo, *Leyva-López*

(2003) afirma que “dos de los más populares métodos de sobreclasificación son ELECTRE y PROMETHEE”.

Además de las citas anteriores (en las que se menciona explícitamente cuáles son las técnicas más empleadas) es notable el amplio uso de AHP; PROMETHEE y ELECTRE en las publicaciones relativas a la toma de decisiones multicriterio; ya sea para aplicar la técnica, para analizar alguna fase específica de su procedimiento, para realizarle alguna adaptación, o bien, para fusionarla o combinarla con algún otro método.

Aunque estas son las técnicas más empleadas muchos de quienes las emplean no argumentan el porqué de su elección. El problema de cómo seleccionar la más apropiada persiste dado que la mayor cantidad de información existente en torno a ellas se centra en el análisis “duro” de su aplicación, es decir, en el análisis de parámetros, complicaciones, en el análisis de sensibilidad, etc. A continuación, se analizará a grandes rasgos el porqué de este problema.

2.5 El problema a resolver: cómo elegir la técnica apropiada

Algunos autores, como *Hajkowitz (2008)* reconocen que la variedad de técnicas para abordar un problema multicriterio se han incrementado rápidamente en las recientes décadas, llegando a cientos de técnicas o métodos para estos fines y que las oportunidades para construir nuevos métodos por medio de la combinación o modificación de los ya existentes son prácticamente ilimitadas. En su *Manifiesto de la Nueva Era del Análisis Multicriterio Bouyssou* y otros autores reconocieron en 1993 que “aunque la gran diversidad de métodos de apoyo a la toma de decisiones puede ser vista como un punto fuerte, es en realidad una debilidad. Hasta ahora no es posible decidir si un método hace más sentido que otro en la solución de un problema específico”. *Harambopoulos (2003)* asume que no hay mejores o peores técnicas, pero asevera que algunas técnicas se adaptan mejor que otras a un problema particular de toma de decisiones.

El estudio de los diferentes métodos multicriterio revela que cada uno de ellos tiene supuestos e hipótesis en los cuales basa todo su desarrollo teórico y axiomático. Estos supuestos e hipótesis son las fronteras más allá de las cuáles el método no debe ser usado. *Guitouni (1998)* asevera que, sorprendentemente, los practicantes ignoran en la mayoría de los casos las limitaciones de estos métodos.

Guitouni (1998) formuló el proceso de la figura 2.1, el cual consta de las siguientes etapas:

1. Estructuración del problema
2. Definición y modelado de las preferencias
3. Agregación de las evaluaciones de las alternativas (preferencias)
4. Recomendaciones

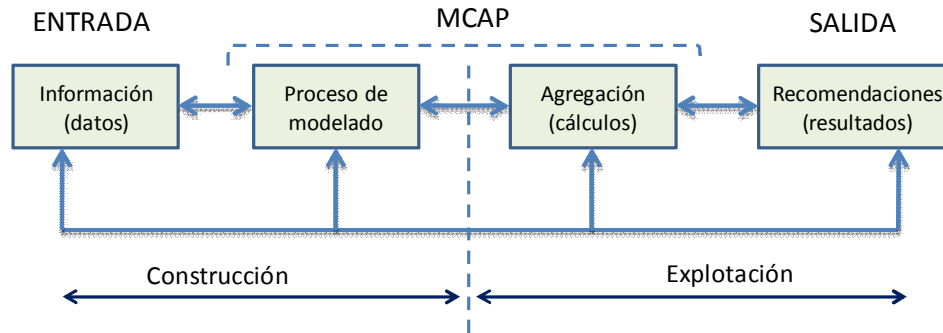


Figura 2.1 Esquematización de un método MCDA (Guitouni, 1998)

La ENTRADA se refiere a la información necesaria: los criterios, la información inter-criterio, los parámetros necesarios para aplicar el método, etc. Esta información puede ser expresada de manera ordinal o cardinal, bajo certeza o incertidumbre, etc. El método que se elija dependerá, en parte, de la información de la que se dispone y del tratamiento que se vaya a dar a los criterios, ya que no todas las técnicas requieren todos los parámetros, ni hacen uso de la información en el mismo sentido. Además, cuanto mayor es el número de parámetros es más difícil que los participantes de la decisión tengan claro qué representan.

El proceso de modelado de las preferencias y el algoritmo de agregación de las evaluaciones son etapas que manejan la información de manera distinta y que hacen la diferencia entre los diferentes modelos. Las características de las diferentes técnicas respecto a estas etapas se deben conocer para poder seleccionar la técnica apropiada. De acuerdo con *Easton (1978)* existen más dificultades que las que se puedan sospechar al hacer la selección del método o regla de consolidación, ya que el que una alternativa sea mejor en un método de agregación no implica que lo sea en otro; y el que dos alternativas no idénticas sean igualmente meritorias, o que no lo sean, depende en gran parte del método que se utilice para combinar las puntuaciones de evaluación en el índice único de valoración (proceso de agregación).

La SALIDA se compone de los resultados obtenidos de aplicar el procedimiento de agregación. Estos resultados pueden ser una selección de alternativas, una categorización de ellas o una jerarquización total o parcial de las mismas. Con estos resultados se elaboran recomendaciones al decisor o cliente.

Existen fortalezas y debilidades asociadas a cada método MCDA. El cuidado y el juicio deben ser empleados para elegir el método apropiado para una situación específica. Generalmente, no todos los métodos aplicables a situaciones específicas generan soluciones similares. En el comienzo de la evolución del análisis multicriterio, la selección de las técnicas no era una etapa considerada, sin embargo ahora es claro que existen consecuencias al implementar una técnica que no sea adecuada (*Al-Shemmeri, 1997*). Según *Gilliams (2005)*, algunas de estas consecuencias pueden ser:

1. Se puede aplicar una técnica que no es la más adecuada a la situación;
2. Otras técnicas útiles pueden ser juzgadas como inapropiadas;
3. Se puede incurrir en decisiones erróneas, con las consecuentes pérdidas de tiempo, dinero y energía;
4. Los usuarios potenciales pueden sentirse desalentados de aplicar las técnicas a problemas del mundo real.

Mendoza (2006) hace un recuento de las conclusiones a las que han llegado otros autores respecto a los aspectos claves que deben considerarse para seleccionar la técnica idónea. Algunas de estas conclusiones son:

- Consistencia de resultados;
- Robustez de la solución ante cambios en los parámetros;
- Facilidad de cómputo.

o bien,

- Nivel de confort de los usuarios ante cada método;
- El nivel de confianza que tienen en cada técnica;
- La habilidad del método para ayudar a los usuarios a entender su problema;
- La validez de los resultados con respecto a las preferencias;
- La facilidad de uso.

La definición de estos aspectos clave depende mayormente de quién va a hacer uso de ellos. En nuestro caso, el usuario será el practicante, quien tiene su propia problemática cuando se trata de aplicar el análisis multicriterio en procesos de grupo.

Problemática del practicante ante el proceso grupal de toma de decisiones multicriterio

Dada la importancia de este tipo de decisiones, es común que el decisor busque contar con la colaboración de los principales involucrados para que aporten sus conocimientos y puntos de vista y contar de esta manera con mayor información, además de incrementar la aceptación de la decisión final; es decir, que el proceso de toma de decisiones sea también un medio de legitimación. Como ya se mencionó en el capítulo 1, para este tipo de decisiones es frecuente que el decisor opte por implementar un proceso de toma de decisiones grupal (guiado por un practicante) que le facilite la selección final de la alternativa idónea.

En la figura 2.2 se observa el proceso de interés para este trabajo de tesis, particularmente la fase 5. La intervención del practicante se da a partir del paso no. 4. (para un mayor detalle de estas etapas, ver capítulo 1).

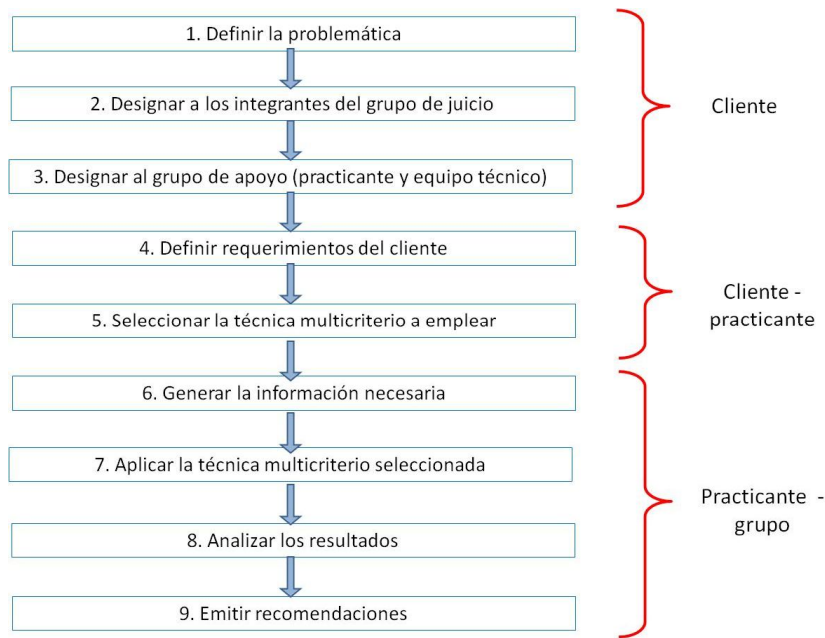


Figura 2.2 La intervención del practicante en el proceso de toma de decisiones multicriterio

En la práctica, es el practicante el que sugiere qué método de evaluación utilizar, ya que él es el experto y conoce acerca de la conveniencia de aplicar uno u otro método, sin embargo, como *Guitouni (1998)* afirma, *muchos analistas e investigadores son incapaces de justificar claramente la elección que realizan del método multicriterio que emplearán. En general, esta elección es motivada por una especie de familiaridad o afinidad con un método específico (...) adaptando la situación al método y no lo contrario.* La figura 2.3 es un marco propuesto por este autor para elegir el método multicriterio apropiado.

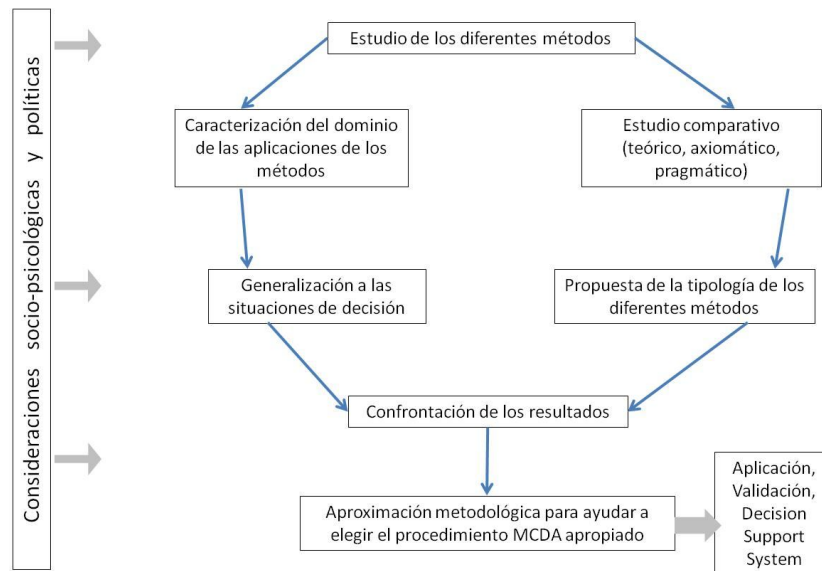


Figura 2.3 Aproximación de la metodología para elegir un MCDA apropiado (*Guitouni, 1998*)

Koen (2008) propone tres consideraciones que deben tomarse en cuenta para clasificar las diferentes técnicas, con el fin de que esta clasificación sea útil para el practicante. Estas consideraciones son las descritas en la figura 2.4.

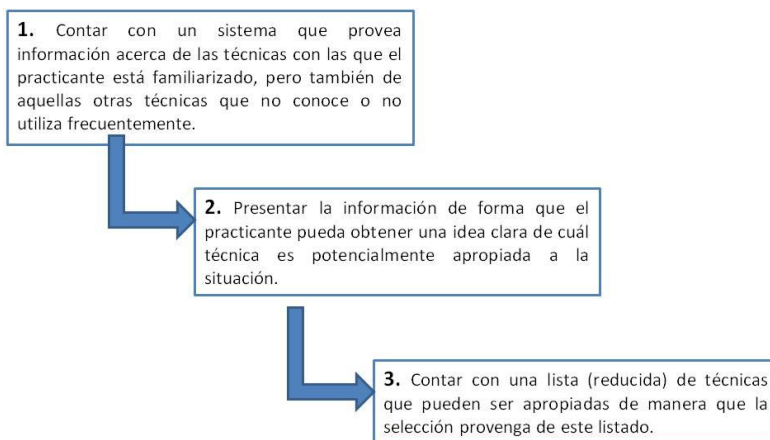


Figura 2.4 Recomendaciones para clasificar técnicas multicriterio (Koen, 2008)

Esta tesis trata de seguir las tres recomendaciones de *Koen* (figura 2.4) para formular la propuesta de *Guitouni* respecto a la tipología de los diferentes métodos (ver figura 2.3). Como puede suponerse, sería demasiado el esfuerzo necesario para cubrir todas las etapas que involucra el marco metodológico de *Guitouni*. Como ya se mencionó, actualmente existen cientos de técnicas MCDA y hacer un estudio de este tipo para todas ellas sería demasiado demandante, además de que continuamente se generan nuevos modelos. Además, el carácter práctico que se quiere dar a este trabajo también nos condiciona a que el análisis realizado a cada técnica esté guiado por la evaluación real que un practicante pudiera realizar para determinar la pertinencia de emplear uno u otra técnica. Por ello, sin dejar de lado este marco propuesto, se llegó a la conclusión de que lo que se requiere para seleccionar entre varias técnicas (*propuesta de la tipología de los métodos*) es contar con claves o criterios que nos ayuden a caracterizar (en sus rasgos más importantes y representativos para la práctica) cada una de las técnicas.

Siguiendo las recomendaciones de *Koen*, en esta tesis se busca proveer información acerca de las técnicas más empleadas (AHP y PROMETHEE), pero también se incluye una técnica nueva (diseñada a partir del Ábaco de Régnier). La manera en que se presentará esta información será mediante una tabla, que permita observar fácilmente cuál técnica es la que mejor se adapta a la situación particular que estará abordando. Tercero: esta tesis contempla principalmente tres técnicas: AHP, PROMETHEE en sus versiones I y II y la propuesta del Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio.

Entre los métodos multicriterio más citados en la literatura se encuentran los dos primeros mencionados en el párrafo anterior. Pero a pesar de la gran cantidad de investigaciones relacionadas con ellos, es poca la literatura donde se mencione porqué se elige ese método y no otro. La mayoría de los las publicaciones buscan demostrar la aplicación de la técnica, enfocándose en los resultados obtenidos o en el análisis de sensibilidad posterior, ya que su interés principal no estaba en el proceso previo a la aplicación. Otros artículos mencionan algunas ventajas y desventajas de estas técnicas, pero solamente como apoyo a la comparación que realizan para, en algunos casos, mejorar una técnica en sus deficiencias combinándola con los

puntos fuertes de la otra (algunos de estos artículos se revisarán en el capítulo 3 y capítulo 4 de esta tesis).

AHP y PROMETHEE tienen en común que utilizan algoritmos con una base matemática para la que se requiere cierto nivel de conocimiento; sin embargo, no en todos los grupos los integrantes tienen la misma formación o cuentan con información suficiente para entender los algoritmos y parámetros necesarios para llegar al resultado final. Para estos casos sería deseable contar con métodos cualitativos, que permitan entender claramente el proceso de agregación y jerarquización final de las alternativas, métodos más intuitivos o visuales que promuevan en el grupo un clima de control del proceso. El Ábaco de Régnier es una técnica con las características anteriores que aunque no fue diseñada expresamente para análisis multicriterio, puede emplearse en estos procesos con algunas modificaciones en su aplicación (mismas que se verán con más detalle en el capítulo 4). Se decidió incluir la modificación de esta técnica en este trabajo de tesis para contar con una opción “suave” que cumpla con los fines de las otras 2 opciones caracterizadas principalmente por el tratamiento matemático que se da a la información.

Una de las etapas de la propuesta de *Guitouni* (ver figura 2.3) consiste en la generalización a las situaciones de decisión. Para ello es necesario primero qué aspectos caracterizan los procesos grupales de toma de decisiones multicriterio.

Caracterización de las situaciones de toma de decisiones multicriterio

De acuerdo con *Guitouni (1998)* el decisor no es siempre consistente y racional al articular sus preferencias a lo largo del tiempo. Más aún, es claro que muchas otras consideraciones afectan el proceso de toma de decisiones. Estas consideraciones se muestran en la figura 2.5.

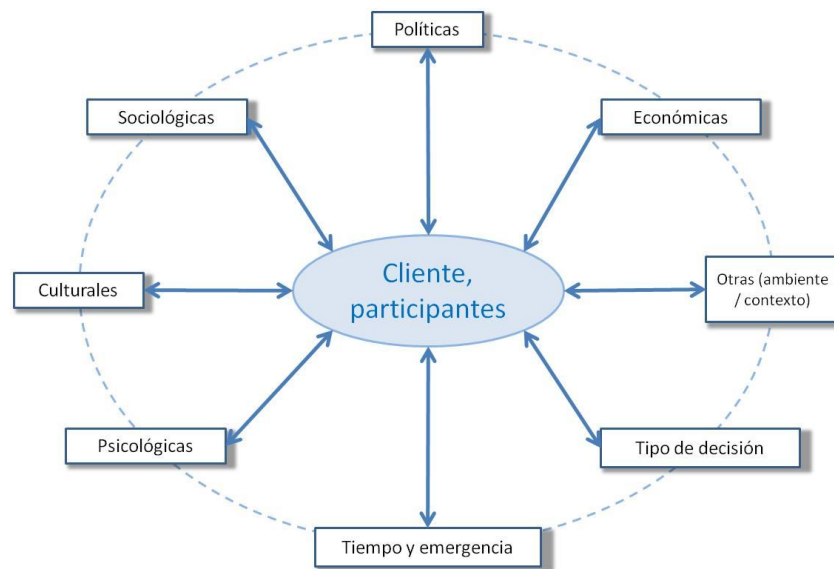


Figura 2.5 Algunas consideraciones inherentes a las situaciones de toma de decisiones (Tomado de *Guitouni, 1998*)

Para entender cómo influyen y donde surgen las diferentes acepciones de la figura 2.5, se modela el sistema en el cual se llevan a cabo los procesos participativos de toma de decisiones multicriterio, tal cual se muestra en la figura 2.6.

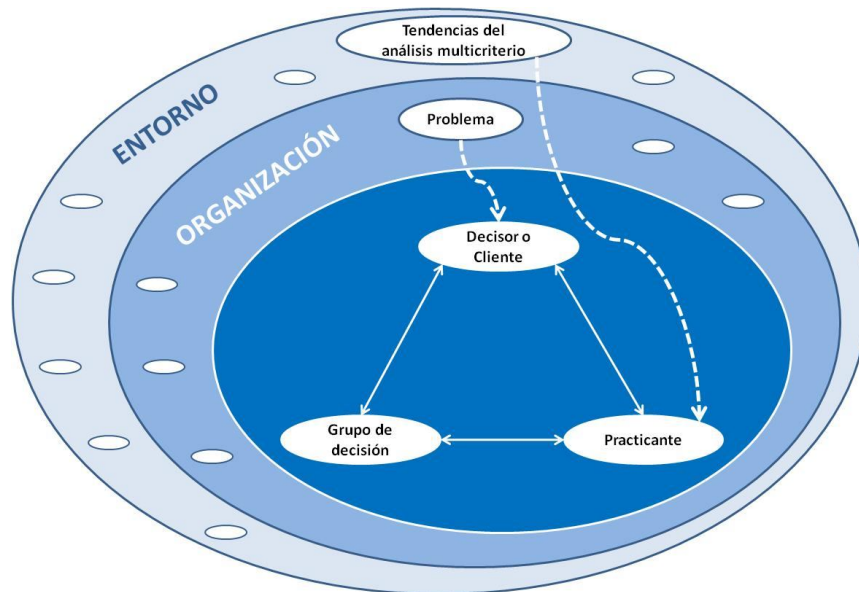


Figura 2.6 Sistema para la toma grupal de decisiones multicriterio

El entorno es todo aquello exterior a la organización que puede influir en el sistema (tendencias económicas, tecnológicas, sociales, políticas, académicas, etc.). Todos los subsistemas del entorno influyen a la organización en sus fines y operaciones, sin embargo, el subsistema relevante para el sistema de interés (la toma grupal de decisiones multicriterio) es el relacionado con las tendencias académicas y prácticas del análisis multicriterio.

El suprasistema es la organización en la cual se lleva a cabo el proceso. Los objetivos de la organización, sus normas, políticas y estructura dotan de información al sistema de toma grupal de decisiones multicriterio. El sub-sistema de interés es el relativo al problema específico de decisión, ya que el tipo de problema definirá al cliente (persona o grupo responsable de darle solución).

El fin del sistema para la toma grupal de decisiones multicriterio es evaluar las alternativas, a través de un proceso participativo y empleando una técnica multicriterio, para que estos resultados faciliten la toma de la decisión final.

Los elementos relevantes de este sistema son los siguientes:

Decisor o cliente: como ya fue definido en el capítulo 1, este elemento representa los intereses de la organización. Es quien funge como “dueño” del problema, posee la información relativa a éste (proveniente del supra-sistema) y es el responsable de tomar la decisión final, o bien, de reportar los hallazgos logrados en el proceso a otra persona o instancia con mayor poder jerárquico para tomarla. Esta entidad es quien solicita la intervención del practicante y puede o no participar en el proceso. Establece las reglas de constitución del grupo de decisión y brinda información al practicante acerca del problema y de cómo desea que se lleve a cabo el proceso.

Practicante: es el profesional con experiencia en procesos grupales de toma de decisiones multicriterio que intervendrá en la situación por solicitud del cliente, con el fin de liderar el ejercicio, promover y controlar la interacción entre los participantes, lograr acuerdos en las preferencias y brindar apoyo técnico en la aplicación de la técnica. El practicante será el

encargado de recomendar la técnica que mejor se ajuste al problema y al grupo de participantes; para ello utilizará su propia experiencia y también información procedente del entorno relativa a las tendencias de la aplicación del análisis multicriterio.

Grupo de decisión: es el grupo de personas que participará en el ejercicio proporcionando información sobre sus preferencias, generando los parámetros necesarios para la aplicación de la técnica y obteniendo la jerarquización final de las alternativas. Este grupo será definido por el decisor o cliente ya sea por que el asunto compete a sus áreas de responsabilidad, por sus conocimientos en el tema o porque serán afectados directamente por la decisión. El grupo puede estar integrado por participantes internos o externos a la organización, con homogeneidad en el nivel jerárquico y disciplina o conformado de manera heterogénea.

Las relaciones que surgen en este sistema son las siguientes:

Decisor o cliente – practicante. La información que el cliente proporciona al practicante es la relativa al problema específico para el que se requiere tomar la decisión, los objetivos, las alternativas, los criterios y otros parámetros que estén disponibles para la aplicación de la técnica multicriterio. Por su parte, el practicante retroalimenta al cliente, con base en la información proporcionada, acerca de las opciones existentes (proceso de evaluación, técnicas multicriterio existentes) y la técnica multicriterio recomendada, para finalmente reportarle los hallazgos del proceso, los resultados obtenidos y las recomendaciones que considere necesarias.

Decisor o cliente – grupo de decisión. El cliente o decisor es quien define y convoca al grupo de decisión, anticipándole el objetivo del proceso y solicitándole la información necesaria previa al ejercicio.

Practicante – grupo de decisión. El practicante es quien guiará al grupo en la definición de los parámetros necesarios para emplear la técnica multicriterio seleccionada y en la aplicación de la misma. Aplicará técnicas adicionales, si es necesario, para ayudar al grupo a definir sus preferencias y para alcanzar el consenso grupal en este rubro.

A continuación se enuncian algunas consideraciones importantes respecto a los atributos relevantes de cada subsistema de interés, de acuerdo con su influencia en el proceso participativo de toma de decisiones multicriterio.

