

**DISEÑO DE UNA FAMILIA COHERENTE DE
CRITERIOS APLICADO A LAS MATRICES DE
EVALUACIÓN EN LOS PROCESOS DE
LICITACIÓN PÚBLICOS**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO
ANTE LA ILUSTRE UNIVERSIDAD
CENTRAL DE VENEZUELA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE MAGISTER SCIENTIARUM
EN INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES**

ING. JOSÉ LUIS CASTRO

Caracas, Mayo de 2004

Depósito legal No. If487200462025

**CERTIFICO QUE HE LEÍDO ESTE TRABAJO DE
GRADO Y QUE LO ENCUENTRO APROPIADO
TANTO EN SU CONTENIDO COMO EN SU
FORMATO Y APARIENCIA EXTERNA**

PROF. NÉSTOR CARRASQUERO

FECHA : 08-07-2004

**TRABAJO DE GRADO APROBADO EN NOMBRE
DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
POR EL SIGUIENTE JURADO**

COORDINADOR

AGRADECIMIENTO

Agradezco ante todo a Dios, por haberme permitido llegar hasta aquí

A mi esposa y mis hijos por su sacrificio, por haberme soportado en las largas horas dedicadas a los estudios, dejando de compartir con ellos.

A mi tutor, Ing. Néstor Carrasquero, en el que siempre encontré apoyo y quien guió como buen timonel, este trabajo.

A la Profesora Rebeca Sánchez por sus comentarios y por el tiempo invertido en la revisión de este trabajo.

A mis compañeros de estudio, por su apoyo, sus consejos y por las buenas conversaciones que sostuvimos, especialmente gracias a mis compañeros de los Seminarios de Toma de decisiones Multiobjetivo y Multicriterio.

A mis Profesores de la UCV, quienes supieron transmitirme deseos de aprender y de investigar.

Por último y no menos importantes a mis compañeros de trabajo del Metro de Caracas, por su invaluable colaboración en la realización de este trabajo.

*A mi Esposa Yolanda,
a mis hijos Ricardo y
Karina, gracias por
ayudarme a lograr
esta meta.*

Índice General

<i>Agradecimientos</i>	<i>i</i>
<i>Índice General</i>	<i>ii</i>
<i>Índice de Tablas</i>	<i>iv</i>
<i>Índice de Figuras</i>	<i>v</i>
<i>Resumen</i>	<i>vii</i>
<i>Introducción</i>	<i>viii</i>
1. Planteamiento del problema.....	<i>ix</i>
2. Objetivos.....	<i>xiv</i>
2.1. Objetivo General.....	<i>xiv</i>
2.2. Objetivos Específicos.....	<i>xv</i>
Capítulo 1	1
Capítulo 2	12
2.1 Escuela francesa de toma de decisiones.....	13
2.2 Diferencias entre MCDA y MCDM.....	19
2.3 Proceso descriptivo y proceso constructivo.....	21
2.4 Bases Metodológicas.....	22
2.4.1 Tipos de problemáticas.....	23
2.4.2 Lista de atributos.....	27
2.4.3 Acciones potenciales.....	27
2.4.4 Modelaje de las preferencias.....	28
2.4.5 Modelaje de las consecuencias.....	34
2.4.5.1 Curvas de valoración.....	38
2.4.6 Criterios.....	44
2.4.7 Tabla de desempeños.....	48
2.4.8 Agregación de los desempeños.....	48
2.4.8.1 Introducción.....	48
2.4.8.2 Métodos de agregación completa.....	49
2.4.8.3 Métodos de agregación parcial.....	53
2.4.8.4 Métodos de agregación local o interactiva.....	57
2.5 Familia coherente de criterios.....	58
2.5.1 Axiomas y pruebas operativas.....	60
2.6 Independencia entre criterios.....	64
2.7 Arborización de criterios.....	65
2.8 Métodos de ponderación.....	69

Capítulo 3.....	78
3.1 Introducción.....	79
3.2 Fase 1: Planteamiento del problema.....	81
3.2.1 Unidad de decisión.....	81
3.2.2 Objetivo que se persigue.....	82
3.2.3 Definición del problema.....	82
3.3 Fase 2: Generación de los criterios.....	83
3.3.1 Dimensionamiento de los criterios.....	83
3.3.2 Pruebas de coherencia.....	87
3.3.2.1 Prueba de comprensión.....	88
3.3.2.2 Prueba de adhesión.....	88
3.3.2.3 Prueba de exhaustividad.....	89
3.3.2.4 Prueba de cohesión.....	90
3.3.2.5 Prueba de no redundancia.....	91
3.3.2.6 Conclusión de las pruebas.....	92
3.3.3 Ponderación de los criterios.....	93
3.4 Fase 3: Evaluación de alternativas.....	94
3.4.1 Agregación de los criterios.....	94
3.4.2 Tabla de desempeños.....	95
3.5 Fase 4: Análisis de robustez y recomendación.....	96
3.6 Resumen de la metodología.....	99
Capítulo 4.....	104
4.1 Introducción.....	105
4.2 Fase 1: Planteamiento del problema.....	105
4.2.1 Definición de la unidad de decisión.....	105
4.2.2 Objetivo del proceso de licitación.....	107
4.2.3 Definición del problema.....	108
4.2.4 Antecedentes.....	110
4.2.5 Desarrollo del ejemplo con la metodología propuesta.....	115
4.3 Fase 2: Generación de los criterios.....	118
4.4 Fase 3: Evaluación de las alternativas.....	138
4.5 Fase 4: Análisis de robustez y recomendación.....	140
4.6 Comparación de la metodología actual y la forma tradicional de trabajar.....	141
Conclusiones.....	147
Bibliografía.....	155
Anexo 1	
Anexo 2	
Anexo 3	

Índice de Tablas

<i>Tabla 1</i>	<i>Comparación entre enfoques de toma de decisiones</i>	<i>xiv</i>
<i>Tabla 2</i>	<i>Escala de calificaciones</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 3</i>	<i>Tabla de desempeños</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 4</i>	<i>Comparación de métodos de agregación completa y parcial</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 5</i>	<i>Relaciones extendidas de preferencia</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 6</i>	<i>Valores de IRC para diferentes valores de S, para evaluar el índice de consistencia</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 7</i>	<i>Descripción de la escala de Saaty para evaluar los criterios apreciativos</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 8</i>	<i>Tabla de desempeños propuesta</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 9</i>	<i>Integrantes de la unidad de decisión</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 10</i>	<i>Puntuación apreciativa utilizada para la evaluación de los criterios</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 11</i>	<i>Criterios originales para evaluar la organización</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 12</i>	<i>Criterios originales para evaluar la experiencia</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 13</i>	<i>Puntuación asignada a los criterios técnicos originales</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 14</i>	<i>Agregación final de los criterios originales</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 15</i>	<i>Resumen de características de los criterios Empresa y Especificaciones</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 16</i>	<i>Resumen de características de los criterios Organización y Experiencia</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 17</i>	<i>Resumen de características de los criterios Estructura, personal, Infraestructura y Soporte del fabricante.</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 18</i>	<i>Resumen de características de los criterios Funcionamiento, mantenibilidad y portabilidad.</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 19</i>	<i>Resumen de características de los criterios Conveniencia, Interoperabilidad y Seguridad.</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 20</i>	<i>Resumen de características de los criterios Diagnóstico y Configuración.</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 21</i>	<i>Resumen de características de los criterios Adaptabilidad y Estandarización.</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 22</i>	<i>Resumen de características de los criterios Operatividad, Gestión, Aspectos técnicos y Cobertura.</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 23</i>	<i>Resumen de características de los aspectos que soportan el criterio Funcionabilidad.</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 24</i>	<i>Resumen de características de los aspectos que soportan el criterio Manejo.</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 25</i>	<i>Resumen de características de los criterios Funcionabilidad y Manejo.</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 26</i>	<i>Resumen de aspectos que soportan el criterio Posibilidad de expansión.</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 27</i>	<i>Resumen de aspectos que soportan el criterio Características físicas.</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 28</i>	<i>Resumen de características de los criterios Posibilidad de expansión y aspectos Técnicos.</i>	<i>137</i>

Índice de Figuras

<i>Figura 1</i>	<i>Elementos que constituyen una metodología</i>	<i>xi</i>
<i>Figura 2</i>	<i>Proceso de licitación general</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3</i>	<i>Criterios utilizados para evaluar la calificación de empresas en licitaciones</i>	<i>10</i>
<i>Figura 4</i>	<i>Problemática de selección</i>	<i>24</i>
<i>Figura 5</i>	<i>Problemática de categorización</i>	<i>25</i>
<i>Figura 6</i>	<i>Problemática de ordenamiento</i>	<i>26</i>
<i>Figura 7</i>	<i>Correspondencia de límites a escalas</i>	<i>38</i>
<i>Figura 8</i>	<i>Ejemplo de gráfica resultante de la aplicación del método interactivo</i>	<i>40</i>
<i>Figura 9</i>	<i>Ejemplo de las curvas de valoración esperadas</i>	<i>43</i>
<i>Figura 10</i>	<i>Esquema de un pseudos criterio</i>	<i>45</i>
<i>Figura 11</i>	<i>Esquema de los lazos que se dan entre las relaciones fundamentales de preferencia</i>	<i>62</i>
<i>Figura 12</i>	<i>Matriz del método de comparación por pares</i>	<i>70</i>
<i>Figura 13</i>	<i>Ejemplo de aplicación del método de comparación por pares</i>	<i>71</i>
<i>Figura 14</i>	<i>Matriz de pesos del método de Saaty</i>	<i>75</i>
<i>Figura 15</i>	<i>Esquema de la metodología</i>	<i>101</i>
<i>Figura 16</i>	<i>Diagrama reflujo de la metodología planteada</i>	<i>102</i>
<i>Figura 17</i>	<i>Criterios que soportan la decisión final</i>	<i>119</i>
<i>Figura 18</i>	<i>Criterios que soportan el criterio Empresa</i>	<i>120</i>
<i>Figura 19</i>	<i>Criterios que soportan el criterio Especificaciones técnicas</i>	<i>121</i>
<i>Figura 20</i>	<i>Criterios que soportan el criterio Organización</i>	<i>123</i>
<i>Figura 21</i>	<i>Criterios que soportan el criterio Experiencia</i>	<i>124</i>
<i>Figura 22</i>	<i>Criterios que soportan el criterio Gestión</i>	<i>128</i>
<i>Figura 23</i>	<i>Aspectos que soportan el criterio Operatividad</i>	<i>130</i>
<i>Figura 24</i>	<i>Aspectos que soportan el criterio Aspectos físicos</i>	<i>131</i>
<i>Figura 25</i>	<i>Aspectos que soportan el criterio Cobertura</i>	<i>132</i>
<i>Figura 26</i>	<i>Aspectos que soportan el criterio Funcionabilidad.</i>	<i>133</i>
<i>Figura 27</i>	<i>Aspectos que soportan el criterio Manejo.</i>	<i>134</i>
<i>Figura 28</i>	<i>Aspectos que soportan el criterio Posibilidad de expansión.</i>	<i>135</i>

<i>Figura 29</i>	<i>Aspectos que soportan el criterio Características físicas.</i>	<i>136</i>
<i>Figura 30</i>	<i>Árbol de criterios inicial utilizado para aplicar la metodología propuesta.</i>	<i>144</i>
<i>Figura 31</i>	<i>Árbol de criterios intermedio generado a través de la metodología propuesta.</i>	<i>145</i>
<i>Figura 32</i>	<i>Árbol de criterios definitivo generado a través de la metodología propuesta.</i>	<i>146</i>

Resumen

Cuando se deben afrontar problemas multicriterio, con elevada carga estratégica, social o procesos humanos, la aproximación clásica de la Investigación de Operaciones es difícil de aplicar, bien por el rechazo natural a la complejidad matemática inherente a las técnicas y métodos tradicionales o por la dificultad de modelar las incertidumbres e indeterminaciones propias de las preferencias y juicios de valor de los actores en estas situaciones de decisión.

Con el presente trabajo se establece una metodología que permite a los expertos de las unidades técnicas o financieras, en un ente público, estructurar una familia de criterios que pueda considerarse coherente (según los postulados de B. Roy), aplicable a la elaboración de las matrices de calificación en los procesos de licitación públicos. Además su objeto se extiende hasta la evaluación de las ofertas técnicas con el fin de discernir cuales califican y en que orden.

Su diseño busca la elaboración de un modelo por la vía constructivista, orientado a lograr simplicidad de uso, comprensión de las herramientas por parte de los usuarios, adaptación al marco legal y facilidad de ser auditados los métodos utilizados y los resultados obtenidos.

Introducción

1. Planteamiento del Problema

Para la Investigación de Operaciones clásica, un problema de decisión se formula en términos analíticos o estocásticos y, con métodos algebraicos, numéricos o estadísticos, se busca extraer del problema un objeto matemático denominado óptimo, el cual se recomienda como la mejor o la correcta decisión racional.

En este sentido la Investigación de Operaciones clásica se parece a las ciencias naturales o ciencias de la ingeniería, donde las herramientas matemáticas son utilizadas para resolver un problema de decisión sin intervención directa de la unidad que toma la decisión, excepto durante la fase inicial de identificación y planteamiento del problema, para permitir modelar el mundo real en términos matemáticos.

Esta aproximación clásica se adapta perfectamente al tipo de problemas en el campo de la optimización técnica, sin embargo, cuando con este esquema clásico se enfrentan problemas de tipo estratégico, sociales o a procesos humanos, surge un conflicto con la unidad de decisión. Aparece un rechazo natural, tanto a la complejidad matemática de la metodología que parece oscurecer el problema, como al hecho de no tomar en cuenta la parte subjetiva (juicios y preferencias), ni la experticia personal de la unidad de decisión en el tema a lo largo del proceso. En pocas palabras, la Investigación de Operaciones clásica no es capaz de tratar efectivamente con estos problemas en el pragmático mundo del decisor.

Por otra parte, cuando se busca modelar sistemas de valoración humanos, resulta inevitable formular modelos con varios criterios, seguramente en franca contradicción entre sí. El primer hecho que surge es que en este tipo de problemas no es posible encontrar la mejor solución para satisfacer todos los criterios, las soluciones son de compromiso, permitiendo el establecimiento de negociaciones que

compensen lo logrado en cada criterio y que a los ojos de la unidad de decisión sean una solución satisfactoria.

Cuando se trata con múltiples criterios resulta más simple y eficaz modelar las incertidumbres, indeterminaciones e imprecisiones propias de los sistemas humanos, así como considerar las preferencias de la unidad de decisión.

Dentro del campo de la toma de decisiones multicriterio, se seleccionó para fundamentar teóricamente el presente trabajo, una escuela de pensamiento originaria de Francia, denominada Soporte Multicriterio a la Toma de Decisiones, (Multiple Criteria Decisión-Aid, siglas en inglés MCDA). La MCDA se sustenta sobre la base de modelar las preferencias de la unidad de decisión, incorporando dentro del modelo el elemento subjetivo presente en toda decisión y aplicando un relajamiento del articulado matemático clásico de este tipo de problemas, en favor de hacer el modelo más compatible con los fenómenos humanos involucrados. Como expresa D. Bouyssou, “El soporte multicriterio a la toma de decisiones permite dar una respuesta científica a los problemas sociales”

Esta escuela surgió en los años setenta, como una respuesta al paradigma de la solución óptima planteado por la Escuela Americana. En su lugar se busca generar un desplazamiento hacia un nuevo paradigma: la formulación pragmática de las preferencias de la unidad de decisión es el punto focal donde se sustenta el proceso de decisión (Bisdorff, 2002).

Uno de los sistemas de valoración humana, al que se le ha dedicado pocos estudios en este campo, es el vinculado a los Procesos de Licitación Públicos (PLP), indiscutiblemente la selección final es el resultado de un proceso de decisión donde intervienen múltiples criterios. Para este complejo y cotidiano problema, el presente trabajo

pretende desarrollar una metodología, que le permita al asesor o unidad responsable del proceso, definir una familia de criterios que se pueda considerar coherente, Con este calificativo se expresa el deseo que refleje, sin lugar a dudas, las preferencias de la unidad de decisión y que sirva de soporte transparente en la selección de empresas para la asignación de contratos de obras, bienes o servicios.

En este contexto cabe preguntarse ¿Qué se entiende por metodología?. Según lo señalado por Callaos y Callaos (Sánchez R., 1997) el término aplica al “conjunto de métodos, herramientas y técnicas relacionadas o relacionables de manera de cumplir un objetivo”. Dicho de otra manera y como se muestra en la figura 1, la metodología incluye las relaciones existentes entre el método, el objeto de su aplicación y el marco teórico que la soporta. Entendido el método por el conjunto de módulos o pasos que conducen a un objetivo final, en palabras de Callaos y Callaos “camino para pensar y/o actuar que se caracteriza primariamente por puntos de partida y de llegada y, secundariamente por puntos intermedios”. Por herramientas entendemos aquellos elementos que nos permiten transportarnos por el método y por técnica la capacidad de manejo de las herramientas. La técnica es una cualidad humana y como tal requiere tanto de aptitud como de actitud.

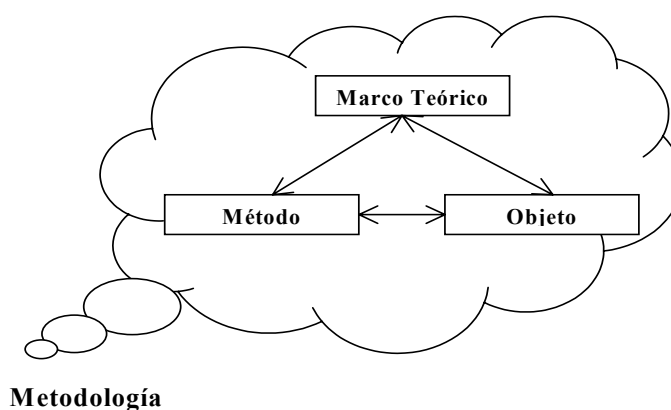


Figura 1

Elementos que constituyen una metodología

De esta forma la metodología que se propone en este trabajo aplicada al campo de los PLP, se fundamentará en las herramientas, métodos y técnicas de la Escuela Francesa o MCDA. Específicamente se pretende establecer lo que denomina Bernard Roy, una *Familia Coherente de Criterios* (FCC), caracterizada esencialmente por:

- todas las dimensiones de preferencia del decisor o al menos las que le importan, estén contenidas dentro de la FCC,
- existe consistencia cuando se comparan todas las posibles acciones sobre un criterio en particular,
- cada criterio sea independiente (en un sentido preferencial) y,
- los criterios sean comprendidos y unánimemente aceptados por los miembros de la unidad de decisión.

Estas dimensiones de preferencia, operacionalmente organizadas en la FCC, serán la base para la comparación de alternativas, a través de la cual se llega a una recomendación. Dentro de la metodología propuesta se incluye lo relacionado a la definición de las preferencias de la unidad de decisión por medio del uso de curvas de valoración, la ponderación de los criterios y la forma de agregación de los mismos, con el fin de brindar una propuesta de solución o recomendación.

El problema planteado se inscribe dentro de lo que Thompson (Carrasquero, 1994) define en su tipología como situaciones de decisión donde prevalece el compromiso y/o la inspiración, las primeras implican buscar soluciones compromiso entre diversos objetivos, por lo que es posible encontrar una solución factible que se encuentre lo más cerca posible a la solución ideal. Las segundas son de tipo cualitativo, dependen de las preferencias de la unidad de decisión. En las situaciones de decisión planteadas en los PLP nos encontramos con el caso de múltiples criterios de evaluación, algunos cuantitativamente

conmensurables, que definen las opciones con certeza, y otros cualitativos que definen las opciones con cierta incertidumbre.

Otros autores como Schoemaker y Russo (1.994), identifican cuatro enfoques para la toma de decisiones (Vélez Pareja, 2003)

La intuición: Es un método rápido y fácil de manejar, muchas veces produce resultados brillantes. Su principal limitación, radica en la dificultad para explicar a los demás las razones que fundamentan una decisión. Además este método es por su naturaleza inconsistente. No obstante, todo modelo de decisión que desee acercarse lo más posible a la realidad, debe incluir en su diseño el elemento intuitivo, que es en última instancia una de las variables fundamentales que influyen en el proceso de decisión.

Reglas Heurísticas: Con este método se cometen menos errores que con el de la intuición. Son reglas existentes históricamente o generadas por la experiencia. Es posible que las reglas no consideren toda la información que rodea al problema en cuestión.

La evaluación de múltiples criterios con asignación de ponderaciones: Implica trabajar el problema considerando varios factores que se quieran satisfacer, para ello es importante clarificar los objetivos y las metas buscadas. Posteriormente se asignan ponderaciones a los criterios y se evalúan las alternativas contra estos criterios. Estos modelos garantizan consistencia, no reemplazan al decisor, sino que buscan incorporar su experiencia.

El análisis de valor: Este es el procedimiento más complejo y completo. Permite determinar, con mayor refinamiento las ponderaciones de cada factor y ayuda a determinar por medio del análisis de sensibilidad, qué tanto valor añade un factor a los objetivos (Utilidad Marginal). Se diferencia del método anterior en su técnica más refinada.

En la tabla 1 se resume la comparación de los enfoques señalados anteriormente utilizando como parámetro de comparación la calidad del producto, el esfuerzo requerido para lograrlo y la claridad del proceso que condujo a tal producto.

Método	Calidad	Esfuerzo o Recursos	Claridad
Intuición	Baja	Poco	Muy Baja
Reglas Heurísticas	Moderada	Poco	Moderada
Ponderación	Alta	Variable	Alta
Análisis de Valor	Muy Alta	Muy Alto	Muy Alta (a veces baja)

Tabla 1

Comparación entre enfoques de tomar decisiones

La selección de empresas por medio de los PLP tradicionalmente se ha venido realizando bajo los enfoques de la intuición y las reglas heurísticas, con sus consecuentes debilidades, lo que induce a pensar en la necesidad de desarrollar nuevas formas de plantear el problema a fin de lograr decisiones con la mayor calidad y menor inversión de esfuerzos o recursos posibles a través de procesos caracterizados por la claridad y transparencia que debe respaldar este tipo de situaciones.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Diseño de una metodología multicriterio que permita establecer una FCC aplicada a la elaboración de matrices de evaluación en los PLP.

2.2 **Objetivos Específicos**

- Establecer el marco conceptual y obtener un levantamiento de antecedentes, a fin de profundizar los conceptos.
- Elaborar un enfoque sistémico de forma de identificar los límites, elementos y relaciones que intervienen en el problema.
- Seleccionar las técnicas y herramientas dentro del ámbito de la teoría de toma de decisiones multicriterio, que serán utilizadas.
- Plantear una metodología que pueda ser aplicada por la unidad de decisión para la selección de una familia de criterios
- Implementar un modelo de matriz de evaluación, dentro del contexto de la técnica seleccionada y aplicada al área de las telecomunicaciones.

Con el propósito de facilitar el seguimiento del trabajo realizado, este se dividió en seis secciones:

Introducción: Se esboza el problema propuesto, junto con consideraciones básicas referentes al soporte teórico que se utilizará en el desarrollo del trabajo, también se incluyen el objetivo general y los objetivos específicos que se trazaron para su elaboración.

Capítulo 1: Toma de Decisiones en Procesos de Licitación: Se consideró necesario ahondar en los PLP para enmarcar al lector en la problemática a tratar; utilizando un enfoque sistémico del proceso, se describen sus elementos, relaciones y límites, así como los problemas con los que se enfrenta el decisor.

Capítulo 2: Marco Teórico. Aquí se describen los fundamentos conceptuales de la escuela de pensamiento seleccionada, se desarrolla el basamento teórico de la escuela francesa de Soporte Multicriterio a la Toma de Decisiones, incluyendo sus diferencias de pensamiento con la

escuela americana. Se hace hincapié en las exigencias establecidas por B. Roy para la determinación de coherencia de un conjunto de criterios. Además se describen técnicas como las curvas de valoración, algunos métodos de ponderación y agregación de criterios, considerados adecuados para formar parte de la metodología.

Capítulo 3: Metodología multicriterio aplicada a la construcción de una Familia Coherente de Criterios. Se presenta la metodología propuesta, describiendo las fases que la conforman y su utilización.

Capítulo 4: Ejemplo de aplicación de la metodología. En este capítulo se expone la aplicación de la metodología en un PLP. Se comparan los resultados obtenidos en la realidad con lo obtenido luego de aplicar los conceptos propuestos en la elaboración de la matriz de evaluación de ofertas.

Conclusiones y Recomendaciones: Por último se presentan algunas conclusiones y recomendaciones orientadas hacia el desarrollo de otros trabajos relacionados con el tema.

Para concluir, con el presente trabajo se establece una metodología que le permite a los expertos de las unidades técnicas o financieras, en un ente público, estructurar una familia de criterios que pueda considerarse coherente (según los postulados de B. Roy), aplicable a la elaboración de las matrices de calificación en PLP. Además su objeto se extiende hasta la evaluación de las ofertas técnicas con el fin de discernir que ofertas califican y en que orden. Su diseño se orientó a lograr simplicidad de uso, comprensión de las herramientas por parte de los usuarios, adaptación al marco legal y facilidad de ser auditados los métodos y resultados utilizados.

Capítulo 1

Toma de Decisiones en Procesos de Licitación Públicos

Con la finalidad de facilitar el surgimiento de ambientes propicios para dinamizar el proceso de evaluación de las ofertas, en los procesos de licitación en las empresas e instituciones públicas, se requiere la adopción de alguna metodología que facilite la toma de decisiones. La Ley de Licitaciones vigente, aún cuando es el marco regulador de todo el proceso, deja en manos de cada organismo público la adopción de los mecanismos de evaluación y selección de ofertas, haciendo hincapié sólo en mantener, como reza el artículo 42, la transparencia, igualdad y competencia entre los participantes en el proceso.

La selección de los criterios de calificación y de evaluación constituye la piedra angular del proceso. Se requiere definir su significado, unidad, escala de medición y sentido de preferencia. Es en la conformación de las matrices de evaluación, donde se encuentra el punto neurálgico, puesto que son éstas la herramienta que utilizará la unidad de decisión para decidir, primero la calificación de empresas y, posteriormente su evaluación.

La Ley de Licitaciones no establece ningún requisito especial para la determinación de los criterios, es en los artículos 45 y 47 donde se da una vaga idea de cómo deben ser los criterios de evaluación, citamos textualmente lo expresado por la ley:

Artículo 45:

“Las reglas, condiciones y criterios aplicables a cada licitación deben ser objetivos, de posible verificación y revisión, y se establecerán en los pliegos de licitación.....”

Artículo 47:

“ Los pliegos de licitación deben contener, la determinación clara y precisa de:

9. Criterios de calificación, su ponderación y la forma en que se cuantificaran dichos criterios.
10. Criterios de evaluación, su ponderación y la forma en que se cuantificarán el precio y los demás factores definidos como criterios.....”

Un Proceso de Licitación Público (PLP) se define como un proceso competitivo para la selección de los contratistas o también se puede decir que es un procedimiento administrativo cuya finalidad es seleccionar en concurrencia la mejor oferta para celebrar un contrato (El informalismo y la concurrencia en la licitación pública, 1992).

La Ley de Licitaciones señala tres tipos de selección de ofertas: a saber Adjudicación Directa, Licitación Selectiva y Licitación General. Esta división viene dada básicamente por el monto de la obra a ejecutar o servicio a contratar, medido en unidades tributarias (UT). En cualquiera de los tres tipos de proceso, es necesario la generación de una matriz de criterios que servirá para sustentar la elección, selección o calificación de la empresa a contratar.

Entre las medidas que se incluyen en la Ley para lograr transparencia y eficiencia en estos procesos, entendiéndose aquí por eficiencia la reducción de recursos y lapsos, se encuentran las siguientes:

1. El establecimiento con carácter obligatorio de pliegos de licitación, en los que debe establecerse e informarse a los interesados las reglas, condiciones y criterios aplicables a cada licitación.
2. La obligatoriedad de aplicar en el examen, calificación, evaluación, rechazo y adjudicación de ofertas, las reglas, condiciones y criterios establecidos en los pliegos de licitación.

Desde un punto de vista sistémico, como visión integradora es interesante estudiar el PLP a fin de definir sus límites, interrelaciones y estructura interna. Podemos decir que en un PLP los elementos que participan son:

- *El ente público*, compuesto por:
 - i. *La unidad solicitante* del PLP, encargados de conformar los requerimientos (especificaciones funcionales, técnicas y matriz de evaluación técnica) del bien o servicio que se necesita adquirir o contratar.

- ii. *La unidad de finanzas*, quien da la pautas sobre disponibilidad presupuestaria y efectúa los análisis financieros que se requieren para la selección de contratistas en procesos de licitación general.
 - iii. *La Consultoría Jurídica*, encargada de velar por el cumplimiento del marco legal inherente al proceso.
 - iv. *La Comisión de Licitaciones*, conformada por miembros de diversas disciplinas, nombrados por la máxima autoridad del ente público y que tienen como finalidad impulsar, guiar y llevar a término el P.L.;
 - v. *La unidad de decisión*, la cual, dependiendo del tipo de PLP, puede ser bien la Presidencia o la Junta Directiva del ente público. Esta unidad de decisión es la que en definitiva seleccionará la empresa ganadora del proceso a la cual se le otorgará la Buena Pro o bien decidirá si declarar desierto el proceso, lo cual conlleva al inicio de otros procesos de licitación.
 - vi. *El Registro Nacional de Contratistas*, este elemento posee una estructura difusa, puesto que es un ente independiente adscrito al Gobierno Central pero con presencia dentro de los entes públicos; está encargado de clasificar a las empresas tanto por su capacidad financiera como por el tipo de bien que suministra o servicio que presta. Esta información es utilizada posteriormente para la calificación financiera y legal durante el proceso.
- *Las empresas*, interesadas en suministrar el bien o prestar el servicio.

Todos estos elementos, forman un conjunto que podemos definir como un sistema con tiempo de existencia finito, el cual se encuentra inmerso en un medio ambiente que lo delimita y en el que podemos encontrar:

- *Gobierno*, como accionista principal o único de los entes públicos, quien establece las directrices maestras que inciden directamente en los procesos de adquisición o contratación de los entes públicos.
- *El marco legal vigente*, el cual establece los procedimientos y reglamentos a seguir en los PLP.
- *El mercado*, como fuerza que puede incidir directamente en la definición de los procesos de compra.

Este conjunto de elementos cuenta para lograr sus objetivos con recursos claramente definidos como son:

- *Los empleados*, asignados a labores específicas en unidades funcionales.
- *Los recursos financieros*, destinados para cubrir la adquisición del bien o contratación del servicio.
- *Los recursos logísticos*, constituidos por aquellos ítems que permiten el desenvolvimiento del proceso, como papelería, salas y recursos informáticos.
- *El proyecto*, que define el bien o servicio que se desea adquirir a través de las especificaciones y las condiciones particulares establecidas en los pliegos de licitación.

Los objetivos que persigue el ente público pueden enumerarse como:

- Adquirir bienes, servicios o construir infraestructura.
- Permitir la participación de varias empresas (variedad)
- Lograr un buen precio (competencia)
- Obtener la mejor solución bajo las condiciones establecidas y con los recursos asignados.

El principal objetivo que persiguen las empresas participantes es la obtención de la “Buena Pro”, pero existen otros objetivos secundarios como mantener o ganar el cliente, alcanzar las proyecciones de ventas, incrementar el posicionamiento en el mercado, entre otros. Ahora bien, como en este trabajo el enfoque que se desea realizar es desde el punto de vista del ente público, no ahondaremos en la visión que la empresa privada tiene sobre el proceso de licitación y sus procesos internos necesarios para participar en el mismo.

En general, el fin último que busca el ente público cuando da apertura a un PLP es satisfacer el requerimiento de la empresa (bien, servicio u obra). Las interrelaciones que se dan entre los elementos que forman los entes públicos para lograr este fin se describen a continuación, para cada uno de los tres tipos de procesos establecidos en la Ley:

Adjudicación Directa

Aplicable cuando se trata de:

- Bienes o servicios (monto < 1100 UT)
- Construcción (monto < 11.500 UT)
- Lo establecido en el artículo 92 de la Ley de Licitaciones

La Adjudicación Directa es un proceso donde por razones muy específicas, expresadas en la Ley, la Junta Directiva del ente público decide otorgar un contrato de servicios o suministro de bienes a una empresa en particular. Es lo que se denomina procedimiento por excepción, puesto que solo se aplica en casos muy particulares, o se llega a él luego de haber pasado por un Proceso de Licitación Selectiva declarado desierto. Esta contratación es solicitada por la unidad interesada en la empresa y soportada por una exposición de motivos enmarcada dentro de los lineamientos que se establecen en el artículo 92 de la Ley de Licitaciones. Por lo tanto la oferta en cuestión no es comparada con otras alternativas similares, la decisión se basa en aceptar o no la propuesta. No obstante, siempre se requiere sustentar la elección de la empresa a contratar, para lo cual es fundamental la elaboración de un conjunto de criterios sobre los cuales se sustente la decisión.

Licitación Selectiva

Aplicable a:

- Bienes o servicios (monto entre 1100 UT y 11.000 UT)
- Construcción (monto entre 11.500 UT y 25.000 UT)

En el Proceso de Licitación Selectiva, el ente público selecciona al menos a cinco empresas (si las hay) que puedan suministrar el bien o servicio. Esta selección se hace de aquellas empresas inscritas en el Registro Nacional de Contratistas, que según su descripción de actividades puedan participar en el proceso.

La selección es sustentada por un proceso interno, basado en un conjunto de criterios establecidos por las características de organización y experiencia en el área de interés que la unidad solicitante estiman convenientes aplicar. Las empresas son invitadas a participar y se les entrega un pliego de condiciones técnicas y funcionales para que oferten. Una vez que entregan sus ofertas, la Comisión de Licitación efectúa el análisis, se evalúan las características técnicas y se hace una comparación de precios, resultando ganadora aquella oferta que cumpla con las características exigidas y sea la más conveniente a los intereses del ente público. No existe una metodología definida para efectuar este análisis. Si todas las ofertas cumplen con los requisitos exigidos, gana la que oferte el menor precio; pero si ninguna cumple con todos los requisitos, la selección se hace con base al requisito que la unidad de decisión considere más importante. Es aquí cuando entran en juego otros atributos no considerados en la evaluación preliminar como la experiencia con esa empresa, su posición en el mercado o simplemente factores tan subjetivos como, “parece ser” la mejor oferta.

Licitación General o Licitación Anunciada Internacionalmente

Aplicable a:

- Bienes o servicios (montos mayores a 11.000 UT)
- Construcción (montos mayores a 25.000 UT)

En el proceso de Licitación General, la unidad solicitante, a partir de las especificaciones funcionales y técnicas del bien que se desea adquirir o servicio que se desea contratar, elabora una matriz de evaluación la cual está compuesta por una serie de criterios que el ofertante debe cumplir. La estructura de la matriz de evaluación no está definida en la Ley de Licitaciones y su diseño se realiza dependiendo de las preferencias de la unidad solicitante, no existiendo ninguna metodología para su elaboración. Una vez la unidad solicitante presenta la

documentación técnica a la Comisión de Licitación, la misma da inicio al proceso, prepara los pliegos de licitación y hace el llamado público a ofertar.

De aquí en adelante se pueden diferenciar dos etapas del proceso; una primera etapa denominada Calificación, donde las empresas que deseen participar presentan sus propuestas en dos sobres uno de los cuales contiene los recaudos legales y técnico-comerciales solicitados y otro que contiene la oferta comercial. En la primera etapa se evalúa el contenido del primer sobre, es decir los criterios legales, financieros, comerciales y técnicos, todos ellos con base en una evaluación previamente diseñada y entregada a los oferentes en los pliegos de licitación. Una vez evaluadas las ofertas se seleccionan aquellas empresas que logran calificar; posteriormente se inicia la segunda etapa del proceso donde se procede a la apertura del sobre con la oferta comercial de aquellas empresas que fueron calificadas, se efectúa el análisis de precios y al igual que como se explicó para el Proceso de Licitación Selectivo, la decisión final es un proceso de toma de decisiones que no tiene una metodología establecida y por lo tanto, si existe poca disparidad entre las ofertas comerciales la decisión final se verá afectada por muchos componentes subjetivos.

La Licitación Anunciada Internacionalmente sigue un proceso similar, sólo se diferencia en que no es necesario que las empresas estén inscritas en el Registro Nacional de Contratistas; su intención es permitir la participación de empresas extranjeras cuando se considera que el bien o servicio no puede ser suplido a cabalidad por las empresas locales.

El proceso completo de la Licitación General se muestra en la Figura 2

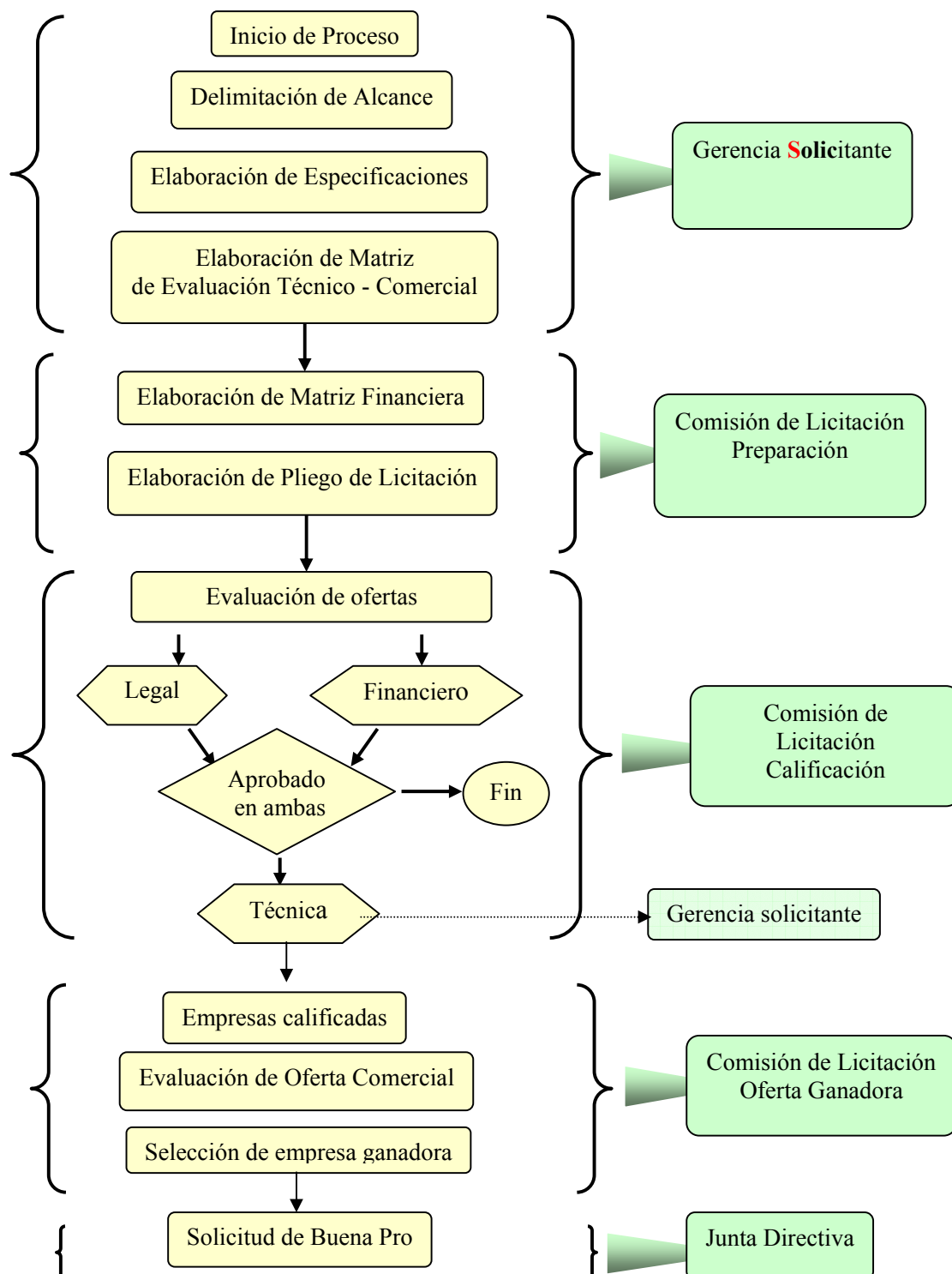


Figura 2
Proceso de Licitación General

Como se mencionó al inicio, la Ley de Licitaciones no establece la metodología para seleccionar los criterios de calificación, su ponderación y la forma en que se cuantificarán dichos criterios; esto se deja a la libre consideración de las Comisiones de Licitación de cada ente público. La estructura de criterios típica que se utiliza en los entes públicos para procesos que involucren adquisiciones que incluyen estudios, suministro, instalación, pruebas y capacitación es de la siguiente forma ver (Figura 3):

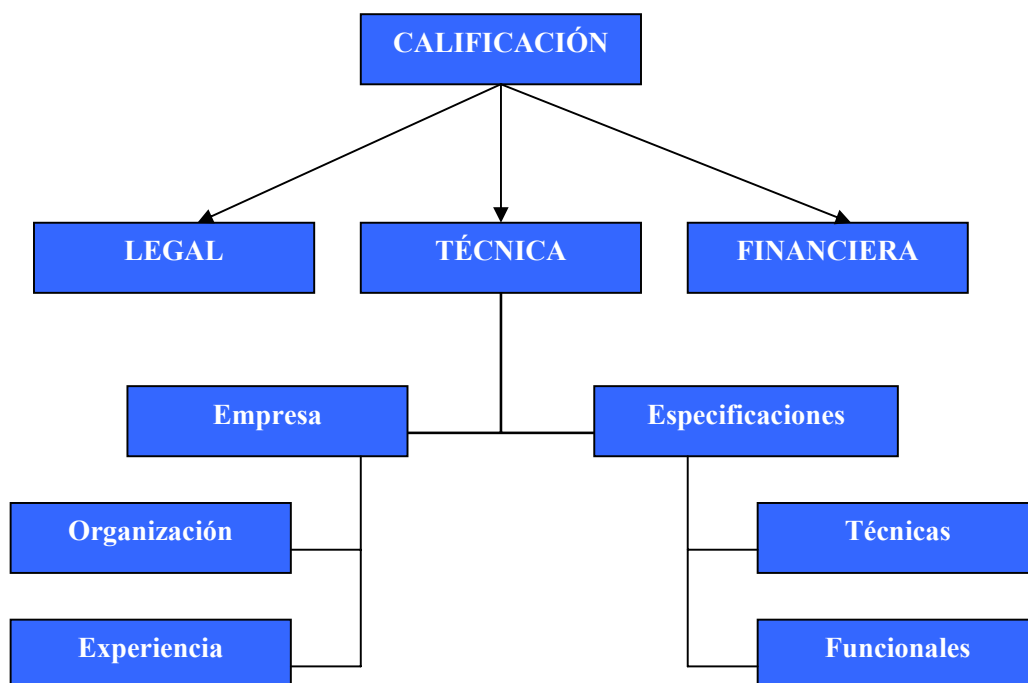


Figura 3
Criterios generalmente utilizados para evaluar la calificación de empresas en licitaciones

Esta estructura de criterios de evaluación servirá de punto de inicio para el trabajo que se desea desarrollar.

La elaboración de un modelo que ayude a la toma de decisiones de un PLP, debe tomar en cuenta que el mismo es de naturaleza multicriterio, donde es necesario calificar una serie de alternativas, con base en un

conjunto de criterios, para posteriormente no sólo elegir la mejor (la más conveniente para el ente público) sino también ordenar las alternativas aceptables de mejor a peor. Existe una metodología que se adapta a estos requerimientos, la misma fue desarrollada en Francia y se conoce como la Escuela Francesa para el Soporte a la Toma de Decisiones (MCDA). La descripción de la misma será ampliada en los siguientes capítulos.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1 Escuela francesa de toma de decisiones

Todo problema de decisión complejo requiere tomar en cuenta de forma explícita diferentes puntos de vista. Las aproximaciones clásicas como la Teoría de Utilidad, la Teoría de Juegos, el Análisis Costo-Beneficio y la Programación Matemática sólo consideran una única función objetivo para maximizar o minimizar, por lo que no pueden garantizar un modelo fiel de los problemas de decisión de la vida diaria; “la realidad es multicriterio y toda decisión implica pesar los pro y los contra. Además, decidir implica tomar en cuenta varios puntos de vista” (Bouyssou, 1996). Para solventar las dificultades de las aproximaciones clásicas, se han propuesto enfoques multidimensionales. Las técnicas de toma de decisiones multicriterio, como tal, han sido materia de investigación desde los años 50 y han tenido un importante desarrollo.

Los primeros apuntes teóricos surgen a finales de los 50 y se consolidan y publican en 1972 con la realización de la “I Conferencia Mundial sobre Toma de Decisiones Multicriterio”, punto de arranque del planteamiento científico del problema (Romero, 1993). 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.

En los años sesenta Herbert Simon cuestionó el paradigma de la maximización de la utilidad esperada y planteó los principios de búsqueda y de la satisfacción (Durand, 2000). El principio de búsqueda, establece (Gaffard, 1.990) que “el conjunto de alternativas de selección no está preestablecido, por el contrario, es construido de forma tal que la cuestión es menos de seleccionar la mejor opción que de construir el conjunto de opciones”. El principio de satisfacción, como lo expresan J.G. March y H. Simon, en su libro “Les Organisations” establece: “La

mayor parte de la toma de decisiones humanas, individuales u organizacionales se basa en el descubrimiento y selección de soluciones satisfactorias, sólo en casos excepcionales se esta a la búsqueda de soluciones óptimas.” La alternativa satisfactoria es seleccionada por la siguiente regla: Una opción es satisfactoria si, existe un conjunto de criterios que describen los mínimos considerados satisfactorios y la selección en cuestión alcanza o sobrepasa estos mínimos (Kechidi, 1998).

El paradigma multicriterio mantiene que los agentes decisores pretenden buscar un equilibrio entre criterios, de forma que la alternativa preferida satisfaga el máximo posible de los criterios considerados. En esta situación los decisores necesitan la ayuda de modelos y sistemas de análisis que les ayuden a tomar buenas decisiones. La primera aproximación fue la llamada Toma de Decisiones Multicriterio (Multi Criteria Decision Making, MCDM), de origen americano fundada sobre los principios de la obra “Theory of games and economic behavior” de Von Neumann y O. Morgenstern, y soportada por autores como Steuer y Zeleny. En Estados Unidos las discusiones sobre la MCDM, se centraron en los años 70 sobre la agregación de las preferencias, es decir, sobre la posibilidad de agregar las diferentes funciones de utilidad de cada criterio en una única función. Esta función de utilidad global, que refleja las preferencias del decisor, se toma como sustrato conceptual para la formulación de problemas de Programación Matemática Multi-Objetivo (Multi Objective Decision Making, MODM), si bien ninguna de sus técnicas busca calcularla.

El modelo de utilidad global tiene un fundamento teórico sólido en la denominada Teoría de la Utilidad Multiatributo (Multi-Attribute Utility Theory, MAUT), que unas veces se integra dentro de la estructura de la MCDM y en ocasiones, sobre todo cuando el riesgo y la incertidumbre juegan un papel relevante, se considera como una disciplina separada

(Dyer et al., 1992). En esta línea destaca el trabajo de Keeney y Raiffa “Decisions with multiple objectives: preferentes and value tradeoffs” que constituye un clásico sobre la MAUT.