Consideraciones respecto al problema específico de decisión

El problema específico de decisión, como ya se mencionó, surge en la organización. El responsable de buscar la solución es el cliente, quien solicita el apoyo de un practicante para analizar el problema y contar con mayor información para tomar la decisión final. El problema puede estar definido por un número pequeño o grande de alternativas y criterios, aspecto que deberá considerarse al momento de elegir la técnica multicriterio a emplear, pues si bien muchas técnicas cuentan con software para manejar cientos o miles de alternativas y criterios, el proceso de definición de las preferencias grupales para un problema de este tipo se dificulta.

De igual manera, se debe identificar claramente la información disponible respecto al problema pues algunas técnicas emplean parámetros que, si no es posible generarlos con certeza, descalificarían la aplicación de dichas técnicas. El tipo de información (cuantitativa, cualitativa o mixta) también hace una diferencia, pues algunas técnicas son más adecuadas para problemas definidos cualitativamente, mientras que otras funcionan mejor con información cardinal. Otro aspecto importante es el relacionado con el resultado que se espera obtener, es decir, el *tipo de problemática* (α , β , o γ , tal cual fue definido al inicio de este capítulo).

El nivel de urgencia que se tiene para tomar la decisión es un factor importante, pues definirá si es posible o no aplicar técnicas participativas adicionales, el tiempo disponible para la discusión y

retroalimentación al interior del grupo de decisión, y la aplicación o no de técnicas que cuenten con herramientas informáticas que faciliten el análisis.

Consideraciones respecto a las tendencias en el análisis multicriterio

Hajkowitz (2008) menciona que la variedad de técnicas para abordar un problema multicriterio se ha incrementado rápidamente en las recientes décadas, llegando a cientos de técnicas o métodos para estos fines y que las oportunidades para construir nuevos métodos por medio de la combinación o modificación de los ya existentes son prácticamente ilimitadas. Esto, lejos de ser una ventaja para el practicante, se vuelve un obstáculo, pues al existir un número tan grande de técnicas disponibles, su elección se dificulta, prefiriendo emplear los métodos más conocidos o bien aquellos para los que existe una herramienta informática que facilite el análisis de los datos. Además, la mayor parte de la literatura relativa al análisis multicriterio se centra en la documentación de casos de aplicación y en la investigación de sub-procesos algorítmicos de interés para los autores, sin abarcar lo relacionado al proceso de selección de la técnica empleada.

Consideraciones respecto al decisor o cliente

Como ya se mencionó, el cliente es el responsable de dar solución al problema, por lo que atendiendo a la buena práctica profesional, deberá contar con reportes escritos que refuercen o justifiquen las decisiones o recomendaciones al final del proceso participativo de toma de decisiones. Estos reportes deben incluir una explicación detallada de las consideraciones que llevaron a la adopción de las recomendaciones finales y al rechazo de otras alternativas. Además, casi todas las organizaciones tienen métodos formales para evaluar la calidad de las decisiones importantes. Estos métodos implican revisión por superiores, por consultores o auditores externos, por grupos interesados disidentes, por las partes afectadas adversamente por la decisión, por colegas, o por subordinados; por lo que el cliente requerirá que la técnica multicriterio aplicada y todo el proceso, sea claramente documentado y robusto.

El practicante actuará conforme a los requerimientos del cliente, ya sean estos relativos a los resultados que se esperan obtener, el tipo de análisis o técnicas que quiera implementar, o bien, al nivel de interacción que se desea que exista entre los integrantes del grupo de decisión. Esta interacción puede ser mínima, con el fin de que el esfuerzo grupal se centre en la aplicación de la técnica y no se introduzca al proceso “ruido” proveniente de la aplicación de técnicas adicionales que pueden restar tiempo o generar sesgos en las discusiones; o bien, puede ser que el decisor requiera que la interacción sea la máxima para poder definir las preferencias por medio de la discusión y retroalimentación, con el fin de que los consensos alcanzados sirvan además como un apoyo para la legitimación de la decisión final.

El cliente debe ser consciente de que raramente es posible tomar decisiones o hacer evaluaciones que estén del todo exentas de alguna clase de sesgo inherente. La parcialidad puede introducirse en el proceso de varias formas: al definir los criterios, al cuantificar datos, al estimar probabilidades, al predecir consecuencias. Muchos subprocesos de decisión están sujetos a parcialidades sutiles o notables, por lo que es vital que el cliente sea claro en sus requerimientos y preferencias respecto al uso o no de técnicas participativas adicionales.

Consideraciones respecto al practicante

Guitouni (1998) afirma que en la vida real, el practicante se enfrenta a una situación de toma de decisiones tratando de entender y estructurar la situación: identificar y valorar a los participantes, la emergencia de la decisión, las diferentes alternativas, las consecuencias, los aspectos importantes (criterios), la cantidad y calidad de la información, etc. Después se selecciona (de

entre el conjunto de métodos existentes) el método que se adecue “correctamente” a la situación (...) sin embargo, este no es siempre el camino que los practicantes siguen: esta elección está influenciada además por otras consideraciones contextuales, políticas y de comportamiento. Si las partes afectadas tienen el poder y el conocimiento para cuestionar la elección de la técnica a emplear les parece que la decisión tiene un efecto desfavorable en su bienestar, tal vez hagan objeciones. Tales protestas serán más probables si existe otro método de agregación que hubiera producido resultados diferentes a los del método que se usó.

Cuando el practicante intenta responderse ¿cuál regla de agregación utilizar? puede presentársele el problema de “la regresión infinita” (Easton, 1978), La respuesta (desde el punto de vista del análisis multicriterio) es (a) definir los criterios por medio de los cuáles se deben evaluar las diferentes alternativas, (b) construir la matriz de decisión, (c) evaluar cada alternativa para cada criterio, (d) ponderar los criterios, (e) escoger una regla de selección para encontrar la mejor alternativa... y ¿cómo se elige esta regla? Se definen los criterios, ...y así hasta el infinito. Guitouni (1998) recomienda evitar el círculo vicioso de usar una técnica multicriterio para elegir una técnica multicriterio.

Otro aspecto para considerar es que el resultado final puede diferir dependiendo del método de agregación (técnica multicriterio) utilizado. Easton (1978) afirma que *algunas técnicas de consolidación pueden introducir patrones sistemáticos de discriminación dentro de la ordenación de cualidades de las alternativas, por lo que no se puede establecer propiamente que de un par de alternativas desiguales no dominantes, una sea superior, inferior o equivalente a otra, a menos que primero se especifique el método para transformar el conjunto de puntuación vectorial en un escalar (método de agregación) porque, en un sistema de ordenación matemática, una alternativa puede ser superior, mientras que con otro sistema, puede ser inferior.*

Para seleccionar la técnica multicriterio, el practicante se apoya en lo que conoce de las técnicas disponibles, en su experiencia previa respecto a la aplicación y resultados de la aplicación de las técnicas que conoce y en la facilidad de analizar los datos por medio de las herramientas informáticas existentes. Otras consideraciones importantes son aquellas relacionadas con el nivel de complejidad de cálculo de las técnicas, pues al tratarse de procesos grupales, debe cuidarse que los participantes entiendan y puedan interpretar los parámetros y los cálculos que se llevan a cabo para analizar y jerarquizar las diferentes alternativas.

Otro aspecto a considerar es el alcance de la técnica, es decir, si incluye o no procesos para analizar las preferencias o determinar de manera consensuada los pesos de los criterios. Algunas técnicas incluyen esta etapa dentro de su procedimiento, pero otras no. En los casos en los que no se cuenta con una etapa o proceso bien definido para el análisis de las preferencias, el practicante deberá implementar técnicas participativas adicionales para obtener esta información, lo que involucra tiempo, esfuerzo o incluso la introducción de sesgos derivados de las discusiones o interacciones necesarias para la aplicación de estas prácticas. Cuando se incluyen procesos que favorecen decisiones intuitivas o impulsivas es muy probable que las emociones, prejuicios, actitudes y predisposiciones influyan la selección de las alternativas. Easton (1978) menciona que *hay muchas oportunidades para introducir juicios y prejuicios de valor cargados de emociones dentro de la mayoría de los procesos “racionales” de decisión.*

Consideraciones respecto al grupo de decisión

El grupo de decisión puede estar conformado por integrantes de diferentes áreas. Un grupo heterogéneo en áreas de expertise (multidisciplinario) requerirá de mayor tiempo para llegar a consensos que un grupo en el que todos sus integrantes provengan de una misma área o disciplina. Otra característica del grupo que se debe considerar es la relacionada con el nivel escolar de la mayoría de los integrantes, pues algunas técnicas manejan cálculos básicos (sumas, restas, promedios) que facilitan el entendimiento y confianza en el método, pero otras incluyen nociones

matemáticas más avanzadas que le dan a los integrantes la idea de “caja negra”, lo que disminuye el nivel de confianza en el ejercicio. De acuerdo con *Easton (1978)* la experiencia demuestra que las técnicas conceptualmente más fáciles de entender y de aplicar son más utilizadas que aquellas más abstractas teóricamente. Puede llegar el caso en el que no se empleen técnicas multicriterio porque el decisor no acaba de comprenderlas y siente que el proceso de toma de decisiones se le escapa de las manos. El grupo tiene que sentir que controla el proceso en todo momento.

Lo anteriormente expuesto, se resume en la figura 2.7:

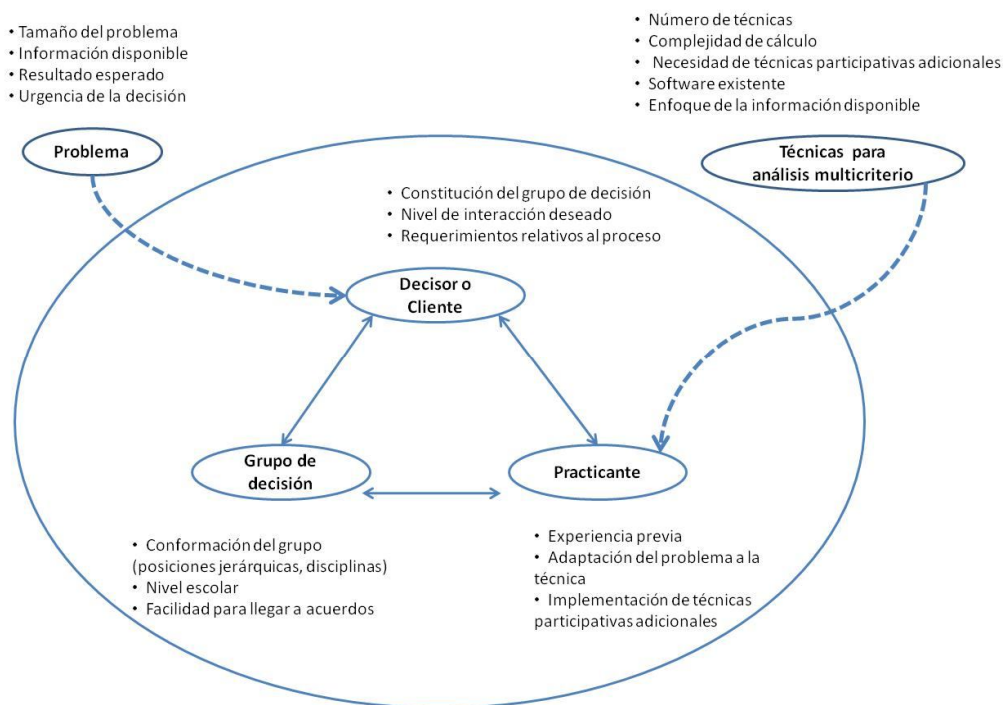


Figura 2.7 Aspectos relevantes de las situaciones de toma de decisiones multicriterio

En el capítulo siguiente se revisa parte de la investigación realizada en la línea de investigación relativa a la definición de criterios para la selección de técnicas multicriterio. Como se observa, es un tema de interés para el cual las propuestas realizadas en torno a estos criterios difieren entre sí en cuanto al número y tipo de ellos. Para esta tesis, dicho análisis, junto con el realizado en párrafos anteriores, permitirá establecer una lista de criterios generales con los cuáles se puedan caracterizar las técnicas de interés de esta tesis y generar pautas para facilitar su selección.

3.

Definición de los criterios

Contenido:

3.1 *Aproximación al estado del arte*

3.2 *Clasificación de los criterios estudiados*

3.3 *Criterios propuestos*

3.1 Aproximación al estado del arte

En este capítulo emplearemos el término criterio en el mismo sentido en que lo usa *Kirti Peniwati (2007)*: “*aquellos que nos ayudan a juzgar el mérito que tiene un determinado enfoque de toma de decisiones*”. Para juzgar qué tan meritorio es un método o técnica es necesario conocer las características de la situación a la que nos estamos enfrentando y cómo responde dicho método ante esas características. En la parte final del capítulo anterior se estudiaron los factores que intervienen en un proceso grupal de toma de decisiones multicriterio; en este capítulo se definirán los criterios que nos ayuden a establecer el mérito que tienen las técnicas multicriterio de interés, respecto a esos factores.

Al-Shemmeri (1996) menciona que el problema de seleccionar la técnica MCDA apropiada para una aplicación particular es en sí un problema de toma de decisiones multicriterio, ya que los criterios empleados para su selección son diferentes en su naturaleza y están en conflicto. Se podría, entonces, emplear una de las varias técnicas multicriterio para resolver el dilema de qué técnica multicriterio elegir ante determinado problema, sin embargo, esto nos llevaría al problema de la regresión infinita (*Easton, 1978*). Por ello, como ya se mencionó en el párrafo anterior, se debe tener cuidado en no confundir el significado del término “criterio” empleado para diferenciar y caracterizar las técnicas multicriterio, con el empleado para modelar el problema específico que se pretende abordar con dichas técnicas.

El problema de seleccionar la técnica multicriterio apropiada para una situación específica ha sido abordado por diferentes autores. En este capítulo se revisan algunas de estas publicaciones y sus aportaciones relativas al establecimiento de criterios para diferenciar las técnicas abordadas en cada artículo y discernir para qué situaciones resulta conveniente aplicar uno u otro método. Tomando como base los diferentes criterios a los que han llegado los autores revisados, se procederá a analizar cada uno de ellos para conjuntarlos de acuerdo a sus características comunes y llegar a una base reducida de criterios que apoyen al practicante en la selección de la técnica adecuada a la situación que abordará. La

caracterización de las técnicas AHP, PROMETHEE y Ábaco de Régnier modificado se realizará con base en los criterios que se definan en este capítulo, para posteriormente establecer las pautas o recomendaciones para que el practicante analice las características de la situación de decisión que enfrenta y elija la técnica pertinente. Como ya se mencionó en la introducción y de acuerdo con lo expuesto de la problemática en el capítulo 2, los criterios aquí definidos y la solución propuesta por esta tesis tendrán un enfoque orientado a las necesidades del practicante.

El establecimiento de las pautas o recomendaciones mencionadas será el resultado de tres procesos principales:

- Definición de los factores relevantes en las situaciones de toma grupal de decisiones multicriterio,
- Definición de los criterios necesarios para caracterizar a las técnicas y poder establecer comparaciones de su desempeño en cada uno de ellos,
- Caracterización de las técnicas con respecto a los criterios definidos.

El primer punto se realizó al final del capítulo 2; mientras que el tercero será tratado en el capítulo siguiente. A continuación se presentan los resultados concernientes al segundo punto, derivados de la revisión de la literatura relacionada con la definición de criterios para elegir correctamente la técnica multicriterio.

Allan Easton (1978)

En el libro “Decisiones administrativas con objetivos múltiples”, Easton menciona que existen más dificultades que las que se puedan sospechar al hacer la selección del método o regla de consolidación; ya que una alternativa que es mejor usando un método de agregación tal vez no lo sea en otro; y el que dos alternativas no idénticas sean igualmente meritorias o no, dependerá en gran parte del método que se utilice para agregar las puntuaciones de evaluación en el índice único de valoración. Esto como parte del algoritmo, sin embargo, este autor propone tomar en cuenta además las siguientes consideraciones:

1. **Necesidad de defensa:** Cuando la decisión afecta a muchos intereses y la elección eventual o calificación de las alternativas está sujeta al ataque de defensores de las alternativas rechazadas, la regla seleccionada deberá ser capaz de justificación. Además, si es necesario documentar la decisión, parte de la presentación debe ser una exposición de la regla de selección que se haya utilizado.
2. **Veracidad de la regla de selección.** La regla de selección deberá ser fácilmente comprensible por aquellos afectados por la decisión. La calificación de alternativas y la elección final deben ser veraces e inspirar confianza a las personas o grupos que tienen el poder de sabotear, resistir o frustrar la implantación de la solución.
3. **Urgencia de la decisión.** Las demoras de tiempo para llegar a una acción adecuada pueden ocasionar una acumulación de pérdidas de recursos u otros tipos de inconveniencias. En estos casos, el que haga la decisión estará sujeto a grandes presiones para haga una decisión rápida. Si una demora no puede justificarse con mejoras a la calidad de la decisión, los métodos más lentos de selección deberían ser excluidos.
4. **Quien será discriminado en contra.** La lógica interna de las diversas reglas de consolidación pueden ocasionar que se discriminen algunos perfiles de puntuación de alternativas y se favorezcan otros. Esto sucede ya sea que el que toma la decisión intente o no que suceda, o esté consciente o no de que sucederá.
5. **Unidades y escalas de medición.** Se debe tener en cuenta la naturaleza de las escalas de medición para elegir correctamente el método que conviene utilizar.

Tarik Al-Shemmeri (1997)

En esta publicación, el autor reconoce que existen fortalezas y debilidades asociadas con cada uno de los métodos multicriterio y que el cuidado y el juicio deben ser usados para seleccionar el método adecuado en una situación específica. En el estudio, se aplicaron 3 modelos distintos (desarrollados anteriormente por otros autores) para apoyar el proceso de selección de la técnica multicriterio apropiada para aplicarla en una situación específica. A partir de estos modelos, se obtuvieron resultados en torno al problema específico de elegir (entre 16 técnicas distintas) el método que mejor se adapta a las situaciones de toma de decisiones multicriterio en proyectos relativos al recurso hidráulico.

A continuación se describen 2 de los modelos empleados y los criterios que incluye cada uno de ellos:

Model Selection Paradigm de Deason (1984)

Este modelo está basado en una lista de 15 descriptores para caracterizar las situaciones de decisión. De acuerdo con la situación específica, se obtiene un subconjunto de descriptores que servirá para filtrar secuencialmente el conjunto de técnicas multicriterio disponibles (usando unas plantillas que se incluyen como apéndice en el modelo) para reducir la lista de métodos a un subconjunto más pequeño.

Los pasos que sigue este modelo son los siguientes:

- I. Definir la lista de técnicas multicriterio disponibles
- II. Formular el problema de decisión
- III. Examinar la lista de descriptores y definir relevancias
- IV. Seleccionar el subconjunto de descriptores de acuerdo a la situación
- V. Examinar y filtrar la lista de las técnicas multicriterio
- VI. Desarrollar criterios adicionales
- VII. Seleccionar el método más adecuado

El proceso que sigue este modelo es el mostrado en la figura 3.1.

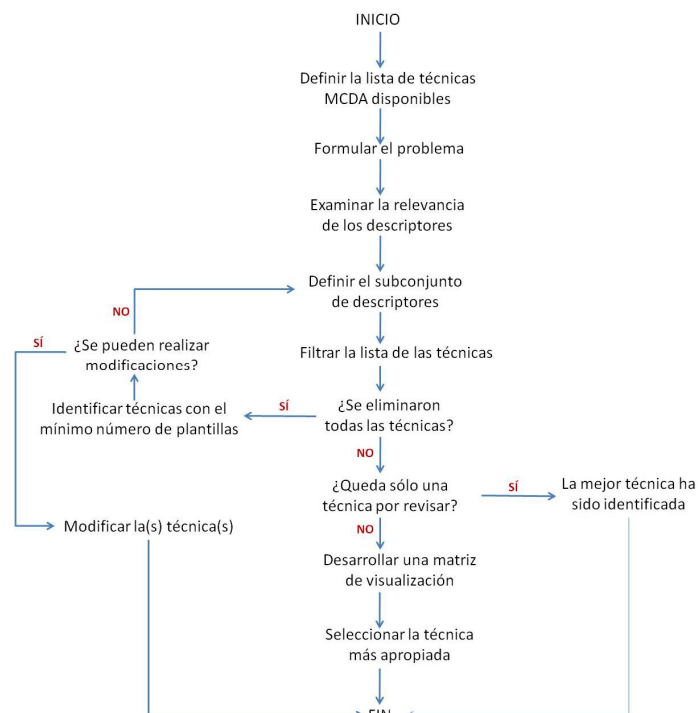


Figura 3.1 Diagrama de flujo del Model Selection Paradigm de Deason (Al-shemmeri, 1997)

Los descriptores propuestos por Deason son los primeros 15 de la lista siguiente, los últimos 3 corresponden a la contribución o adaptación de Al-Shemmeri al método. La interpretación y descripción de estos criterios es propia.

1. **Conjunto finito de alternativas discretas.** Situaciones en las que hay un número definido, explícito y cuantificable de alternativas.
2. **Alternativas continuas.** Situaciones en las que las alternativas no son cuantificables y están determinadas por una función matemática.
3. **Criterios ordinales.** Criterios en cuya escala la distancia entre dos grados no tiene un significado claro en términos de la diferencia de preferencias; su significado es cualitativo.
4. **Objetivo: ranking ordinal.** El resultado de la aplicación de la técnica permite ordenar las alternativas de manera ordinal, es decir 1º, 2º, 3º, etc., en primer lugar la más preferida y en último la menos preferida.
5. **Objetivo: ranking cardinal.** La técnica permite que el orden de los resultados obtenidos pueda ser interpretado además como una medida del nivel de preferencia de una alternativa sobre otra.
6. **Objetivo: portafolio discreto de alternativas.** El resultado deseado de la técnica es que ésta arroje por resultado un sub-conjunto seleccionado de alternativas que cumplan con ciertos requerimientos, pero no ordena de manera ordinal ni cardinal el conjunto completo de alternativas.
7. **Problema de decisión de una sola etapa.** El problema requiere que la técnica empleada sea útil para aplicarse y obtener resultados en una sola etapa, pudiendo realizar análisis de sensibilidad posteriores, pero sin entrar en un proceso iterativo, puesto que el interés principal radica en los resultados finales. La mayoría de las decisiones del mundo real son de este tipo.
8. **Problema de decisión de varias etapas, con cambio de preferencias.** Problemas en los que la etapa de interés radica en el análisis de las preferencias, por lo que el análisis tiene la característica de ser reversible. Para este tipo de problemas, el tiempo no es una limitante.
9. **Número grande de alternativas discretas.** La técnica permite analizar un número elevado de alternativas.
10. **Necesidad de una solución altamente refinada.** En situaciones en las que la decisión final estará sometida a un cuidadoso escrutinio o auditoría se requerirán técnicas cuyo tratamiento técnico o análisis deba superar cualquier cuestionamiento a su lógica o tratamiento axiomático.
11. **Los participantes son renuentes a expresar sus preferencias explícitamente.** Para situaciones en las que la interacción entre los participantes no permita que estos expresen libremente su punto de vista o preferencias.
12. **Los participantes experimentan dificultad para conceptualizar de manera hipotética los trade-offs.** En situaciones en las que los participantes no dispongan de información suficiente o no puedan establecer o entender claramente los trade-offs, se deben evitar técnicas que usen este tipo de parámetros.
13. **Las preferencias de los participantes o decisores por tasas marginales de sustitución entre alternativas, no son independientes del nivel de logro obtenido.** Situaciones en las que los participantes en el análisis tienen un conocimiento profundo del tema y pueden dilucidar los intercambios con claridad.
14. **Necesidad de que los participantes o el decisor entiendan el método.** La situación requiere que la técnica empleada pueda ser fácilmente comprensible por los participantes de la decisión.

15. **Disponibilidad de tiempo limitada de los participantes o el decisor.** El tiempo disponible para aplicar la técnica y su análisis previo es limitado.
16. **Facilidad de uso.** Qué tan fácil es para los participantes aplicar el método.
17. **Interpretación de parámetros.** Algunos métodos requieren estructurar las preferencias mediante parámetros que pueden tener un significado concreto para el decisor, o bien, pueden ser nociones abstractas para él.
18. **Estabilidad de resultados.** Efecto que puede darse en la solución final debido a pequeños cambios en los parámetros usados por el método.