En contraposición a esta escuela, el matemático francés Bernard Roy planteó en 1968 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. Roy se desmarca de la teoría de decisión clásica, inspirada en la vía del realismo, y crea lo que denomina Soporte para la Decisión Multicriterio (Multi Criteria Decision Aid, MCDA) (Roy, 1985, 1990, 1993, 1996) 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 principios de los 90 se pueden ya distinguir claramente tres enfoques distintos en las investigaciones dentro del Soporte para la Decisión (Roy, 1993):

1) *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 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.

2) *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.

3) *La vía del constructivismo*. Este enfoque trata de ir buscando gradualmente los elementos necesarios para resolver un problema, cuyos datos van cambiando y en el cual 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 valores 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 convicciones con las que él está de acuerdo (Vansnick, 1986).

La MCDA permite abordar los problemas de toma de decisiones relajando las restricciones matemáticas impuestas por la Escuela Americana, de forma de ofrecer un modelo más flexible y adaptable a los problemas de la vida diaria. Prueba de lo anterior es la gran cantidad de problemas resueltos con esta metodología, como ejemplo citamos los siguientes trabajos referidos en la bibliografía (Aravossis, 2000),

(Bisdorff, 2002), (Colson, 2001), (Herrera, 1999), (Journee, 1996), (Mousseau, 1995), (Roy, 1983), siendo hoy en día uno de los campos más fructíferos e importantes de la Investigación de Operaciones. Los estudios y avances de esta escuela son mayormente aplicados en Europa; siendo su punta de lanza el instituto LAMSADE (Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Decision) de la Universidad de París-Dauphine.

“El Soporte a la decisión es la actividad de aquel que, apoyándose en modelos claramente explicitados, pero no necesariamente formalizados de manera completa, contribuye a obtener elementos que den respuesta a las preguntas que se hace un participante en un proceso de decisión; da elementos concurrentes que esclarecen la decisión, recomienda o simplemente favorece un comportamiento que incrementa la coherencia entre el desarrollo del proceso por una parte y de los objetivos y del sistema de valores al servicio del cual estos participantes se encuentran.” (Roy, 1985)

Las técnicas utilizadas en MCDA se soportan en las relaciones denominadas de *Outranking* o *Surclassement* (podemos utilizar la palabra segregación en español, como una traducción aproximada, entendiéndose por ello “separar o apartar una cosa de otra”). Estas relaciones se establecen comparando pares de alternativas, de forma de determinar las preferencias de cada alternativa sobre las otras para cada criterio en particular. Se busca construir un modelo de juicios de valor y así se intenta sobrellevar las dificultades encontradas en los métodos de agregación utilizados en la teoría del MCDM. En la práctica estas relaciones se han implementado en algoritmos como ELECTRE, PROMETHEE, MAPPAC y PRAGMA (Bana e Costa, 1.990).

Los analistas de MCDA afrontan los problemas en el campo de la toma de decisiones tomando en consideración los siguientes hechos, (Roy et Vanderpooten, 1995).

- La búsqueda de resultados no gira en torno al concepto de acercarse a una solución ideal, la elaboración de una recomendación debe basarse en el conocimiento de las consecuencias de cada alternativa de acuerdo a los diferentes puntos de vista.
- La importancia dada a la forma en la que se construye una familia de criterios (que pueda considerarse coherente), de forma que sirva de instrumento de comunicación entre los participantes en el proceso de decisión.
- El interés puesto en la forma de atacar las diferentes problemáticas que pueden existir en un proceso de toma de decisiones, selección, clasificación, ordenamiento o descripción (ver sección 2.4.1)
- La atención puesta a las fuentes de imprecisión, incertidumbre, indefiniciones e indeterminaciones. Aparte de los conceptos tradicionales para modelar estas fuentes de dudas, como son las distribuciones de probabilidad o las funciones de utilidad recomendadas por la Escuela Americana, conceptos que la Escuela Francesa no considera universalmente apropiados, se utilizan otros conceptos como umbrales (indiferencia, preferencia y veto), niveles de aspiración, índices de concordancia y discordancia, sin dejar de lado la utilización de los conceptos de la teoría de conjuntos difusos, teoría de la posibilidad y teoría de los conjuntos duros (rough sets).
- El uso de un gran espectro de estructuras de modelos de preferencia, los cuales no pueden ser vistos como simples modelos para describir la realidad, sino como un esquema construido para representar algunas convicciones básicas o posiciones cuyo objetivo es proveer sugerencias a las respuestas

que debe dar el decisor ante los problemas. De ahí la importancia que esta escuela otorga a los conceptos de incomparabilidad e intransitividad.

- El objetivo de un analista no es dar un simple valor de cada parámetro, sino seleccionar los valores convenientes y no necesariamente únicos de cada parámetro.
- La importancia dada al análisis de robustez o sensibilidad, de forma de garantizar la solidez de las soluciones planteadas a los ojos de la unidad de decisión.

2.2 Diferencias entre MCDA y MCDM

Podemos decir que las diferencias fundamentales entre las Escuelas Americana y Francesa, radican en las siguientes convicciones de esta última:

- a.- Todo proceso de decisión está compuesto de elementos objetivos (ligados a las características de las acciones) y de elementos subjetivos (ligados al sistema de preferencias de la unidad de decisión) los cuales no pueden ser separados. La toma de decisiones es ante todo una actividad humana, por lo que la subjetividad es omnipresente en todo proceso de decisión.
- b.- Todo proceso de decisión se inicia generalmente mal definido, incompleto y poco claro, aún a los ojos de los actores participantes en el proceso, por tanto hay que ir construyéndolo y perfeccionándolo lo que implica un constante proceso de aprendizaje.
- c.- Es importante la participación interactiva de los actores involucrados en el proceso y el mantener la simplicidad.

A la luz de estas convicciones hay que tomar en cuenta varios aspectos al enfrentar un problema de toma de decisiones:

- a.- La frontera entre lo que es factible y lo que no lo es, a veces es imprecisa y además se modifica constantemente a medida que se avanza en el proceso.
- b.- En muchos problemas, el decisor no es una persona sino un grupo en el que cada cual posee un punto de vista diferente y un concepto diferente de lo que significa una solución satisfactoria.
- c.- Las preferencias del decisor no siempre están bien definidas, existen siempre áreas de convicciones firmes, zonas de incertidumbre, creencias a medias, conflictos y contradicciones. Es tarea del analista de MCDA ir descubriendo el “edificio” de preferencias del ente decisor.
- d.- La construcción de una familia de criterios sobre los cuales basar una decisión no puede tomar en cuenta solamente criterios objetivos, matemáticamente medibles.
- e.- En general es imposible decir que una decisión es buena o mala refiriéndose sólo a modelos matemáticos, hay que tomar en cuenta el entorno en el cual este inmerso el problema, aspectos como los ambientales, organizacionales, culturales, etc.

“Para la escuela francesa la concepción de un universo automatizado, cableado susceptible de ser descrito en términos de leyes universales o de modelos simples ha dado paso a la concepción de una realidad compleja”, llena de incertidumbres e imprecisiones (Vansnick, 1.996).

2.3 Proceso descriptivo y proceso constructivo

Existen dos formas de interpretar como se establecen las preferencias de la unidad de decisión y por ende de influir en la concepción del conjunto de criterios que se desean retener, bajo los cuales serán analizadas las alternativas de solución de un problema en particular. De esta familia de criterios se hablará más adelante, por ahora interesa considerar en que forma estos dos caminos que el analista puede seguir, afectan el proceso de toma de decisiones.

La primera aproximación es la de *Descripción*, también llamada de descubrimiento o aproximación realista; en ella se establece que las preferencias son preexistentes, en analogía con el mundo de las ciencias físicas donde todo objeto, se asume que tiene unos atributos específicos que el investigador descubre y mide. De la misma forma el investigador utiliza una serie de herramientas que le permiten ir develando las preferencias de la unidad de decisión. No obstante, esta aproximación establece que la herramienta utilizada incide en el proceso de extracción de la información provocando distorsiones al sistema de preferencias, es decir lo que se obtiene es un modelo incompleto de la realidad preexistente. Si el analista cuenta con suficiente tiempo y utiliza diversas herramientas, las preferencias obtenidas convergerán al verdadero sistema de preferencias. Esta forma de ver la estructura de preferencias, es similar a la percepción platónica de la realidad.

La otra aproximación es denominada *Constructivista*, en este caso se asume que las preferencias no existen antes que el proceso de modelado de las mismas comience. Bajo esta óptica, el sistema de preferencias de la unidad de decisión se va articulando, no significa esto que la unidad de decisión no posea valores y juicios previos, pero éstos son genéricos y es función del analista utilizarlos para construir un modelo adaptado a la problemática que se desea afrontar. En esta

aproximación las herramientas utilizadas se consideran neutrales, es decir no tergiversan la formación de la estructura de preferencias.

Ambos procesos son dinámicos y requieren interacción constante con la unidad de decisión. El basamento teórico de estos enfoques los encontramos en la psicología y en los estudios de investigación del comportamiento.

El analista es libre de seguir cualquiera de estas dos aproximaciones para la elaboración de un modelo que emule la realidad, no obstante cada una de ellas conlleva a la posible aparición de determinadas formas de dependencia entre criterios. En la sección 2.6, se dará una descripción más completa de esta problemática de dependencia.

La Escuela Francesa, de estilo constructivista, no supone ningún esquema predefinido de preferencias en el espíritu del decisor antes que el proceso de decisión se lleve a cabo. Es decir que la selección de una alternativa se hará directamente del conjunto de alternativas según la forma que ellas satisfagan los criterios de desempeño funcional de cada alternativa. Por otro lado la Escuela Americana, de estilo descriptivo, considera que es posible obtener del decisor un esquema de decisión global antes de tomar en cuenta las alternativas, bajo la forma de una agregación de las preferencias entre los criterios.

2.4 Bases metodológicas.

La metodología propuesta por Roy para enfrentar problemas de toma de decisiones, los cuales no tienen por que estar bien formulados, comienza por la exploración del problema, conocer sus antecedentes, quien o quienes actúan como unidad de decisión, la definición de lo que se quiere, la búsqueda de los elementos de evaluación o criterios, la definición de los criterios que servirán para evaluar las alternativas de

solución a fin de dar una recomendación a la unidad de decisión. Estos pasos se pueden concretar en siete etapas claramente identificadas, las cuales se desarrollan a continuación:

- Definir la tipología del problema.
- Listar los atributos que se desean evaluar.
- Generar las dimensiones e indicadores de estado
- Generar la lista de acciones potenciales.
- Pasar de las dimensiones a los criterios
- Establecer la tabla de desempeños.
- Agregar los desempeños.

Es importante destacar que estas etapas no necesariamente son sucesivas, sólo se pretende mostrar el camino lógico a seguir; es posible conseguirse con problemas que requieran un proceso de ensayo y error y sea necesario repetir varias de estas etapas hasta lograr el consenso con la unidad de decisión.

Lo importante a retener en esta sección, es el hecho que Roy establece un formalismo que enriquece la simpleza del orden global forzado por los métodos monobjetivo (o de agregación monobjetivo) y, a través de relaciones que hacen emerger el grado de preferencia, segrega para el descarte (o para *rankings* inferiores, según la problemática) opciones que se revelen pobres. El orden global es cómodo para seleccionar pero se revela poco adecuado como modelo de preferencia ante múltiples criterios en juego.

2.4.1 Tipos de problemáticas

No todo problema de toma de decisiones implica el dar una respuesta en la forma de un número, un conjunto o un intervalo de solución, es decir no siempre se está a la búsqueda de una solución óptima. Para hablar de un óptimo es necesario que:

- Cada solución considerada sea excluyente de todas las otras.

- El conjunto de soluciones consideradas sea invariable.
- Las soluciones puedan ser ordenadas incuestionablemente de mejor a peor.

No siempre el conjunto de alternativas a evaluar cumple con estas características, de hecho, para la Escuela Francesa es posible plantear cuatro problemáticas diferentes, cada una con sus características particulares, menos restrictivas que las necesarias que exige la búsqueda de un óptimo matemático, a saber (Carrasquero, 1994):

Problemática de selección P_α

El trabajo se orienta a restringir el conjunto de las opciones potenciales al número más reducido posible. La idea es llegar a obtener una solución óptima (caso particular), una solución(es) satisfactoria(s) o un conjunto de soluciones que se revelen como equivalentes a la luz del sistema de preferencias utilizado. Esta falta de precisión en la obtención de una solución única puede deberse a factores de incertidumbre, indeterminaciones o imprecisiones que no permiten efectuar comparaciones.

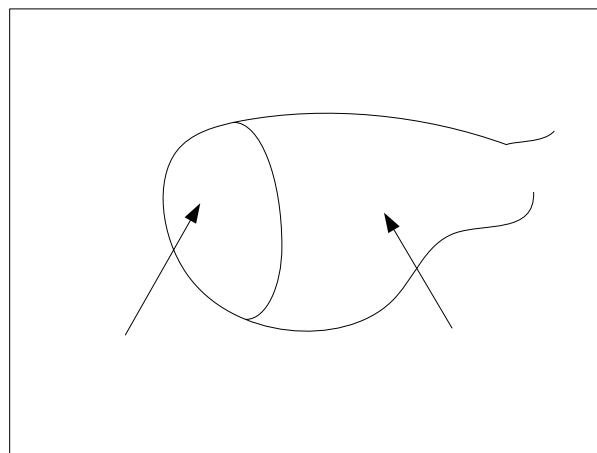


Figura 4

Problemática de selección

Tomado de B. Roy (Roy B., 1985)

Problemática de Categorización $P\beta$

En este tipo de problema se busca esclarecer el proceso de decisión asignando cada acción potencial a una categoría específica. Estas categorías son definidas a priori por medio de la construcción de una estructura de normas. El trabajo se orienta a comparar cada alternativa contra ese cuerpo de normas, no se comparan las alternativas entre si.

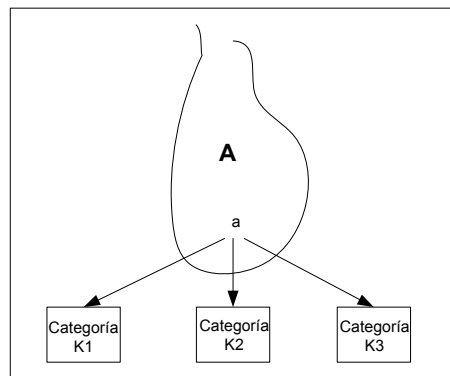


Figura 5

Problemática de categorización

Tomado de B. Roy (Roy B., 1985)

Problemática de Ordenamiento $P\gamma$

Se basa en esclarecer la decisión ordenando las acciones potenciales en clases de equivalencia. Las clases obtenidas no tienen por qué contener todas las acciones, pudiendo conservarse solamente aquellas que se consideran suficientemente satisfactorias. Para lograr esto debe definirse un modelo de preferencias. Dos acciones pertenecerán a una misma clase cuando ellas no puedan diferenciarse a la luz del modelo de preferencias seleccionado. Es de hacer notar que esta problemática se diferencia de la anterior en que no necesariamente existe una estructura de normas para formar las clases y la comparación es relativa entre acciones potenciales.

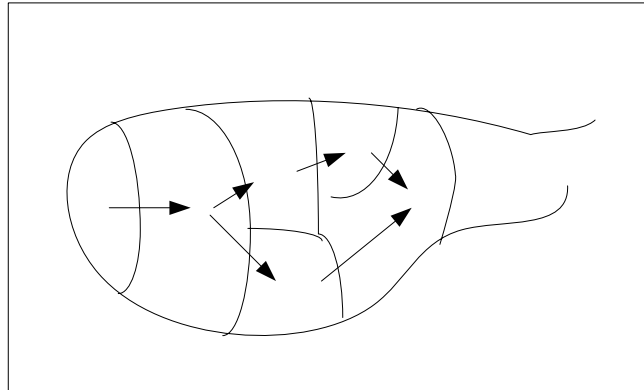


Figura 6

Problemática de ordenamiento

Tomado de B. Roy (Roy B., 1985)

Problemática de Descripción Pδ

Consiste en describir todo el universo de acciones y sus consecuencias en un lenguaje apropiado, a fin de darle a la unidad de decisión un marco de referencia del problema. Más que resolver un problema se trata de formularlo adecuadamente. Se incluye también en esta problemática lo relacionado a la definición de la familia de criterios a utilizar así como el proponer una metodología para enfrentar el problema.

No hay que perder de vista, recordando el basamento axiomático del MCDA, que en cualquiera de estas problemáticas los agrupamientos obtenidos no son inmutables, por lo que no se puede descartar que el problema evolucione ingresando nuevas alternativas o eliminando las existentes, lo que incidirá necesariamente en agrupamientos diferentes a los originalmente planteados. Estas problemáticas pueden aparecer en forma pura o mezclada, de hecho la problemática Pδ se encuentra siempre incluida en las otras tres.

2.4.2 *Lista de atributos*

Podemos definir los atributos como descriptores objetivos de la realidad. Aún cuando ellos no pueden ser separados de los juicios de valor de la unidad de decisión y del modelo de la realidad, pueden ser identificados y medidos con relativa independencia de las necesidades y deseos de la unidad de decisión (Vincke, 1992). Se refiere a las características, factores, cualidades o índices de desempeños o procesos de decisión. Un atributo debe proveer un medio para evaluar los niveles alcanzados por un objetivo; como tal, debe definirse como un aspecto medible del juicio, bajo el puedan definirse dimensiones sobre las distintas variables de decisión.

Listar los atributos es dar una primera aproximación a la lista de elementos de apreciación que van a considerarse para la evaluación del problema. Conocidos los atributos podemos establecer las dimensiones, criterios y estimar las consecuencias de las acciones potenciales en el modelo a desarrollar. Para generar la lista de atributos pertinentes existen varios procesos que podemos seguir, uno es la revisión de información relacionada a problemas similares, otra forma es un estudio analítico del problema siguiendo alguna metodología que permita extraer esta lista a la unidad de decisión, por último está la experticia de la unidad de decisión sobre el tema.

2.4.3 *Acciones potenciales*

Primero es necesario definir que se entiende por acciones:

“Una acción a es la representación de una eventual contribución a la decisión global, susceptible de ser considerada de forma autónoma y de servir de punto de aplicación al soporte a la decisión” (Roy, 1985).

Las acciones (alternativas o posibilidades) pueden ser representadas como un conjunto de coordenadas o como una lista de ítems. El

conjunto de acciones debe ser visto como un cuadro de referencia, el cual puede definirse como:

- Un subconjunto de R^m , cuando el conjunto de acciones puede ser representado como una serie de números $x_1, x_2, \dots, x_m$. (ej. problemas de producción).
- Como una lista $a_1, a_2, \dots, a_m$ donde cada elemento corresponde a un curso de acción bien definido. (ej. selección de proyectos de inversión).

Una acción se define como potencial cuando “aún siendo una acción real o ficticia, es juzgada como realista, o se presume como tal por la unidad de decisión; a este conjunto de acciones potenciales se denota como A ” (Roy, 1985).

Un conjunto A puede ser estable o puede evolucionar durante el desarrollo del proceso de decisión. De la misma forma una acción potencial no necesariamente debe ser excluyente de las demás, cuando esto sucede se denomina acción global, en caso contrario se denomina acción fragmentaria. Un ejemplo sencillo de una acción fragmentaria es el otorgamiento de créditos, el hecho de otorgar un crédito a una solicitud no implica que se rechacen las solicitudes restantes.

El concepto de acción no implica, a priori, la factibilidad sólo importa si es posible ponerla en ejecución o sólo si es digna de interés dentro del proceso de ayuda a la decisión. Una acción potencial puede entonces ser ficticia.

2.4.4 Modelaje de las preferencias

Antes de poder introducir el tema de los criterios, es fundamental tomar en cuenta los gustos, valores y preferencias de la unidad de decisión, los cuales no son independientes del proceso de decisión. Según la disciplina, el problema de las preferencias es analizado de forma diferente; para un psicólogo es importante estudiar los procesos que

conducen a la formación de un juicio de preferencias así como los factores que lo pueden influenciar. Un economista estará interesado en obtener modelos de preferencia de equilibrio o estadística comparativa para dar respuesta a una selección de ofertas. Un filósofo estudiará el problema de la racionalidad y un Investigador de Operaciones desarrollará herramientas que permitan ayudar a un individuo o grupo a tomar una decisión y a argumentarla (Bouyssou, 2002)

Cuando una unidad de decisión debe comparar dos alternativas a y b , a la luz de la teoría clásica sólo pueden darse dos respuestas a la siguiente pregunta: ¿La alternativa a es al menos tan buena como la alternativa b ? Si o No. El término “buena” en la pregunta, tiene que ver con que tanta calificación obtiene una alternativa sobre la otra en una escala de valoración determinada, asumiendo siempre que a mayor valoración mejor es la puntuación alcanzada. Las respuestas Si o No son mutuamente excluyentes, de ahí que se pueda definir una relación binaria $\geq$ donde se dice que $a \geq b$ si y sólo si la respuesta a la pregunta anterior es si. De forma que al confrontar dos acciones a y b se pueden encontrar las situaciones siguientes:

1. [$a \geq b$ y $b \geq a$] se dice que $a \sim b$, que se lee como a es indiferente a b .
2. [$\text{No}(a \geq b)$ y $\text{No}(b \geq a)$] se dice que $a \zeta b$, se interpreta como a es incomparable a b .
3. [$a \geq b$ y $\text{No}(b \geq a)$] se dice que $a > b$, interpretándose como a es estrictamente preferido a b .
4. [$\text{No}(a \geq b)$ y $b \geq a$] se dice que $b > a$, que se lee como b es estrictamente preferido a a

Es necesario introducir los conceptos de transitividad, simetría y reflexividad para relaciones binarias en un conjunto B .

Transitividad: Se dice que una relación binaria H es transitiva si y solamente si es imposible encontrar tres números $a, a',$

a'' que pertenezcan a B , tales que $a H a'$, $a' H a''$ y no $(a H a)$ ". En otras palabras

$$\forall a, b, c \in B, [a H b \text{ y } b H c] \Rightarrow a H c.$$

Reflexividad: Una relación binaria H es reflexiva si $\forall a \in B$ se cumple que $a H a$. Se dice que es irreflexiva si $No(a H a)$.

Simetría: Una relación binaria H es simétrica si $\forall a, b \in B$ se cumple que $a H b \Rightarrow b H a$. Se dice que es asimétrica si se cumple que $\forall a, b \in B, a H b \Rightarrow No(b H a)$.

Entonces, estas tres relaciones Preferencia, Indiferencia e Incomparabilidad (de ahora en adelante llamaremos P, I, J) forman una Estructura de Preferencias sobre un conjunto de acciones A , si cumplen las siguientes condiciones

- $a P b \Rightarrow b \not P a$: P es asimétrica e irreflexiva
 - $a I b \Rightarrow b I a$: I es simétrica y reflexiva
 - $a J b \Rightarrow b J a$: J es simétrica e irreflexiva
- (Se entiende por $b \not P a$, b no es preferido a a)

- y si además para todo elemento de A una y sólo una de las siguientes propiedades se cumple $a P b, b P a, a I b$ ó $a J b$.

Cualquier relación de preferencia se puede caracterizar por la relación S , denominada relación de preferencia (Surclassement o Outranking),

$$a S b \text{ si } a P b \text{ ó } a I b$$

de ahí que:

- $a P b$ si $a S b$ y $a \not S b$
- $a I b$ si $a S b$ y $b S a$
- $a J b$ si $a \not S b$ y $b \not S a$

En la vida real existen zonas intermedias en las cuales la unidad de decisión duda en dar una respuesta en particular, para solventar estas dificultades se introduce el concepto de *Umbral*, el cual en la práctica se traduce en dos umbrales uno de indiferencia (denotada por la letra q) y otro de preferencia (denotada por la letra p). La existencia de estos umbrales adicionalmente define una nueva relación denominada *Preferencia débil* la que se denotará como Q . Esta relación se encuentra en el camino intermedio entre la indiferencia y la preferencia estricta.

Aquí, es necesario introducir el concepto de desempeño de una alternativa (también llamado *Criterio*), denotada como $g(a)$ la cual es una función real que mide el desempeño de la alternativa a . Por tanto:

- $a P b \quad \Leftrightarrow \quad g(a) > g(b) + p(g(b))$
- $a Q b \quad \Leftrightarrow \quad g(b) + p(g(b)) \geq g(a) > g(b) + q(g(b))$
- $a I b \quad \Leftrightarrow \quad g(b) + q(g(b)) \geq g(a) \text{ ó } g(a) + q(g(a)) \geq g(b)$
- $a J b \quad \Leftrightarrow \quad \text{Si existen razones para no seleccionar ninguna de las anteriores}$

Roy enuncia un axioma que denomina “de comparabilidad limitada” donde establece lo siguiente: “Las cuatro situaciones fundamentales, incompatibles entre ellas, a saber, de indiferencia, preferencia estricta, preferencia débil y de incomparabilidad son convenientes para una representación realista de las preferencias de una unidad de decisión, cualesquiera sean las acciones potenciales, el punto de vista adoptado para las comparaciones y las informaciones disponibles....” (Roy, 1985).

Tomando en consideración este axioma, la definición de Sistema Relacional de Preferencias dada anteriormente se amplía para considerar la preferencia débil, quedando expresada de esta manera:

“Se dice que las cuatro relaciones binarias I , P , Q , J forman un *Sistema Fundamental Relacional de Preferencias*, sobre un conjunto A de acciones potenciales si:

1. Ellas son exhaustivas, es decir para un par cualquiera de acciones, al menos una se verifica.
2. Ellas son mutuamente excluyentes, es decir para un par cualquiera de acciones sólo una relación se cumple.”

Pre-Orden Completo

Un conjunto de relaciones binarias (T, V) sobre un conjunto B es lo que se denomina un Pre-Orden Completo si:

- T y V son exhaustivos y mutuamente excluyentes,
- V es asimétrica y transitiva.
- T es simétrica y transitiva.

Esta estructura corresponde con la noción clásica de ausencia de incomparabilidad y de preferencia débil. Es la estructura de la Escuela Americana, donde el modelaje de las preferencias se basa en las relaciones de preferencia estricta e indiferencia.

Quasi-Orden y Orden de Intervalo

Un conjunto de relaciones binarias (T, V) sobre un conjunto B es lo que se denomina Orden de Intervalo si:

- T y V son exhaustivos y mutuamente excluyentes,
- V es asimétrica.
- T es simétrica.
- $\forall a, b, c, d \in B [a V b \text{ y } b T c \text{ y } c V d] \Rightarrow a V d$

Si además se tiene:

- $\forall a, b, c, d \in B [a V b \text{ y } b V c] \Rightarrow \text{No } [a T d \text{ y } d T c]$

T y V son un Quasi-Orden.

Esta estructura introduce el concepto de umbrales de indiferencia. Se puede demostrar que un Pre-Orden Completo es un Quasi-Orden con umbrales de indiferencia nulos.

Pre-Orden Parcial

Un conjunto de tres relaciones binarias (T, V, W) sobre un conjunto B es lo que se denomina un Pre-Orden Parcial si:

- T, V, W son exhaustivos y mutuamente excluyentes.
- W es simétrico e irreflexivo.
- T es simétrico y reflexivo
- V es asimétrico.
- $(T \cup V)$ es transitivo.

Esta estructura permite la existencia de la idea de incomparabilidad.

Un Pre-Orden Parcial en el cual $\forall a, b \in B \ a \ T \ b \Rightarrow a = b$ es llamado un *Orden Parcial*. Cuando en esta estructura la relación W no existe se tiene un Pre-Orden Completo.

Pseudo-Orden Parcial

Una tripleta de relaciones binarias (T, V, W) sobre un conjunto B es un Pseudo-Orden si:

- T, V, W son exhaustivos y mutuamente excluyentes.
- W es asimétrico.
- T es simétrico y reflexivo
- V es asimétrico.
- $(T, V \cup W)$ tiene una estructura de Quasi-Orden
- $(\forall, V)$ tiene una estructura de Quasi Orden con

$$a' \forall a \Leftrightarrow [\text{No } (a' \ V \ a) \text{ y No } (a \ V \ a')]$$
- $V \ T \ W \subset V$
- $W \ T \ V \subset V$
- $T \ W \ V \subset V$

$$- \quad VWT \subset V$$

En esta relación más compleja, se introduce la idea de preferencia débil, existente entre la preferencia estricta y la indiferencia.

En los problemas reales un Pseudo-orden (T, V, W) puede ser representado por tres funciones g , p y q ; siendo g una función de valores reales definida sobre el conjunto B , p y q son funciones de R en R de forma tal que:

$$\begin{aligned} - \quad a' T a & \Leftrightarrow g(a') - g(a) \leq q(g(a)) \text{ y } g(a) - g(a') \leq q(g(a')) \\ - \quad a' W a & \Leftrightarrow g(a) + q(g(a)) < g(a') \leq g(a) + p(g(a)) \\ - \quad a' V a & \Leftrightarrow g(a') > g(a) + p(g(a)) \end{aligned}$$

y donde las funciones umbral son tales que, $\forall a, a' \in B$:

$$\begin{aligned} - \quad p(g(a)) & \geq q(g(a)) \geq 0 \\ - \quad g(a') > g(a) & \Rightarrow g(a') + q(g(a')) \geq g(a) + q(g(a)) \text{ y } g(a') + p(g(a')) \geq g(a) + q(g(a)) \end{aligned}$$

Estos cuatro modelos de preferencia, permiten como estableció Roy, la representación realista de las preferencias de una unidad de decisión, cuando ésta se enfrenta a la comparación de alternativas, en base a las cuatro relaciones binarias I (Indiferencia), Q (Preferencia débil), P (Preferencia estricta) y J (Incomparabilidad).

2.4.5 Modelaje de las consecuencias

Por consecuencia se entiende todo efecto o todo atributo de la acción susceptible de interferir con los objetivos o con el sistema de valores de un actor del proceso de decisión. Una consecuencia elemental es aquella que cumple con las siguientes propiedades:

- Su contenido está suficientemente bien identificado de forma que los actores del proceso comprenden su significado.

- La percepción que tienen los actores de la consecuencia, permite una definición precisa de aquello para lo cual ella se manifiesta concretamente cuando se ejecuta la acción potencial a . (Roy, 1993).

Esta definición, da valor al hecho que la toma de decisiones de todo proceso se apoya en la comparación de las consecuencias de las acciones en términos de las preferencias. La metodología propuesta por Roy conduce a analizar las consecuencias de cada una de las acciones sobre las n dimensiones, definidas por los criterios, generando así lo que denomina “nube de consecuencias”, definido como $\nu(a)$.

El autor prefiere denominarla nube, en lugar de conjunto de consecuencias para resaltar el hecho que no se debe postular que las consecuencias elementales claramente definidas, preexisten y se imponen sin ambigüedad. Por el contrario las consecuencias en palabras del mismo autor son “un ser mal delimitado, con contornos difusos, formado de entidades complejas y fuertemente imbricadas” (Roy, 1985)

Para modelar las consecuencias es necesario asignarles a cada una de ellas una dimensión y una escala.

Se define una *Escala de Preferencia E* como:

El conjunto de estados que son ordenados según un Pre-orden completo y que poseen la siguiente propiedad: Sean dos acciones a y a' , tales que sus comparaciones corresponden a los estados e y e' donde $E (\nu(a) = e, \nu(a') = e')$, entonces todo actor involucrado en el proceso de decisión admite:

- Existe indiferencia $a \sim a'$ cuando se tiene $e = e'$
- La situación de preferencia $a \succ a'$ existe cuando $e \succ e'$.

Se llama *escalón* de E , a toda clase de equivalencia del Pre-Orden. La escala esta formada por todo el conjunto de escalones.

Si consideramos un atributo que pueda ser medido, es decir al cual se le pueda asignar una escala de preferencias y mediante el cual puedan ser evaluadas las acciones potenciales, se genera lo que se denomina una dimensión de preferencias.

“Una *dimensión de preferencias* es una consecuencia elemental c , tal que el conjunto E_c de estados que se le asocian esté dotado de un Pre-orden completo, formando una escala” (Roy, 1985).

Una vez definida la dimensión y la escala de preferencias, bajo la cual se evaluarán las acciones potenciales, es necesario definir el proceso de cálculo, la regla empírica, encuesta o proceso experimental que permita asignar un valor en la escala de medición; a este valor se denomina *Indicador de estado*, γ_c , siendo el valor asignado al desempeño de la alternativa o acción a sobre una dimensión c .

Definición: Dada una dimensión c , el indicador de estado γ_c , es el procedimiento, regla, técnica o proceso que sirve para apreciar el escalón o escalones $\gamma_c(a)$, que contienen aquel (o aquellos) estado (s) de E_c que se generarán si la acción a es ejecutada. El indicador de estado puede ser puntual o no dependiendo si $\gamma_c(a)$, se reduce a un sólo escalón o no.

Cuando el indicador de estado no es puntual, se hace necesario definir adicionalmente un indicador de dispersión $[\delta_c(a)]$, el cual medirá el grado de desviación del valor medio $\gamma_c(a)$, bien por una distribución de probabilidad o por una función de pertenencia (lógica difusa).

Aplicado a una acción particular este modelo en su forma general se expresa como:

$$\Gamma(a) = \{\gamma_i(a), \delta_i^a(e) / i = 1, 2 \dots n\}$$

Desde un punto de vista formal los componentes de $\delta_i^a(e)$ contienen toda la información adicional que se puede obtener de los componentes

$\gamma(a)$ y en algunos casos se puede prescindir del indicador de dispersión. Por medio de estos indicadores de dispersión el analista puede modelar las incertidumbres, imprecisiones o indeterminaciones que surgen en la determinación de los desempeños, al evaluar las acciones potenciales del conjunto A .

La selección del tipo de escala de medición dependerá de la técnica de medida a ser utilizada y de la magnitud y propiedades a ser medidas. Es decir, dependiendo de la exactitud deseada en la medición, se determinan los valores por la magnitud caracterizada por el indicador, estos valores deben encontrarse en una región factible.

Desde un punto de vista más práctico, la asignación de dimensiones a los atributos, debe ser llevada a cabo por los integrantes del grupo que conocen los detalles técnicos del problema, sus implicaciones funcionales y operativas y la afectación en otros equipos, sistemas o procesos. Esto puede ser aplicado de dos formas:

- Asignación de escalas absolutas: Valores que pueden ser medidos sobre la base de datos reales, emergiendo de aspectos técnicos.
- Asignación de escalas tácticas: Valores que pueden ser medidos sobre la base de relaciones de igualdad o desigualdad entre diferentes situaciones; se basa en escalas subjetivas.

Se pueden definir tres operaciones que deben ser llevadas a cabo en la tabla de medición de desempeños (Picket , 1999):

- Normalización de los criterios cardinales: Esta operación consiste en pasar de una escala natural a una escala normalizada; se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:
 - Correspondencia de los límites de las escalas. En la figura 4 se muestran dos formas de hacerlo, cada una de ellas implican una afectación sobre las evaluaciones.

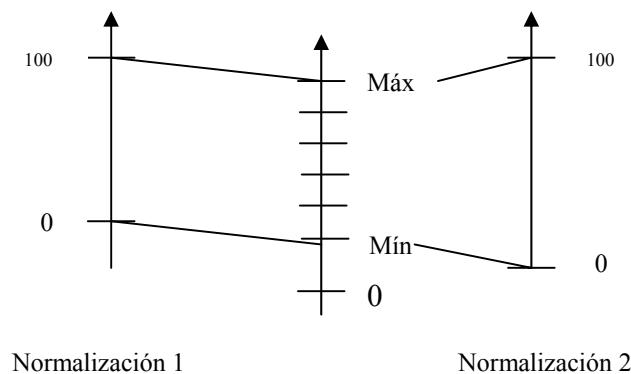


Figura 7

Correspondencia de límites a las escalas

Tomado de Picket J. (Picket J., 1999)

- Definición de escalones en la escala
- Cardinalización de los criterios ordinales, esta operación consiste en traducir una información, la mayoría de las veces subjetiva, donde se define una escala de orden en un valor cardinal.

2.4.5.1 Curvas de valoración

La evaluación de los desempeños implica una cierta subjetividad, la idea no es evitarla, sino considerarla y modelarla de forma que no sea percibida de manera arbitraria dentro del proceso. Es difícil que los datos susceptibles de condicionar las preferencias se encuentren disponibles de forma natural y que puedan ser utilizados directamente por el analista en un modelo. En la mayoría de los casos se requiere una herramienta que permita extraer esta información. Una de esas herramientas es la desarrollada por Carrasquero (1.996) y adaptada por Klindt et al (1.996), la cual es un método interactivo para extraer preferencias en forma de curvas de valor para atributos mono-dimensionales.

Este modelo logra obtener información de la unidad de decisión, basándose en los conceptos de la escuela francesa de preferencia estricta, débil e indiferencia, además facilita el modelado de los umbrales de preferencia e indiferencia. La descripción del método la tomamos del trabajo de (Sanchez R., 1997)

Descripción del Método de Curvas de Valoración

El método se basa en la interacción con la unidad de decisión, de forma de generar un orden sobre los distintos valores que puede tomar una variable dada. Para ello se construye una gráfica de valoración similar a la de la Figura 5, la cual debe gozar de cierta estabilidad. La abscisa representa la variación de la variable en el rango de estudio y la ordenada representa la calificación φ otorgada por la unidad de decisión a cada valor que se le muestra. La curva obtenida presenta ciertas características, las cuales, se resumen en:

- Las abscisas correspondientes a una barra con una media de calificación superior a otra, representan valores que gozan de mayor preferencia.
- Aquellos valores de las abscisas que tienen como imagen un mismo valor de la media, están asociados a un mismo nivel de preferencia (o a una misma valoración) por haber recibido calificaciones similares; tales tramos muestran el o los rangos de indiferencia con respecto a los valores que tome la variable bajo consideración.
- Entre dos barras claramente distintas, hay un cambio en las calificaciones que otorga la unidad de decisión, por tanto al pasar de una a otra hay un cambio en sus preferencias, pues se atraviesa cierto umbral que permite discernir las preferencias de

la unidad de decisión sobre los valores ubicados en ambas barras.

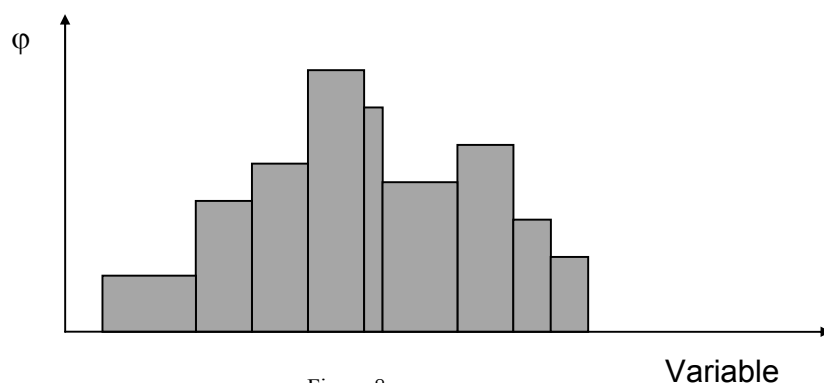


Figura 8

Ejemplo de la Gráfica Resultante de la Aplicación de Método Interactivo
Tomado de Carrasquero, (Carrasquero N., 1996).

El proceso propuesto por Carrasquero da calificaciones por comparación con el valor más deseado de la variable estudiada, el cual se denomina valor ideal o valor prototipo. Para la escala de evaluación, se adaptó un esquema de calificación a partir del utilizado por Saaty (1982) en la técnica denominada Proceso Analítico Jerárquico. La Tabla 2, resume la adaptación señalada. La metodología para construir las gráficas de interés abarca cuatro pasos que se enumeran y describen a continuación:

Calificación	Definición	Significado
1	Grado de similitud mínimo	La unidad de decisión no percibe razones para afirmar que el valor preferido y el valor a calificar se parecen en algo, por lo que su grado de similitud es el más bajo posible
3	Grado de similitud bajo	La unidad de decisión percibe muchas razones para afirmar que el valor preferido y el valor a calificar son distintos pero también percibe alguna semejanza, por lo que su grado de similitud es bajo.
5	Grado de similitud medio	La unidad de decisión percibe tantas razones de semejanza como de diferencias entre el preferido ideal y el valor a calificar por lo que su grado de similitud es medio.
7	Grado de similitud alto	La unidad de decisión percibe muchas razones para afirmar que el valor preferido y el valor a calificar son semejantes, pero también percibe alguna diferencia, por lo que su grado de similitud es alto.
9	Grado de similitud máximo	La unidad de decisión no percibe razones para afirmar que el valor preferido y el valor a calificar difieran en algo, por lo que su grado de similitud es el más elevado posible.
2,4,6,8	Grados de similitud intermedios entre valores adyacentes en la escala	Estos valores se utilizan cuando se requiere un compromiso entre las situaciones descritas para valores adyacentes en la escala

Tabla 2
Escala de Calificaciones
Tomado de Carrasquero (Carrasquero N., 1996)

Paso 1: Determinación de las aproximaciones iniciales

1.1.- El analista muestra a la unidad de decisión el rango de variación de la variable θ en estudio, quien define el número R de subintervalos iniciales a considerar. Cada uno de esos R subintervalos se divide en dos partes y se selecciona en cada uno el valor central. El analista presenta estas soluciones a la unidad de decisión, quien al compararlas con el valor ideal (θ^*) las califica utilizando la escala escogida. La presentación a la unidad de decisión de cada valor de θ y del valor ideal, se puede realizar en forma tabular y/o gráfica, en términos absolutos y/o relativos o en cualquier otra modalidad que se considere

conveniente. Se calcula la media de las calificaciones en esta iteración en cada uno de los R subintervalos iniciales.

- 1.2.- Se procede de forma similar para obtener una segunda aproximación a la curva, para lo cual se divide el intervalo de la variable θ en $2R$ subintervalos, cada uno de los cuales, a su vez, se divide en dos partes y se toma en cada una de ellas el valor central. Se calcula la media de las calificaciones en esta iteración en cada uno de los R subintervalos iniciales.
- 1.3.- En este estado de cosas se dispone de dos aproximaciones a la curva de valoración, por lo que se procede a determinar la “cercanía” entre ellas, para ello se determinan los subintervalos que presentan una diferencia de media superior a un punto, en ambas curvas, y los que presentan calificaciones separadas por más de un punto en la última curva. Los intervalos así determinados se califican como inestables, el resto, estables.
- 1.4.- Si no hay subintervalos inestables o la unidad de decisión desea detener el proceso, el analista procede con el paso 3, en caso contrario, con el paso 2.

Paso 2: Afinamiento y estabilización de la valoración

- 2.1.- Se divide cada uno de los subintervalos inestables en dos partes iguales y se toma en cada una el valor central, el cual se presenta a la unidad de decisión para que las califique, indicándole en cada caso su procedencia. Si la unidad de decisión desea cambiar alguna calificación previa, puede hacerlo y el analista actualiza los cálculos para determinar los intervalos inestables utilizando las dos últimas curvas obtenidas.
- 2.2.- Si no hay subintervalos inestables o la unidad de decisión desea detener el proceso, el analista procede con el paso 3, en caso contrario, con el paso 2.

Paso 3: Validación de la exploración

Si el proceso de exploración es abandonado por deseo de la unidad de decisión, sin que se hayan eliminado los subintervalos inestables, el analista puede repetir el paso 1. Si se considera satisfactoria la exploración realizada, el analista procede a realizar su prescripción.

Paso 4: Normalización de la escala

Una vez evaluado los valores y haber confirmado su estabilidad, se procede a normalizar las evaluaciones. A manera de ejemplo se tiene.

$$\frac{(CalificacionValor - ValorMinimo)}{(ValorMaximo - ValorMinimo)} = \text{Función de Valoración para un } X_i$$

Es importante destacar en esta normalización que para cualquiera de los casos, las calificaciones más altas corresponde a mayor satisfacción. Con la aplicación del método se obtendrán gráficas que intuitivamente se suponen similares a la mostrada en la Figura 6, la cual puede ser interpretada, según lo establece el método de la siguiente manera:

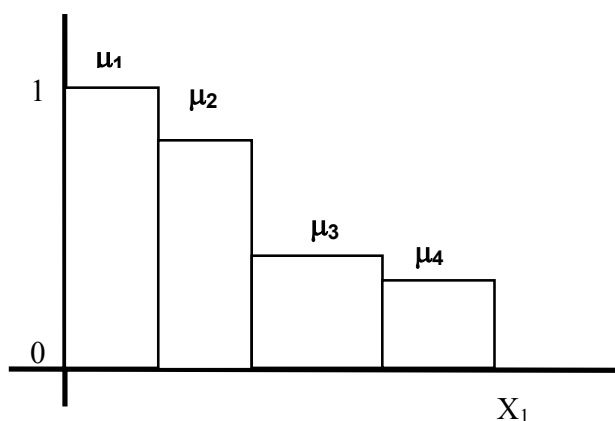


Figura 9

Ejemplo de la forma de la Curva de valoración esperada

Tomado de Carrasquero (Carrasquero N., 1996)

μ_1 es débilmente preferido a μ_2

μ_3 es indiferente a μ_4

μ_1 y μ_2 son estrictamente preferidos a μ_3 y μ_4

Las conclusiones extraídas de la figura 6, permiten ejemplificar la técnica; dependiendo del valor de los umbrales que se definan, será el tamaño del salto que permita pasar de una relación de preferencia a otra.

2.4.6 Criterios

Un criterio se define como “Todo efecto o atributo de la acción, susceptible de interferir con los objetivos o con el sistema de valores de la unidad de decisión. Es el elemento primario a partir del cual se elaboran, justifican o transforman las preferencias.” (Roy, 1985)

También se puede definir un criterio como una función que asocia cada acción con un número, indicando su valoración de acuerdo a las consecuencias relativas a ese punto de vista, o dicho de otro modo es un aspecto medible de un juicio, por el cual puede ser caracterizada una dimensión de las alternativas bajo análisis. Estos criterios pueden representar diferentes aspectos de la teleología: objetivo, metas, valores de referencia, niveles de aspiración o utilidad. En el planteo de la matriz de desempeño o en la caracterización de un problema, la identificación de los criterios pertinentes al mismo es de gran importancia para el logro de los objetivos.

En términos formales un criterio g , es una función real definida sobre el conjunto de acciones potenciales A , de forma tal que la comparación de dos números $g(a)$ y $g(b)$ permite describir o argüir el resultado de la comparación de a y b relativa al punto de vista al cual hace referencia g . Se puede decir que el criterio g es un modelo tal que:

$$g(b) \geq g(a) \Rightarrow b S_g a$$

La definición de los diferentes tipos de criterios está ligada a la de umbrales de preferencia, existiendo cuatro tipos diferentes, a saber:

- *Pseudo Criterio*: Es una función g a la cual se encuentran asociados dos funciones de umbral $q_g[g(a)]$ y $p_g[g(a)]$, tales que:

$$\begin{aligned}
 & b I_g a \quad \text{si} \quad g(b) - g(a) \leq q_g[g(a)] \\
 g(b) \geq g(a) \Rightarrow & b Q_g a \quad \text{si} \quad q_g[g(a)] < g(b) - g(a) \leq p_g[g(a)] \\
 & b P_g a \quad \text{si} \quad p_g[g(a)] < g(b) - g(a)
 \end{aligned}$$

- *Criterio Verdadero*: Es un Pseudo Criterio donde

$$q_g[g(a)] = p_g[g(a)] = 0$$

- *Quasi Criterio*: es un Pseudo criterio donde

$$q_g[g(a)] = p_g[g(a)], \quad \forall a \in A$$

- *Pre Criterio*: es un Pseudo criterio donde

$$q_g[g(a)] = 0$$

El conjunto de todos los criterios utilizados en un problema de toma de decisiones se denomina familia F .