Model choice algorithm de Gershon, 1981

Este modelo se basa en un listado inicial de 27 criterios. El procedimiento que sigue es el siguiente:

- I. Seleccionar un subconjunto de criterios relevantes para el problema en particular
- II. Asignar pesos a los a cada uno de los criterios del subconjunto
- III. Evaluar las capacidades de las técnicas

Este modelo consta de 27 criterios agrupados en cuatro categorías. La interpretación y descripción de estos criterios es propia.

- A) **Criterios binarios obligatorios.** Son criterios que tienen el poder de descalificar de manera inmediata una técnica si ésta no cumple con tal criterio. Su valor se califica con 1 si cumple, o 0 si no. Los criterios agrupados en esta categoría son:
 1. **Maneja criterios cualitativos.** Criterios en cuya escala la distancia entre dos grados no tiene un significado claro en términos de la diferencia de preferencias; su significado es cualitativo.
 2. **Maneja conjuntos discretos.** Situaciones en las que hay un número definido, explícito y cuantificable de alternativas.
 3. **Maneja conjuntos continuos.** Situaciones en las que las alternativas no son cuantificables y están determinadas por una función matemática.
 4. **Maneja problemas dinámicos.** Problemas que surgen en entornos variables en el tiempo, cuyo comportamiento se expresa mediante funciones o a través de sub-modelos que dependen también del tiempo.
 5. **Maneja problemas estocásticos.** Son aquellos problemas para los cuales parte de la información necesaria no se conoce con certeza y se comporta de manera probabilística.
- B) **Criterios no obligatorios.** Son criterios que no descalifican por sí mismos a una técnica, permitiéndole continuar siendo evaluada por los criterios siguientes. Si aprueba cualquiera de estos criterios, la calificación asignada es de 1, siendo 0 la calificación de falla. Los criterios en esta etapa son:
 6. **Comparación con un objetivo.** Situaciones en las que es necesario (para obtener algunos parámetros o valores del análisis) la comparación del desempeño de las alternativas con un valor objetivo.
 7. **Comparación con un nivel de aspiración** Situaciones en las que es necesario (para obtener algunos parámetros o valores del análisis) la comparación del desempeño de las alternativas con un valor que marca el nivel que se desea alcanzar.

8. **Comparación directa.** Los valores de análisis se obtienen a partir de la comparación directa entre alternativas.
 9. **Solución fuertemente eficiente.** Capacidad de obtener una solución con el mínimo de recursos.
 10. **Ranking completo.** El resultado de la aplicación de la técnica permite ordenar las alternativas de manera ordinal, es decir 1º, 2º, 3º, etc., en primer lugar la más preferida y en último la menos preferida.
 11. **Ranking cardinal.** La técnica permite que el orden de los resultados obtenidos pueda ser interpretado además como una medida del nivel de preferencia de una alternativa sobre otra.
 12. **Capacidad de manejar variables enteras.** Situaciones en las que los parámetros sólo pueden ser expresados por medio de números enteros o de manera binaria (0 y 1).
- C) Criterios que dependen de la técnica.** Especificaciones de la técnica cuyas calificaciones se miden en una escala subjetiva de 0 a 10.
13. **Tiempo de cómputo requerido.** Tiempo disponible para alimentar y correr el algoritmo en una computadora.
 14. **Tiempo de implementación requerido.** Tiempo disponible para aplicar la técnica.
 15. **Tiempo de interacción requerido.** Tiempo disponible para el análisis previo a la aplicación de la técnica.
 16. **Conciencia del decisor.** Nivel de conocimiento del decisor o los involucrados sobre el problema o situación particular.
 17. **Consistencia de resultados.** Nivel de coherencia de los resultados.
 18. **Robustez de resultados.** En situaciones en las que la decisión final estará sometida a un cuidadoso escrutinio o auditoría se requerirán técnicas cuyo tratamiento técnico o análisis deba superar cualquier cuestionamiento a su lógica o tratamiento axiomático.
 19. **Manejo de decisor grupal.** Situaciones en las que es posible someter el análisis y la jerarquización de alternativas a un grupo.
- D) Criterios que dependen de la aplicación.** Criterios que dependen del problema específico y cuyas calificaciones se miden en una escala de 0 a 10.
20. **Número de alternativas.** La técnica permite analizar un número elevado de alternativas.
 21. **Número de sistemas.** Cantidad de sistemas que pueden ser analizados simultáneamente por la técnica.
 22. **Número de restricciones.** El problema incluye condiciones restrictivas en sus variables (alternativas o criterios).
 23. **Número de variables.** El algoritmo de la técnica permite un número elevado de variables.
 24. **Nivel de conocimientos de los participantes en la decisión.** La situación requiere que la técnica empleada pueda ser fácilmente comprendida por los participantes de la decisión.
 25. **Tiempo disponible para la interacción.** De cuánto tiempo se dispone para la interacción de los participantes.
 26. **Se desea que exista interacción.** Es deseable que exista interacción para la aplicación de la técnica.

27. **Confidencialidad en la estructuración de las preferencias.** Para situaciones en las que la interacción entre los participantes no permita que estos expresen libremente su punto de vista o preferencias.

Abel Guitouni (1998)

El objetivo de este artículo es proponer un marco conceptual con guías tentativas para elegir un método multicriterio de toma de decisiones; considerándolo como un primer paso hacia un enfoque metodológico que permita realizar esta selección de acuerdo con una situación específica. Para los autores, es un círculo vicioso pensar en usar un método multicriterio para elegir un método multicriterio; por ello, estas guías son simplemente principios generales y, según sus palabras, no deben ser consideradas como criterios (en el sentido más elemental en que este término se entiende dentro del campo de decisiones multicriterio).

1. **Stakeholders.** Guía relacionada con el número de participantes en el proceso de decisión. Si hay muchos decisores (jueces), se puede pensar en métodos de toma de decisiones grupal, o en sistemas de soporte para toma de decisiones en grupo.
2. **Decisor.** Lineamiento relacionado con la conveniencia de considerar el modo de pensar del decisor cuando elige un modo de expresar las preferencias. Si está más cómodo con comparaciones por pares, no habría porqué implementar otro tipo de método.
3. **Tipo de problema.** Determinar el objetivo final de la problemática que persigue el decisor. Si el decisor requiere ranking de alternativas, entonces se debe realizar la selección de la técnica buscando entre las opciones que permiten obtener este tipo de resultado.
4. **Información disponible.** Elegir un método que trate adecuadamente la información disponible y para el cual el decisor pueda proporcionar fácilmente los datos requeridos; la cantidad y la calidad de la información son aspectos principales en la elección del método.
5. **Nivel de compensación.** El grado de compensación de una técnica es un aspecto importante para ser considerado y explicado al decisor. Si él rechaza toda compensación, muchos métodos no serán considerados y la selección se reducirá a aquellas técnicas que compensatorias o parcialmente compensatorias.
6. **Verificación.** Recomendación relacionada con el hecho de que las hipótesis fundamentales del método requieran ser verificadas para probar su robustez.
7. **Software.** Guía relacionada con la existencia de sistemas de soporte a la toma de decisiones.

Cathy Macharis (2004)

Este artículo discute las fortalezas y debilidades de los métodos PROMETHEE y AHP para proponer las adecuaciones que pueden ser implementadas para integrar las ventajas de ambas técnicas y mejorar sus resultados.

1. **Tipo de compensación.** Criterio relacionado con la capacidad de la técnica para utilizar trade-offs entre criterios (compensar una mala puntuación en un criterios con una mejor puntuación en otro criterio).
2. **Estructura del problema.** Criterio relacionado con la facilidad de observar cómo se desarrolla el análisis, si la estructuración que provee la técnica facilita la visualización o comprensión, o si no cuenta con tal estructuración.

3. **Tratamiento de inconsistencias.** Criterio relacionado con la capacidad de detectar el nivel de inconsistencia en la definición de las preferencias del decisor.
4. **Determinación de pesos.** Criterio concerniente a la existencia (dentro de la técnica) de un proceso específico para evaluar los pesos de los diferentes criterios.
5. **Obtención de la evaluación.** Criterio relacionado con la complejidad de cálculo de la técnica. Es decir, si el método requiere un esfuerzo grande para el análisis (por ejemplo, la comparación por pares en AHP) o tiene limitantes inherentes a su algoritmo.
6. **Rank reversal problem.** Relativo al hecho de que el método adolezca del problema de inversión de orden al agregar una nueva alternativa al análisis.
7. **Decisiones en grupo.** Criterio para definir si el método puede ser aplicado en situaciones de toma de decisiones en grupo a partir del consenso o promedio de sus parámetros.
8. **Software.** El método cuenta con software para su aplicación
9. **Visualización del problema.** El método cuenta con herramientas o técnicas gráficas que facilitan el análisis de los resultados.

S. Gilliams, 2005

En esta investigación se comparan los resultados de tres técnicas multicriterio numéricas comunes (ELECTRE, PROMETHEE y AHP) para ayudar a los decisores a seleccionar alternativas en proyectos de reforestación. Los criterios que se emplearon para hacer esta comparación son los tres siguientes (se empleó un cuarto criterio relacionado únicamente con el caso de estudio, por lo que se omite):

1. **Uso amigable.** Descrito como la facilidad con la que el usuario trabaja y entiende el método. Esto depende de la definición de los parámetros y del uso de la información. El número de parámetros debe manejable y sus valores fáciles de interpretar.
2. **Simplicidad del modelo.** Descrito como la facilidad con la que el usuario trabaja y entiende el método, y de qué tan complejos deben ser los antecedentes matemáticos del usuario.
3. **Variación en la solución.** Este criterio engloba características tales como la ambigüedad de la solución y la variación que pueda darse como resultado de cambios en las preferencias.

Wang Jian-Jun, 2007

Los autores proponen la aplicación de una técnica híbrida para toma de decisiones relacionadas con la subcontratación en el área de sistemas de información. La técnica propuesta se compone por dos de los métodos de interés de esta tesis: AHP y PROMETHEE. El estudio incluye un análisis comparativo entre estas técnicas, con base en los siguientes criterios:

1. **Tipo de compensación.** Criterio relacionado con la capacidad de la técnica para utilizar trade-offs entre criterios (compensar una mala puntuación en un criterios con una mejor puntuación en otro criterio).
2. **Estructura del problema.** Criterio relacionado con la facilidad de observar cómo se desarrolla el análisis, si la estructuración que provee la técnica facilita la visualización o comprensión, o si no cuenta con tal estructuración.

3. **Determinación de pesos.** El método incluye una técnica para evaluar los pesos de los diferentes criterios.
4. **Obtención de la evaluación.** El método requiere un esfuerzo grande para el análisis (por ejemplo, la comparación por pares en AHP) o tiene limitantes inherentes a su algoritmo.

Kirti Peniwati, 2007

Este estudio compara, con base en 16 criterios, varios métodos de apoyo a la toma de decisiones en grupo. En opinión del propio autor, tales criterios pueden incrementarse en revisiones subsecuentes o bien, en debates que cuestionen la pertinencia de estos criterios en problemas de toma de decisiones multicriterio. La base de criterios es la siguiente:

1. **Grupal: efectividad del liderazgo.** El método cuenta con características o herramientas que faciliten la función del líder para guiar y mejorar el trabajo dentro del grupo
2. **Grupal: retroalimentación para el aprendizaje dentro del grupo.** El método permite que existan relaciones de retroalimentación en cuanto a las experiencias o conocimiento de los integrantes; o es por lo contrario, altamente técnico.
3. **Abstracción del problema: alcance.** El método cuenta con técnicas para la definición del problema, marca límites, o no contempla esta etapa.
4. **Abstracción del problema: definición de alternativas.** Evalúa si el método tiene técnicas para definir alternativas o si no cuenta con esta etapa.
5. **Estructura: amplitud.** El método permite la inclusión de varios criterios para tomar la decisión (número).
6. **Estructura: profundidad.** Permite el desglose de elementos en sub-elementos (jerarquización de alternativas, criterios).
7. **Análisis: fidelidad de juicios.** El método incluye escalas o técnicas para el análisis de las preferencias.
8. **Análisis: amplitud y profundidad del análisis.** Evalúa si la estructura del método hace factible la revisión posterior o modificación de parámetros (análisis *what-if*) (análisis de sensibilidad).
9. **Imparcialidad: agregación cardinal.** El método permite hacer la agregación de preferencias individuales mediante una escala cardinal.
10. **Imparcialidad: categorización de los integrantes del grupo.** El método permite otorgar un mayor o menor peso a las preferencias de los diferentes integrantes, de acuerdo con su grado de expertise u otro interés del decisor o cliente.
11. **Imparcialidad: consideración de stakeholders.** Si considera cualitativa o explícitamente la integración de otros actores relevantes, para ello se requiere que el método incluya la etapa de análisis de la situación.
12. **Generalización científica y matemática.** Evalúa el rigor matemático (axiomas, teoremas, generalizaciones) del método.
13. **Aplicación: tratamiento de intangibles.** El método permite asignar una medida de intensidad a los aspectos intangibles.
14. **Aplicación: psychophysical.** Métodos que incluyen la etapa de análisis y permiten el tratamiento de cuestiones de estímulo-respuesta.

15. **Aplicación: resolución de conflictos.** Evalúa si el método cuenta con un enfoque probado, práctico y flexible que facilite la mejor solución en un conflicto.
16. **Validez de los resultados.** Evalúa la estructura de análisis y el tratamiento de datos.

Hasta aquí la revisión bibliográfica realizada, la cual comprendió un total de 7 artículos y 9 modelos distintos; con un total de 89 criterios. Los autores revisados difieren en la cantidad y cualidades de los criterios propuestos. Para fines de la utilidad de la categorización, el número de criterios debe ser reducido y su complejidad debe ser la mínima que un practicante es capaz de abordar en un análisis práctico de las técnicas. A continuación, los 89 criterios revisados serán agrupados, discriminados y categorizados con el fin de llegar a una base de criterios útil para el practicante. La clasificación consistirá en agrupar los 89 criterios en categorías relativas al factor predominante en el criterio (problema, aplicación, técnica y solución), para posteriormente dividir estas categorías en las características más importantes para el practicante (de acuerdo con los factores relevantes para las situaciones de toma grupal de decisiones multicriterio, determinados al final del capítulo 2).

3.2 Clasificación de los criterios estudiados

Los 89 criterios obtenidos a partir de la revisión de la literatura presentada en la primera sección de este capítulo se enlistan en la tabla 3.1.

#	Criterio	Fuente
1	Necesidad de defensa.	Easton, 1978
2	Veracidad de la regla de selección.	Easton, 1978
3	Urgencia de la decisión.	Easton, 1978
4	Quien será discriminado en contra.	Easton, 1978
5	Unidades y escalas de medición.	Easton, 1978
6	Conjunto finito de alternativas discretas.	Deason, 1984
7	Alternativas continuas.	Deason, 1984
8	Criterios ordinales.	Deason, 1984
9	Objetivo: ranking ordinal.	Deason, 1984
10	Objetivo: ranking cardinal.	Deason, 1984
11	Objetivo: portafolio discreto de alternativas.	Deason, 1984
12	Problema de decisión de una sola etapa.	Deason, 1984
13	Problema de decisión de varias etapas, con cambio de preferencias.	Deason, 1984
14	Número grande de alternativas discretas.	Deason, 1984
15	Necesidad de una solución altamente refinada.	Deason, 1984
16	Los participantes son renuentes a expresar sus preferencias explícitamente.	Deason, 1984
17	Los participantes experimentan dificultad para conceptualizar de manera hipotética los trade-offs.	Deason, 1984
18	Las preferencias de los participantes o decisores por tasas marginales de sustitución entre alternativas, no son independientes del nivel de logro obtenido.	Deason, 1984
19	Necesidad de que los participantes o el decisor entiendan el método.	Deason, 1984
20	Disponibilidad de tiempo limitada de los participantes o el decisor.	Deason, 1984
21	Facilidad de uso.	Al-Shemmeri, 1997
22	Interpretación de parámetros.	Al-Shemmeri, 1997
23	Estabilidad de resultados.	Al-Shemmeri, 1997
24	Maneja criterios cualitativos.	Gershon, 1981
25	Maneja conjuntos discretos.	Gershon, 1981

#	Criterio	Fuente
26	Maneja conjuntos continuos.	Gershon, 1981
27	Maneja problemas dinámicos.	Gershon, 1981
28	Maneja problemas estocásticos.	Gershon, 1981
29	Comparación con un objetivo	Gershon, 1981
30	Comparación con un nivel de aspiración	Gershon, 1981
31	Comparación directa	Gershon, 1981
32	Solución fuertemente eficiente.	Gershon, 1981
33	Ranking completo.	Gershon, 1981
34	Ranking cardinal.	Gershon, 1981
35	Capacidad de manejar variables enteras.	Gershon, 1981
36	Tiempo de cómputo requerido.	Gershon, 1981
37	Tiempo de implementación requerido.	Gershon, 1981
38	Tiempo de interacción requerido.	Gershon, 1981
39	Conciencia del decisor.	Gershon, 1981
40	Consistencia de resultados.	Gershon, 1981
41	Robustez de resultados.	Gershon, 1981
42	Manejo de decisor grupal.	Gershon, 1981
43	Número de alternativas.	Gershon, 1981
44	Número de sistemas.	Gershon, 1981
45	Número de restricciones.	Gershon, 1981
46	Número de variables.	Gershon, 1981
47	Nivel de conocimientos de los participantes en la decisión.	Gershon, 1981
48	Tiempo disponible para la interacción.	Gershon, 1981
49	Se desea que exista interacción.	Gershon, 1981
50	Confidencialidad en la estructuración de las preferencias.	Gershon, 1981
51	Stakeholders.	Guitouni, 1998
52	Decisor.	Guitouni, 1998
53	Tipo de problema.	Guitouni, 1998
54	Información disponible.	Guitouni, 1998
55	Nivel de compensación.	Guitouni, 1998
56	Verificación.	Guitouni, 1998
57	Software.	Guitouni, 1998
58	Tipo de compensación.	Macharis, 2004
59	Estructura del problema.	Macharis, 2004
60	Tratamiento de inconsistencias.	Macharis, 2004
61	Determinación de pesos	Macharis, 2004
62	Obtención de la evaluación	Macharis, 2004
63	Rank reversal problem	Macharis, 2004
64	Decisiones en grupo	Macharis, 2004
65	Software	Macharis, 2004
66	Visualización del problema	Macharis, 2004
67	Uso amigable.	Gilliams, 2005
68	Simplicidad del modelo.	Gilliams, 2005
69	Variación en la solución.	Gilliams, 2005
70	Tipo de compensación.	Jian-Jun, 2007
71	Estructura del problema.	Jian-Jun, 2007
72	Determinación de pesos.	Jian-Jun, 2007
73	Obtención de la evaluación.	Jian-Jun, 2007
74	Grupal: efectividad del liderazgo.	Peniwati, 2007
75	Grupal: retroalimentación para el aprendizaje dentro del grupo.	Peniwati, 2007
76	Abstracción del problema: alcance.	Peniwati, 2007
77	Abstracción del problema: definición de alternativas.	Peniwati, 2007
78	Estructura: amplitud.	Peniwati, 2007
79	Estructura: profundidad.	Peniwati, 2007
80	Análisis: fidelidad de juicios.	Peniwati, 2007
81	Análisis: amplitud y profundidad del análisis.	Peniwati, 2007
82	Imparcialidad: agregación cardinal.	Peniwati, 2007
83	Imparcialidad: categorización de los integrantes del grupo.	Peniwati, 2007

#	Criterio	Fuente
84	Imparcialidad: consideración de stakeholders.	Peniwati, 2007
85	Generalización científica y matemática.	Peniwati, 2007
86	Aplicación: tratamiento de intangibles.	Peniwati, 2007
87	Aplicación: psychophysical.	Peniwati, 2007
88	Aplicación: resolución de conflictos.	Peniwati, 2007
89	Validez de los resultados.	Peniwati, 2007

Tabla 3.1 Los 89 criterios detectados en la revisión de la literatura

Para realizar la clasificación de los criterios se seguirá el siguiente procedimiento:

1. Agrupar los criterios de acuerdo con la categorización propuesta en el *Model Selection Process* (Teclé, 1988).
2. Revisar cada categoría, eliminar los criterios no relevantes e integrar en sub-categorías los criterios similares.
3. Clasificar las subcategorías obtenidas de acuerdo al factor o proceso clave involucrado.
4. Definir la base final de criterios, con un número manejable y cuya definición sea fácil de comprender por el practicante.

La categorización mencionada en el primer paso es la utilizada para clasificar los 49 criterios del *Model Selection Process* de Teclé (Al-Shemmeri, 1997). Se elige esta clasificación porque se enfoca en los cuatro elementos esenciales que deben analizarse en un primer acercamiento al problema y porque el número de categorías que maneja es reducido, lo que facilita el análisis. Adicionalmente, esta categorización ha sido tomada como modelo para estudios posteriores (Al-Shemmeri 1996, Gilliams 2005).

PASOS 1 Y 2:

La categorización inicial es la propuesta en el *Model Selection Process* (Teclé, 1988):

- C1: Características que describen el problema
- C2: Características que describen la aplicación (decisor, practicante)
- C3: Características que describen la técnica
- C4: Características que describen la solución

A continuación se enlistan los criterios agrupados en cada categoría y se explican las eliminaciones y sub-categorías detectadas.

C1: Características que describen el problema

Criterio	Fuente
Unidades y escalas de medición.	Easton, 1978
Conjunto finito de alternativas discretas.	Deason, 1984
Alternativas continuas.	Deason, 1984
Criterios ordinales.	Deason, 1984
Maneja criterios cualitativos.	Gershon, 1981
Maneja conjuntos discretos.	Gershon, 1981
Maneja conjuntos continuos.	Gershon, 1981
Maneja problemas dinámicos.	Gershon, 1981
Maneja problemas estocásticos.	Gershon, 1981

Criterio	Fuente
Capacidad de manejar variables enteras.	Gershon, 1981
Aplicación: tratamiento de intangibles.	Peniwati, 2007

Tabla 3.2 Criterios asignados a la categoría C1

Las sub-categorías detectadas en esta categoría son las siguientes:

Criterio	Fuente	Sub-categoría
Criterios ordinales.	Deason, 1984	Tipo de escala (ordinal, cardinal)
Unidades y escalas de medición.	Easton, 1978	
Maneja criterios cualitativos.	Gershon, 1981	
Aplicación: tratamiento de intangibles.	Peniwati, 2007	
Conjunto finito de alternativas discretas.	Deason, 1984	Tipo de alternativas
Maneja conjuntos discretos.	Gershon, 1981	

Tabla 3.3 Sub-categorías detectadas en la categoría C1

Los criterios que no fueron seleccionados son los relacionados con problemas para manejo de información estocástica, continua, o de tipo entera. No se consideran estos criterios puesto que las técnicas de interés de esta tesis son técnicas discretas, adecuadas a la mayoría de los problemas más comunes del mundo real.