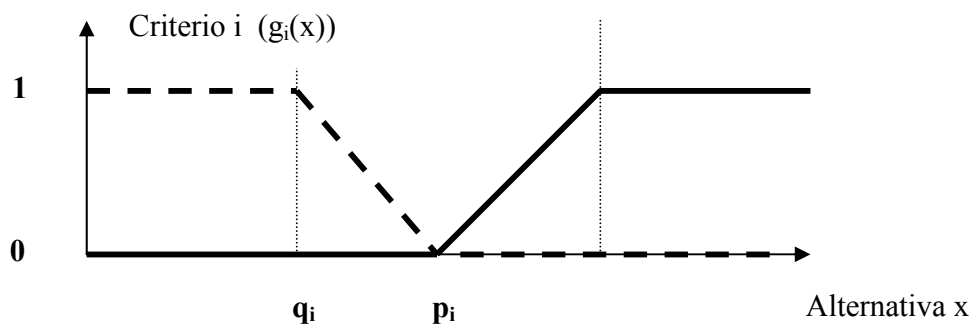


Figura 10

Esquema de un Pseudo-criterio

La construcción de un criterio comienza con la selección del punto de vista, bajo el cual se realizarán las comparaciones de las alternativas. No existe un esquema preestablecido para definir los puntos de vista, ya que éste se encuentra estrechamente ligado al problema que se desea afrontar. No obstante Roy y Bouyssou señalan los siguientes aspectos a considerar en la construcción de criterios:

- Los criterios a seleccionar deben ser comprendidos y admitidos por todos los participantes en el proceso de decisión. Los actores en el proceso deben poder discutir y razonar sobre esa base de puntos de vista.
- El procedimiento mediante el cual se evaluarán las acciones en cada uno de los criterios, debe igualmente ser comprendido y admitido por todos los participantes.
- La selección de un criterio depende del tipo de datos que se desea evaluar. Hay que tomar en cuenta la existencia de incertidumbre, imprecisiones o falta de información. No se le puede pedir a los datos que “digan” más de lo que realmente contienen.

Otros autores dan una lista más detallada de las características que debe poseer un criterio, la siguiente es atribuida a Prabhu, (Ben Mena, 2000):

- Relacionado en forma directa con la meta de evaluación: Cada indicador debe estar, sin generar ambigüedad, directamente relacionado con el criterio, y cada criterio con el respectivo principio.
- Definido en forma precisa: La redacción en la definición debe ser simple y clara.
- Especificidad en el diagnóstico: los indicadores deben proveer información que permita una interpretación directa del significado del criterio.

- Fácil de detectar, recolectar e interpretar: Los indicadores deben seleccionarse de tal forma que no resulten en costos altos, contribuyendo a aumentar su efectividad respecto al costo de recabar la información.
- Confiabilidad: Las técnicas o métodos necesarios para conseguir la información requerida por criterio o indicador deben ser lo suficientemente confiables, así como indicativos y repetibles.
- Sensibles a cambios: deben proveer información bajo diferentes condiciones.
- Proveer una medida integral en el espacio y el tiempo: El indicador debe proveer la mayor cantidad de información acerca del sistema que se está evaluando, integrándola en una sola afirmación.
- Atractivo para los usuarios: Este atributo reconoce la importancia de las preferencias de los usuarios en determinar el grado de aceptación de los criterios.

Podemos añadir que cada criterio debe tener asociada una escala de medida (ordinal o cardinal) y un sentido de preferencia.

Estas consideraciones generales se complementan con lo que se expresan en la sección 2.5, donde se describirán los aspectos que son la base de este trabajo, relativos a las características que debe reunir una familia de criterios para ser considerada coherente; en otras palabras se garantizará que el conjunto de puntos de vista seleccionados permita evaluar las alternativas sin dejar lugar a dudas, que las preferencias de la unidad de decisión son tomadas en consideración en un modelo comprendido y aceptado por los participantes del proceso.

2.4.7 *Tabla de desempeños*

La Tabla de desempeños es una matriz que resume la información pertinente al problema bajo análisis. Cualquier problema multicriterio puede expresarse de forma concisa en formato matricial, en la que las columnas representan los atributos o criterios relevantes al problema y las filas, las alternativas en competencia. De este modo un elemento genérico X_{ij} de la matriz indica la valuación o desempeño puntaje de la i -ésima alternativa A_i respecto al j -ésimo atributo o criterio g_j . Este orden de filas y columnas no es imperativo, ya que muchos autores transponen el mismo. Es común incluir en la parte superior o inferior de la matriz de valuación los umbrales de indiferencia y preferencia utilizados, en caso de trabajar con pseudo criterios. También, dependiendo del método de agregación empleado se incluirán los pesos asignados a cada criterio. De esta forma se interpreta cada acción como un vector de n dimensiones en el espacio de criterios.

	g_1	g_2	$\dots$	g_j	$\dots$	g_n
	p_1	p_2	$\dots$	p_j	$\dots$	p_n
	q_1	q_2	$\dots$	q_j	$\dots$	q_n
a_1	$\dots$					
a_2	$\dots$					
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$g_j(a_j)$	$\dots$	$\dots$
a_i	$\dots$					
$\dots$	$\dots$					
a_n	$\dots$					

Tabla 3

Tabla de desempeños

2.4.8 *Agregación de los desempeños*

2.4.8.1 *Introducción*

El problema de agregación se puede resumir en la siguiente expresión, “Tomando todos los criterios en consideración, la acción a es al menos

tan buena como la acción b ", lo cual como se señaló en la sección 2.4.4 se define como $a \succeq b$.

Si para todos los criterios se cumple que " a es al menos tan bueno como b ", se dice que los criterios no están en conflicto en la comparación de ambas alternativas, por lo que se concluye que a domina a b .

La acción a se dice que es eficiente si no existe otra acción $a' \in A$, tal que a' domine a a . En algunos casos, sólo se está interesado en el conjunto de acciones eficientes A^* . Para el caso en que el conjunto de acciones A es infinito, o contiene un gran número de acciones, se han desarrollado numerosas técnicas para determinar el conjunto de acciones eficientes (Zeleny, 1.982), (Steuer, 1986).

En los casos donde no existe dominancia clara, es decir que los criterios están en conflicto, es necesario establecer un sistema de preferencias, a la luz del cual se pueda aplicar alguno de los numerosos métodos de agregación. Dentro de este universo de métodos, B. Roy define tres grandes áreas, a saber:

- Agregación Completa.
- Agregación Parcial.
- Agregación Local o Interactiva

2.4.8.2 **Métodos de agregación completa**

Estos métodos reciben diversos nombres "agregación completa transitiva", "aproximación en un único criterio sin incluir incomparabilidad" (B. Roy y Mayestre et al.) o "Teoría de Utilidad Multiatributo". Consiste en construir un único criterio utilizando una función de agregación V definida por:

$$g(a) = V(g_1(a), g_2(a), \dots, g_n(a))$$

La función de agregación asume por lo general dos formas:

$$g(a) = \sum_{j=1}^n k_j g_j(a) \quad (\text{Agregación por sumas pesadas})$$

$$g(a) = \sum_{j=1}^{n_0} k_j v_j [g_j(a)] \quad (\text{Utilidad aditiva})$$

Donde los k_j son coeficientes positivos y los v_j son funciones reales, continuas y estrictamente crecientes, basadas en el concepto: a mayor utilidad obtenida, mejor es la alternativa. En estos métodos se admite que los juicios son transitivos y conmensurables, es decir es posible asignarles un valor cardinal. Además en estos métodos no se admite la incomparabilidad entre alternativas.

La importancia relativa de los criterios se define en estos métodos a través de lo que se denomina constante de escala, la cual engloba el concepto de pesos, en el sentido intuitivo del término y la noción de la relación entre las escalas de los criterios. Al utilizar este método se enfrenta el siguiente dilema:

- Conservar los criterios con sus unidades y escalas naturales y afrontar la tarea de generar las constantes de escala.
- Normalizar los criterios y afrontar las dificultades de la normalización.

Además los métodos de agregación en un criterio único de síntesis, no permiten la incomparabilidad entre alternativas, debido a que se basan en el supuesto de compensación total entre criterios.

La agregación total se presenta básicamente en dos formas, la agregación aditiva o la agregación multiplicativa. Recordemos que cuando se utiliza agregación total, se establece una estructura de preferencia del tipo (P, I), si se utilizan criterios verdaderos o del tipo (P, Q, I) al usar pseudo criterios, sin posibilidad de existencia de incomparabilidad. Los operadores más utilizados son las medias ponderadas, entre las cuales se destacan las siguientes:

Media aritmética

$$\sum_{j=1}^m w_j u_j$$

Este operador permite efectuar compromisos lineales entre los diferentes grados de prioridades pero no permite integrar efectos de sinergia entre prioridades. Es decir que a medida que cada vector de prioridad alcanza un valor más elevado, en esa misma medida la puntuación final debería estar influenciada por esas altas puntuaciones y obtener tener mayor evaluación.

Media geométrica ponderada

$$\prod_{j=1}^m u_j^{w_j}$$

Este operador permite a la vez efectuar compromisos entre los diferentes grados de prioridad y a la vez tomar en cuenta de forma moderada los efectos de sinergia. Esta sinergia no obstante es exclusivamente negativa, es decir refuerza la existencia de grandes diferencias entre las prioridades evaluadas.

Media Geométrica dual ponderada.

$$1 - \prod_{j=1}^m (1 - u_j)^{w_j}$$

Este operador permite a la vez efectuar compromisos entre los diferentes grados de prioridad y a la vez tomar en cuenta de forma moderada los efectos de sinergia positiva.

Formas complejas

Una forma de agregación más compleja (Kechidi, 1998) se logra de la multiplicación de las medias geométricas mencionadas.

$$g(a) = \left(\prod_{i=1}^n [g_i(a)]^{w_i} \right) * \left(\prod_{i=1}^n [1 - g_i(a)]^{w_i} \right)$$

donde por normalización $0 < g_i(a) < 1$ y $0 < w_i < 1$

Hay que tener en cuenta al utilizar agregación aditiva, que los criterios que en ella intervienen se consideran compensatorios; es decir la unidad de decisión al modelar el problema, estima que el poco desempeño de una alternativa sobre un criterio dado, puede no afectar significativamente el resultado final, si ese criterio es ponderado con un peso bajo. En otras palabras, esta forma de agregación permite sacrificar una característica en particular sin penalizar excesivamente el resultado final.

Con la agregación multiplicativa en cambio, la unidad de decisión busca modelar un equilibrio en los criterios que conforman la evaluación de los desempeños agregados. Si un desempeño es bajo en el producto, esto afectará significativamente el resultado final, de esta forma el mejor resultado se obtiene manteniendo el balance entre los desempeños.

Existen diversos métodos más elaborados, entre los que destacan por su importancia y soporte teórico, la Programación Meta (Ignizio, 1.976), la Programación Compromiso (Zeleny 1.982) la Teoría de Utilidad Multiatributo (Keeny and Rafia, 1.976), las Utilidades Aditivas ó Regresiones Ordinales (Jacquet-Lagrèze and Siskos, 1.983) y el Proceso Analítico Jerárquico (Saaty, 1.980).

2.4.8.3 *Métodos de agregación parcial*

También denominados, métodos de Surclassement o Outranking, en ellos se toma en cuenta que pueden existir tanto la incomparabilidad como la intransitividad entre las alternativas. Al incluir estas dos relaciones se entiende que se sacrifica la claridad evidente de los resultados, en aras de incluir un modelo más realista de las preferencias de la unidad de decisión; de allí su nombre de agregación parcial, puesto que el resultado obtenido no es indiscutible como aquel que se espera de un proceso matemático.

Otras características de estos métodos son que utilizan los criterios cardinales y ordinales sin transformación de escalas, utilizan umbrales para tomar en cuenta la incertidumbre en las comparaciones y los pesos de los criterios son intrínsecos, es decir independientes de la unidad de escala de los criterios. Aún cuando su utilización evita los inconvenientes que se tienen con los métodos de agregación en un criterio único, su aplicación es delicada ya que la explicación de los algoritmos matemáticos que la soportan no es trivial y se requiere la utilización de soporte informático para su implementación.

La técnica utilizada se basa en efectuar comparaciones por pares y verificar si ciertas condiciones preestablecidas permiten que una acción Surclasse (segregue) a la otra ($a S b$). Posteriormente se realiza una síntesis de forma de plantear una solución que incluya las que se consideran las mejores acciones. Estos métodos son usados generalmente cuando el conjunto de acciones es finito y restringido.

La base de estos métodos utilizan los principios de mayoría y el de respeto a las minorías, los cuales se resumen operacionalmente en la técnica de concordancia; esta técnica se basa en la utilización de dos variables d_j (índice de concordancia) y c_j (Índice de discordancia), definiéndose de la siguiente forma tomado de (Buchanan J., 1999):

La concordancia, requiere que una mayoría de criterios ponderados por su importancia relativa, esté a favor de la afirmación $a S b$. Es decir se respeta el voto de la mayoría.

La no discordancia, requiere que dentro de la minoría de criterios que no soportan la afirmación $a S b$, no exista ninguno que se oponga fuertemente a esta afirmación (no posea capacidad de veto).

El j_{th} criterio es concordante si y sólo si $g_j(a) \geq g_j(b) - q_j$.

El j_{th} criterio es discordante si y sólo si $g_j(b) \geq g_j(a) - p_j$.

donde q y p son los umbrales de indiferencia y preferencia, respectivamente.

Con base a estos conceptos se mide la fortaleza de la aserción $a S b$. Para esto se desarrolla primero una matriz de concordancia. Para cada par de alternativas $(a,b) \in A^2$, se define k_j como el coeficiente de importancia relativa o peso de la alternativa j . Así se define el índice de concordancia como:

$$C(a,b) = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^r k_j c_j(a,b) , \quad \text{donde } k = \sum_{j=1}^r k_j \quad \text{y}$$

$$c_j(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{si } g_j(a) + q_j \geq g_j(b) \\ 0 & \text{si } g_j(a) + p_j \leq g_j(b) \\ \frac{p_j + g_j(a) - g_j(b)}{p_j - q_j} & \text{otra} \end{cases}, j = 1 \dots, r$$

Para calcular la discordancia se utiliza el umbral de veto v_j , el cual permite que la aserción $a S b$ sea rechazada totalmente si para cualquier criterio j se tiene $g_j(b) > g_j(a) + v_j$. De esta forma el índice de discordancia para cada criterio j se calcula como:

$$dj(a,b) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & \text{si } g_j(a) + p_j \geq g_j(b) \\ 1 & \text{si } g_j(a) + v_j \leq g_j(b) \\ \frac{g_j(b) - g_j(a) - p_j}{v_j - p_j} & \text{ostra} \end{array} \right\}, j = 1 \dots, r$$

El paso final es combinar las medidas de concordancia y discordancia para producir una medida de credibilidad, la cual asegura la fortaleza de la aserción “a es al menos tan bueno como b”. El grado de credibilidad para cada par (a,b) de alternativas viene dado por:

$$S(a,b) = \left\{ \begin{array}{ll} C(a,b) & \text{si } d_j(a,b) \leq C(a,b) \forall j \\ C(a,b) & \prod_{j \in J(a,b)} \frac{1 - d_j(a,b)}{1 - C(a,b)} \end{array} \right\}$$

donde $J(a,b)$ es el conjunto de criterios tales que $d_j(a,b) > C(a,b)$.

Esta formula asume que si la fortaleza de la concordancia excede la de la discordancia entonces el valor de concordancia no será modificado.

De esta forma se genera la matriz de credibilidad. Algunos de los métodos implementados que utilizan esta técnica son:

- ELECTRE I (Roy B., 1.968), utiliza criterios verdaderos con veto franco, trata con la problemática P_α .
- ELECTRE Is (Roy B., 1.968), utiliza pseudos criterios añadiendo el concepto de veto franco, trata con la problemática P_α .
- ELECTRE II y Iv (Roy B., Bertier, 1.971) la misma técnica de ELECTRE I pero con el concepto de veto progresivo.
- ELECTRE III (Roy B., 1.977) utiliza pseudo criterios con veto progresivo, trata con la problemática P_γ .

- ELECTRE IV, basado en un índice de credibilidad definido sin la ayuda de pesos, trata con la problemática P_{γ} .
- TACTIC (Vansnick, 1.984) sustituye el concepto de susrclassement por una hipótesis de preferencia estricta entre las dos acciones consideradas.
- PROMÉTHÉE (Brans, Vincke, 1.985) basado en una hipótesis de preferencia simple y un índice de concordancia.

Existen otros métodos como el ELECTRE TRI (Yu, 1.992), que buscan la clasificación de alternativas en categorías, tal y como se describió en la sección 2.4.1 (Problemática de Categorización P_{β}).

Los métodos de agregación parcial no sólo se basan en la técnica de concordancia, existen otros principios como los intervalos de tasas de sustitución; consideración de un conjunto de funciones de agregación en forma simultánea y la consideración de relaciones de dominancia tomando en cuenta umbrales de discriminación. (Jacquet-Lagrèze and Siskos, 1.983).

Por último es interesante la siguiente tabla (Tabla 6), donde se comparan las principales características de estos métodos contra los de agregación completa:

	Agregación completa	Agregación parcial
Criterios Cardinales	Normalización	Sin modificación
Criterios Ordinales	Cardinalización	Sin modificación
Importancia de Criterios	Constantes de escala	Pesos
Compensación	Total	Parcial
Incomparabilidad	No	Sí
Ejecución	Fácil	Difícil

Tabla 4

Comparación de métodos de agregación completa y parcial

2.4.8.4 Métodos de agregación local o interactiva

Cuando la cantidad de acciones a evaluar es muy grande, infinita o varían de forma continua, los métodos de agregación mencionados se tornan complicados. Estos métodos interactivos se inician generando una solución de inicio (semilla), considerada aceptable para luego explorar si es posible encontrar otra acción que sea mejor.

Cada iteración puede descomponerse en tres fases:

- Fase de investigación: utilizando la solución de la iteración precedente el analista investiga con la finalidad de profundizar el conocimiento de las preferencias de la unidad de decisión.
- Fase de reinicialización: el analista propone una nueva proposición a la unidad de decisión.
- Fase de reacción: la unidad de decisión emite una opinión sobre la solución propuesta, la cual da nueva información al analista, para iniciar una nueva iteración.

El proceso continúa hasta que el decisor se sienta satisfecho. Se busca alcanzar una convergencia psicológica opuesta a la tradicional convergencia algorítmica (Vincke, 1989), sin perder rigurosidad matemática durante el proceso. Para profundizar sobre estos métodos referirse a (Steuer, 1986)

Estos métodos han sido muy desarrollados y poseen infinidad de variantes, pero su aplicación, a veces requiere de un arduo trabajo de modelaje de parte de un analista con conocimientos de estos métodos.

2.5 Familia coherente de criterios

“Los criterios constituyen las piezas maestras a partir de las cuales se intenta construir o describir el edificio de preferencias globales” (Roy, 1993). Cada uno de los criterios de la familia F , definidos hasta ahora tiene asociado un modelo de preferencias restringidas, referente al eje de significación con el que la unidad de decisión evalúa determinadas características que considera importantes sobre la familia de acciones potenciales A . Ahora bien ¿Qué sucede cuando se efectúa la evaluación sobre todos los criterios? ¿Cómo se puede garantizar que las preferencias globales están en sintonía con las preferencias restringidas? Roy busca con su definición de Familia Coherente de Criterios responder afirmativamente a las siguientes preguntas:

- Los aspectos evaluados sobre el eje de significación j , son modelados convenientemente por el criterio g_j tomando en cuenta todos los otros criterios g_k para $k \neq j$.
- ¿Los n ejes de significación asociados a los criterios de F son de forma separada pertinentes y globalmente necesarios y suficientes para atender al objetivo propuesto?

Se define una Familia Coherente de Criterios (FCC) como:

“Sea $F = \{g_1, \dots, g_n\}$, un conjunto de n criterios ($n > 1$), definidos sobre un conjunto de acciones A . ¿Qué tan adecuado es F para aplicar sobre el conjunto A ? Se dice que F es coherente (es decir que se adecua a A) si cumple con las exigencias siguientes:

Exhaustividad:

Cada una de las consecuencias, que sirven para establecer los juicios de comparación entre acciones, debe ser tomada en cuenta por al menos uno de los criterios.

Cohesión:

Los integrantes de la unidad de decisión, unánimemente reconocen que una acción a es significativamente mejor que una acción b , si el desempeño de a sobre al menos uno de los criterios, es mejor que el de b y el desempeño de a es igual al de b en los restantes $n-1$ criterios.

No Redundancia:

Sea g_h un criterio del conjunto de criterios F y sea $F \setminus \{g_h\}$ un subconjunto de F que no posee el criterio g_h . Si el subconjunto $F \setminus \{g_h\}$ no cumple con los axiomas de Exhaustividad y Cohesión, entonces F es no-redundante.”

Posteriormente Roy introdujo dos exigencias adicionales, las cuales vienen a considerar la necesidad de concertación, que debe existir entre los integrantes de un grupo enfrentados a una problemática de decisión. Estas consideraciones son más bien del tipo “deber ser” pero su cumplimiento es necesario a fin de lograr una respuesta congruente del grupo.

Comprensión

El significado del desempeño de cada alternativa en cada uno de los criterios debe ser suficientemente inteligible para cada miembro del grupo.

Adhesión

El conjunto de los n criterios es aceptado como apropiado por los integrantes de la unidad de decisión para definir las consecuencias.

Para cada una de estas propiedades, el autor define un axioma y una prueba; éstas no son más que consecuencia directa de las nociones y

principios planteados anteriormente. Cuando una de estas pruebas descubre una incoherencia, con frecuencia se debe a una inadecuación entre el criterio seleccionado y las preferencias de la unidad de decisión restringidas a ese eje de significación.

2.5.1 Axiomas y pruebas operativas

Exhaustividad

Cada criterio debe estar claramente asociado a un único eje de significación, de forma tal que la comparación de alternativas a la luz de ese criterio permita a la unidad de decisión definir una relación de preferencia obviando todos los otros criterios. En otras palabras si, para poder decidir que dos alternativas a y b son realmente indiferentes ($a \sim b$) para un criterio g_j , (es decir sus desempeños son tales que no es posible diferenciarlos ya que no sobrepasan el umbral de indiferencia) se requiere apoyarse en otro criterio g_k , entonces la familia F no cumple con el axioma de Exhaustividad, por tanto no puede ser coherente.

Axioma

Si $g_j(b) = g_j(a)$, $\forall j \in F$, entonces cualquiera sea la acción c , se tiene:

$$c H b \Rightarrow c H a, \forall H \in \{I, P, Q, J, \sim, \prec, R, K, S\}$$

$$b H' c \Rightarrow c H' a, \forall H \in \{I, P, Q, J, \sim, \prec, R, K, S\}$$

donde los símbolos $\sim, \prec, R, K, S$, definen las relaciones de preferencia indicadas en la tabla 5, las cuales son obtenidas a partir de las cuatro relaciones binarias fundamentales (I, P, Q, J). En la figura 11 se muestra un esquema que ilustra los lazos existentes entre las relaciones de preferencia fundamentales y los señalados en la tabla 7.

Prueba

¿Es posible imaginar dos acciones a y b , para las cuales se verifique $g_j(b) = g_j(a) \quad \forall j \in F$, frente a las cuales sea posible encontrar argumentos que justifiquen el rechazo de la indiferencia $b I a$?

Situación	Definición	Relación binaria
No preferencia	Ausencia de razones claras y positivas que justifiquen una preferencia estricta o una preferencia débil a favor de una acción, sin posibilidad de diferenciar entre indiferencia o incomparabilidad.	$\sim : a \sim a' \Leftrightarrow a I a'$ ó $a J a'$
Preferencia	Corresponde a la existencia de razones claras y positivas que justifiquen una preferencia estricta o débil a favor de una acción, sin posibilidad de diferenciar las relaciones de preferencia estricta y preferencia débil.	$\prec : a \prec a' \Leftrightarrow a P a'$ ó $a Q a'$
Presunción de preferencia	Existen razones claras y positivas que justifican una preferencia débil a favor de una alternativa o en el límite la indiferencia entre las dos acciones, pero sin que puedan establecerse una separación significativa entre la preferencia débil y la indiferencia.	$R : a R a' \Leftrightarrow a Q a'$ ó $a I a'$
Preferencia-K	Corresponde a la existencia de razones claras y positivas que justifiquen una preferencia estricta a favor de una acción o a la incomparabilidad entre ellas, sin posibilidad de establecer una separación significativa entre la incomparabilidad y la preferencia estricta.	$K : a K a' \Leftrightarrow a P a'$ ó $a J a'$
Surclassement	Existen razones claras y positivas que justifican bien una preferencia, una presunción de preferencia a favor de una alternativa, pero sin que pueda establecerse una separación significativa entre la preferencia estricta, la preferencia débil y la indiferencia.	$S : a S a' \Leftrightarrow a P a'$ ó $a Q a'$ ó $a I a'$

Tabla 5

Relaciones extendidas de preferencia

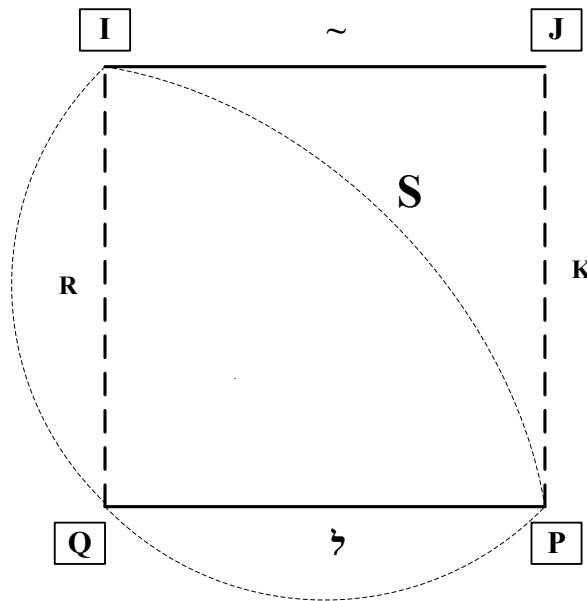


Figura 11

Esquema de los lazos que se dan entre las relaciones fundamentales de preferencia las indicadas en la tabla 7.

Tomado de B. Roy (Roy B., 1985)

Cohesión

Este axioma parte del hecho que una acción es mejor según un criterio dado, a medida que su desempeño tenga un valor mayor. Con esta propiedad se busca el mínimo de cohesión que debe existir entre el significado del criterio g_k de forma aislada y su significado una vez inmerso dentro de la familia F . En otras palabras se debe mantener la dirección de crecimiento del desempeño tanto a nivel de las preferencias restringidas como a nivel de las preferencias globales.

Axioma

Si $\forall j \in F \setminus \{g_k\}, g_j(b^k) = g_j(b), g_k(b^k) \geq g_k(b)$ y

si $\forall j \in F \setminus \{g_k\}, g_j(a) = g_j(a_k), g_k(a) \geq g_k(a_k)$

y una al menos de las dos desigualdades se cumple estrictamente, entonces,

$$b P a \Rightarrow b^k P a_k$$

$$b Q a \Rightarrow b^k \succ a_k$$

$$b I a \Rightarrow b^k S a_k$$

Si, por otra parte $g_k(b) = g_k(a)$ y $b^k I_k a_k$

entonces $\forall H \in \{I, P, Q, J, \sim, \succ, S\}$:

$$b H a \Rightarrow b^k H a_k$$

$$a H b \Rightarrow a_k H b^k$$

Prueba

¿Es posible imaginar dos acciones a y b en las que se verifique $b I a$, y frente a las cuales se puedan dar argumentos que justifiquen el hecho de que mejorando ciertos desempeños de b (manteniendo los otros fijos) y/o disminuyendo ciertos desempeños de a (manteniendo los otros fijos) se llegue a caracterizar dos acciones b^* y a_* tales que b^* no parezca al menos tan bueno como a_* ?

Variante de Vanderpooten

¿Es posible imaginar dos acciones a y b en las que se verifique $g_j(b) \geq g_j(a) \forall j \in F$, y frente a las cuales se puedan dar argumentos que justifiquen el hecho de que b no parezca al menos tan bueno como a ?

No-redundancia

Axioma

F no contendrá ningún criterio redundante si al retirarse alguno de los criterios de F , no se cumplen con los axiomas de exhaustividad y cohesión. Es decir, no puede existir una subfamilia formada por $n-1$ criterios o menos que satisfaga los otros dos axiomas.

Prueba

¿Existe algún criterio g_h que si es retirado de F , define una familia formada por $n-1$ criterios para la cual se cumple alguno de los axiomas de exhaustividad o de cohesión?

2.6 Independencia entre criterios

Ninguno de los axiomas descritos en la sección anterior garantizan la independencia de los criterios de la familia F . Roy define tres tipos de independencia (de dispersión, de sentido de las preferencias y de orden estructural), cuya existencia es deseable en la construcción del conjunto de criterios, más su articulado teórico no entra en el problema de exigirla, como si lo requiere la MAUT. La orientación del autor esta dada más bien a mostrar que es posible continuar con el proceso de decisión conviviendo con la falta de independencia, la cual es a veces más compleja de resolver que el problema mismo; no obstante aclara que es posible minimizar sus efectos si se logra una clara definición de los criterios y su forma de evaluarlos.

Cada uno de los criterios que forman la familia F , permite tener un eje de significación bajo el cual es posible efectuar la comparación de dos alternativas, tomando en consideración sólo los efectos que forman el soporte de ese criterio, basándose en la evaluación de sus desempeños. Es decir, que concebir un criterio es ante todo tener la capacidad de aislarlo del resto del universo, de forma de considerar una característica única que permita que los juicios de preferencia no sean influenciados por los otros $n-1$ criterios que comprenden la familia F ; esta propiedad esta implícita en los axiomas de coherencia ya descritos. A veces sucede que cuando la ejecución de una acción sobre una dimensión no puede ser expresada con un valor cierto, sino más bien como un intervalo debido al carácter disperso de la consecuencia, no se

puede admitir con certeza que las consecuencias asociadas a esa dimensión sean independientes de los niveles alcanzados por los desempeños según otros criterios. En estos casos, una forma de prevenir la dependencia entre criterios esta en una definición más cuidadosa de las dimensiones sobre los umbrales de dispersión. Otra forma como lo establece Roy, es la aplicación de un análisis de robustez, que permita validar la selección de alternativas dadas como intervalos de solución. En el capítulo 3, se explica que se entiende por análisis de robustez.

Existen otros casos, donde al modelar los criterios se toma en cuenta un factor común para poder definirlos. Por ejemplo en la construcción de una vía férrea podemos considerar como criterios el costo de la inversión, cantidad de poblados servidos y costo de mantenimiento anual, en este caso aún cuando los tres criterios están relacionados a ejes de significación bien definidos, todos tienen en común el factor longitud de la vía. Si F es una familia coherente, esta relación no debería ser funcional, ya que al menos uno de los criterios sería redundante. Sería recomendable que esta dependencia estructural no existiera pero si cada uno de los criterios, como los señalados toman en consideración las preferencias de los actores involucrados (Dpto. de finanzas, costo de inversión; Dpto. de mantenimiento, costos de mantenimiento y Dpto. de planificación, poblados servidos) ninguno de los criterios puede ser eliminado, ya que no se estaría siendo exhaustivo en el modelaje de las preferencias.

2.7 Arborización de criterios

Para estructurar los atributos o factores que van a servir para efectuar la evaluación, de forma que sea comprensible su finalidad a los ojos de la unidad de decisión, una de las técnicas más convenientes es agruparlos

en forma de árbol. ¿Por qué una estructura de árbol o jerárquica? Herbert Simon, padre de la Inteligencia Artificial y premio Nóbel, escribe:

“Las grandes organizaciones son universalmente jerárquicas en su estructura... la estructura jerárquica no es una característica peculiar de las organizaciones humanas, es común a virtualmente todos los sistemas complejos que conocemos... la jerarquía es la forma en que una inteligencia finita se adapta para encarar la complejidad”

En su libro “Estructuras Jerárquicas” L.L. Whyte expresa lo siguiente:

“Es indudable el inmenso alcance de la clasificación jerárquica. Es el método más poderoso de clasificación utilizado por la mente y el cerebro humano para ordenar la experiencia, observaciones, entidades e información. El uso del ordenamiento jerárquico debe ser tan antiguo como el pensamiento humano consciente e inconsciente.” (Forman, 2002).

La construcción de la estructura arborizada de los atributos, sigue la metodología de Keeney & Raiffa (1976), no obstante no aplicaremos en este trabajo las condiciones impuestas en su metodología, las cuales se basan en el cumplimiento de cinco condiciones en la construcción de la función de utilidad: integridad, factibilidad, independencia, ausencia de redundancia y tamaño mínimo.

Para lograr la independencia estructural en una familia de criterios se requiere la aplicación de un conjunto de pruebas que van más allá del alcance de este trabajo. No obstante el lector interesado debe referirse al trabajo de Keeney & Raiffa (1976). Las pruebas de independencia propuestas por estos autores, son en muchos casos más complejas que el problema mismo que se desea modelar, siendo por esta misma razón que su aplicabilidad sólo se ve justificada en problemas donde se dispone de recursos, personal y tiempo para conformar un modelo bien sustentado.

En el árbol de criterios se deben reflejar todos los atributos de interés, de esta forma la estructura del problema llega a ser mejor comprendida por la unidad de decisión. El proceso de arborización es jerárquico, encontrándose en el vértice de la estructura del árbol, el objetivo final de la decisión, es decir la razón de ser del proceso de decisión. El vértice se soporta sobre lo que se denomina Criterios Maestros, por éstos se entienden aquellas áreas de interés, bajo las cuales se pueden incluir grupos de atributos, relacionados directamente con el Criterio Maestro, que se desea satisfacer. Estas áreas de interés pueden ser económicas, sociales, ambientales, financieras, técnicas, etc. Cada problema tendrá su propia estructura.

Existen diferentes métodos que permiten a un grupo generar criterios, cada uno tiene sus ventajas e inconvenientes, dependerá de la situación, del momento y de los integrantes del grupo. La siguiente lista (Carvajal, 2001) abarca buena parte de los casos que se presentan durante la toma de decisiones en grupo

1. *Fijación de Objetivos por Falta de Respuestas (abandono)*: Un integrante del grupo propone una idea, si nadie expresa ninguna opinión se espera hasta que otra persona emita una nueva idea, así sucesivamente hasta que el grupo encuentra una sobre la cual discutir; el aspecto negativo es el que el ponente siente que su idea fue abandonada.
2. *Decisiones por Regla de Autoridad*: Las decisiones son tomadas por el presidente, el grupo genera y discute libremente ideas o soluciones, pero el presidente decide en cualquier momento después de haber oído al grupo.
3. *Decisión por Minoría*: Se da cuando uno o varios individuos, que no representan la mayoría en el grupo, influyen sobre los demás miembros del grupo produciendo ideas que se imponen basándose

en que el silencio del grupo implica aceptación y en el hecho de que si alguien se opone u objeta se puede considerar como obstrucción, y el grupo tiende a dejar correr la decisión aunque no esté de acuerdo.

4. *Decisión por Mayoría (votación, encuesta, etc.):* Es el método más conocido, las decisiones se dan por votación, aceptándose aquella que obtenga la cantidad de puntos que se establezca como límite mínimo.
5. *Decisión por Consenso:* es uno de los métodos más eficaces. El consenso no solo implica unanimidad, sino que la gran mayoría del grupo comprende la decisión con claridad y están dispuestos a apoyarla; esta técnica requiere invertir mucho tiempo, de forma que participen todos los miembros del grupo.
6. *Decisión por Unanimidad:* Es la decisión perfecta, todos están de acuerdo con ella. La unanimidad no es siempre necesaria, muchas veces es solo necesario el consenso, ya que llegar a la unanimidad es costosa y muy difícil, utilizada únicamente para decisiones vitales.

Existen varios métodos para lograr extraer información de manera metódica en un grupo, entre ellas podemos destacar:

1. Interacción
2. Tormenta de Ideas,
3. Comités.
4. Método Delphi
5. Reuniones Electrónicas,
6. Diagramas Causa-Efecto

El lector interesado puede remitirse al trabajo de tesis de O. Carvajal (Carvajal, 2001), donde encontrará un resumen de los métodos así como una exhaustiva bibliografía relacionada con el tema.

2.8 Métodos de ponderación

La ponderación final de cada criterio B_i , viene dada por:

$$B_i = \sum a_j w_{ji} \quad \forall \quad i=1,2,\dots,n \text{ criterios}$$

a_j = Peso del integrante j en el grupo de decisión.

j = 1..... m , número de integrantes que participan en la decisión.

w_{ji} = Peso atribuido por el integrante j al criterio i

Existen muchos métodos de ponderación, cada uno posee sus ventajas y desventajas y en general los autores que han tratado el tema no han llegado a ponerse de acuerdo en torno a la conveniencia o no del uso de alguno de estos métodos. Para este trabajo se plantea la utilización de un método que surge del uso de dos técnicas bien conocidas, Comparación por Pares (Carvajal, 2001) y Swing (Mustajoki, 2004).

Estas técnicas son simples de aplicar, fáciles de ser comprendidas por la unidad de decisión y permiten extraer los juicios de valor sin requerir grandes esfuerzos. Aún cuando parezcan banales, su simplicidad no le resta rigurosidad, antes bien permite, como se estableció anteriormente, ser comprendidas y asimiladas con mayor facilidad que otros métodos mucho más elaborados como el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), o técnicas recientes como Macbeht (Bana Costa) o OWA (Ordered Weighted Averaging) (Yager, 1988). A continuación se presenta una breve descripción de las técnicas Comparación por Pares y Swing.

Comparación por pares. (Carvajal, 2001)

Es una técnica que permite ponderar por orden de importancia una serie de elementos; la ponderación se hace comparando cada elemento con todos los demás. La técnica se aplica siguiendo los siguientes pasos:

- Se construye una matriz como la que se indica

		1	2	3	4	5		
		$\bar{O}_1$	$\bar{O}_2$	$\bar{O}_3$	$\bar{O}_4$	$\bar{O}_5$	Total X	
1	O_1							1
2	O_2							2
3	O_3							3
4	O_4							4
5	O_5							5
		1	2	3	4	5		
	Total Verticales							
	Total X							
	Total							
	Orden del Rango							

Figura 12

Matriz del método de comparación por pares

- Comparar cada pareja de criterios. Si un criterio horizontal es más importante que uno vertical se coloca una X en la casilla correspondiente. En caso contrario se deja en blanco. El área sombreada no se toca.
- Sumar el número de X marcados en cada horizontal.
- Sumar el número de blancos marcados en cada vertical.
- Copiar el total de X marcados obtenido de cada horizontal debajo del total de blancos obtenidos en cada vertical. Para un mismo objetivo dos filas deben ser distintas, si no es así hay inconsistencias.
- Sumar las dos filas anteriores y luego se jerarquizan los atributos colocando el número correspondiente al orden de acuerdo a la suma obtenida.

Veamos un ejemplo:

		1	2	3	4	5	Total X	
		O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅		
1	O ₁		X			X	2	1
2	O ₂					X	1	2
3	O ₃				X	X	2	3
4	O ₄					X	1	4
5	O ₅						0	5
		1	2	3	4	5		
Total Verticales		0	0	2	2	0		
Total X		2	1	2	1	0		
Total		2	1	4	3	0		
Orden del Rango		3		1	2	5		

ORDEN	OBJETIVO
1	O ₃
2	O ₄
3	O ₁
4	O ₂
5	O ₅

Figura 13

Ejemplo de aplicación del método de comparación por pares

SWING

Esta técnica es un caso especial de la Comparación por Pares con asignación de valores, no obstante existen diferencias como que las comparaciones se efectúan contra un único criterio y que al criterio o atributo de referencia se le asigna un valor sin considerar la opinión de la unidad de decisión.

La técnica se aplica siguiendo los siguientes pasos:

- Se utiliza una escala de 100 puntos.
- Se selecciona el criterio (o los criterios) que se consideran más importantes, se le asigna el valor de 100 (si se selecciona más de un criterio, a cada uno se le asigna 100 puntos)
- Se continua con el(los) siguiente(s) criterio(s) considerado(s) como de menor importancia y se le(s) asigna un valor entre 0 y 99 puntos, de acuerdo a la apreciación del decisor.

- Se continua hasta haberle asignado un valor a cada criterio.
- Sumar los n puntajes asignados.
- Dividir el puntaje asignado a cada criterio entre el valor obtenido en el paso anterior, el resultado es el peso asignado a cada alternativa.

Esta técnica premia a aquellos criterios que se encuentran más cercanos al criterio de referencia y penaliza a aquellos que se consideran menos importantes.

Otra técnica que se puede utilizar en lugar de Swing es el método Smart (Simple Multi-Attribute Rating Technique) (Edwards,1977; von Winterfeldt and Edwards, 1986), (Mustajoki J., 2004). Donde se selecciona el criterio que se considera menos importante y se le asigna un valor de 10 puntos, luego se comparan todos los otros criterios contra él, asignándoles cualquier valor que se seleccione, pero mayor que 10. Esta técnica, al no limitar el valor que se asigna a los criterios considerados más importantes, puede conllevar a distorsiones que no vienen al caso considerar.

Una interesante variante es una técnica mixta, desarrollada más recientemente y denominada SmartS, (Edwards & Barron, 1.994) (Mustajoki J., 2004) donde primero se aplica Smart para determinar los rangos entre criterios y posteriormente se asignan los pesos con Swing.

Si la cantidad de criterios a considerar no es muy grande o el problema que se desea modelar reviste cierta importancia y se cuenta con tiempo y dedicación de las unidades involucradas, una mejor alternativa es utilizar la muy conocida técnica AHP (Saaty, 1982)

AHP (Proceso Analítico Jerárquico) (Sanchez R., 1997)

La aplicación del PAJ involucra cuatro (4) fases: descomposición, comparación por parejas, generación de vector de prioridades y síntesis. A continuación se describen y analizan cada una de ellas.

Descomposición Jerárquica del Problema:

Se estructura el problema en niveles donde se incluyen uno o varios elementos, que van desde el objetivo global (foco del problema), pasando por aquellos donde se encuentran elementos más concretos y controlables, terminando en el nivel de alternativas, a fin establecer interacciones funcionales entre los niveles, así como explorar relaciones causa - efecto.

De acuerdo a lo establecido por Saaty, se propone en esta primera fase de la aplicación del método una estructura jerárquica lineal donde se supone independencia del nivel superior con respecto a todos los niveles inferiores incluidos (no existe interacción entre ellos)

Un planteamiento de esta naturaleza hace suponer que se considera al ente decisor como quien asegura que los objetivos son mutua y preferencialmente independientes, es decir tiene una función de valor aditiva.

Comparación por Parejas

En la comparación por pares de elementos en cada nivel con respecto a cada uno de los del nivel próximo superior, se pretende emular lo que en forma natural realiza la mente humana al “evaluar” aspectos que no han sido efectivamente cuantificados. Para ello se utiliza una escala discreta del 1 al 9, similar a la descrita en la Tabla 2. Los resultados de estas comparaciones conforman la llamada matriz de comparación a partir de la cual se establecerán las preferencias del decisor.

La escala propuesta se justifica por:

- El nivel de precisión en las comparaciones entre elementos con valores en el mismo orden de magnitud es poco significativo, en consecuencia, desde el punto de vista práctico, la diferenciación entre los elementos se puede hacer cualitativamente.
- El ser humano tiene habilidad para establecer diferencias hasta en cinco (5) calificativos: igual, débil, fuerte, muy fuerte y absolutamente, pudiendo establecer compromisos entre calificativos adyacentes, de esta manera resultan nueve (9) calificativos consecutivos útiles para fijar posición ante una determinada comparación; ellos constituyen la base de la escala.
- El cerebro humano puede procesar 7 ± 2 elementos simultáneamente, esto supone la necesidad de establecer nueve (9) puntos para diferenciarlos entre sí (Miller, 1956).

Generación del Vector de Prioridades

Una vez obtenida la matriz de comparaciones se determina el vector de prioridades, el cual según Saaty, no es más que el autovector normalizado correspondiente al máximo autovalor de la matriz. En esta fase del proceso es necesario verificar consistencia ya que por una parte los individuos no tienen la habilidad de ser siempre consistentes en sus apreciaciones y por otra, darle respaldo teórico al método. Para ello, Saaty propone los siguientes criterios:

- i) $a_{ij} = 1/a_{ji}$ para todo i y j
- ii) $a_{ij} = a_{ik} * a_{kj}$ para todo k distinto de i y j

donde a_{ij} ; a_{jk} ; a_{ik} y a_{kj} son los resultados de la comparación por parejas.

Saaty propone que de haber consistencia en los juicios del decisor deberá cumplirse $A w = \lambda w$ donde A es la matriz de comparaciones,

w es el vector columna correspondiente al autovector de A y λ , es el máximo autovalor de A . Por otra parte, el método busca establecer el vector columna w cuyas componentes $w_1, w_2, \dots, w_n$ son los pesos de estos elementos sobre el correspondiente en el nivel superior.

Según los criterios de consistencia sugeridos por el autor

$$i) \quad a_{ij} = 1/a_{ji}$$

si $a_{ij} = w_i/w_j$, para i y $j = 1, 2, \dots, n$.

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

$$ii) \quad a_{ij} = a_{ik} * a_{kj}$$

$$a_{ij} = w_i/w_k * w_k/w_j = w_i/w_j$$

La expresión en notación matricial es:

$$\begin{vmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & \dots & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & w_2/w_3 & \dots & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \cdot & \cdot & \cdot & & & \cdot \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & \dots & \dots & w_n/w_n \end{vmatrix} = n \begin{vmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ \cdot \\ w_n \end{vmatrix}$$

Figura 14

Matriz de pesos del método de Saaty

donde el autovalor de la matriz será $\lambda = n$

Para que el método produzca un autovector único correspondiente al máximo autovalor de la matriz de comparaciones, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Todos los elementos de la matriz deben ser positivos.
- La matriz es cuadrada.

- La condición $a_{ik} = a_{ij} * a_{jk}$ es válida para todos los elementos de la matriz.
- La condición de reciprocidad $a_{ij} = 1/a_{ji}$ y la correspondiente a $a_{ii} = 1$ se satisface.

Al partir de que el juicio humano por su naturaleza, no puede mantener consistencia, Saaty propone aceptar desviaciones, para las cuales establece un límite superior en 10% en la relación de consistencia definida según:

$$RC = \frac{IC}{ICA}$$

donde:

RC: Relación de consistencia la cual no debe superarse en un 10%

IC: Índice de consistencia = $IC = \frac{\lambda_{max} - s}{s - 1}$ donde s es el tamaño de la matriz cuadrada

ICA: Índice de consistencia aleatoria definido como el promedio de IC Obtenidos de una muestra de matrices de comparaciones generadas aleatoriamente. Los valores de ICA para diferentes tamaños de matriz se presentan en la Tabla 8.