C2: Características que describen la aplicación

Criterio	Fuente
Los participantes son renuentes a expresar sus preferencias explícitamente.	Deason, 1984
Disponibilidad de tiempo limitada de los participantes o el decisor.	Deason, 1984
Solución fuertemente eficiente.	Gershon, 1981
Tiempo de cómputo requerido.	Gershon, 1981
Tiempo de implementación requerido.	Gershon, 1981
Tiempo de interacción requerido.	Gershon, 1981
Conciencia del decisor.	Gershon, 1981
Tiempo disponible para la interacción.	Gershon, 1981
Se desea que exista interacción.	Gershon, 1981
Confidencialidad en la estructuración de las preferencias.	Gershon, 1981
Stakeholders.	Guitouni, 1998
Decisor.	Guitouni, 1998
Decisiones en grupo	Macharis, 2004
Grupal: efectividad del liderazgo.	Peniwati, 2007
Grupal: retroalimentación para el aprendizaje dentro del grupo.	Peniwati, 2007
Imparcialidad: categorización de los integrantes del grupo.	Peniwati, 2007
Imparcialidad: consideración de stakeholders.	Peniwati, 2007
Aplicación: resolución de conflictos.	Peniwati, 2007

Tabla 3.4 Criterios asignados a la categoría C2

Las sub-categorías detectadas en esta clase son las siguientes:

Criterio	Fuente	Sub-categoría
Los participantes son renuentes a expresar sus preferencias explícitamente.	Deason, 1984	Nivel de confidencialidad
Confidencialidad en la estructuración de las preferencias.	Gershon, 1981	
Se desea que exista interacción.	Gershon, 1981	Nivel de interacción
Grupal: retroalimentación para el aprendizaje dentro del grupo.	Peniwati, 2007	
Decisor.	Guitouni, 1998	Requerimientos del cliente
Imparcialidad: categorización de los integrantes del grupo.	Peniwati, 2007	
Disponibilidad de tiempo limitada de los participantes o el decisor.	Deason, 1984	Tiempo disponible
Tiempo de cómputo requerido.	Gershon, 1981	
Tiempo de implementación requerido.	Gershon, 1981	
Tiempo de interacción requerido.	Gershon, 1981	
Tiempo disponible para la interacción.	Gershon, 1981	
Solución fuertemente eficiente.	Gershon, 1981	Tipo y número de integrantes
Conciencia del decisor.	Gershon, 1981	
Stakeholders.	Guitouni, 1998	

Tabla 3.5 Sub-categorías detectadas en la categoría C2

La descripción de las sub-categorías formadas es la siguiente:

Nivel de confidencialidad. Como fue planteado en la problemática, se desea que el análisis y aplicación de las técnicas de interés se lleve a cabo de manera grupal, para enriquecer los resultados con la experiencia y conocimiento de los involucrados, y posteriormente emitir recomendaciones al decisor final. De manera general, las técnicas de interés cumplen con este cometido, pero con algunas diferencias en cuanto al grado de confidencialidad con que lo hacen.

Nivel de interacción. Algunas de las técnicas de interés contemplan etapas para el análisis, otras no. Aunque finalmente se logren adaptar las técnicas para que exista interacción, será evaluado de manera distinta si éstas contemplan en su estructura la etapa que promueva la discusión.

Requerimientos del cliente. Las necesidades y requerimientos del cliente en cuanto al tipo de técnica a emplear, nivel de interacción y confidencialidad deseados, pesos de los participantes, etc. serán datos a considerar para elegir a técnica a emplear.

Tiempo. Se relaciona con el tiempo total empleado en la intervención, desde la etapa de explicación a los participantes, análisis de preferencias (si aplica), determinación de pesos, implementación de la técnica, discusión posterior y definición de recomendaciones.

Tipo y número de integrantes. Para algunas técnicas, un número grande de integrantes dificultará el análisis, para algunas otras esto dependerá de las técnicas de apoyo empleadas.

Los criterios eliminados son los relacionados con la factibilidad de utilizar la técnica en decisiones individuales o grupales, ya que la aplicación grupal es la aplicación de interés en esta tesis no se consideran opciones al respecto.

C3: Características que describen la técnica

Criterio	Fuente
Necesidad de defensa.	Easton, 1978
Veracidad de la regla de selección.	Easton, 1978
Urgencia de la decisión.	Easton, 1978
Quien será discriminado en contra.	Easton, 1978
Problema de decisión de una sola etapa.	Deason, 1984
Problema de decisión de varias etapas, con cambio de preferencias.	Deason, 1984
Necesidad de una solución altamente refinada.	Deason, 1984
Los participantes experimentan dificultad para conceptualizar de manera hipotética los trade-offs.	Deason, 1984
Las preferencias de los participantes o decisores por tasas marginales de sustitución entre alternativas, no son independientes del nivel de logro obtenido.	Deason, 1984
Necesidad de que los participantes o el decisor entiendan el método.	Deason, 1984
Facilidad de uso.	Al-Shemmeri, 1997
Interpretación de parámetros.	Al-Shemmeri, 1997
Estabilidad de resultados.	Al-Shemmeri, 1997
Comparación con un objetivo	Gershon, 1981
Comparación con un nivel de aspiración	Gershon, 1981
Comparación directa	Gershon, 1981
Consistencia de resultados.	Gershon, 1981
Robustez de resultados.	Gershon, 1981
Manejo de decisor grupal.	Gershon, 1981
Número de alternativas.	Gershon, 1981
Número de sistemas.	Gershon, 1981
Número de restricciones.	Gershon, 1981
Número de variables.	Gershon, 1981
Nivel de conocimientos de los participantes en la decisión.	Gershon, 1981
Información disponible.	Guitouni, 1998
Nivel de compensación.	Guitouni, 1998
Verificación.	Guitouni, 1998
Software.	Guitouni, 1998
Tipo de compensación.	Macharis, 2004
Estructura del problema.	Macharis, 2004
Tratamiento de inconsistencias.	Macharis, 2004
Determinación de pesos	Macharis, 2004
Obtención de la evaluación	Macharis, 2004
Rank reversal problem	Macharis, 2004
Software	Macharis, 2004
Visualización del problema	Macharis, 2004
Uso amigable.	Gilliams, 2005
Simplicidad del modelo.	Gilliams, 2005
Variación en la solución.	Gilliams, 2005
Tipo de compensación.	Jian-Jun, 2007
Estructura del problema.	Jian-Jun, 2007
Determinación de pesos.	Jian-Jun, 2007
Obtención de la evaluación.	Jian-Jun, 2007
Abstracción del problema: alcance.	Peniwati, 2007
Abstracción del problema: definición de alternativas.	Peniwati, 2007
Estructura: amplitud.	Peniwati, 2007
Estructura: profundidad.	Peniwati, 2007
Análisis: fidelidad de juicios.	Peniwati, 2007
Análisis: amplitud y profundidad del análisis.	Peniwati, 2007
Imparcialidad: agregación cardinal.	Peniwati, 2007
Generalización científica y matemática.	Peniwati, 2007
Aplicación: psychophysical.	Peniwati, 2007
Validez de los resultados.	Peniwati, 2007

Tabla 3.6 Criterios asignados a la categoría C3

Las sub-categorías detectadas son:

Criterio	Fuente	Sub-categoría
Análisis: fidelidad de juicios.	Peniwati, 2007	Análisis de preferencias
Imparcialidad: agregación cardinal.	Peniwati, 2007	
Análisis: amplitud y profundidad del análisis.	Peniwati, 2007	Análisis de sensibilidad
Software.	Guitouni, 1998	Apoyo al cálculo y visualización
Software	Macharis, 2004	
Visualización del problema	Macharis, 2004	
Facilidad de uso.	Al-Shemmeri, 1997	Complejidad de la técnica
Interpretación de parámetros.	Al-Shemmeri, 1997	
Los participantes experimentan dificultad para conceptualizar de manera hipotética los trade-offs.	Deason, 1984	
Las preferencias de los participantes o decisores por tasas marginales de sustitución entre alternativas, no son independientes del nivel de logro obtenido.	Deason, 1984	
Necesidad de que los participantes o el decisor entiendan el método.	Deason, 1984	
Veracidad de la regla de selección.	Easton, 1979	
Nivel de conocimientos de los participantes en la decisión.	Gershon, 1981	
Uso amigable.	Gilliams, 2005	
Simplicidad del modelo.	Gilliams, 2005	
Información disponible.	Guitouni, 1998	
Determinación de pesos	Macharis, 2004	
Determinación de pesos.	Jian-Jun, 2007	
Estructura del problema.	Macharis, 2004	Estructuración
Estructura: profundidad.	Peniwati, 2007	
Estructura del problema.	Jian-Jun, 2007	
Número grande de alternativas discretas.	Deason, 1984	Número de alternativas y criterios
Número de alternativas.	Gershon, 1981	
Estructura: amplitud.	Peniwati, 2007	
Urgencia de la decisión.	Easton, 1978	Nivel de urgencia
Nivel de compensación.	Guitouni, 1998	Tipo de compensación
Tipo de compensación.	Macharis, 2004	
Tipo de compensación.	Jian-Jun, 2007	

Tabla 3.7 Sub-categorías detectadas en la categoría C3

La descripción de las sub-categorías formadas es la siguiente:

Análisis de las preferencias. La técnica contempla en su estructura la etapa de análisis, con escalas o procedimientos bien delimitados, para obtener los valores necesarios para la aplicación del método de agregación.

Análisis de sensibilidad. Es posible realizar análisis de sensibilidad de los resultados de manera clara y sencilla.

Apoyo al cálculo y visualización. Existe software y/o herramientas gráficas para apoyar el cálculo y la visualización de los resultados.

Complejidad de la técnica. Se relaciona con el nivel académico o de conocimientos mínimos que deben tener los participantes para entender claramente cómo opera la técnica.

Determinación de pesos. La técnica contempla en su estructura la etapa de determinación de pesos, con escalas o procedimientos bien delimitados.

Estructuración. La manera en que la técnica estructura la problemática facilita la percepción de niveles y jerarquías del problema.

Numero de alternativas y criterios. La técnica permite manejar un número elevado de alternativas y criterios.

Nivel de urgencia. El tiempo disponible para el análisis y para obtener la jerarquización es un requerimiento del cliente que dependerá del nivel de urgencia de la decisión.

Tipo de compensación. Tipo de compensación que ocupa la técnica: compensatorio, no compensatorio, parcialmente compensatorio.

C4: Características que describen la solución

Criterio	Fuente
Objetivo: ranking ordinal.	Deason, 1984
Objetivo: ranking cardinal.	Deason, 1984
Objetivo: portafolio discreto de alternativas.	Deason, 1984
Ranking completo.	Gershon, 1981
Ranking cardinal.	Gershon, 1981
Tipo de problema.	Guitouni, 1998

Tabla 3.8 Criterios asignados a la categoría C4

Sólo se detectó una sub-categoría:

Resultado esperado. Se relaciona con el tipo de problemática que se plantea desde el inicio y la solución que se desea obtener, es decir, selección, clasificación o categorización (α , β , χ).

PASOS 3 y 4.

En esta etapa se analizarán los resultados obtenidos en las primeras dos etapas, con el fin de clasificar las 17 sub-categorías detectadas en las primeras dos etapas, enlistadas en la tabla 3.9.

Categoría	Sub-categorías	#
C1 Características que describen el problema	Tipo de escala	1
	Tipo de alternativas	2
C2 Características que describen la aplicación	Nivel de confidencialidad	3
	Nivel de interacción	4
	Requerimientos del cliente	5
	Tiempo disponible	6
	Tipo y número de integrantes	7
C3 Características que describen la técnica	Análisis de preferencias	8
	Análisis de sensibilidad	9
	Apoyo al cálculo y visualización	10
	Complejidad de la técnica	11
	Determinación de pesos	12
	Estructuración	13
	Número de alternativas y criterios	14
	Nivel de urgencia	15
Tipo de compensación	16	
C4 Características que describen la solución	Resultado esperado	17

Tabla 3.9 Las 17 sub-categorías detectadas en el paso 1 y 2

Estas 17 sub-categorías fueron determinadas a partir del trabajo de síntesis y eliminación de los pasos 1 y 2, sin embargo; el número de sub-categorías sigue siendo elevado para el practicante, cuyo fin utilitario se vería mayormente favorecido con un número menor, suficiente y manejable de categorías. A continuación, estas 17 sub-categorías serán nuevamente analizadas y agrupadas, tratando de identificar similitudes entre ellas con respecto al proceso o factor relevante involucrado (ver tabla 3.10). Estos factores relevantes se determinaron con base en el análisis y caracterización de las situaciones de toma participativa de decisiones multicriterio, realizado al final del capítulo 2.

Sub-categoría	Factor o proceso clave
Tipo de integrantes	Composición del grupo
Complejidad	Complejidad de cálculo
Estructuración	
Nivel de confidencialidad	Nivel de interacción
Nivel de interacción	
Requerimientos del cliente	Resultado esperado
Resultado esperado	
Análisis de sensibilidad	Software
Apoyo al cálculo y visualización	
Número de alternativas y criterios	Tamaño del problema
Análisis de preferencias	Técnicas para análisis de preferencias
Determinación de pesos	
Tiempo (relativo a la aplicación)	Urgencia de la decisión
Tiempo (relativo al cálculo)	
Tipo de escala	Tipo de información

Tabla 3.10 Criterios propuestos (reducción de las 17 sub-categorías detectadas en el paso 1 y 2)

Como puede observarse, en esta etapa se eliminaron las sub-categorías relativas al tipo de alternativas y al tipo de compensación, puesto que las técnicas de interés sólo manejan alternativas discretas y el tipo de compensación es parcial para todas ellas. De igual manera, el tamaño del grupo se elimina como sub-categoría puesto que para este tipo de procesos grupales no conviene tener un número muy grande de integrantes, pues se corre el riesgo de no llegar a acuerdos o de entorpecer los procesos.

A continuación serán descritos los 9 criterios definidos y se propondrá una escala para medirlos.

3.3 Criterios propuestos

Para realizar el agrupamiento anterior se analizaron las sub-categorías tratando de identificar el proceso o factor involucrado. La descripción de cada una de estas claves es la siguiente:

1. Composición del grupo.

Esta clave contempla las características del grupo en cuanto a su composición, pues para algunas técnicas es apropiado tener una diversidad amplia de puntos de vista, mientras que en otras se preferirá que existan condiciones que favorezcan el acuerdo para alcanzar rápidamente el consenso. De acuerdo con *Jackson (1995)*, uno de los aspectos más estudiados dentro de la composición de un grupo es el nivel de heterogeneidad, el cual se refiere al grado en el que los atributos individuales de los integrantes de un equipo pueden considerarse similares (grupo homogéneo) o disimilares (grupo heterogéneo). Hay varias fórmulas para determinar el grado de heterogeneidad de un grupo, todas ellas dan valores bajos (homogeneidad) cuando todos los integrantes tienen atributos en común; mientras que los valores altos de heterogeneidad se alcanzan cuando los integrantes tienen atributos diferentes, o bien, cuando cada atributo tiene varios valores posibles.

Los atributos de interés de un grupo para la aplicación de técnicas multicriterio son los relativos a la formación académica o disciplina de los integrantes, y los intereses que representan. Por lo tanto, la composición de un grupo estará definida del modo siguiente:

Grupo homogéneo: se considerará que un grupo es homogéneo cuando todos sus integrantes o una gran mayoría tengan atributos en común, es decir, cuando sus intereses (económicos, técnicos, políticos, ambientales) no estén encontrados y sus disciplinas se encuentren la mayoría dentro de áreas bien delimitadas (físico-matemáticas, ciencias sociales, humanidades, ciencias de la salud, etc.).

Grupo heterogéneo: cuando los atributos varían de uno a otro integrante, o bien, cuando se aprecian varios subgrupos con atributos en común, ya sean estos disciplinarios (grupos con múltiples disciplinas pertenecientes a áreas del conocimiento distintas) o de intereses (enfoques distintos en aspectos económicos, técnicos, políticos, ambientales, etc.).

2. Complejidad de cálculo.

La complejidad de cálculo de la técnica está determinada por el nivel requerido de los participantes para comprender los parámetros de la técnica y su algoritmo (*Easton, 1978; Gershon, 1981; Deason, 1984; Al-Shemmeri, 1997; Guitouni, 1998; Gilliams, 2005*). Este nivel de complejidad debe considerarse para conformar el grupo de participantes, o bien, para elegir la técnica, pues para algunos métodos se requerirá

que el nivel académico general sea mayor con el fin de entender cómo opera el algoritmo y darle mayor confiabilidad al proceso.

La escala definida para este criterio es la siguiente:

Complejidad mínima: La base de cálculo de la técnica son matemáticas elementales.

Complejidad media: El procedimiento matemático contempla la combinación de resultados y el uso de funciones para obtener el resultado final.

Complejidad máxima: El procedimiento utiliza escalas especiales, matrices, vectores e índices cuya interpretación puede no ser entendida fácilmente.

3. Nivel de interacción deseado.

El nivel de interacción en un grupo está determinado por el grado de confidencialidad con la que los participantes expresan sus preferencias (*Gershon, 1981; Deason, 1984*) y la existencia de medios que promuevan la retroalimentación y aprendizaje dentro del grupo (*Gershon, 1981; Peniwati, 2007*). El nivel de interacción que el cliente desee en el ejercicio es útil para decidir qué técnica emplear, pues algunas de las técnicas de interés promueven la discusión y otras, en su conformación original, no la incluyen. Así mismo, algunas técnicas pueden cubrir otros propósitos, adicionales a la determinación de las recomendaciones para la decisión, como puede ser el descubrir las tendencias o percepciones del grupo participante.

El nivel de interacción de una técnica, con base en la escala de cuatro valores propuesta por *Peniwati (2007)*, se medirá del modo siguiente:

Interacción mínima. Cuando un método promueve únicamente la contribución de los conocimientos técnicos de los participantes, sin ocuparse mayormente de sus valores subjetivos.

Interacción media. La técnica facilita la comprensión de relaciones causa-efecto relativas al problema, sin ser exhaustiva en la clarificación de las causas.

Interacción máxima. Cuando la técnica permite producir el material o información necesaria para facilitar el aprendizaje a través de los integrantes del grupo.

4. Resultado esperado.

Aunque desde un punto de vista teórico el resultado esperado o tipo de problema no es quizás de gran relevancia (*Koen, 2008*), en la aplicación práctica el resultado que el cliente espera es una de las principales claves para decidir qué técnica emplear, ya que si se desea simplemente seleccionar un número de alternativas se utilizará una determinada técnica, diferente al caso en que se pretenda obtener una jerarquización del total de alternativas, o una clasificación de ellas. De acuerdo con *Koen (2008)*, los posibles valores que puede tomar este criterio son:

Problemática tipo α (selección): para identificar la mejor alternativa o seleccionar un conjunto limitado de las mejores alternativas.

Problemática tipo β (categorización): para clasificar las alternativas en grupos homogéneos.

Problemática tipo γ (jerarquización): para ordenar las alternativas de la mejor a la peor.

5. Software.

Como *Guitouni (1998)* menciona, los sistemas de apoyo a la decisión (DSS, por sus siglas en inglés) son un aspecto importante que debe considerarse cuando llega el momento de elegir un método multicriterio. La existencia de software que permita automatizar los resultados, visualizarlos o facilitar el análisis de sensibilidad posterior, es una ventaja que debe tomarse en cuenta al momento de tomar la decisión de qué técnica emplear. Este criterio es binario:

Sí: La técnica cuenta con software de apoyo a la toma de decisiones, probado y de uso amigable.

No: La técnica no cuenta aún con paquetes de apoyo probados que permitan automatizar los cálculos y visualizar los resultados.

6. Tamaño del problema.

Miller (1956) argumenta que el número de conceptos que una persona puede mantener en su “memoria de trabajo” es de 7 ± 2 , y que con un número mayor a este, las confusiones y dificultades para analizar y relacionar la información se incrementan notablemente. En procesos grupales de toma de decisiones el número de alternativas y criterios analizados puede representar una limitante. Los valores que este criterio puede tomar son los siguientes:

Pequeña escala: Para problemas en los que el número de alternativas y criterios sea de 7 ± 2 , pues por el procedimiento mismo de la técnica, un número mayor puede conducir a confusiones o deficiencias en las evaluaciones realizadas.

Gran escala con limitantes: Las técnicas que cuentan con software de apoyo y que además no incluyen en su procedimiento la definición de las preferencias pueden manejar problemas con un número elevado de alternativas y criterios.

7. Técnicas para análisis de preferencias.

Macharis (2004) asevera que el cálculo de los pesos no es una labor trivial y que pueden surgir anomalías si éstos no son definidos correctamente, por ello, cuando un método no incluye este proceso de análisis y definición de preferencias, será necesario generar esta información a través de otros parámetros o técnicas. Se considerará como una ventaja el que la técnica contemple en su estructura una etapa para el proceso de cálculo de los pesos, o una desventaja si se requiere de técnicas adicionales para obtenerlos, ya que esto implica recursos e incluso sesgos en el análisis que dependen de la herramienta o técnica adicional empleada. Este criterio es binario:

Sí: La técnica cuenta con una etapa y un procedimiento diseñado para la obtención de las preferencias de los participantes.

No: La técnica no cuenta con un procedimiento específico para la determinación de las preferencias de los participantes, por lo que se requiere el uso de técnicas adicionales para definir estos parámetros.

8. Urgencia de la decisión.

La urgencia de la decisión dependerá del impacto que ésta tendrá para la organización, por lo tanto, el nivel de urgencia lo determinará el cliente. Del nivel de urgencia dependerá el tiempo que se empleará para aplicar la técnica en el grupo y obtener la jerarquización final.

Urgencia baja. Situaciones en las que el tiempo empleado en el proceso de análisis y toma de la decisión no pone en riesgo los fines ni el desempeño de la organización, por lo que el tiempo no es una limitante para los participantes.

Urgencia alta. Cuando la decisión es de máxima prioridad para la organización y de ella depende la consecución de los objetivos de la misma, o bien, cuando existen otras cuestiones que demandan la atención de los participantes, reduciendo el tiempo disponible de los participantes.

9. Tipo de información

Este criterio se refiere a las características de la información disponible para analizar la situación de decisión y el desempeño de las alternativas con respecto a los criterios. Los valores que puede tomar este criterio son:

Información ordinal: El desempeño de las alternativas con respecto a los criterios y los parámetros utilizados por la técnica son de tipo cualitativo, permitiendo establecer juicios de valor entre ellos, a partir de una escala ordinal previamente establecida por el grupo.

Información cardinal: El desempeño de las alternativas con respecto a los criterios y los parámetros utilizados por la técnica son de tipo cuantitativo.

Información mixta: El problema cuenta con información de entrada cuantitativa y cualitativa.

Estas categorías se denominarán a partir de ahora *criterios*, pero nuevamente se recomienda tener cuidado con la denominación “criterios” que pudiera dar lugar al problema de regresión infinita (Easton, 1978), es decir, la idea de formular el problema de selección de la técnica como un problema de decisión multicriterio, que requerirá elegir qué técnica emplear para solucionarlo, para lo cual se formularía un nuevo problema con alternativas y criterios, que pudiera nuevamente llevar a preguntarnos qué técnica conviene usar para evaluarlo, y así de manera infinita.

Dado que es complicado retener el total de la información contenida en la descripción, se decidió resumir ésta en un arreglo final (tabla 3.11), a manera de guía rápida. Sin embargo, para comprender la tabla es necesario que el practicante comprenda lo relativo a la definición de cada criterio y a la escala o posibles valores que cada criterio puede tomar. La tabla 3.12 contiene la base final de criterios y sus escalas, así como la interpretación de estos valores en el contexto de la tabla 3.11. En el capítulo siguiente se analizan las técnicas AHP, PROMETHEE Y Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio y se obtiene la información necesaria para el llenado de la tabla 3.11.