S	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ICA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Tabla 6

Valores de IRC para Diferentes Valores de s Útiles en la Evaluación del Índice de Consistencia (PAJ)
Tomado de R. Sanchez

Síntesis

En esta etapa del proceso se genera un vector de prioridades pero de alternativas. La síntesis del vector de prioridades de un nivel con respecto al próximo superior, se logra mediante:

$$w_i = \sum_{j=1}^n c_j w_{ij}, \forall i = 1, 2, \dots, m$$

donde w_i : Ponderación de prioridades de la alternativa i

c_j : Ponderación del valor de prioridad del criterio j , donde $j = 1, 2, \dots, n$.

w_{ij} : Ponderación del valor de prioridad de la alternativa i con respecto al criterio j .

m : Número de alternativas disponibles.

Capítulo 3

Metodología multicriterio aplicada a los procesos de licitación públicos

3.1 Introducción

En secciones anteriores se presentó una síntesis de los principios técnicos y herramientas que pueden sustentar el proceso de decisión en el caso que nos ocupa: Procesos de Licitación Público (PLP), en esta oportunidad se pretende articularlos en una metodología que facilite la toma de decisiones en esta materia. Al respecto resulta conveniente resaltar que dentro de la búsqueda bibliográfica efectuada no se encontraron referencias a trabajos sobre aplicación de métodos multicriterio en PLP en el ámbito nacional; a nivel internacional se obtuvo una referencia (Pickett, 1999) donde el autor, aplica la metodología de la escuela francesa de soporte a la decisión en PLP en Suiza, enfocando su trabajo en las dificultades matemáticas de la suma ponderada de desempeños y propone a cambio la utilización de los métodos de agregación parcial.

La carencia de documentación en el país, sobre esta metodología se explica por la gran influencia que han tenido en nuestro ámbito las corrientes de pensamiento norteamericanas, tanto por la cercanía geográfica como por su difusión en centros académicos y su aplicación en innumerables trabajos. Esta carencia ha sido uno de los componentes que ha impulsado la elaboración de este trabajo, donde se desea aportar una metodología soportada en la corriente de pensamiento francesa de toma de decisiones, la cual encontramos más adaptable a la problemática de la administración pública.

La metodología que se propone, permitirá llenar el vacío existente actualmente dentro de las unidades que se encargan de definir los criterios de evaluación para la calificación de ofertas en los PLP, en vista de la carencia de definiciones de procedimientos a seguir, excepto los principios generales establecidos en la ley, como son transparencia,

igualdad de oportunidades, libre competencia y uso de criterios revisables.

Una vez generada la Familia Coherente de Criterios (FCC), se justifica la aplicación de algunas técnicas para la ponderación y agregación de los mismos. Así, una vez evaluadas las ofertas y conocido el resultado o recomendación final, se adiciona una última etapa, denominada Análisis de Robustez. Este mecanismo busca determinar que tan inmune es el ordenamiento de ofertas obtenido, producto de la evaluación efectuada, ante variaciones de las variables y de los juicios más susceptibles de afectar la decisión final.

Dentro de la metodología se asume que las consecuencias son valores fijos o intervalos de solución, se trabaja sin mayor detalle sobre la incertidumbre. No se aborda la problemática de establecer funciones de probabilidad o de lógica difusa para definir las consecuencias. El Análisis de Robustez busca absorber parte de la incertidumbre, que en los Procesos de Licitación Públicos percibimos más asociada a los juicios de preferencia que a los hechos, después de todo hay relaciones contractuales que cubren los intereses del ente público desde la perspectiva legal. No obstante esto no limita el empleo de la metodología, consideramos que para su aplicación en el campo de los procesos de la administración pública, no vale la pena incrementar la carga conceptual sobre la unidad de decisión ni añadir complejidad al proceso.

La metodología propuesta está dividida en cuatro fases, las cuales se desarrollan en las secciones que siguen:

Fase 1: Planteamiento del Problema

- Unidad de Decisión.
- Objetivo que se persigue.
- Definición.

Fase 2: Generación de Criterios.

- Dimensionamiento, curvas de valoración y definición de umbrales.
- Pruebas de Coherencia
 - o Prueba de Comprensión.
 - o Prueba de Adhesión.
 - o Prueba de Exhaustividad
 - o Prueba de Cohesión
 - o Prueba de no-redundancia
- Establecimiento de la importancia relativa de cada criterio

Fase 3: Agregación de los criterios

- Método de agregación de los desempeños.
- Tabla de desempeños.

Fase 4: Análisis de Robustez y Recomendación

- Análisis de robustez
- Recomendación.

3.2 FASE 1: Planteamiento del Problema

3.2.1 Unidad de Decisión

La definición de participantes en la toma de decisión, se extiende a todas las personas involucradas en el proceso que participan de forma directa en alguna etapa del mismo y cuyas preferencias inciden, no importando su importancia relativa, en el resultado de la decisión.

En general no siempre la unidad de decisión (UD) tiene la última palabra, en el caso que se enfoca en este trabajo, procesos de decisión en entes públicos como los PLP, la verdadera unidad de decisión es la máxima autoridad del ente, no obstante y dada la cantidad y variedad de decisiones que se deben tomar, la máxima autoridad en la gran mayoría

de los casos acepta como válida la recomendación dada por las comisiones que manejan el problema y presentan su solución.

3.2.2 *Objetivo que se persigue*

Identificados el o los decisores, debemos preguntarnos, ¿qué objetivos se buscan? ¿Qué tipo de problema se quiere resolver? ¿Es posible reducir alternativas? ¿Qué requiere la empresa o ente público? ¿Es posible satisfacer las necesidades o requerimientos planteados? Al responder estas preguntas se podrá tener un panorama más claro de la situación de decisión y de esta forma lograr un consenso en el planteamiento del problema de todos los integrantes de la unidad de decisión.

La pregunta clave de esta etapa es ¿Para qué? Sólo conociendo el objeto de la decisión será posible determinar los aspectos que se relacionan con el problema, que atributos se deben tomar en cuenta y como evaluarlos. Conocido el objeto de la decisión, se plantea ahora la pregunta ¿cuál camino tomar?, aquí nos apoyamos en la tipología de problemas planteada por Roy, esto ayuda discernir en la selección de las técnicas que se aplicarán y en presentar una recomendación adecuada al decisor final.

3.2.3 *Definición del problema*

Definir un problema de toma de decisiones, implica elaborar una aproximación de la realidad por medio de un modelo. Es necesario que las personas que están involucradas en el problema lo comprendan para poder identificar con precisión todos los elementos e interrelaciones que lo componen. La importancia de definición del problema está en que es mejor no resolverlo que resolver el problema que no es. Howard Raiffa denomina este hecho, error Tipo III, haciendo alusión a los errores Tipos I y II, conocidos en estadística. Tampoco se debe caer en el perfeccionismo, lo que puede conducir a un error Tipo IV, también

definido por H. Raiffa como: se resolvió el problema, pero ya era tarde. (Velez Pareja I.)

Se puede dividir un problema de toma de decisiones en los siguientes componentes:

1. La persona que lo enfrenta o decisor, que puede ser un individuo o una organización.
2. Las variables controlables por el decisor, son aquéllas sobre las cuales el decisor puede influir.
3. Las variables no controlables o del entorno, aquéllas sobre las que el decisor no puede influir.
4. Las opciones, constituidas por los diferentes cursos de acción que pueden seleccionarse.
5. Las restricciones sobre las variables, las cuales deben satisfacerse.
6. La decisión o selección de una alternativa que satisfaga a la unidad de decisión o que sea eficiente.

Este tipo de enfoque sistémico le permite a todos los involucrados tener una visión amplia, no sólo de la estructura del problema sino de la interrelación de los componentes que lo conforman y su relación con los elementos, otros sistemas o procesos con los que se relacione o al que pertenezca.

3.3 FASE 2: Generación de criterios

3.3.1 Dimensionamiento de criterios

Esta fase tiene como objetivo la construcción de la FCC. El conjunto de criterios, en esta metodología, adoptará la forma de un árbol de criterios que se irá construyendo nivel por nivel, garantizando mediante la aplicación de las pruebas de coherencia, que el conjunto refleje las preferencias de la UD. De esta forma, al ir agregando niveles y

efectuando las pruebas, desde los criterios maestros hasta llegar a las ramas finales o criterios base, se podrá determinar si el conjunto de criterios que se seleccionó es adecuado para evaluar las alternativas, a los ojos de la UD.

Para la construcción del árbol de criterios se propone un procedimiento recursivo, por medio del cual se revisa en cada paso, que exista coherencia en cada conjunto de criterios que constituyan una de las ramas del árbol. Antes de poder conformar el conjunto de criterios de una rama, se deben modelar las consecuencias, es decir asignarle a cada criterio una dimensión y una escala de medición. Esta asignación requiere previamente la definición precisa de lo que se quiere evaluar con cada criterio. La pregunta que deben hacerse los integrantes de la UD es ¿En que afecta, un desempeño inadecuado de una alternativa dada al objetivo que se persigue?, ¿Cuáles son los posibles efectos negativos que se quieren evitar?, ¿Cuáles son los subcriterios que soportan al criterio que se está definiendo? ¿La definición del criterio es comprendida y aceptada por todos los miembros de la unidad de decisión?

Una vez respondidas estas preguntas se debe definir el indicador (escala de medida y sentido de preferencia) mediante el cual se evaluará el desempeño de una alternativa dada sobre ese eje de significación. Aquí pueden darse los siguientes casos:

- Si el criterio es un criterio de orden superior, su desempeño vendrá dado directamente por la agregación de los desempeños de los criterios de nivel inferior que lo soportan (Tipo 1).
- Si el criterio es un criterio base se debe definir entonces su forma de evaluación. Surgen varias alternativas dependiendo de si existe o no un modelo de preferencia preestablecido, a saber:

1. Existe un modelo de preferencia preestablecido. Su aplicación conduce a la ponderación de las evaluaciones individuales de los miembros de la UD. Los umbrales de indiferencia y de preferencia se establecen a priori. Los tipos de criterios que se utilizan son:

- **Apreciativo:** Se establece una escala que permita emitir juicios de valor de acuerdo a la experiencia, preferencia o nivel de satisfacción que el evaluador perciba ante la alternativa planteada. Estos criterios son del tipo a más mejor o peor, en otras palabras el sentido de preferencia es estrictamente creciente o decreciente. La escala de Saaty adaptada es como la indicada en la Tabla 8 (Tipo 2).

Calificación	Valor Normalizado	Significado para la U.D.
1	0	No cumple con ninguno de los aspectos solicitados en las especificaciones.
3	0.25	Cumple con muy pocos de los de los aspectos solicitados en las especificaciones.
5	0.50	Cumple con muchos de los aspectos solicitados en las especificaciones pero no con la totalidad
7	0.75	Cumple a cabalidad con todos los aspectos solicitados en las especificaciones
9	1	Excede claramente lo solicitado en las especificaciones
2,4,6,8	0.125; 0.375; 0.675; 0.875	Estos valores se utilizan cuando se requiere un compromiso entre las situaciones descritas para valores adyacentes en la escala

Tabla 7

Descripción de la escala de Saaty para evaluar los criterios apreciativos

- **Criterios Si/No:** Son criterios del tipo cumple/no cumple, se evaluarán con 0 si no cumple y con 1 si cumple, no existiendo posibilidad de valuaciones intermedias. Estos son criterios verdaderos (Tipo 3).

- Numéricos: Criterios cuyo resultado está dado a través de la aplicación de fórmulas matemáticas preestablecidas. (Tipo 4).
2. No existe un modelo de evaluación preestablecido. Con este segundo camino se generan curvas de valoración, permitiendo también, incluir umbrales de indiferencia y preferencia, los cuales se obtienen directamente de las curvas, posteriormente permitirán junto con la medida de desempeño, analizar la validez de los resultados por medio de un análisis de robustez
- Curvas pre-ofertas: (Tipo 5) Las comparaciones se efectúan contra los requerimientos técnicos establecidos previamente. La construcción de esta curva presupone que el analista conoce de antemano los desempeños o el nivel de satisfacción mínimo de la UD.
 - Curvas post-ofertas (Tipo 6) Las comparaciones se realizan una vez conocidas las alternativas. En este caso, la UD selecciona por consenso, la mejor opción frente a un criterio determinado y procede a efectuar comparaciones de las demás alternativas contra la seleccionada como la mejor.

Pueden existir otros tipos de criterios, todo dependerá del contexto donde se plantee la problemática. Esta tipología sólo pretende ser una guía ilustrativa.

Una vez definido el criterio y su forma de medición, el siguiente paso es preguntarse si existen umbrales de indiferencia y/o preferencia. ¿Por qué establecer umbrales? Las pruebas de coherencia nos darán la respuesta a esta pregunta. Como se estableció en el capítulo 2, los umbrales son una herramienta que permite establecer un modelo de

preferencia más completo, donde se le da cabida a la indiferencia y la preferencia débil. Su utilización no es necesaria si trabajamos estrictamente dentro del campo de los métodos de agregación completa.

Los umbrales pueden ser establecidos a priori, en este caso, debe ser la UD quien defina el máximo valor para el cual, la diferencia de desempeños cuando se comparan dos alternativas bajo un determinado criterio, no se considera suficiente para poder discernir la preferencia de una alternativa sobre la otra. El umbral de preferencia se establece cuando la UD tiene dudas en establecer una clara preferencia estricta de una alternativa sobre la otra, si la diferencia entre sus desempeños no es superior a un límite mínimo. Los valores de estos umbrales son fijados por consenso entre los miembros de la UD; posteriormente, como se mencionó a través de las pruebas de coherencia, se validará el tamaño asignado a cada uno. Por otra parte, si se trabaja directamente sobre las curvas de valoración, los umbrales aparecerán directamente sobre ellas como se indicó en el capítulo anterior. Una vez definidos los umbrales el siguiente paso es efectuar las pruebas de coherencia.

3.3.2 Pruebas de coherencia.

Aplicar las pruebas de coherencia a una familia de criterios estructurada en forma de árbol, requiere efectuar la prueba sobre cada conjunto de criterios en cada nivel y sobre cada rama; de esta forma se podrá garantizar que el conjunto en su totalidad es coherente.

Lo que se propone para efectuar el análisis es aplicar cada una de las pruebas propuestas por el autor, a cada rama, desde el nivel superior del árbol y posteriormente ir descendiendo y deteniéndose en cada nivel, así hasta alcanzar los criterios base. Esta forma de trabajo garantizará la coherencia de cada conjunto de criterios, así en caso de requerirse modificar, eliminar o agregar algún criterio sólo se verá afectada una rama en particular.

3.3.2.1 Prueba de comprensión.

Se entiende por comprensión el que cada uno de los miembros de la unidad de decisión esté consciente del planteamiento del problema, conocen cada uno de sus aspectos y comprenden el significado de cada uno de los criterios utilizados para el modelaje de las preferencias. Aquí se busca la integridad del grupo de trabajo, más que una prueba es una condición lógica si se desea buscar la coherencia. El autor señala que debe existir un compromiso que garantice una recomendación consensuada y soportada en la metodología aplicada.

Para comprender el problema es necesario involucrarse en todos sus aspectos. Citamos aquí una frase de Albert Einstein “Si se me concediese una hora para resolver un problema del que dependiera mi vida, le dedicaría 40 minutos a la evaluación, 15 minutos a la revisión y 5 minutos a buscar la solución”. (Velez Pareja, 2003)

3.3.2.2 Prueba de adhesión.

Por adhesión se quiere significar el que los integrantes del grupo de decisión están de acuerdo en la forma en que se modeló el problema y no expresan dudas luego de que se obtenga un resultado basándose en el conjunto de criterios y alternativas por ellos definidos. Habiendo comprensión, es posible que podamos concretar hechos reales, y es en función de esos hechos que podremos pedir adhesión. Adhesión, no a la opinión de las personas sino a los hechos concretos en tanto y en cuanto estos hechos signifiquen los hitos de aproximación hacia el objetivo final. La adhesión impone como reciprocidad la participación.

Estas dos pruebas de comprensión y adhesión se pueden resumir en una propiedad que podemos llamar operatividad, la cual no es más que un compromiso con la metodología de trabajo en grupo seleccionada.

3.3.2.3 *Prueba de exhaustividad*

Esta prueba busca determinar si, a los ojos de la UD, cada criterio toma en consideración los ejes de significación que garanticen a los miembros del grupo, que los aspectos considerados son suficientes y necesarios para poder decidir si una alternativa **a** es considerada idéntica a una alternativa **b**, cuando ambas obtienen los mismos desempeños sobre todos los criterios. En otras palabras el conjunto de criterios bajo estudio debe permitir establecer una relación de indiferencia en la puntuación asignada a dos alternativas, si estas obtienen el mismo puntaje sobre cada uno de los criterios.

Si la técnica empleada requiere la adopción de Quasi criterios o Pseudo criterios, entonces en la definición anterior habría que añadir que si dos alternativas obtienen una puntuación dentro de los límites de los umbrales de indiferencia, la unidad de decisión debe establecer, sin lugar a dudas una relación de indiferencia entre ambas.

Si existiese alguna duda en la comparación de estas dos alternativas, que obtienen idéntica puntuación (o puntuación dentro de los umbrales de indiferencia), la prueba resultaría negativa, debiéndose a una de las siguientes razones:

- Los criterios no están bien definidos en cuanto a su construcción, bien por que no es conveniente el proceso de medición seleccionado, o su significado para los integrantes de la unidad de decisión es ambiguo.
- Falta generar un nuevo criterio que permita tomar en consideración un nuevo eje de significación.

En el primer caso habrá que redefinir el significado y forma de dimensionar el criterio, esto puede traer como consecuencia la redefinición de los atributos dentro de la rama del árbol de atributos bajo evaluación. En el segundo caso, el cual es el más común, se requiere

añadir un criterio a la familia que considere un aspecto de las preferencias no detectado y que permitirá establecer la indiferencia entre las alternativas.

Ahora bien, ¿Cómo llevar a la práctica esta prueba? En realidad la prueba es simple de aplicar, se comienza con el conjunto de criterios base, que formen una rama, se generan dos alternativas (en el caso que nos interesa dos ofertas) ficticias asignándoles valores bajos y se realiza la comparación respondiendo a la siguiente pregunta ¿existe alguna duda para establecer que cualquiera de las dos alternativas es igualmente válida, a la luz de los criterios que se están evaluando?, Esta misma prueba se realiza considerando valores elevados en la evaluación. Si los resultados son afirmativos se puede establecer que la familia de criterios de la rama (j) en el nivel (i) es exhaustiva.

Es conveniente efectuar la prueba tanto con valores de evaluación altos como bajos, ya que puede suceder que en uno de los extremos surjan ambigüedades en la interpretación de la definición de cada criterio, las cuales no fueron detectadas durante su construcción. Una de las razones para que esto suceda, se encuentra en una mala definición de algún criterio por una curva de valoración mal elaborada o bien, porque se requiere añadir otro criterio que tome en cuenta las dudas que pueden surgir durante la comparación de las alternativas en un extremo de la escala de valoración.

3.3.2.4 Prueba de cohesión.

La prueba de cohesión, que en realidad se compone de dos pruebas, donde ambas tienen como finalidad determinar si las escalas utilizadas en cada uno de los criterios están bien definidas, formando un pre-orden completo. En otras palabras las escalas seleccionadas deben mantener la dirección de crecimiento del desempeño tanto al nivel de las preferencias restringidas como al nivel de las preferencias globales.

Con la primera prueba, se pretende establecer con base a los índices de desempeño de dos alternativas, si no existen dudas que una acción **a** es mejor que una acción **b**, cuando la acción **a** posee todos los valores de desempeño idénticos (o al menos bajo el umbral de indiferencia) a los de **b**, con excepción de un valor que se considera superior ($(g_{k/h}(a) = g_{k/h}(b))$ y $(g_h(a) > g_h(b))$ (o sobre el umbral de indiferencia). Si este es el caso entonces todos los miembros de la UD deben coincidir en que la alternativa **a** es superior a la **b**.

En caso de ser negativa la respuesta a la primera prueba entonces, el criterio esta mal dimensionado, lo que implica redefinir la familia F . ¿Qué sucede entonces?, si se redefine la familia F , se debe repetir la prueba de exhaustividad y nuevamente esta prueba de cohesión. No obstante en la práctica es difícil que ocurra esto cuando se está trabajando con criterios verdaderos, donde existe un pre-orden completo. Si, por otra parte se trabaja con pseudo o quasi criterios, el problema puede estar en los umbrales de indiferencia, para lo cual se aplica la siguiente prueba, a fin de verificar.

Con esta prueba se quiere verificar la validez de los umbrales de indiferencia. Su enunciado expresa que si se aumenta el desempeño de **a** sobre un criterio y/o se disminuye el desempeño de **b**; el resultado debe reflejar una preferencia por la alternativa **a**. Una respuesta negativa implica, en general una mala definición de los umbrales de indiferencia. Estas pruebas al igual que la de exhaustividad, deben verificarse en consenso por los miembros de la UD, efectuándose una vez se concluya con la prueba de exhaustividad.

3.3.2.5 *Prueba de no redundancia*

La prueba de no-redundancia implica una búsqueda de economía y simplicidad, ya que su aplicación tiene como finalidad eliminar los criterios superfluos que no aportan nada al proceso de decisión. Esta

prueba debe ser realizada posterior a la aplicación de las dos anteriores, aún cuando su enunciado es simple, su aplicación es engorrosa ya que requiere una verificación criterio por criterio del siguiente enunciado: Si en un conjunto de criterios, considerados exhaustivos y coherentes, se elimina uno cualquiera de ellos, ¿el conjunto resultante continua siendo exhaustivo y coherente?.

Decir que un criterio es redundante implica, evidentemente que es fuertemente dependiente de los otros criterios dentro del conjunto. No obstante, no se puede concluir que si un conjunto de criterios no posee criterios redundantes, este se encuentre exento de dependencias. Como se explicó en el capítulo anterior, la búsqueda de independencia de criterios es un problema que va más allá del alcance de esta metodología, pero la aplicación de las pruebas de coherencia en alguna medida garantiza la independencia ínter criterios.

Luego de aplicar la prueba al nivel de los criterios base, su aplicación debe también ser efectuada a nivel de los criterios intermedios o criterios maestros, ya que el hecho de lograr no redundancia en los niveles inferiores, no garantiza que la misma no exista en los niveles superiores del árbol de criterios. Es posible que puedan detectarse relaciones cruzadas entre criterios de orden superior con criterios de orden inferior pertenecientes a otras ramas del árbol. Por tanto, la aplicación de esta prueba de forma rigurosa contribuirá (más no garantizará) a acercarse al estado ideal de independencia entre criterios, como se discutió en el punto 2.6.

3.3.2.6 Conclusión de las pruebas

Una vez realizadas las pruebas de coherencia y obtenidos resultados positivos se puede afirmar que para la UD, el conjunto de criterios considerado, permite interpretar las preferencias de sus integrantes, tanto a nivel restringido (para cada criterio) como a nivel global (todos

los criterios en conjunto), además garantiza que el modelo elaborado es una buena aproximación a la realidad que se desea interpretar, de forma tal se dice que el conjunto de criterios, de la rama analizada en particular, constituyen una FCC.

Decir que se cuenta con una FCC, debe interpretarse como que en su construcción se tomaron en cuenta los objetivos y sistemas de valores de los integrantes de la UD y además, que su aplicación en la búsqueda de un resultado para la selección, categorización u ordenamiento de alternativas, permite concluir que el problema ha sido modelado a fin de lograr coherencia entre lo que se dice y lo que se desea.

3.3.3 Ponderación de los criterios

¿Cómo se pueden pesar diferentes criterios de evaluación de forma tal que reflejen correctamente las preferencias de la UD y a la vez conduzcan a una calificación de alternativas correcta?. La ponderación de los criterios da una medida de la importancia relativa, que cada participante en el proceso atribuye a cada uno de los criterios de evaluación.

Para obtener esta información, se propone la elaboración de un cuestionario distribuido a los integrantes de la UD, mediante el cual aplicando las técnicas descritas en el capítulo 2, método de Saaty o una combinación del método de comparación por pares con el método Swing, puedan obtenerse los pesos de cada uno de los criterios que componen el árbol de criterios.