	CRITERIO	Resultado esperado			Tamaño del problema		Complejidad de cálculo			Técnicas para análisis de preferencias		Nivel de interacción deseado			Composición del grupo		Urgencia de la decisión		Tipo de información			Software	
		α	β	γ	Pequeña escala	Gran escala con limitantes	Min	Med	Max	Sí	No	Min	Med	Max	Hom	Het	Baja	Alta	Ord	Card	Mixta	Sí	No
TÉCNICA	Jerarquización analítica																						
	Promethee I																						
	Promethee II																						
	Ábaco de Regnier aplicado a decisiones multicriterio																						

Tabla 3.11 Matriz de caracterización de las técnicas

Criterio	Valor	Interpretación
Resultado esperado	α	Técnica adecuada para problemas en los que se requiera elegir un número determinado de alternativas que cumplan con requerimientos preestablecidos (problema de selección).
	β	Técnica adecuada para asignar las alternativas a clases predefinidas, obteniendo como resultado sub-conjuntos de alternativas con características comunes entre ellas (problemas de clasificación).
	γ	Técnica a emplear cuando el decisor desea obtener como resultado un ordenamiento de las alternativas, de la mejor a la peor, en cuanto a su desempeño conjunto respecto a los criterios (problemas de jerarquización).
Tamaño del problema	Pequeña escala	Técnica apropiada en situaciones en las que el número de alternativas y criterios sea máximo 7 ± 2 .
	Gran escala con limitantes	Técnica que no incluye un procedimiento específico para la definición de preferencias y que requiere incluir otras técnicas para esta etapa. El número de alternativas y criterios dependerá de la técnica a emplear.
Complejidad de cálculo	Mínima	Técnica adecuada para situaciones en las que se requiera un procedimiento de cálculo basado en matemáticas elementales.
	Media	Técnica apropiada para situaciones en las que sea posible emplear un procedimiento matemático con un nivel máximo de interpretación y cálculo de funciones.
	Máxima	Técnica apropiada para situaciones en la que sea factible interpretar y emplear un procedimiento que utilice escalas especiales, matrices, vectores e índices.
Técnicas para análisis de preferencias	Sí	Técnica adecuada para situaciones en las que se quiere evitar el uso de técnicas adicionales.
	No	Si no existen limitantes para emplear técnicas para la definición de las preferencias, que involucren tiempo o interacciones entre los participantes.
Nivel de interacción	Mínimo	Para situaciones en las que sólo se requieren "datos" de los participantes y no se desea que los participantes interactúen demasiado, ya sea para evitar conflictos derivados del antagonismo, o bien, para evitar sesgos.
	Medio	Técnica adecuada para situaciones en las que se desea que exista interacción para enriquecer la discusión y llegar a consensos.
	Máximo	Técnica a emplear cuando se desea que la interacción sea la máxima, permitiéndole a los participantes dar su punto de vista, opinar sobre el de otros y defender el suyo propio, con el fin no sólo de llegar a la jerarquización final de alternativas, sino también conocer más de la posición y percepciones del grupo participante.
Composición del grupo	Homogéneo	Técnica útil para situaciones en las que se tenga un grupo de participantes con puntos de vista uniformes o parecidos, o provenientes de una misma disciplina o de disciplinas similares, sin antagonismos relevantes en sus intereses; para llegar más pronto a consensos o acuerdos generales. Este tipo de grupos será recomendable para técnicas que no incluyan una etapa específica para la definición grupal de preferencias, permitiendo que el esfuerzo se centre en el proceso de jerarquización.
	Heterogéneo	Técnica apropiada para situaciones que requieren contar con el punto de vista de varios expertos de diferentes áreas, con el fin de enriquecer la discusión y llegar a resultados que contemplen varios puntos de vista, por medio de los cuales, incluso, se favorezca la legitimación de las decisiones tomadas.
Urgencia de la decisión	Baja	Técnica adecuada para situaciones en las que se dé preferencia a la discusión y análisis de la información, en las cuales el tiempo no sea una limitante y que incluso pueda ser aprovechado para obtener beneficios adicionales, como puede ser el conocer la posición del grupo respecto al tema, la tendencia de algunos integrantes, o los puntos álgidos que se deben tomar en cuenta para tomar la decisión.
	Alta	Técnica idónea para situaciones en las que el tiempo para tomar la decisión o el tiempo disponible de los participantes sea limitado.

Criterio	Valor	Interpretación
Tipo de información	Ordinal	Técnica adecuada para problemas cuya información de entrada sea de tipo cualitativo.
	Cardinal	Técnica apropiada para problemas cuya información de entrada sea de tipo cuantitativo.
	Mixta	Técnica adecuada para situaciones en las que algunos de los datos disponibles sean cuantitativos y otros cualitativos.
Software	Sí	Técnica apropiada para situaciones en las que se requiera de un apoyo informático para llevar a cabo la técnica y el análisis de sensibilidad.
	No	Técnica apropiada para situaciones en las que la no existencia de paquetes de apoyo a la decisión no sea un factor decisivo.

Tabla 3.12 Interpretación de los valores en el contexto de la de la tabla 3.11

De los 89 criterios identificados a través de la revisión de la literatura se llegó a únicamente 9, los que se consideran útiles para poder diferenciar las características, ventajas o desventajas de las técnicas de interés. Esta categorización se realizó desde un punto de vista utilitario, teniendo en cuenta que el problema que se busca solucionar es la aplicación no apropiada de las técnicas de interés en situaciones de consultoría, apoyo o asesoría. La selección de los criterios relevantes se determinó a partir de preguntar: ¿es un error grave que el practicante no tome en cuenta este criterio para la elección de la técnica? ¿qué repercusiones tendría el hecho de que no lo considere?

Sabemos que, en un primer análisis, todos los criterios son importantes y parecieran ser imprescindibles; sin embargo, después de hacer una segunda revisión (con un afán no tan purista sino más práctico) llegamos a la conclusión de que hay algunos criterios que no estarían entre las variables que un practicante enfocado a la acción tomaría en cuenta para realizar su elección. Por ejemplo, la robustez del algoritmo es sumamente importante para defender una técnica por parte de los teóricos, pero para que un practicante la considere entre su portafolio de opciones es porque ya es una técnica probada, o bien, porque su procedimiento no es tan complejo como para que pueda ser cuestionada su validez.

Durante el desarrollo del capítulo 4 se describirán las técnicas AHP, PROMETHEE y la propuesta del Ábaco de Regnier aplicado a problemas de decisión multicriterio. Se tratará de abordar estas técnicas desde un punto de vista práctico, con la información suficiente para poder caracterizar a estas técnicas con respecto a los criterios definidos en este capítulo.

Capítulo 4

Aplicación de los criterios para caracterizar las técnicas AHP, PROMETHEE y Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio

Contenido:

4.1 Caracterización de la técnica AHP

4.2 Caracterización de la técnica PROMETHEE

4.3 Caracterización de la técnica Ábaco de Régnier

4.1 Caracterización de la técnica AHP

Desarrollado por Thomas Saaty, consiste esencialmente en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos utilizando una estructura jerárquica. El propósito de AHP es permitir que el decisor pueda estructurar un problema multicriterio en forma visual, dándole la forma de una jerarquía de atributos, la cual contendría mínimamente tres niveles: el propósito u objetivo global del problema, ubicado en la parte superior, los criterios que definen las alternativas en medio, y las alternativas en la parte inferior del diagrama.

El AHP es una herramienta metodológica que ha sido aplicada en varios países para incorporar las preferencias de actores involucrados en un conflicto y/o proceso participativo de toma de decisión. Dentro de las posibilidades de aplicaciones de la herramienta están entre otras:

- Formulación de políticas;
- Jerarquizar carteras de proyectos;
- Selección de proyectos de gestión ambiental;
- Formulación de Estrategias de Mercado.

Descripción de la técnica

El procedimiento que sigue esta técnica es el siguiente:

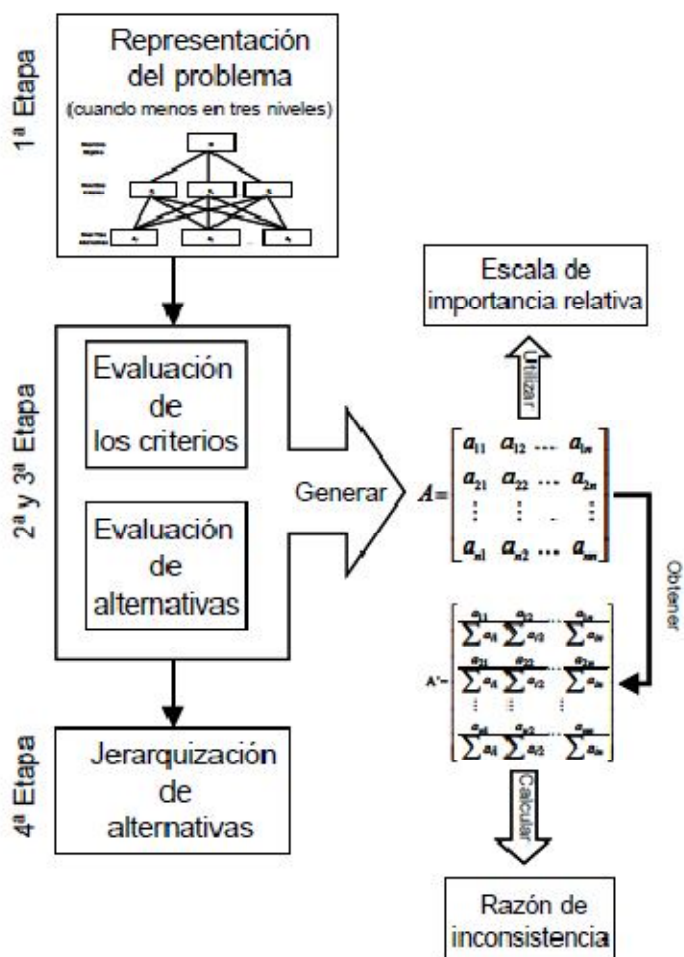


Figura 4.1 El procedimiento de la técnica de Análisis Jerárquico (Sánchez Guerrero, 2001)

Para algunos autores (Macharis, 2004; Wang y Yang, 2007) la aplicación de esta técnica consta de 3 procesos básicos: construcción de la jerarquía, definición de prioridades y revisión de la consistencia.

Construcción de la jerarquía.

El problema de decisión se estructura en objetivo principal, criterios, alternativas, y otros niveles si es necesario. La estructuración que permite este método se considera como una de las ventajas para su aplicación, pues favorece el entendimiento del problema por parte del decisor o los involucrados en la etapa de análisis.

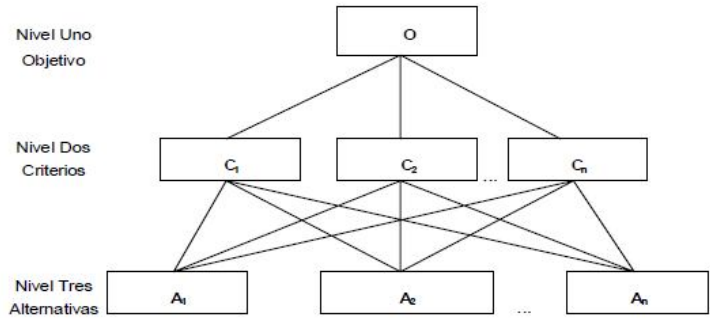


Figura 4.2 Estructuración de las jerarquías

Definición de las prioridades.

La “prioridad” relativa dada a cada elemento se determina por medio de la comparación por pares de la contribución de cada elemento al nivel superior a éste (si se están analizando los criterios, qué tanto contribuyen éstos al objetivo; si se analizan las alternativas, qué tanto satisface a tal o cual criterio). Se comienza aplicando el procedimiento siguiente a los criterios, pero lo mismo se aplica para la comparación de las alternativas con respecto a los criterios.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Donde:

a_{ij} = índice de importancia relativa del criterio (alternativa) i con respecto al criterio (alternativa) j

$a_{ji} = 1/a_{ij}$

$a_{ij} = 1$ para todo $i=j$

El índice de importancia relativa se asigna mediante la siguiente escala propuesta por Saaty:

Intensidad de la importancia	Definición
1	Importancia igual
2	Importancia débil
3	Importancia moderada
4	Importancia poco más que moderada
5	Importancia fuerte
6	Importancia poco más que fuerte
7	Importancia muy fuerte
8	Importancia más que muy fuerte
9	Importancia extrema

Tabla 4.1 Escala de importancia relativa de Saaty

Una vez llena la matriz A con las respectivas calificaciones, se procede a estimar los correspondientes pesos relativos w_i . Los pesos relativos son el vector característico o eigenvector W de la matriz. Una estimación para su cálculo se presenta a continuación.

Primero se normaliza la matriz y se obtiene A' :

$$A' = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{12}}{\sum a_{i2}} & \dots & \frac{a_{1n}}{\sum a_{in}} \\ \frac{a_{21}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{22}}{\sum a_{i2}} & \dots & \frac{a_{2n}}{\sum a_{in}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{n2}}{\sum a_{i2}} & \dots & \frac{a_{nn}}{\sum a_{in}} \end{bmatrix}$$

A continuación se calcula el promedio de cada renglón de la matriz A', del renglón 1 hasta el renglón n, y se obtiene la matriz W de los pesos relativos o eigenvector.

$$W = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum a_{i1}} + \frac{a_{12}}{\sum a_{i2}} + \dots + \frac{a_{1n}}{\sum a_{in}} \\ \frac{a_{21}}{\sum a_{i1}} + \frac{a_{22}}{\sum a_{i2}} + \dots + \frac{a_{2n}}{\sum a_{in}} \\ \frac{a_{n1}}{\sum a_{i1}} + \frac{a_{n2}}{\sum a_{i2}} + \dots + \frac{a_{nn}}{\sum a_{in}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_n \end{bmatrix}$$

Revisión de la consistencia

Una estimación del grado de inconsistencia en el que se incurre al momento de asignar calificaciones es la razón de inconsistencia RI, la cual indica el grado de incoherencia que se comete al calificar la importancia relativa de los criterios y alternativas de un problema.

La razón de inconsistencia RI se calcula empleando la siguiente expresión:

$$RI = \frac{IC}{CA} \quad \text{donde IC es el índice de consistencia y CA es la consistencia aleatoria.}$$

El cálculo del índice de consistencia IC se obtiene como sigue:

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

Donde:

λ_{\max} : es el valor característico promedio

n : es el tamaño de la matriz

Para calcular λ_{\max} se multiplica AW, obteniéndose una estimación del vector denominado $\lambda_{\max} W$, esto es, $AW = \lambda_{\max} W$

Posteriormente se divide cada componente del vector $\lambda_{\max} W$ por la componente correspondiente de W, obteniéndose el vector λ_{\max} . A continuación se promedian las componentes de λ_{\max} para encontrar una estimación promedio total de λ_{\max} . Teniendo esta estimación se procede al cálculo del IC de acuerdo a la expresión anterior.

Este índice se divide entre el valor de la consistencia aleatoria CA. Saaty propone obtener este valor mediante la siguiente tabla. De acuerdo al tamaño n de la matriz, que son el número de criterios o alternativas analizadas, se tiene una estimación del mismo.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	112	13	14	15
CA	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Tabla 4.2 Índices de consistencia aleatoria según el tamaño de la matriz.

Por último, se calcula la razón de inconsistencia RI dividiendo el índice de consistencia IC entre la consistencia aleatoria CA. Si la razón es considerablemente mayor a un 10%, se recomienda una revisión de las calificaciones.

Evaluación de las alternativas.

En esta etapa se construyen las matrices necesarias, una para cada criterio. En cada matriz se van a comparar entre si las alternativas de acuerdo al criterio correspondiente. El llenado de las matrices, el cálculo de los pesos relativos y el cálculo de la razón de inconsistencia es similar a la etapa anterior.

Finalmente, para conocer qué alternativa es la más importante de acuerdo a los criterios establecidos se multiplica cada una de las componentes del eigenvector de los pesos de los criterios por el correspondiente eigenvector de pesos de cada una de las matrices de las alternativas, y ordenando en orden decreciente este nuevo vector (cuyas componentes son la agregación de cada una de las alternativas) se obtiene la jerarquización que se busca obtener.

El software Expert Choice

Este programa comercial trabaja en ambiente Windows y DOS, es de fácil uso y sirve como mecanismo de derivación de consensos participativos. El desarrollo del Expert Choice ha sido supervisado por el propio desarrollador de la técnica, Saaty.

El programa incluye un módulo de estructuración del problema, para continuar después con el ingreso de los valores (importancia, preferencia o probabilidad) de las comparaciones por pares (las cuáles pueden ser ingresadas a través de su interpretación numérica, gráfica o verbal). Expert Choice calcula el índice de inconsistencia y en caso de detectar un valor mayor a 0.1 señala la comparación donde se origina.

Los resultados pueden ser mostrados como una jerarquización del total de las alternativas, o bien sólo mostrar la mejor. Estos resultados pueden ampliarse mediante la generación de un reporte, muy útil para documentar todo el proceso.

El programa cuenta con una herramienta para analizar y observar gráficamente qué tan sensible es el orden resultante de las alternativas a cambios que se hagan en la importancia de los criterios del modelo.

El módulo Ratings se utiliza cuando se aplica la medida absoluta (recomendado cuando se tienen más de siete alternativas y hasta cientos, miles de ellas). El modelo debe tener su objetivo, sus criterios y subcriterios. En lugar de tener alternativas visibles en el modelo, se crean escalas debajo de los criterios y subcriterios, contra las cuales las alternativas serán evaluadas. Igual que en la medida relativa, los elementos del modelo se comparan de a pares y se mide su preferencia; la diferencia radica en que en la medida absoluta, este procedimiento se hace solo para los criterios y subcriterios. Las alternativas no se comparan porque no aparecen en el modelo; en su lugar, se comparan y se miden las preferencias de las escalas creadas que desprenden de los criterios y los subcriterios. Luego se selecciona la opción Ratings, la cual crea automáticamente una planilla con los criterios, subcriterios y escalas ya comparadas y medidas las preferencias emitidas por los actores. En esa planilla se deben listar el total de las alternativas y luego se procederá a evaluar cada una de ellas contra el estándar. El Módulo Ratings crea automáticamente un archivo en excel a través del cual se pueden importar datos, que son suministrados por las bases de datos del SIRTPLAN, a la planilla del módulo para realizar la evaluación de las alternativas. Cada alternativa se evaluará contra el estándar de la planilla, obteniéndose un puntaje para cada una de ellas. Al final el resultado será una priorización de las mismas.

Ventajas y desventajas de AHP

Algunas de las ventajas del AHP frente a otros métodos de Decisión Multicriterio son (Ávila, 2000):

- Presentar un sustento matemático;
- Permitir desglosar y analizar un problema por partes;
- Permitir medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común;
- Incluir la participación de diferentes personas o grupos de interés y generar un consenso;
- Permitir verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones, si es del caso;
- Generar una síntesis y dar la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad; y
- Ser de fácil uso y permitir que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.

Algunos autores han desarrollado técnicas híbridas para aprovechar los puntos fuertes de la técnica de Jerarquización Analítica. Uno de ellos es *Macharis (2007)*, quien genera algunas recomendaciones para reforzar la técnica de PROMETHEE con características útiles de AHP, como son la estructura jerárquica del problema y la determinación de los pesos.

Algunos autores (*Macharis, 2004; Wang, 2007*) afirman que una de las desventajas más notables de AHP se relaciona con el uso de la escala de 9 puntos de Saaty. Si una alternativa A es 5 veces

más importante que la alternativa B y esta a su vez es 5 veces más importante que la alternativa C, se produce un problema serio, ya que AHP no puede manejar el hecho de que la alternativa A es 25 veces más importante que la alternativa C. *Macharis (2004)* cita a Saaty para afirmar que “el cerebro humano no tiene la capacidad para comparar estímulos que difieren mucho en tamaño, en tales casos se forman grupos constituidos por elementos que son comparables al usarse una escala de 9 puntos. En la práctica esto implica que se pueden introducir subclases creadas artificialmente”.

Caracterización de AHP respecto a los criterios propuestos

1. Resultado esperado

Los resultados que la técnica de Análisis Jerárquico nos permite obtener es una jerarquización de las alternativas, es decir, resuelve una problemática de tipo γ . También es posible emplear la técnica para obtener un subconjunto de las mejores acciones o las más satisfactorias (problemática tipo α).

2. Tamaño del problema

La estructuración jerárquica que AHP realiza acerca del problema facilita la comprensión de este por parte de los participantes, aún tratándose de un número grande de alternativas y criterios. *Macharis (2004)* afirma que para más de 7 criterios puede ser muy difícil que el decisor tenga una visión clara del problema y que pueda evaluar los resultados. Sin embargo, al realizar comparaciones uno-a-uno para calcular el peso de los criterios y para evaluar las alternativas, el trabajo que debe ser realizado al respecto es muy amplio (específicamente: $n(n-1)/2$ siendo n el número de alternativas o de criterios). Estos dos argumentos aparentemente encontrados (uno a favor de la capacidad de la técnica para manejar problemas a gran escala, y otro que da preferencia a problemas de pequeña escala) nos obligan a hacer la siguiente reflexión: la claridad en la definición del problema puede ser alcanzada por otros medios y/o técnicas, pero la comparación uno-a-uno de criterios y de alternativas es un análisis que no puede soslayarse, y que al tratarse de un análisis grupal consumirá una cantidad de tiempo importante; por ello, se define que esta técnica es de preferencia para problemas a pequeña escala. Aunque el software incluye la opción de analizar problemas con un número muy grande de alternativas, esta ventaja no se considera en este análisis puesto que este tipo de problemas queda fuera del contexto que se maneja en esta tesis.

3. Complejidad de cálculo

Gilliams (2005) asevera que AHP utiliza un método más complejo que PROMETHEE para jerarquizar las alternativas; ya que el decisor necesita entender conceptos matemáticos como los de eigenvalores y eigenvectores y es más difícil percibir el vínculo entre el mejor eigenvalor y la solución óptima. Otras investigaciones califican a esta técnica como matemáticamente difícil y aseguran que los decisores la perciben como una “caja negra”. (para mayores referencias ver *Gilliams, 2005*). *Al-Shemmeri (1997)* califica la facilidad de uso de AHP con 7 (en una escala de 1 a 10), por debajo de PROMETHEE; en el mismo sentido califica el factor relativo al nivel de conocimiento requerido.

4. Técnicas para análisis de preferencias

AHP, a diferencia de otros métodos, incluye una etapa completa para analizar y determinar el valor de los pesos de los criterios, a través de una secuencia de comparaciones por pares, aunque como ya se mencionó anteriormente, este proceso está limitado por la escala de 9 puntos de Saaty. Para fines de esta tesis, se considera un punto favorable el que AHP cuente con una etapa exclusiva y formalizada para el análisis de las preferencias.

5. Nivel de interacción deseado

AHP provee herramientas de colaboración para reforzar la comunicación, al medir la inconsistencia retroalimenta a los participantes para asegurar la validez de los resultados y promueve la discusión al respecto. Su estructura facilita la división de tareas y los medios para lograr un consenso balanceado y la obtención de juicios grupales (*Peniwati, 2007*).

6. Composición del grupo

Peniwati (2007) califica como “medio” el poder de AHP para resolver conflictos; por ello se considera que es útil para aplicarse en situaciones de grupos heterogéneos, en los que existen incluso antagonismos o diferencias de opiniones. El intercambio de opiniones y la búsqueda del consenso o del punto medio se formalizan en el análisis del peso de los criterios y de la evaluación de las alternativas, lo cual puede facilitar la tarea tratándose de grupos homogéneos.

7. Urgencia de la decisión

El tiempo invertido en el análisis (comparaciones uno-a-uno) y en llegar al consenso o punto medio dependerá de la cantidad de alternativas y criterios analizados. No obstante, *Ávila (2000)* no recomienda aplicar el AHP si se cuenta con escaso tiempo para tomar decisiones frente a problemas complejos, puesto que al tratar de acelerar algunas etapas del mismo- por obtener resultados inmediatos-, se puede afectar negativamente la validez de los resultados. *Al-Shemmeri (1997)* califica a esta técnica por debajo de PROMETHEE respecto al tiempo disponible para la interacción.

8. Tipo de información

AHP tiene la capacidad de manejar problemas con información cualitativa y cuantitativa.

9. Software

AHP cuenta con software para automatizar el proceso de análisis y la obtención de resultados: EXPERT CHOICE. El análisis de sensibilidad no es tan inmediato, pues es necesario revisar las comparaciones por pares realizadas hasta el momento y definir las nuevas relaciones que surgen al incluir nuevas alternativas o criterios; no obstante, la interfaz y manejo son amigables.

4.2 Caracterización de la técnica PROMETHEE

Este método (Brans y Vincke, 1985) consiste en la construcción de relaciones de superación valorizadas, incorporando conceptos y parámetros que poseen alguna interpretación física o económica fácilmente comprensibles por el decisor. PROMETHEE hace uso abundante del concepto de pseudocriterio ya que construye el grado de superación entre cada par de alternativas ordenadas a y b , $\pi(a,b)$, tomando en cuenta la diferencia de puntuación que esas alternativas poseen respecto a cada atributo. La valuación de esas diferencias pueden realizarse mediante 6 funciones de valor posibles y que son utilizadas de acuerdo a las preferencias del decisor, quien además debe proporcionar los umbrales de indiferencia y de preferencia asociados a estos pseudocriterios.

Hay varias versiones de PROMETHEE. En PROMETHEE I se obtiene un ranking parcial, en tanto que en PROMETHEE II puede obtenerse un ranking total considerando los flujos netos (entrantes — salientes) de cada alternativa. Otras variantes del método plantean situaciones más sofisticadas de decisión, en particular problemas con un componente estocástico. Así se han desarrollado las versiones PROMETHEE III (ranking basado en intervalos), PROMETHEE IV (caso continuo), PROMETHEE V (caso con restricciones) y PROMETHEE VI (que busca acercar el proceso hacia el enfoque cognitivo).

Las versiones de interés en esta tesis son PROMETHEE I y PROMETHEE II, pues son las versiones con mayor cantidad de literatura sobre aplicaciones, cuestiones teóricas y de comparación de su desempeño con otras técnicas multicriterio (Behzadian, et al. 2010).

Descripción de la técnica

La técnica se lleva a cabo mediante el procedimiento mostrado en la figura 4.3.

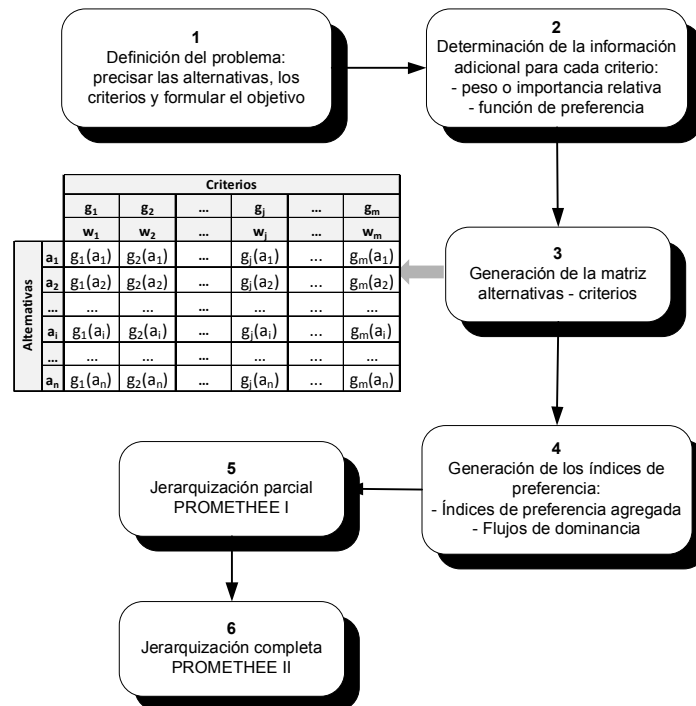


Figura 4.3. Procedimiento de la técnica PROMETHEE (Sánchez Guerrero, 2003)

Definición del problema.

La definición del problema consiste en formular con claridad el objetivo que se desea alcanzar y definir el conjunto A de alternativas que se pretenden jerarquizar y el conjunto G de criterios bajo los cuáles las alternativas serán evaluadas:

$$A = \{a_i\} \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, n$$
$$G = \{g_j\} \quad \forall j = 1, 2, 3, \dots, m$$

Determinación de criterios.

Una vez que ha sido definido el problema, el siguiente paso es generar la información adicional requerida para cada criterio:

Información entre los criterios.

La información requerida entre criterios es la relacionada con la importancia relativa o peso de cada uno de los criterios. Estos pesos w_j deben ser números positivos, e independientes de las unidades de medición de los criterios.

$$W = \{w_j\} \quad \forall j = 1, 2, 3, \dots, m$$
$$\sum_{j=1}^m w_j = 1$$

Evaluar los pesos de los criterios no es sencillo. Esto envuelve prioridades y percepciones del tomador de decisiones. La selección de los pesos representa el espacio de libertad que el tomador de decisiones tiene. El software Decision Lab incluye varias herramientas de sensibilidad para experimentar con diferentes grupos de pesos con la finalidad de ayudar a fijarlos.

Información dentro de cada criterio.

La estructura de preferencias de PROMETHEE está basada en comparaciones de pares de alternativas evaluadas en los criterios. Se considera la desviación o diferencia d_j entre las evaluaciones g_j de dos alternativas a y b , con respecto al criterio j .

$$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b)$$

Para diferencias pequeñas, el tomador de decisiones asignará una preferencia pequeña para la mejor alternativa, e incluso puede considerar que no hay preferencia alguna si él considera que la diferencia es insignificante. De igual modo, la diferencia puede ser tan importante que el decisor requiera asignar una preferencia significativa de una alternativa sobre otra.

El nivel de preferencia $P_j(a, b)$ de la alternativa a sobre la alternativa b es un número real que varía entre 0 y 1. Esto significa que para cada criterio g_j el tomador de decisiones debe definir una función F_j que determine el nivel de preferencia:

$$P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)] \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$0 \leq P_j(a, b) \leq 1$$

En el caso de que el criterio deba ser maximizado, la función daría la preferencia de a sobre b debido a las desviaciones observadas entre sus evaluaciones sobre el criterio g_j . Esta función tendría la forma que indica la figura 4.4.

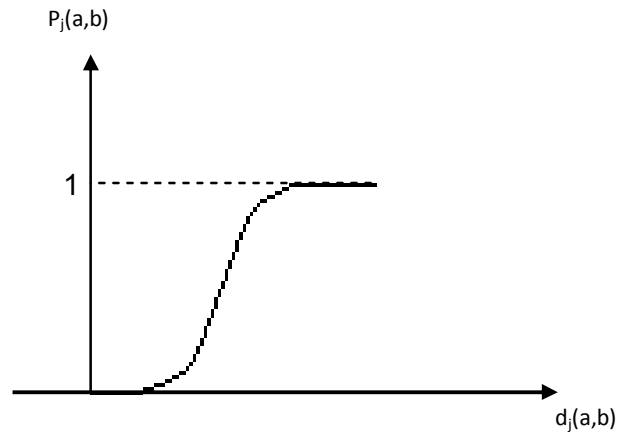


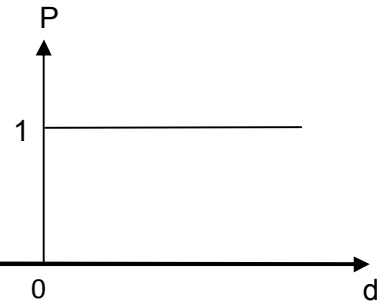
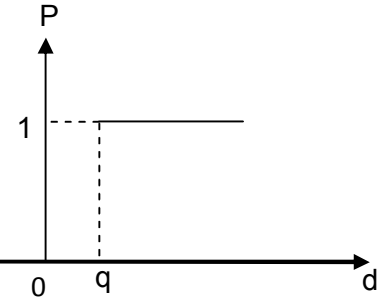
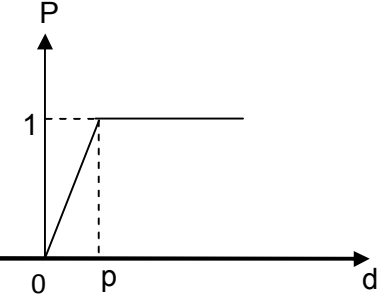
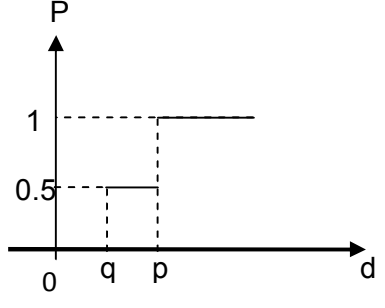
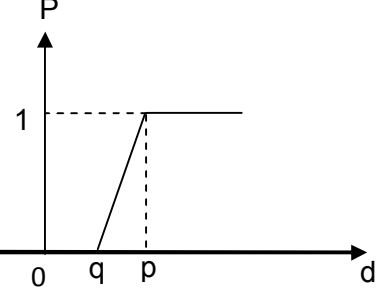
Figura 4.4 Función de preferencia

Las preferencias son iguales a cero cuando las desviaciones son negativas. Cuando los criterios deben ser minimizados, la función de preferencia debe invertirse:

$$P_j(a, b) = F_j[-d_j(a, b)]$$

Decision Lab propone seis tipos de funciones de preferencia, las cuales se muestran en la tabla 4.3. En cada caso necesitan ser definidos 0, 1 ó 2 parámetros cuyo significado es:

- q es el límite de la indiferencia; es decir, es la desviación más grande que se considera insignificante por el tomador de decisiones.
- p es el límite estricto de la preferencia; es decir, es la desviación más pequeña que se considera significativa.
- s es un valor intermedio entre p y q , éste define el punto de inflexión de la función de preferencia. Se recomienda determinar primero q y p , para después obtener s como un valor intermedio entre estos parámetros.

Tipo de función	Forma de función	Definición	Parámetros necesarios
1		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	--
2		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	q
3		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p
4		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
5		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q

Tipo de función	Forma de función	Definición	Parámetros necesarios
6		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$	s

Tabla 4.4. Funciones de preferencia (Figueira, 2005)

Generación de la matriz alternativas - criterios

A continuación se capturan las evaluaciones $g_j(a_i)$ para cada una de las alternativas a_i con base en los diversos criterios g_j establecidos, en una matriz como la que se muestra en la tabla 18.2. Las evaluaciones se pueden obtener mediante la realización de diversos estudios, como encuestas, opinión de los expertos, simulaciones, etc.

		Criterios					
		g_1	g_2	...	g_j	...	g_m
		w_1	w_2	...	w_j	...	w_m
Alternativas	a_1	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	...	$g_j(a_1)$	...	$g_m(a_1)$
	a_2	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$	...	$g_j(a_2)$	...	$g_m(a_2)$

	a_i	$g_1(a_i)$	$g_2(a_i)$	...	$g_j(a_i)$	...	$g_m(a_i)$

	a_n	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$	...	$g_j(a_n)$	...	$g_m(a_n)$

Tabla 4.5. Matriz de alternativas – criterios

Donde: $g_m(a_n)$ = evaluación de la alternativa n con respecto al criterio m.

Generación de los índices de preferencia

A continuación se genera la información necesaria para establecer la jerarquización de las alternativas: los índices de preferencia agregada y los flujos de dominancia-

a) Índices de preferencia agregada

Este índice nos señala el grado en que una alternativa es preferida a otra, para todos los criterios. Se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^m P_j(a, b)w_j$$

$$\pi(b, a) = \sum_{j=1}^m P_j(b, a)w_j$$

$\pi(a, b)$ señala el grado en que a es preferida sobre b , mientras que $\pi(b, a)$ nos señala el grado en que b lo es sobre a . En la mayoría de los casos hay criterios para los cuales la alternativa a es mejor que b , y criterios para los cuales b es mejor que a ; consecuentemente $\pi(a, b)$ y $\pi(b, a)$ son usualmente positivos.

Cuando $\pi(a, b)$ es prácticamente igual a 0 implica una frágil preferencia global de a sobre b , así mismo, cuando $\pi(a, b)$ es prácticamente igual a 1 implica una fuerte preferencia global de a sobre b .

Una vez que $\pi(a, b)$ y $\pi(b, a)$ son calculados para cada par de alternativas del conjunto A , puede construirse una gráfica donde se representan los índices de preferencias agregada de cada criterio.

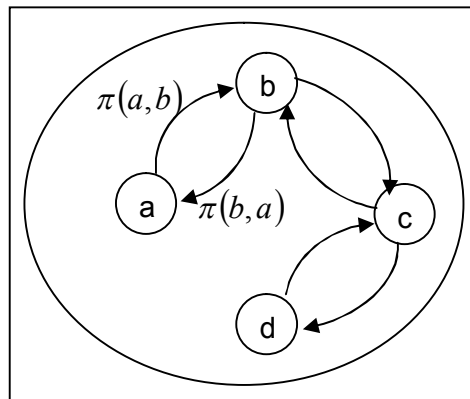


Figura 4.5. Gráfica de índices de preferencia agregada (Figueira, 2005)

b) Flujos de dominancia

Este parámetro indica el grado en que una alternativa domina, o es dominada, por todas las demás alternativas. Cada alternativa a es comparada contra $(n-1)$ alternativas del conjunto A , definiendo dos flujos (uno positivo y uno negativo) para cada una de ellas:

- Flujo de dominancia positivo:

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x)$$

- Flujo de dominancia negativo:

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a)$$

donde x son todas las alternativas diferentes de a .

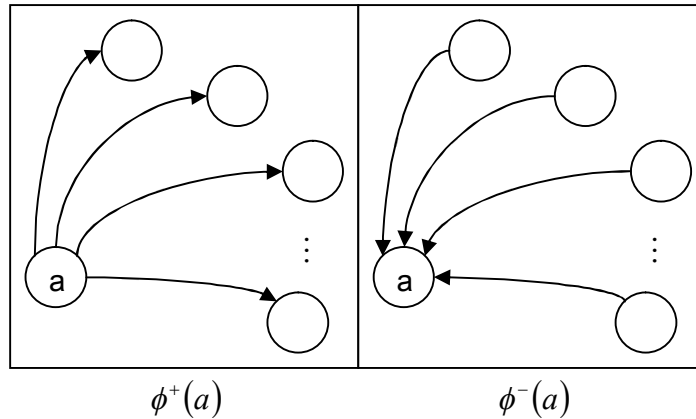


Figura 4.6. Flujos de dominancia (Figueira, 2005)

El flujo positivo expresa como la alternativa a domina al resto de las alternativas, es su fuerza, su carácter de ser dominante. Entre mayor sea el flujo positivo $\phi^+(a)$, es mejor la alternativa.

El flujo negativo expresa como las demás alternativas dominan a la alternativa a , es su debilidad, su carácter de ser dominado. Entre menor sea el flujo negativo $\phi^-(a)$, mejor es la alternativa.

Jerarquización parcial (PROMETHEE I)

Analizando las siguientes intersecciones de los flujos de dominancia se obtiene una primera jerarquización (PROMETHEE I).

Relación de preferencia:

$$aP^I b \Leftrightarrow \begin{cases} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) < \phi^-(b), \text{ ó} \\ \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) < \phi^-(b), \text{ ó} \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) = \phi^-(b); \end{cases}$$

Relación de Indiferencia:

$$aI^I b \Leftrightarrow \{ \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) = \phi^-(b) \}$$

Relación de incomparabilidad:

$$aR^I b \Leftrightarrow \begin{cases} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) > \phi^-(b), \text{ ó} \\ \phi^+(a) < \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) < \phi^-(b) \end{cases}$$

Cuando $aP^I b$, se asocia un poder mayor de la alternativa a con una debilidad menor de a con respecto a b . La información de ambos flujos es consistente y puede entonces considerarse como segura. La alternativa a es preferida sobre la alternativa b .

Cuando se da la relación $aI^I b$, significa que ambos flujos son iguales, por lo tanto, ninguna alternativa sobreclasifica a la otra.

Cuando $aR^I b$, existe una relación de incomparabilidad entre las alternativas. Usualmente, dos alternativas a y b son incomparables cuando a es buena bajo un conjunto de criterios para los cuales b es débil e inversamente, b es buena bajo otro conjunto de criterios para los cuales a es débil. Dado que la información correspondiente a ambos tipos de flujos no es consistente, las alternativas se consideran como incomparables, lo que lleva a obtener resultados parciales. Este orden parcial se propone al decisor para que pueda considerar su problema de decisión, o bien, puede pasarse a la siguiente etapa, que es obtener un ordenamiento total o completo por medio de la aplicación de PROMETHEE II.

Jerarquización completa (PROMETHEE II)

En caso de que el decisor requiera tener una jerarquización completa, se realizará un paso adicional que es calcular el flujo neto de dominancia.

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$$

Este flujo neto es el balance entre los flujos positivos y negativos. Entre mayor sea el flujo neto $\phi(a)$, mejor es la alternativa. El cálculo de este flujo elimina la posibilidad de incomparabilidad, obteniéndose las siguientes relaciones:

$$aP^{II} b \Leftrightarrow \phi(a) > \phi(b)$$

$$aI^{II} b \Leftrightarrow \phi(a) = \phi(b)$$

Cuando $\phi(a) > 0$, la alternativa a está dominando más a todas las alternativas, para todos los criterios. Cuando $\phi(a) < 0$, significará que la alternativa a está siendo más dominada.

Aunque la jerarquización total es fácil de obtener por medio de PROMETHEE II, se recomienda emplear ambas versiones, pues el análisis de las incomparabilidades puede brindarle al decisor mayor información para tomar la decisión final.

El plano GAIA

El proceso GAIA consiste en un módulo de interacción visual complementario de la Metodología PROMETHEE. El plano GAIA ofrece al decisor una descripción gráfica clara de su problema de decisión, enfatizando los conflictos existentes entre los criterios y el impacto de los pesos en la decisión final. Este enriquecimiento en la comprensión de la estructura del problema es esencial: en verdad sería bastante difícil alcanzar una buena decisión sin una adecuada comprensión y conocimiento del problema en cuestión. Mientras que los análisis del PROMETHEE I y II son bastante prescriptivos, el análisis GAIA es más descriptivo y está orientado gráficamente.

El análisis GAIA completo se fundamenta en el análisis de los flujos netos obtenidos a partir de la descomposición del flujo neto global. A estos efectos, se asocia un flujo neto unicriterio a cada uno de los criterios. En comparación con las evaluaciones de los criterios, los flujos unicriterio

contienen mayor cantidad de información acerca de la estructura de preferencias del decisor debido al uso de las funciones de preferencia. Además dichos flujos están expresados en escalas similares siendo independientes de las escalas originales de los criterios. Cada alternativa puede representarse en el espacio k-dimensional por un vector cuyas componentes son los flujos unicriterio, $\phi_j(\cdot)$ ($j = 1, 2, \dots, k$):

$$\alpha(a): \{\phi_1(a), \phi_2(a), \dots, \phi_j(a), \dots, \phi_k(a)\}$$

Consecuentemente, el conjunto de alternativas puede representarse por una nube de n puntos en el espacio k-dimensional \mathbb{R}^k . Dado que el número de criterios, usualmente, es mayor que dos, resulta imposible obtener una clara visión de la posición relativa de los puntos con respecto a los criterios. Por lo tanto se proyectará la información incluida en el espacio k-dimensional sobre un plano.

El Método GAIA utiliza la técnica de Análisis de Componentes Principales para proyectar, en forma óptima, esta información sobre un plano, que se denomina plano GAIA. Así pues, se proyectan sobre el plano GAIA los puntos que representarán a las alternativas y los vectores unitarios de los ejes de coordenadas que representarán a los criterios.

Aunque el plano GAIA incluye un porcentaje de la información total, se constituye en una poderosa herramienta de visualización gráfica para el análisis de la estructura de un problema multicriterio. El poder de discriminación de los criterios, sus aspectos conflictivos, así como también la calidad de cada alternativa sobre los diferentes criterios, se vislumbran con mucha claridad y sencillez.

El software Decision Lab

Decision Lab es la aplicación de software para PROMETHEE y GAIA. Es desarrollado por la empresa canadiense Visual Decision, en cooperación con los autores. Es una aplicación para Windows que usa un interface tipo hoja de cálculo para un manejo amigable de datos.

Todos los datos relacionados con los métodos PROMETHEE (evaluaciones, preferencias, funciones, pesos) pueden ser fácilmente definidos y alimentados por el usuario. Cuenta además con prestaciones adicionales como son la definición de criterios cualitativos o la definición de variables en la función de preferencia. También pueden definirse categorías para las alternativas y los criterios para identificar mejor los subgrupos con elementos relacionados y facilitar el análisis.

El manejo de la información se realiza en tiempo real y cualquier modificación se refleja de manera inmediata. La jerarquización, la matriz de información y el plano GAIA se muestran en pantallas separadas para poder visualizar las interacciones y facilitar los cálculos. La herramienta de pesos puede ser empleada interactivamente para modificar los valores de los pesos y ver de manera inmediata cómo cambian las posiciones en la jerarquización. Esto es particularmente útil cuando el decisor no tiene una idea clara de los pesos apropiados y necesita explorar cuál es su espacio de libertad.

Al final del análisis, DECISION LAB permite generar reportes que pueden incluir toda la información, tablas y gráficos que sean necesarios para el decisor.

Ventajas y desventajas de PROMETHEE

Para *Wang (2007)*, una de las desventajas más notable de PROMETHEE es que no provee la posibilidad de armar una estructura del problema. En caso de muchos criterios, esto puede llegar a

ser una dificultad para que el decisor tenga una visión clara del problema y pueda evaluar los resultados.

Además, PROMETHEE no provee guías específicas para la determinación de los pesos de los criterios, pero asume que el decisor tiene la capacidad de realizar este proceso apropiadamente, al menos cuando el número de criterios no es muy grande (Macharis, 2004).

Otros autores, como *Haralambopoulos (2003)*, afirman que PROMETHEE tiene todas las ventajas de los métodos de sobreclasificación, combinadas con una mayor facilidad en su uso y una menor complejidad.

El proceso GAIA consiste en un módulo de interacción visual complementario de la Metodología PROMETHEE. El plano GAIA ofrece al decisor una descripción gráfica clara de su problema de decisión, enfatizando los conflictos existentes entre los criterios y el impacto de los pesos en la decisión final.

Caracterización de PROMETHEE respecto a los criterios propuestos

1. Resultado esperado.

PROMETHEE I y II arrojan como resultado una jerarquización de las alternativas (P, γ), la diferencia es que el ordenamiento de PROMETHEE I pueden surgir algunos empates, mientras que con PROMETHEE II esta situación se evita.

2. Tamaño del problema

Al contar con herramientas informáticas que automatizan el procesamiento de datos, PROMETHEE puede ser utilizado para abordar problemas con un número de alternativas grande. Sin embargo, no cuenta con una etapa específica para la definición de pesos u otros parámetros que se requieren como entrada para el procesamiento; por lo que el esfuerzo y el tiempo dedicado a este proceso se elevarán de acuerdo con la técnica que desee emplearse para obtener estos parámetros. *Macharis (2004)* afirma que al no contar con una estructuración (como la que realiza AHP), cuando se tienen más de 7 criterios puede ser difícil para el decisor obtener una visión clara del problema y evaluar los resultados.

3. Complejidad de cálculo

Al-Shemmeri (1997) califica la “facilidad de uso” de PROMETHEE con 8 (en una escala de 1 a 10), por arriba de otras técnicas como AHP; así mismo ocurre en el criterio de “interpretación de parámetros”, pues según el autor, los parámetros que PROMETHEE utiliza tienen una interpretación significativa para los participantes de la decisión. Así mismo, un criterio relacionado es el “nivel de conocimiento requerido” por parte de los participantes, en el cual PROMETHEE recibe una mejor calificación que otras técnicas, entre ellas, AHP. Para *Gilliams (2004)*, el método matemático empleado en PROMETHEE es relativamente fácil de entender por el decisor, pues la jerarquización de las alternativas se basa en la teoría de concordancia y discordancia.

4. Técnicas para análisis de preferencias

PROMETHEE no provee guías específicas para la determinación de los pesos de los criterios, pero asume que el decisor tiene la capacidad de realizar este proceso apropiadamente, al menos cuando el número de criterios no es muy grande (*Macharis, 2004*).

5. Nivel de interacción deseado

El nivel de interacción para los métodos I y II se realizará principalmente durante la fase de la definición de los pesos de los criterios, y dependerá de la técnica que se emplee para tal fin. Por ello, se califica como “medio”, dado que este proceso promoverá la discusión y se buscará llegar a consensos.

6. Composición del grupo

La técnica PROMETHEE en sus versiones I y II es adecuada para trabajar con grupos homogéneos, en los que no existan grandes antagonismos con el fin de llegar rápidamente a consensos.

7. Urgencia de la decisión

El análisis de los parámetros de entrada puede llevarse a cabo de manera rápida al contar con un programa como Decision Lab., que permite dedicar más tiempo a labores como el análisis de sensibilidad. Sin embargo, el factor tiempo dependerá de la técnica o técnicas que se empleen si el decisor desea que sea el grupo el que calcule algunos de estos parámetros (como el peso de los criterios o los umbrales de indiferencia). Evaluando únicamente la técnica, nos alinearemos a la evaluación realizada por *Al-Shemmeri (2007)*, quien califica a PROMETHEE como una mejor opción que AHP en cuestión de tiempo requerido.

8. Tipo de información

PROMETHEE pueda manejar información de tipo cuantitativo, cualitativo, o bien una mezcla de ambos tipos de información.

9. Software

El software disponible para PROMETHEE (Decision Lab 2000, desarrollado por Visual Decision) cuenta con herramientas que automatizan los cálculos y proveen una salida gráfica de la jerarquización final, tanto para la alcanzada mediante PROMETHEE I como la que se logra con PROMETHEE II. Permite además realizar de manera muy intuitiva y visible el análisis de sensibilidad. Este software incluye en sus herramientas la generación del plano GAIA, lo que favorece la visualización y comprensión de cómo interactúan las alternativas y criterios, y facilita el análisis de sensibilidad para detectar puntos de conflicto.

4.3 Caracterización de la técnica Ábaco de Régnier

Descripción de la técnica original

El ábaco de Régnier, es un método de consulta a expertos, concebido por el Doctor François Régnier, con el fin de interrogar a los expertos y tratar sus respuestas en tiempo real o por vía postal a partir de una escala de colores. Como todos los métodos de expertos, está destinado a reducir la incertidumbre, confrontar el punto de vista de un grupo con el de otros grupos y a la vez, tomar conciencia de la mayor o menor variedad de opiniones.

Esta técnica fue concebida para asegurar el registro y consideración de las percepciones de todos los integrantes de un grupo. Proporciona una gama amplia de opciones de respuesta, evitando la rigidez y limitación de las respuestas SÍ y NO. Utiliza códigos mediante los cuales los expertos hacen conocer su opinión y permiten medir sus actitudes frente a un tema determinado. Esta técnica utiliza una codificación colorimétrica para expresar esas actitudes. Se aplica principalmente para:

- Medir las actitudes de un grupo frente a un tema determinado
- Estimar el comportamiento de un grupo de factores
- Determinar la intensidad de un problema en el presente

La opinión de cada participante se expresa por medio de una diversidad de “posiciones” que van desde desfavorable hasta favorable. Con este fin se sirve de los colores del semáforo:

- **Actitud muy favorable: verde oscuro (V)**
- **Actitud favorable: verde claro (v)**
- **Actitud neutra: amarillo (A)**
- **Actitud desfavorable: rosa (r)**
- **Actitud muy desfavorable: rojo (R)**
- No se tiene opinión: blanco (B)
- **No se quiere participar: negro (N)**

Respuestas					No Respuestas	
verde oscuro(V)	verde claro (v)	amarillo (A)	rosado (r)	rojo (R)	blanco (B)	negro (N)
1. muy favorable	2. favorable	3. neutro	4. desfavorable	5. muy desfavorable	6. vota en blanco	7. renuencia a participar

Figura 4.7 Escala de colores utilizada en el Ábaco de Régnier

Las etapas que sigue esta técnica son:

1. Elección de las preguntas clave
2. Diseño del cuestionario a aplicar
3. Aplicación del cuestionario
4. Primera tabulación de datos y justificación de la votación

Fase 3: discusión de los resultados

Es sobre la base de la imagen coloreada (o mosaico) donde comienza el debate y/o la explicación del voto: el procedimiento es abierto y cada uno puede, en todo momento, cambiar el color y justificar su cambio de opinión.

Este análisis consta de dos sub-etapas, en la primera se hace un análisis por filas, para lo cual se clasifican los ítems según los votos favorables que se hayan obtenido. Los primeros lugares corresponden a los ítems que hayan recibido mayor cantidad de votos favorables. Esto nos permite apreciar visualmente la valoración asignada a cada uno de los ítems, haciendo énfasis en la valoración o actitud global del grupo respecto a cada ítem y no en opiniones individuales.

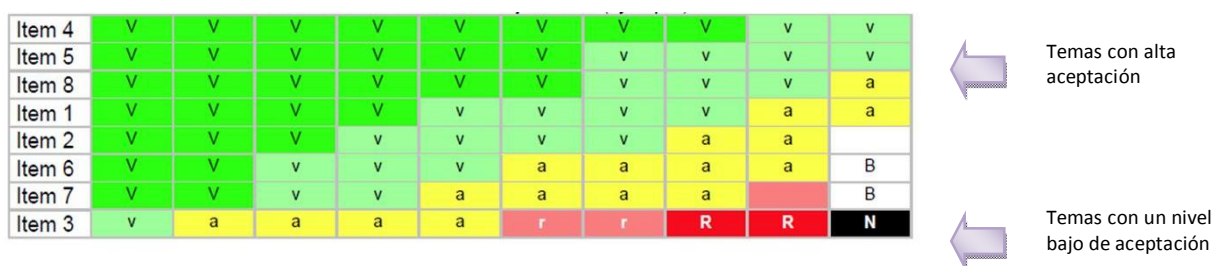


Figura 4.10 Procesamiento de datos por filas en la técnica Ábaco de Régnier

En la segunda etapa se analizan los resultados por columna, para lo cual se clasifican las opiniones de cada experto en orden decreciente (verde → negro). Este análisis nos permite identificar la actitud de cada experto hacia el tema central.



Figura 4.11 Procesamiento de datos por columnas en la técnica Ábaco de Régnier

Finalmente, se obtienen conclusiones en el siguiente sentido: ítems que han sido objeto de adhesiones y argumentaciones favorables, se entiende que han merecido una aprobación mayoritaria y que tienen poca o ninguna restricción. Los ítems con algunas restricciones que han sido calificados de acuerdo con la escala de valores negativos implican una advertencia de precaución.

Como puede observarse hasta este punto, esta técnica no fue diseñada ni es propiamente una técnica de apoyo a la toma de decisiones multicriterio. Su objetivo, como ya se estudio en los

párrafos anteriores, es sondear la posición general de un grupo de participantes con respecto a un tema o problemática específica y conocer también la posición individual de cada uno de ellos. Sin embargo, con algunas modificaciones que no afectan mayormente su objetivo original, esta técnica puede emplearse para atacar problemas de toma de decisiones multicriterio para los que se requiera contar con la opinión, experiencia y conocimiento de expertos. A continuación, se presenta la modificación realizada a la técnica.

Modificación propuesta: El Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio

Como en el resto de las técnicas de interés, esta técnica partirá del hecho de que las alternativas y criterios ya han sido definidos por el decisor, restando la definición de los pesos de los criterios y la evaluación del desempeño de cada alternativa con respecto a cada criterio. Estas alternativas y criterios serán los ítems de la versión original.

La modificación presentada a continuación será denominada “Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio”, y constará de cuatro etapas principales:

1. Presentación de la técnica a los participantes
2. Definición de los pesos de cada criterio
3. Evaluación del desempeño de las alternativas
4. Agregación de las evaluaciones

Consideraciones preliminares con respecto a la escala cromática

Como ya se describió en el capítulo 2, las técnicas MCDA constan de un paso fundamental que es la agregación de las calificaciones de desempeño de las alternativas con respecto a cada criterio. Esta agregación también será elemental en la modificación propuesta al Ábaco de Régnier, por lo que es necesario establecer un instrumento de transformación para pasar de colores a valores numéricos que nos permitan manejar más fácilmente la información. Esta transformación se llevará a cabo mediante escalas cuantitativas que nos faciliten hacer el procedimiento de agregación. Con esto no se pretende quitarle el carácter cualitativo a la técnica, éste prevalece en la definición de las preferencias y durante la etapa de argumentación de las posiciones.

En la versión original, la escala cromática del Ábaco de Régnier consta de 5 colores para las respuestas definidas (verde oscuro, verde claro, amarillo, rosa y rojo) y 2 colores para expresar indefinición en la opinión (blanco) o renuencia a expresarla (negro). Es posible que después de una primera ronda de discusión (en la que los participantes argumentan el porqué de su elección), los integrantes del grupo que votaron en blanco o negro cambien su voto a colores definidos. Puede ocurrir también que estas posiciones no definidas o renuentes a participar prevalezcan; lo cual no debe ser desalentado pues brindan información importante respecto a la posición individual de los participantes.

Por otro lado, las posiciones relativas a voto indefinido o renuencia a participar no son fácilmente “agregables”, pues en realidad no están expresando ningún grado de preferencia por parte de los participantes, por lo que se dejarán fuera para la fase de agregación, pero deben prevalecer como parte del reporte que será entregado al cliente o decisor, con el fin de brindarle información adicional a las recomendaciones hechas con base en la jerarquización final obtenida de las alternativas.

1. Presentación de la técnica a los participantes

En esta etapa el facilitador dará a conocer a los participantes el objetivo de la dinámica, presentándoles la problemática de jerarquizar un conjunto de alternativas previamente definidas por el decisor o cliente, de acuerdo con su desempeño respecto a un conjunto de criterios (también definidos previamente por el decisor), a los cuáles ellos les asignarán un índice de importancia o peso.

El facilitador presentará además la técnica que se empleará, haciendo énfasis en su carácter cualitativo y abierto y en el hecho de que, al final, el resultado será consecuencia de sus opiniones, por lo que deben adoptar una actitud de colaboración, confianza para expresar sus opiniones y respeto hacia el resto de los participantes.

Una vez presentadas las alternativas y los criterios (información de entrada), se muestra a los participantes el arreglo general en forma de matriz que agrupará las opiniones de cada uno de ellos. Este arreglo, aunque no es el único formato con el cual se trabajará, servirá para brindar a los participantes una idea de cómo se verán reflejadas sus opiniones y cómo se integrarán para llegar a un punto intermedio que refleje el sentir del grupo. El arreglo será como el que se muestra a continuación:

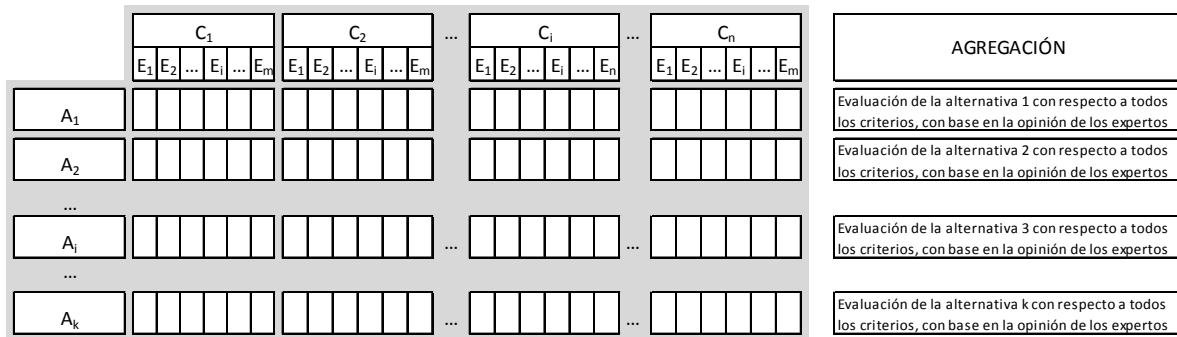
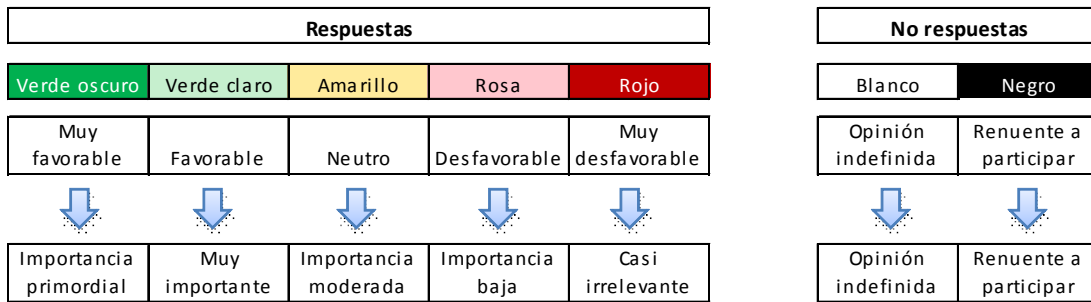


Figura 4.12 Ejemplo del formato que servirá para explicar el objetivo de la técnica *Ábaco de Régnier* aplicado a decisiones multicriterio

Donde: A_i = Alternativa i , para todo $i = 1, 2, 3, \dots, k$
 C_i = Criterio i , para todo $i = 1, 2, 3, \dots, n$
 E_i = Experto i , para todo $i = 1, 2, 3, \dots, m$

2. Definición de los pesos de cada criterio

Para la evaluación de los pesos de los criterios se conservará la escala cromática original con algunos cambios en el significado de cada color para facilitarle a los participantes la elección de la importancia de cada criterio. Los cambios mencionados son los siguientes:



2.1 Cada uno de los integrantes registrará en formatos individuales su opinión respecto a los criterios, seleccionando el color que mejor defina la importancia que ellos conceden a cada criterio. Al final de este proceso, se recogerán los formatos y se mostrará a los participantes la compilación de los resultados. En la figura 4.13 se muestra un ejemplo.



Figura 4.13 Ejemplo del registro de opiniones y recopilación de datos en la técnica Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio

Ahora, cada uno de los participantes explicará el porqué de su elección. Después de que todos los participantes hayan argumentado su posición se pueden hacer cambios en los votos individuales, después de lo cual se realizará la siguiente sub-etapa.

Un proceso que no formará parte del trabajo grupal, pero que debe ser realizado por el practicante es el análisis por filas y columnas, que como en la versión original, brindará información al decisor respecto a posiciones de aceptación o rechazo grupal o a nivel individual actitudes de pesimismo, optimismo o reserva. Este análisis formará parte del reporte de la técnica y de las recomendaciones que se hagan al decisor o cliente.

2.2 Una vez definidas las posiciones de cada integrante, se deberá hacer la conversión de la escala cromática a una escala que nos permita obtener el punto medio de las opiniones del grupo. Esta conversión puede ser realizada con la siguiente transformación:

Escala cromática	Importancia primordial	Muy importante	Importancia moderada	Importancia baja	Casi irrelevante	Opinión indefinida	Renuente a participar
	5	4	3	2	1	NA	NA

La matriz criterios – expertos de la figura 4.13 quedará entonces:

	Experto 1	Experto 2	Experto 3	...	Experto m
Criterio 1	2	1	2		3
Criterio 2	3	4	5		2
Criterio 3	5	5	4		4
...					
Criterio n	4	3	1		4

A partir de lo cual se puede obtener el promedio de las opiniones vertidas por el grupo. Las opiniones en blanco y negro no serán tomadas en cuenta para calcular el promedio. Para el ejemplo, el promedio y el orden final de los criterios serán:

	Experto 1	Experto 2	Experto 3	...	Experto m	PROMEDIO	ORDEN
Criterio 1	2	1	2		3	2	Criterio 3
Criterio 2	3	4	5		2	3.5	Criterio 2
Criterio 3	5	5	4		4	4.5	Criterio n
...							Criterio 1
Criterio n	4	3	1		4	3	...

$$Prom(C_i) = \frac{\sum_{j=1}^m I_{ij}}{n}$$

Donde: C_i = Criterio i
 I_{ij} = Importancia del criterio i, según el experto j
m = número de expertos que expresaron una opinión definida

Este orden obtenido no nos da mayor información respecto al peso de los criterios. Este peso deberá ser acordado por los participantes con ayuda del facilitador. El tiempo invertido en este proceso dependerá de la técnica empleada y del número de criterios que el problema incluya. Aquí se presentan dos opciones de apoyo en la definición de los pesos, sin embargo, existen muchas más herramientas, ya que el cálculo de los pesos de los criterios es uno de los aspectos más importantes y más difíciles en la aplicación de las técnicas multicriterio y es una fuente potencial de incertidumbre (Hyde, et al. 2005).

La primera opción es asignarle a cada criterio el porcentaje relativo de importancia que tiene con respecto a los demás criterios. Para esto, cada integrante otorgará el porcentaje que considere apropiado a cada criterio, para posteriormente obtener el promedio grupal de estos porcentajes. Este proceso, aunque sencillo, debe seguir ciertas reglas con el fin de evitar resultados incongruentes:

- Se debe cuidar en todo momento que la suma de los valores asignados sea 100.

- Cada participante debe seguir el orden definido anteriormente y debe asignar valores a cada criterio, comenzando con el número uno del ordenamiento. Es decir, los porcentajes deben ir en orden decreciente, acordes al ordenamiento mencionado.
- No es válido asignar valores de cero a ningún criterio.

Otra opción para definir los pesos es seguir el procedimiento que Simos propuso en 1990 para jerarquizar una familia de criterios. Los criterios se anotan en una serie de tarjetas o cartulinas, tipo baraja, dejando algunas en blanco (sin criterio escrito). Originalmente, el paso siguiente es ordenar las tarjetas (o criterios) del más importante al menos importante, este pre-orden en nuestro caso ya está definido. A continuación, se hace notar al grupo que la diferencia de importancia entre dos tarjetas sucesivas puede variar, por lo que la determinación de los pesos debe tomar en cuenta esta diferencia, por lo que se les pide incluir tantas tarjetas blancas como sean necesarias entre los diferentes niveles, para marcar estas diferencias en la intensidad de las preferencias. Entre mayor sea la diferencia de importancia de dos criterios contiguos, mayor será la cantidad de tarjetas blancas entre ellos.

Se deben fijar dos reglas desde el principio: el número máximo de niveles de clasificación (por ejemplo, máximo 8) y el modo de puntuación (por ejemplo, la distancia entre la mejor y la peor puntuación no puede superar una razón de 5).

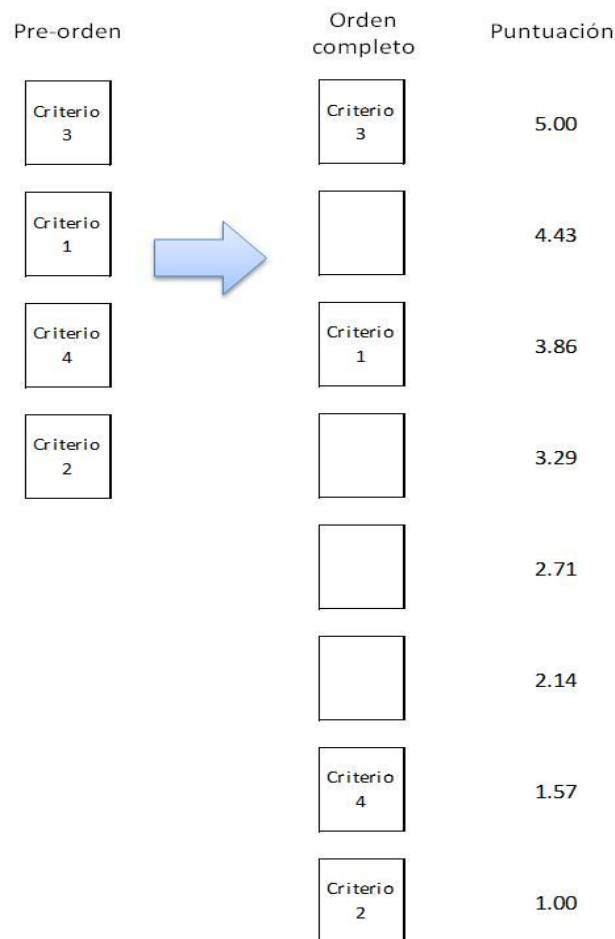


Figura 4.14 Asignación de pesos según el procedimiento de Simos

Una vez realizado lo anterior por el total de participantes, se obtendrá el promedio general. Como puede observarse, este procedimiento bien puede ser aplicado de manera grupal estableciendo por voto o mayoría la cantidad de tarjetas blancas que separan cada categoría de la anterior en el ordenamiento inicial, disminuyendo el tiempo empleado en este proceso.

Para mayor información respecto a la problemática de la determinación de los pesos de los criterios y otras técnicas propuestas para este proceso puede acudir a *Al-Kloub, 1997; Babic, 1997; Rogers, 1998; Mousseau, 2001; Figueira, 2002; Goletsis, 2003; Balasubramaniam, 2007; o Koen, 2008.*

3. Evaluación del desempeño de las alternativas

Con la determinación de los pesos, se tiene ya la información necesaria para realizar la evaluación de las alternativas. El desempeño de las alternativas se realizará en cuatro fases:

3.1 Evaluación individual de cada alternativa.

A cada participante se le entregarán tantos formatos como alternativas haya. La definición de cada nivel de la escala cromática deberá ser revisada para que su redacción favorezca el análisis y no provoque confusiones. Esta evaluación cualitativa de las alternativas se realizará respondiendo a la pregunta *¿cómo es el desempeño de la alternativa x en el criterio y?* La respuesta puede tomar valores desde *muy favorable* (que significará que la alternativa tienen un muy buen desempeño en el criterio analizado), pasando por un desempeño neutro (que significará que la alternativa no sobresale ni para bien ni para mal, en lo que respecta al criterio analizado) hasta una posición *muy desfavorable* (que significará que el desempeño de la alternativa en lo que respecta al criterio de interés es muy pobre). La escala utilizada en esta etapa será la siguiente:

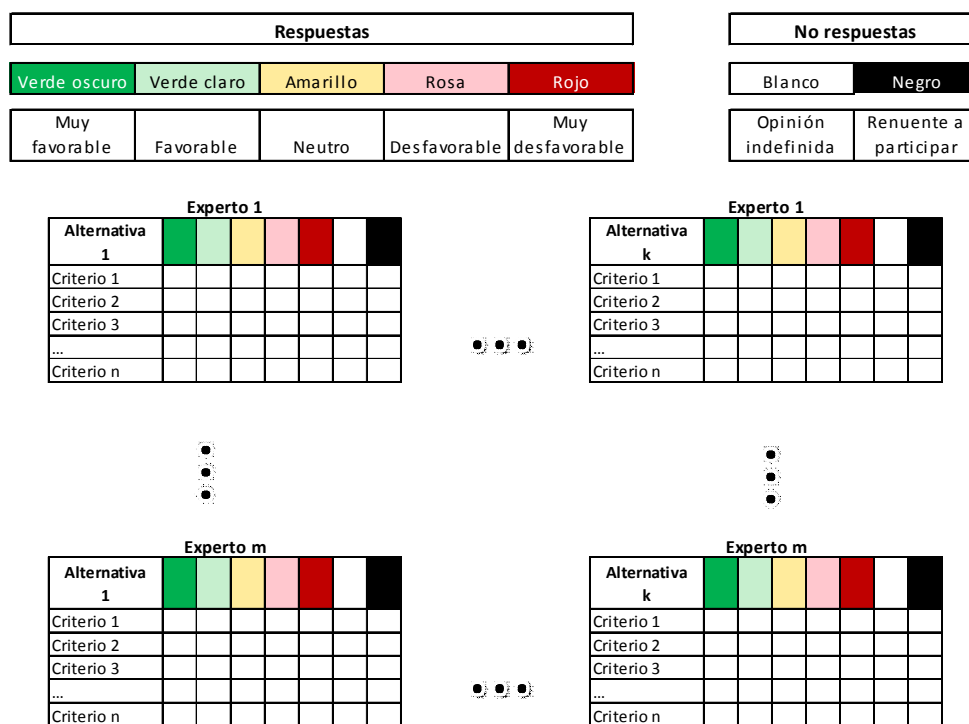


Figura 4.15 Registro de opiniones individuales en la etapa de evaluación de las alternativas en la técnica Abaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio

3.2 Agregación de preferencias individuales para cada alternativa

Una vez que todos los integrantes del grupo han vertido su opinión (ver figura 4.15), el equipo de soporte (practicante, facilitadores, analistas) deberá recopilar toda la información y presentar los resultados en mosaicos, uno para cada alternativa:

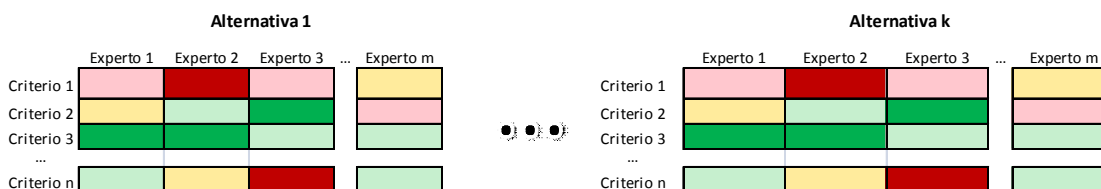


Figura 4.16 Mosaicos de recopilación de las evaluaciones individuales

Como en la definición del peso de los criterios, en esta etapa los participantes argumentan el porqué de su posición y cambian su voto si es necesario. Nuevamente, si prevalecen posiciones en blanco o negro, éstas no serán consideradas para el proceso de agregación, pero deben considerarse para el reporte final que será entregado al cliente.

3.3 Transformación de escala cromática a escala numérica

Una vez terminada la anterior etapa de argumentación y cambios, se procederá a hacer la transformación a una escala numérica que nos permita hacer la agregación de las evaluaciones.

Escala cromática	Muy favorable	Favorable	Neutro	Desfavorable	Muy desfavorable	Opinión indefinida	Renuente a participar
Escala numérica	5	4	3	2	1	NA	NA

Los procedimientos de agregación varían en complejidad. En este caso, tratándose de una técnica “suave”, optaremos por un procedimiento de agregación sencillo que consistirá en la suma de los promedios ponderados de las evaluaciones individuales con respecto a los criterios.

		Alternativa k				
		Experto 1	Experto 2	Experto 3	...	Experto m
Criterio 1		E_{11}	E_{12}	E_{13}		E_{1m}
Criterio 2		E_{21}	E_{22}	E_{23}		E_{2m}
Criterio 3		E_{31}	E_{32}	E_{33}		E_{3m}
...						
Criterio n		E_{n1}	E_{n2}	E_{n3}		E_{nm}

Primero se obtendrá la evaluación de la alternativa k con respecto al criterio i, de acuerdo con lo vertido por los participantes:

$$A_{ki} = \frac{w_i \sum_{j=1}^m E_{ij}}{m}$$

Donde: A_{ki} = evaluación general de la alternativa k , con respecto al criterio i
 w_i = peso del criterio i
 E_{ij} = evaluación de la alternativa, con respecto al criterio i , según el experto j
 m = número de expertos que expresaron una opinión definida

Alternativa k

	Experto 1	Experto 2	Experto 3	...	Experto m	
Criterio 1	E_{11}	E_{12}	E_{13}		E_{1m}	A_{k1}
Criterio 2	E_{21}	E_{22}	E_{23}		E_{2m}	A_{k2}
Criterio 3	E_{31}	E_{32}	E_{33}		E_{3m}	A_{k3}
...						
Criterio n	E_{n1}	E_{n2}	E_{n3}		E_{nm}	A_{kn}

Una vez que se tengan todas las A_{ki} , se obtendrá la sumatoria de estos índices para obtener la agregación final:

$$A_k = \sum_{i=1}^n A_{ki}$$

Donde: A_k = agregación (evaluación final) de la alternativa k
 A_{ki} = evaluación general de la alternativa k , con respecto al criterio i
 n = número de criterios

Esto mismo deberá ser realizado para cada una de las k -alternativas, después de lo cual analizando los resultados se obtendrá la jerarquización de las alternativas. Esta jerarquización, junto con los análisis por renglones y columnas (tanto de la definición de pesos como de la evaluación de alternativas) formarán parte de las recomendaciones y del material entregado al cliente o decisor final.

Ventajas y desventajas de la propuesta Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio

Esta modificación al Ábaco de Régnier fue diseñada para contar con una alternativa “suave” a las técnicas cuyo tratamiento de la información es principalmente matemático, lo que implica que los participantes tengan un cierto nivel de conocimiento para poder entender cómo está operando el método.

Al contar con una fase para la argumentación de la posición individual de cada participante, la técnica favorece la reflexión y la discusión, lo que favorece la generación de consensos y la aceptación o legitimación de la solución final.

La escala cromática tiene la ventaja de mostrar de manera visual la posición de cada integrante y facilita la percepción de las diferencias de opinión o de opiniones “anómalas” o aisladas, lo que

puede no ser fácilmente detectable cuando se utiliza una escala numérica, sobre todo cuando el número de alternativas o criterios es elevado.

Además de proveer la jerarquización de las alternativas, esta técnica permitirá además conocer cuál es la posición del grupo respecto al tema y las tendencias individuales de cada uno de los integrantes, como ocurre en la técnica original. Esta ventaja permitirá al decisor final contar con información adicional a la jerarquización para elegir la alternativa que será implantada.

La modificación propuesta fue diseñada para la resolución de problemas con un nivel de complejidad bajo, en los que se requiera conocer la jerarquización de alternativas evaluadas mediante criterios cualitativos para los cuáles no se establecen umbrales o criterios generalizados (funciones) para cada uno de los criterios.

La técnica propuesta aún no cuenta con software para la automatización del método, lo que eleva el tiempo de cálculo para obtener la jerarquización final. Sin embargo, al tratarse de cálculos sencillos se puede diseñar un aplicación mediante Excel que facilite esta tarea. Además, puede emplearse algún software existente para la versión original (por ejemplo, Colorvote) para el análisis por filas y por columnas, y para generar los reportes que acompañarán las recomendaciones del facilitador.

Caracterización del Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio respecto a los criterios propuestos

1. Resultado esperado.

El *Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio* tendrá como resultado la jerarquización de las alternativas, de la mejor a la menos favorecida por la opinión de los participantes en la técnica; es decir, resolverá una problemática del tipo (P. γ).

2. Tamaño del problema

El número de alternativas y criterios debe conservarse en un nivel manejable para los participantes (7 ± 2) con el fin de que sus puntos de vista no entren en conflicto al ampliarse el espectro de posibilidades. Además, durante la evaluación de las alternativas, cada integrante generará tantas matrices como alternativas existan, lo que se verá reflejado en el tiempo y esfuerzo dedicado a la fase de agregación.

3. Complejidad de cálculo

La complejidad de la técnica propuesta es baja, pues la escala cromática es un concepto sencillo de entender por los participantes, ya que se basa en la convención de los colores del semáforo, lo que hace aún más intuitivo el procedimiento. La transformación necesaria para manejar las preferencias (expresadas con colores) y las matemáticas necesarias para hacer la agregación final son operaciones elementales (sumas y promedios), por lo que no se requiere un gran nivel de conocimientos o preparación académica por parte de los participantes.

4. Técnicas para análisis de preferencias

La técnica cuenta con dos fases diseñadas para capturar las preferencias de los participantes: el análisis de los pesos de los criterios y la evaluación de las alternativas.

5. Nivel de interacción deseado

Esta técnica es idónea cuando se desea que exista una gran interacción entre los participantes, pues al contar con una fase específica para la argumentación de las preferencias individuales, promueve la reflexión y la discusión al interior del grupo, lo que enriquece el análisis.

6. Composición del grupo

El *Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio* puede aplicarse en grupos homogéneos, sin embargo para aprovechar mejor sus ventajas se recomienda que sea aplicado en grupos heterogéneos, donde las diferencias de opiniones beneficien la etapa de defensa o argumentación y puedan verse reflejadas en los análisis de tendencias grupales o individuales (análisis por filas y columnas).

7. Urgencia de la decisión

La técnica se recomienda para decisiones en las que se disponga de tiempo suficiente para el análisis individual, la reflexión y discusión grupal y el análisis de todas las matrices generadas, sin apresuramientos que afecten el proceso y fuercen a los integrantes a tomar posiciones sin una meditación previa. Además de las características propias de la técnica, el no contar aún con un software que apoye el análisis y cálculos puede incrementar sensiblemente el tiempo dedicado a esta etapa.

8. Tipo de información

El *Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio* ha sido diseñado para manejar información de tipo cualitativo.

9. Software

El *Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio* aún no cuenta con software específico para llevarse a cabo; sin embargo, puede generarse un programa de apoyo informático de manera sencilla a través de Excel, o bien, puede emplearse el software existente de la técnica original para generar algunos de los resultados, como son los análisis por filas y columnas.

Caracterización de las Técnicas AHP, PROMETHEE I y II y Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio

	CRITERIO	Resultado esperado			Tamaño del problema			Complejidad de cálculo			Técnicas para análisis de preferencias		Nivel de interacción deseado			Características del grupo		Urgencia de la decisión		Tipo de información			Software	
		α	β	γ	Pequeña escala	Gran escala	Gran escala con limitantes	Min	Med	Max	Sí	No	Min	Med	Max	Hom	Het	Baja	Alta	Ord	Card	Mixta	Sí	No
TÉCNICA	Proceso de Jerarquización analítica	✓		✓	✓				✓	✓			✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	
	Promethee I			✓ parcial		✓		✓		✓			✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Promethee II			✓ total		✓		✓		✓			✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Ábaco de Régnier aplicado de decisiones multicriterio			✓	✓			✓		✓				✓	✓	✓	✓		✓					✓

Tabla 4.6 Matriz de caracterización de las técnicas AHP, PROMETHEE I, PROMETHEE II y Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio

4.4 Pautas para la selección de las técnicas AHP, PROMETHEE y Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio

Utilizando la información vertida en las secciones anteriores de este capítulo y la caracterización final resumida en la tabla 4.4, se establecen las siguientes recomendaciones o pautas que servirán como apoyo o guía en el proceso de selección de la técnica multicriterio apropiada según la situación de decisión que se presente.

Pautas para seleccionar la técnica Proceso de Jerarquización Analítica (AHP)

Se recomienda el empleo de esta técnica para las situaciones como las descritas a continuación.

- Cuando el objetivo que se busca es obtener una selección de alternativas o el ordenamiento jerárquico del total de ellas.
- Para problemas con un número manejable de alternativas y criterios, dado que el proceso de evaluación requiere de la comparación por pares de todos los criterios y de todas las alternativas, por lo que el número de combinaciones puede llegar a ser una limitante.
- Se recomienda esta técnica para grupos con un nivel académico que les permita entender los conceptos matemáticos y de cálculo que se manejan.
- Se adecua a situaciones en las que el proceso grupal de evaluación debe centrarse única y exclusivamente en el proceso, evitando el uso de cualquier otra técnica adicional.
- Situaciones en las que se desea que exista interacción entre los participantes, pero no a un nivel exhaustivo; es decir, promueve la comunicación pero sin llegar a discusiones.
- Adecuada en entornos homogéneos en los que no existan muchas diferencias de opinión que dificulten el logro de consensos, aunque también puede ser aplicada en entornos heterogéneos cuando se desea contar con una amplia variedad de opiniones (en estos casos, se requiere especial control del proceso por parte del practicante).
- Para situaciones en las que la urgencia o el tiempo disponible por parte de los participantes no sea una limitante para la etapa de determinación de pesos y la evaluación de alternativas.
- Adecuada para situaciones en las que se requiera analizar gráficamente los resultados, observando las diferencias que pueden surgir al variar los parámetros o cambiar algunas o varias calificaciones asignadas.

Pautas para seleccionar la técnica PROMETHEE

Las pautas establecidas para el empleo de PROMETHEE son las siguientes:

- Cuando el resultado que se desea obtener es una jerarquización (parcial o total) de todas las alternativas que se están analizando.

- En situaciones en las que se cuenta con libertad e interés por parte del cliente para incluir técnicas adicionales para el análisis de preferencias.
- Cuando el grupo de participantes tenga un nivel académico que les permita entender los conceptos relativos a gráficas y funciones (para la determinación de los pesos).
- Situaciones en las que se desea que exista interacción entre los participantes, pero no a un nivel exhaustivo; es decir, promueve la comunicación pero sin llegar a discusiones.
- Para grupos homogéneos, dado que no se cuenta con un proceso para determinación de los pesos de los criterios. Esta debilidad de la técnica puede provocar que la energía del grupo se enfoque en las técnicas adicionales empleadas para ello, y no en el proceso mismo de la evaluación de alternativas.
- Para decisiones urgentes, cuando el interés principal del cliente radica en obtener la jerarquización.
- Adecuada para situaciones en las que se requiera analizar gráficamente los resultados, observando las diferencias que pueden surgir al variar los parámetros o cambiar algunas o varias calificaciones asignadas.

Pautas para seleccionar la técnica Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio

- Adecuada para situaciones en las que se requiera de un proceso “suave” de jerarquización, en las que la información de entrada es de carácter cualitativo o puede ser expresada como tal.
- Para problemas con un número reducido de alternativas y criterios, en los cuáles la evaluación de pesos y desempeños pueda ser realizada de manera cualitativa.
- Adecuada para grupos con un nivel académico básico o heterogéneo.
- Se adecua a situaciones en las que el proceso grupal de evaluación debe centrarse única y exclusivamente en el proceso, evitando el uso de cualquier otra técnica adicional.
- Técnica adecuada para entornos en los que se desea una interacción máxima entre los participantes, con rondas de argumentación y defensa de posiciones.
- Puede emplearse para grupos homogéneos y heterogéneos, pues es de uso amigable y promueve la interacción.
- No se recomienda en situaciones de urgencia (por el proceso mismo y porque no se cuenta con software).
- Adecuada para entornos en los que el cliente requiere conocer cuáles son las posiciones individuales del grupo (resultados adicionales a los resultados básicos de la técnica).

5.

Conclusiones y recomendaciones

En un primer acercamiento al análisis multicriterio, la gran cantidad de técnicas existentes puede considerarse una fortaleza dado que se cuenta con una gran diversidad de métodos disponibles; sin embargo, el no contar con información referente a las ventajas o desventajas de estas técnicas o con una base clara y práctica para evaluar su pertinencia en determinadas situaciones, para la práctica esta gran diversidad de técnicas puede considerarse una debilidad, pues no todas las técnicas son idóneas para todas las situaciones. La selección de la técnica adecuada es una fase crítica en el proceso de toma de decisiones ya que dependerá de esta etapa la obtención de soluciones satisfactorias a través de un uso óptimo de los recursos empleados en este proceso.

Entre los principales resultados obtenidos en este estudio destaca la caracterización de las situaciones de toma grupal de decisiones multicriterio, en la que se logró identificar los factores relevantes que influyen en el proceso. Esta caracterización fue la base para analizar y clasificar la información obtenida en la revisión de la literatura relativa a la selección de técnicas multicriterio y obtener finalmente la lista de criterios propuestos en esta tesis.

Como aproximación al estado del arte se obtuvo un listado de 89 criterios propuestos por los autores revisados para dar solución al problema de seleccionar técnicas multicriterio. Estos 89 criterios fueron categorizados de acuerdo con el *Model Selection Process* (tecle, 1988), subcategorizados con respecto a sus similitudes y posteriormente clasificados de acuerdo con el factor o proceso clave involucrado. El resultado de este proceso fue la definición de 9 criterios y sus respectivas escalas, que se utilizaron posteriormente para caracterizar las técnicas AHP, PROMETHEE y Ábaco de Régnier aplicado a decisiones multicriterio.

De manera general, se recomienda emplear AHP para situaciones en las que el número de alternativas y criterios sea reducido, preferentemente en grupos homogéneos cuyo nivel académico general les permita comprender conceptos tales como vectores y normalización de matrices y en los que no se desee que la discusión alcance niveles exhaustivos, así como situaciones en las que el nivel de urgencia de la decisión sea bajo y se cuente con tiempo disponible para llevar a cabo la técnica y realizar el análisis el sensibilidad correspondiente.

Asimismo, algunas de las pautas establecidas para el caso de la técnica PROMETHEE incluyen el emplearla en situaciones en las que sea factible utilizar técnicas participativas adicionales tales como la Técnica de Grupo Nominal, para la definición de las preferencias de los participantes; así como en grupos homogéneos para los que los conceptos relativos a gráficas y funciones matemáticas no les sean desconocidos y cuyos participantes puedan interactuar para enriquecer la discusión, aunque tomando en cuenta el tiempo disponible, pues la aplicación de esta técnica se recomienda para decisiones con un nivel de urgencia alto.

Es importante destacar que una aportación adicional de este estudio es la propuesta de modificación de la técnica denominada Ábaco de Régnier. Partiendo de la versión original se diseñó un procedimiento que permite aplicar esta técnica en procesos grupales de toma de decisiones multicriterio. El procedimiento obtenido genera un ejercicio participativo en el que la parte visual es la característica más relevante, además de ser intuitivo y fácil de comprender por los participantes. Esta propuesta, como las anteriores, fue también caracterizada con base en los 9 criterios ya mencionados. Se recomienda su aplicación en situaciones en las que se requiera de un proceso “suave”, cualitativo, con un número reducido de alternativas y criterios, para grupos homogéneos o heterogéneos con un nivel académico básico, cuya conformación promueva una interacción máxima entre los participantes. Una de las principales ventajas de esta propuesta es que permite obtener resultados adicionales a los que se obtienen con el uso de otros métodos multicriterio, pues facilita al decisor o cliente conocer las posiciones individuales vertidas en todo el proceso, información que puede ser empleada para enriquecer la toma de decisiones o incluso otros procesos dentro de la organización.

Dada la gran cantidad de técnicas existentes, se decidió limitar esta investigación a algunas de las más empleadas (PROMETHEE y AHP), sin embargo, los criterios pueden emplearse para caracterizar algunas otras técnicas similares a las analizadas.

RECOMENDACIONES

A continuación se describen algunos temas derivados de esta tesis que pueden ser explotados en trabajos posteriores:

- La revisión de la literatura realizada muestra que la investigación realizada en torno al problema abordado en esta tesis difiere en el número de criterios necesarios (de 4 hasta 49 criterios). A mayor número de criterios, mayor complejidad y orientación hacia el análisis matemático. La mayoría de los artículos revisados tienen un enfoque teórico, sin embargo, se aprecia una tendencia hacia el análisis de la aplicación práctica de estas técnicas.
- La modificación propuesta en esta tesis al Ábaco de Régnier pretende conservar su carácter cualitativo, sin embargo, para la agregación de las evaluaciones se emplean matemáticas elementales. El cuestionamiento hacia las técnicas racionales es algo frecuente, por lo que sería muy útil encontrar la manera de realizar análisis multicriterio que sean puramente cualitativos.
- Los resultados obtenidos pueden ser reunidos en un árbol de decisión en el cual el usuario pueda recorrer una ruta específica, guiado a través de preguntas en cada nodo (criterio) para optar por el camino lógico a seguir y así hasta llegar al final a la selección del método más apropiado. Este mismo árbol puede ser implementado en algún sistema de información o software que a través de preguntas al usuario y tratando la información de entrada mediante condicionales oriente al usuario en la técnica a emplear.

REFERENCIAS

1. Ackoff, R. (1999). *Ackoff's Best: His Classical Writings on Management*. John Wiley and Sons..
2. Al-Kloub B., Al-Shemmeri T., Pearman A. (1997). *The role of weights in multi-criteria decision aid, and the ranking of water projects in Jordan*. European Journal of Operational Research 99 p. 278-288
3. Al-Shemmeri T., Al-Kloub B., Pearman A. (1997). *Model choice in multicriteria decision aid*. European Journal of Operational Research 97 p. 550-560.
4. Ávila R.M. (2000). *El AHP y su uso para determinar el uso de las tierras. El caso de Brasil*. Informe Técnico No. 2 (Proyecto GCP/RLA/126/JPN). FAO. Santiago de Chile.
5. Babic Z. Plazibat N. (1998). *Ranking of enterprises based on multicriterial analysis*. International Journal of Production Economics 56-57 p. 29-35.
6. Balasubramaniam A., Rohan-Boyle A., Voulvoulis N. (2007). *Improving petroleum contaminated land remediation decision-making through the MCA weighting process*. Chemosphere 66 p. 791-798
7. Behzadian M., Kazemzadeh R.B., Albadvi A., Aghdasi M. (2010). *PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications*. European Journal of Operations Research 200 p. 198-215.
8. Belton V., Hodjkin Julie. (1999) *Facilitators, decision makers, D.I.Y. users: Is intelligent multicriteria decision support for all feasible or desirable?* European Journal of Operation Research 113, p. 247-260.
9. Bouyssou D., Perny P., Pirlot M., Tsoukiàs A. and Ph/ Vincke (1993). *A Manifesto for the new MCDA era*. Journal of Multicriteria Decision Analysis. 2/3, p. 125-127
10. Buchanan L., O'Connell A. (2006). *A brief history of decision making*. Harvard Business Review; Vol. 84 p. 32-41.
11. Cañabate C. A. (1997). *Toma de decisiones: análisis y entorno organizativo*. Ediciones UPC.
12. Easton A. (1978). *Decisiones Administrativas con Objetivos Múltiples*. Limusa, México.
13. Europe Aid Cooperation Office (2005) *Evaluation – Guidelines* http://ec.europa.eu/euroaid/avaluation/methodology/tools/too_cri_how_es.htm
14. Fernández Barberis G. *Los métodos Promethee: una metodología de apoyo a la toma de decisiones discretas*. Dpto. Métodos Cuantitativos para la Economía .Fac. CC. Económicas y Empresariales, Universidad San Pablo – CEU.
15. Figueira J., Roy B. (2002). *Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure*. European Journal of Operational Research. 139 p. 317-326.
16. Figueira, J., Greco S., Ehrgott M., et al. (2005). *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*. Springer's International Series.

17. Gilliams S., Raymakers D., Muys B., Van Orshoven J. (2005). *Comparing multiple criteria decision methods to extend a geographical information system on afforestation*. Computers and Electronics in Agriculture 49 p. 142-158
18. Goletsis Y., Psarras J., Samouilidis J.M. (2003). *Project ranking in the Armenian energy sector using a multicriteria method for groups*. Annals of Operations Research 120, p. 135-157.
19. Guitouni A., Martel J.M., (1998). *Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method*. European Journal of Operational Research 109 p. 501 -502
20. Hajkowitz S., Higgins A. (2008). *A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resources management*. European Journal of Operational Research 184 p. 255 – 265
21. Haralambopoulos D.A., Polatidis H. (2003). *Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework*. Renewable Energy 28 p. 961-973
22. Hyde K.M., Maier H.R., Colby C.B. (2005). *A distance-based uncertainty analysis approach to multi-criteria decision analysis for water resource decision making*. Journal of Environmental Management 77 p. 278-290
23. Ilori M.O., Irefin I.A. (1997) *Technology decision making in organizations*. Elsevier Science Ltd.
24. Jackson S. E., May K. E., Whitney K. (1995) *Understanding the dynamics of diversity in decision-making teams*. Team Effectiveness and Decision Making in Organizations. Jossey Bass. R. A. Guzzo, E. Salas and Associates.
25. Jian-Jun W., De-Li Y. (2007). *Using a hybrid multicriteria decision aid method for information systems outsourcing*. Computers and Operations Research. 34 p. 3691 – 3700
26. Koen R. (2008) Aspects of MCDA classification and sorting methods. Master thesis. University of South Africa.
27. Pomerol J.C., Barba-Romero S. (2000). *Multicriterion decision in management: principles and practice*. International Series in Operations Research & Management Science.
28. Keeney, R. (1976). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Wiley and Sons.
29. Leyva-López J.C., Fernández González E. (2003). *A new method for group decision support based on ELECTRE III methodology*. European Journal of Operational Research 148 p. 14-27.
30. Macharis C. Springael J. De Brucker K., Verbeke A. (2004) *Promethee and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening Promethee with ideas of AHP*. European Journal of Operation Research 153 p. 307-319
31. Mendoza G. A., Martins H. (2006). *Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms*. Forest Ecology and Management 230 p. 1-22.
32. Miller G. A. (1956) *The magical number seven, plus or minus two. Some limits in our capacity for processing information*. Psychological Review. Vol. 101, No. 2 p. 343-352.
33. Mousseau V., Figueira J., Naux J. (2001). *Using assignment examples to infer weights for ELECTRE TRI method: some experimental results*. European Journal of Operational Research 130 p. 263-275

34. Mojica-Sastoque F. (1991). *El Ábaco de Régnier*. La Prospectiva (21-33). Bogota: Legis Editores
35. Nutt P.C. (1976). *Models for decision making in organizations and some contextual variables which stipulate optimal use*. The Academy of Management Review, vol. 1, No. 2 p. 84-98
36. Peniwati K. (2007). *Criteria for evaluating group decision-making methods*. Mathematical and Computer Modelling 46 p. 935-947
37. Rauschmayer F., Kavathatzopoulos I., Kunsch P. L., Le Menestrel M. (2009) *Why good practice of OR is not enough – Ethical challenges for the OR practitioner*. Omega 37 p. 1089 – 1099
38. Rodríguez-Cotilla Z. (2000). *Teoría de la decisión multicriterio: un enfoque para la toma de decisiones*. Economía y Desarrollo, No. 1 / Vol / Ene-jun 2000
39. Rogers M., Bruen M., (1998). *A new system for weighting environmental criteria for use within ELECTRE III*. European Journal of Operational Research 107 p. 552-563
40. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill.
41. Sánchez Guerrero G. (2003). *Técnicas participativas para la planeación*. Fundación ICA, A. C.
42. Sánchez Guerrero G., Piña Sánchez R., Morales Arroyo M.A., González Castillo O.F. (2008). *La técnica de grupo nominal y el método como instrumentos que apoyan la toma de decisiones: el caso de las líneas estratégicas del sector hídrico en México*. XIV Congreso Latino Ibero Americano de Investigación de Operaciones.
43. SIGOB (1998). *La acción política de gobierno. Metodología de programación y gestión estratégica. Capítulo III, Instrumentos de apoyo a la programación estratégica*. Serie: Relaciones Gobierno-Sociedad, Documento No. 1.3
44. Stewart T.J. (1992). *A critical survey on the status of multiple criteria decision making theory and practice*. Omega of Management Science. Vol. 20, No 5/6. p. 569-586.
45. Triantaphyllou A. (2001). *Multicriteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Kluwer Academic Corporation.
46. Viscencio B. H. (2002). *Economía para la toma de decisiones*. Thomson Editores.