La técnica seleccionada será aplicada por cada miembro del grupo de decisión de forma separada; posteriormente se debe efectuar la agregación de la opinión de cada participante de forma de lograr una única ponderación a ser asignada a cada criterio dentro del árbol.

Se sugiere en primer lugar la utilización del método elaborado por Saaty, ya que cuenta con un soporte teórico que lo convierte en una

herramienta cuyos resultados pueden considerarse altamente confiables. En aquellos casos donde no se disponga de tiempo suficiente o exista rechazo en la aplicación del método de Saaty, se propone utilizar el método de comparación por pares, que de forma simple, permite ordenar los criterios por orden de importancia y posteriormente aplicar el método Swing para asignar un valor al peso asignado a ese criterio. La metodología deja abierta la posibilidad de utilizar técnicas de ponderación distintas.

La selección del método nuevamente dependerá de diversos factores, tiempo para aplicarlos, empatía de los miembros de la unidad con los métodos, facilidad de implementación. Lo fundamental es que el método de ponderación utilizado, así como los resultados que arroje, sea al igual que los criterios, comprendido y aceptado por todos los actores en el proceso.

3.4 FASE 3: Evaluación de alternativas

3.4.1 *Agregación de los desempeños*

Existen muchos métodos de agregación de los criterios, la suma ponderada, por su simplicidad es el más utilizado en la legislación en PLP. Este método se inscribe como se mencionó en el capítulo anterior en los de criterio único de síntesis. Al utilizar este método se confrontan problemas nada triviales, que en la mayoría de los casos no son tomados en consideración, siendo un error común y a veces crítico.

Cualquiera de estas agregaciones, aplicada a una estructura de árbol se realiza comenzando desde el nivel inferior, para cada una de las ramas, sumando (o multiplicando) los valores de desempeño normalizados obtenidos y ponderados por los pesos establecidos. El valor obtenido es el desempeño agregado de la rama en cuestión. Así, se va ascendiendo en el árbol sucesivamente hasta llegar a la agregación de los criterios

maestros, dando como resultado la puntuación final obtenida por la oferta que se evalúa.

3.4.2 *Tabla de desempeños.*

La tabla de desempeños es el resultado final del modelaje del problema, en ella se indican los criterios, su posición en la estructura de árbol, su ponderación y en caso de existir, los umbrales de indiferencia y preferencia. Sobre esta tabla cada miembro del comité evaluador, va efectuando las evaluaciones correspondientes. El resultado final serán n tablas correspondientes a los n miembros que forman el comité evaluador.

Una forma con la que se acostumbra agregar las evaluaciones de varios evaluadores, es eliminar las puntuaciones mayores y menores y tomar la media de las evaluaciones restantes. Esto añade un elemento adicional de filtrado, evitando las desviaciones exageradas que pueden surgir por múltiples motivos.

Otra forma es trabajar con intervalos de solución. Se promedian las n evaluaciones, lo que dará el valor medio del intervalo de solución, los valores extremos vendrán dados por las evaluaciones máximas y mínimas. Con esta técnica se puede posteriormente pasar a la validación de resultados por medio de la aplicación del análisis de robustez.

Criterio	G_1	$G_{1,1}$	...	G_2	...	$G_{2,1}$	$G_{2,1,1}$	...	$G_{2,1,3}$	G_3	...
Umbral q											...
Umbral p											...
Peso	W_1	$W_{1,1}$	...	W_2	...	$W_{2,1}$	$W_{2,1,1}$	...	$W_{2,1,3}$	W_3	...
Alternativa	Desempeños										Puntuación de la Alternativa
a_1				...			...			...	(1)
a_2				...			...			...	
...	$D_1(a_j)$	...	...	$D_2(a_j)$			$D_{2,1,1}(a_j)$			$D_3(a_j)$	
a_i											
...											
a_n											

(1) En esta columna se coloca la formula de agregación de los criterios

Tabla 8
Tabla de desempeños

3.5 FASE 4: Análisis de robustez y recomendación

Luego de evaluar las alternativas, si las evaluaciones son puntuales, éstas quedan ordenadas en un pre-orden completo, siendo que cada una obtiene una puntuación luego del procedimiento de agregación anterior.

No obstante, el proceso de decisión como ya se ha dicho, se encuentra inmerso en la subjetividad, se pueden identificar varios modos en los cuales se introduce esta subjetividad, uno es la forma de asignación de los pesos, otro es el resultado de la evaluación, producto de la aplicación de apreciaciones o curvas de valoración, bien como el resultado de un consenso entre los miembros de la UD o bien por ponderación de curvas individuales de cada miembro de la UD.

Al resultado final no necesariamente se le puede asignar un poder discriminante absoluto, dado que está enmarcado dentro de la subjetividad propia de una decisión humana. Con el análisis de robustez que se propone emplear, se busca determinar si el ordenamiento de alternativas obtenido, es inmune a las variaciones de las evaluaciones efectuadas por los miembros del grupo evaluador. Este análisis se

aplica siempre que se asuman soluciones tipo intervalo en lugar de asumir la puntuación final como una cantidad puntual; con el uso de intervalos de solución, se está contribuyendo a reducir la arbitrariedad inherente en el proceso.

Para convertir la evaluación final en un intervalo de solución producto de las evaluaciones individuales, se aplica lo señalado en el punto anterior. El objetivo final es que los intervalos de solución no se encuentren solapados. Si no resultara así, entonces se debe afinar la evaluación otorgada a través de las curvas de valoración, lo que es igual a afinar los umbrales de indiferencia entre clases.

Se requiere una semántica para tratar con este problema. Definamos una relación H , la cual se define como “es al menos tan bueno como”:

$$S_k H S_l \Leftrightarrow p_k^+ \geq p_l^+$$

donde S_k es la alternativa k

p_k^+ indica el límite superior del intervalo de solución de la alternativa k

p_l^+ indica el límite superior del intervalo de solución de la alternativa l

Esta relación H define una estructura de orden de intervalo sobre el conjunto de alternativas S .

La relación H puede descomponerse en dos partes una asimétrica que se denominará P , cuya interpretación es “es estrictamente superior a”, y una parte simétrica denominada I , cuya definición es “es de la misma prioridad que”. Definido de esta forma se puede decir que $H = P \cup I$.

La relación P se define de la forma siguiente:

$$S_k P S_l \Leftrightarrow p_l^+ < p_k^-$$

es decir una alternativa k es estrictamente superior a otra alternativa l si sus intervalos de solución no se solapan.

La relación I se define de la forma siguiente:

$$S_k I S_l \Leftrightarrow p_k^+ \geq p_l^- \text{ y } p_l^+ \geq p_k^-$$

es decir una alternativa k es de la misma importancia a otra alternativa l si sus intervalos de solución se solapan.

De esta forma, cuando se comparan dos intervalos solución, correspondientes a dos alternativas, la evaluación resulta más realista que evaluando valores puntuales.

Para el caso práctico que nos ocupa, es importante determinar si las alternativas que califican no se encuentre solapadas con otras, de forma de poder establecer inequívocamente un ordenamiento en cuanto a la calidad técnica de las mismas. Pueden relajarse las condiciones de preferencia e indiferencia, estableciendo por ejemplo lo siguiente:

Si m es el valor medio del intervalo, la preferencia puede expresarse como:

$$S_k P S_l \Leftrightarrow p_l^+ < m_k$$

y la indiferencia como:

$$S_k I S_l \Leftrightarrow m_k \geq p_l^- \text{ y } p_l^+ \geq m_k$$

Dado que ésta metodología está orientada a modelar PLP, resulta imposible la aplicación de un análisis de robustez que valide la asignación de los pesos. Una vez entregados los pliegos de licitación, no es posible modificar la forma de evaluación establecida. En vista de este inconveniente se deberá asumir, que la forma en que se asignan los pesos no es factor determinante del resultado final.

De esta forma, al final del proceso y como ya se ha señalado en varias oportunidades, se presenta un ordenamiento de alternativas de la mejor

a la peor, considerando todos los criterios previamente establecidos, como los ejes de significación relevantes para los integrantes de la unidad de decisión.

3.6 Resumen de la metodología

Los pasos a seguir para el logro del objetivo planteado: determinar el orden de las alternativas de cara a las preferencias de los actores involucrados en el proceso de decisión, en el contexto de un PLP, se resumen en los siguientes (ver figuras 11 y 12):

Fase 1: Planteamiento del Problema

- *Definición de la Unidad de Decisión:* Se establece quienes son los integrantes de la unidad de decisión y si es el caso se pondera el peso que su decisión tiene sobre la decisión.
- *Objetivo que se persigue:* Cual es el resultado esperado, que tipo de problemática se desea resolver. A quien va dirigida la recomendación final.
- *Definición del problema:* El analista en conjunto con la unidad de decisión, estudia el problema para identificar sus características, las variables involucradas, el marco legal, el estado del problema, sus relaciones internas, etc. De forma de lograr que los involucrados comprendan el problema y sus implicaciones.

Fase 2: Generación de Criterios.

- *Dimensionamiento de los criterios:* Se establecen los criterios maestros, los intermedios y los aspectos de evaluación base, se organizan en una estructura jerárquica. Se establecen escalas de medición, sentido de preferencia, tipos de criterios y umbrales de decisión.

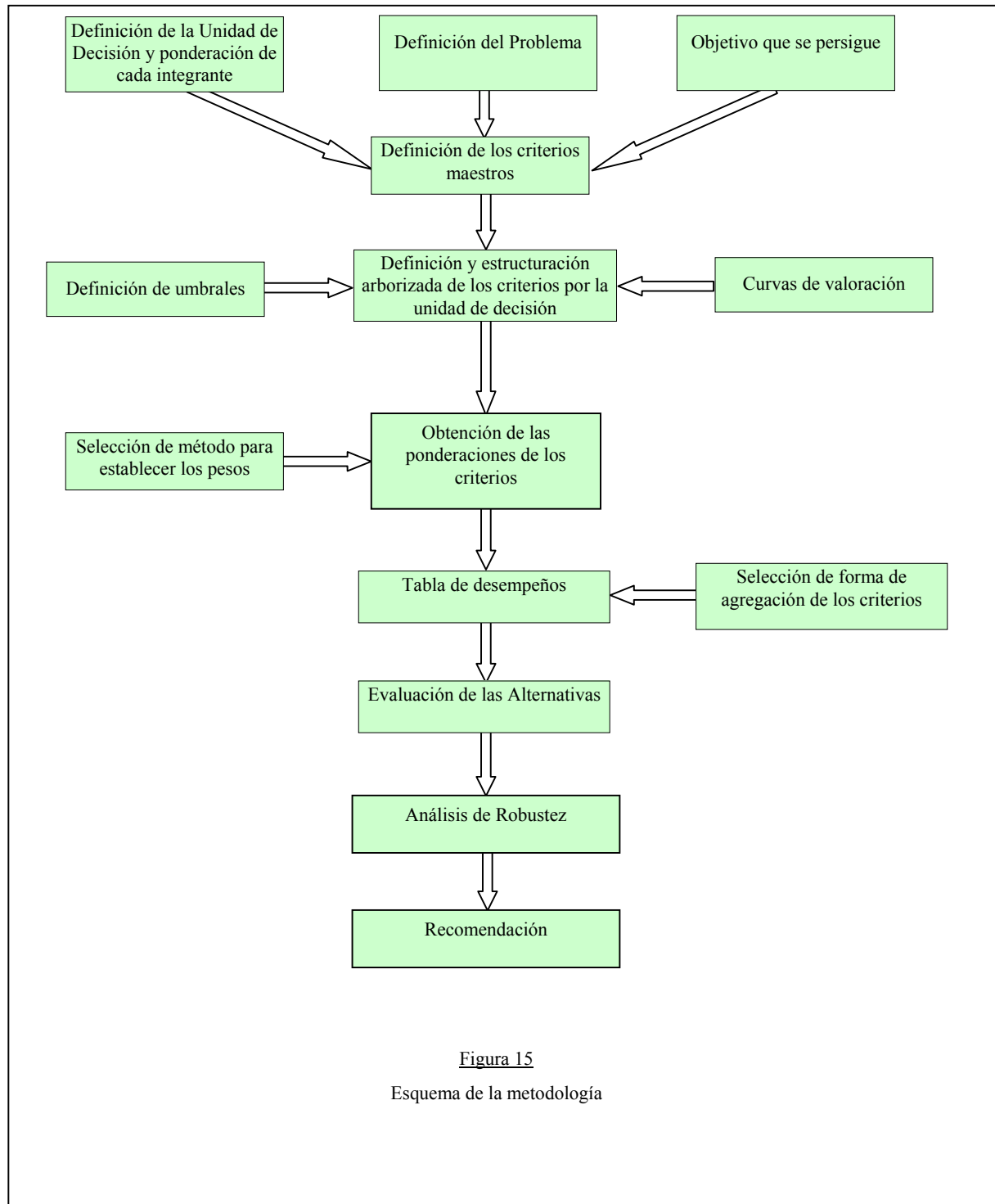
- *Pruebas de coherencia:* Se realizan las pruebas de exhaustividad, cohesión y no redundancia, con la finalidad de garantizar un conjunto de criterios que sea coherente (en el sentido de Roy), que reflejen indubitadamente las preferencias de la UD y que logre independencia a nivel de las preferencias.
- *Establecimiento de pesos de cada criterio:* Por medio de la aplicación de los métodos planteados se extrae la información sobre la importancia relativa de cada criterio dentro de cada rama del árbol jerárquico a los miembros de la UD; luego por consenso se unifica la asignación de pesos.

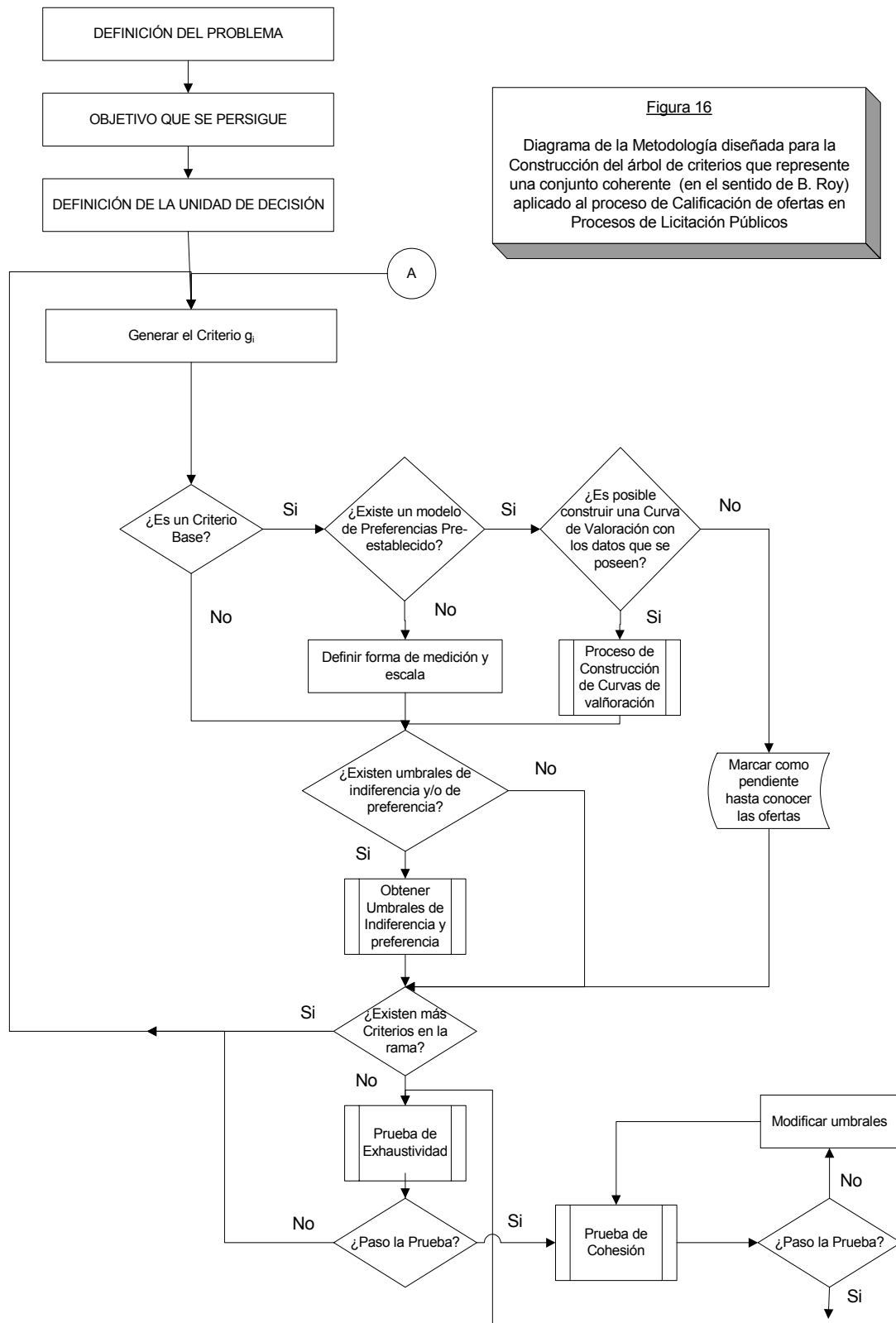
Fase 3: Evaluación de las Alternativas

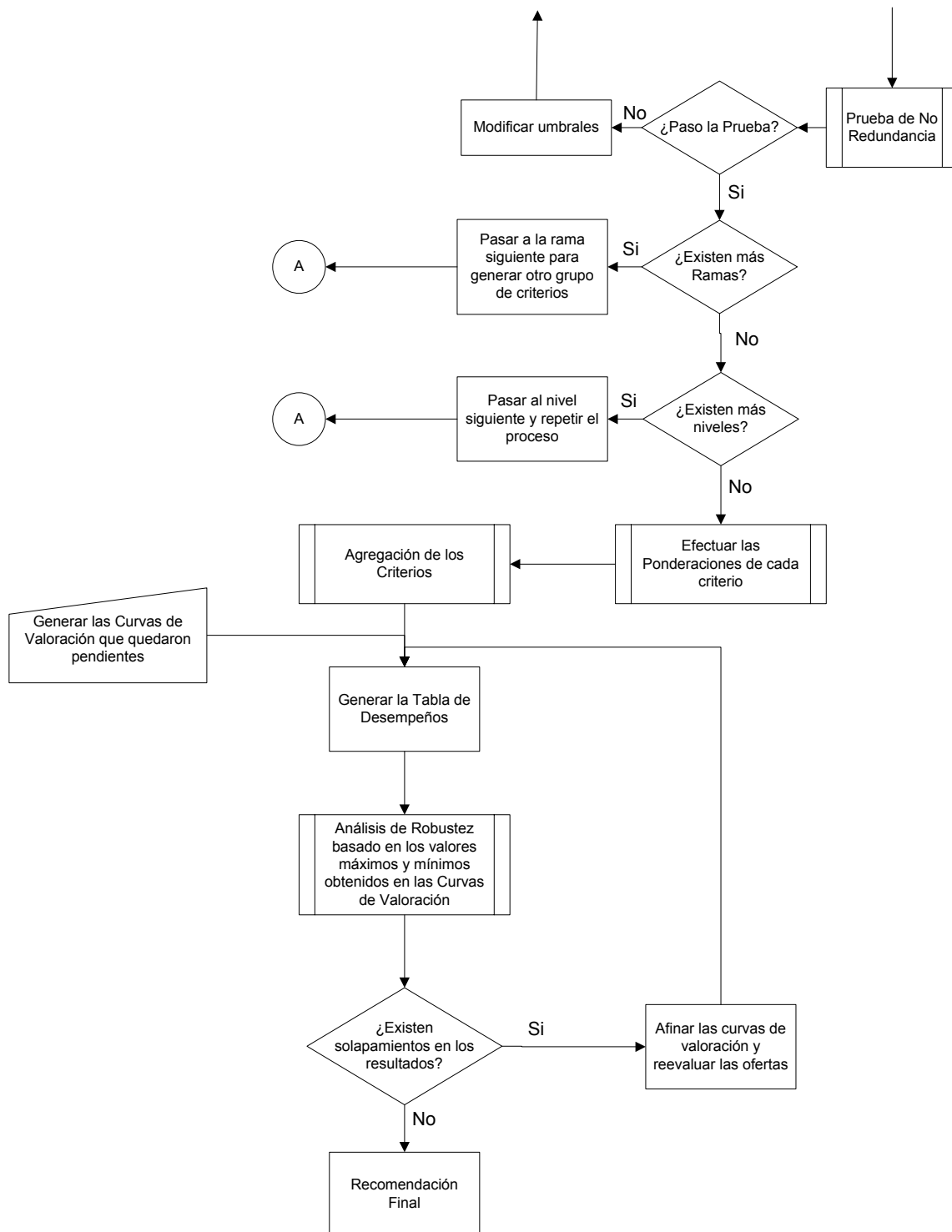
- *Selección de forma de agregación de los criterios:* La agregación de los criterios se da por cada rama del árbol, por tanto la UD debe seleccionar entre agregación aditiva o multiplicativa dependiendo de lo que considere conveniente.
- *Formación de la tabla de desempeños y evaluación de las alternativas:* Se ponderan las evaluaciones individuales de los evaluadores y se define si se trabajará con valores puntuales o intervalos de solución. Si son resultados puntuales se da la recomendación final, de lo contrario se pasa al análisis de robustez

Fase 4: Análisis de Robustez y Recomendación

- Los resultados obtenidos son validados y en caso de encontrarse solapamientos se procede a la revisión de los umbrales en las curvas de valoración, a fin de en lo posible presentar soluciones no solapadas.







Capítulo 4

Ejemplo de aplicación de la metodología

4.1 Introducción

Un problema complejo es la selección de equipos, sistemas, servicios y soluciones en el campo de la tecnología de la información. Dentro de este campo no existen estudios exhaustivos que indiquen los principales atributos de evaluación, que guíen al analista en la conformación de una estructura que le facilite evaluar un conjunto de opciones.

La selección de una tecnología se traduce en un proceso donde se desea determinar cuales métodos, técnicas y herramientas, satisfacen los criterios que reflejan los objetivos específicos que se traza una organización. Este proceso requiere poseer varias habilidades, como la capacidad de identificar las alternativas a ser consideradas, la capacidad de evaluar los candidatos y la capacidad de escoger entre los candidatos, a aquél que alcanza los niveles de satisfacción especificados. En tecnologías de la información se puede asumir que cada 18 a 24 meses habrá suficientes productos nuevos en el mercado con precios cercanos al 50% de su valor original y un mismo rendimiento.

Entendemos por tecnologías de la información (TI), aquellas que utilizan en sus actividades dispositivos de cómputo y telecomunicaciones. Es una definición muy amplia pero así también es el ámbito en el cual, los equipos electrónicos impactan.

4.2 Fase 1: Planteamiento del problema

4.2.1 *Definición de la unidad de decisión.*

El problema que se analizará a la luz de la metodología propuesta, se basa en la adquisición por parte de la C.A. Metro de Caracas (CAMC) de un conjunto de sistemas dentro del área de las telecomunicaciones. La Junta Directiva de la CAMC decidió efectuar esta adquisición a través

de un proceso de licitación general, el cual como se mencionó en el capítulo 1, consta de dos etapas, una primera de evaluación legal, financiera y técnica, para determinar que empresas califican y pasan a la segunda etapa de evaluación de ofertas económicas, donde se selecciona la oferta que mejor se adapte a los requerimientos y condiciones establecidas en los pliegos de licitación.

La responsabilidad en la preparación de la documentación necesaria para generar el pliego de licitación, recae en la unidad de origen, en este caso la Gerencia de Telecomunicaciones (GTC), la cual reporta a la Gerencia Corporativa de Tecnología de la Información. Dentro de la GTC, la elaboración de la matriz de evaluación se generó por consenso entre los ingenieros y técnicos designados en participar dentro del proyecto a licitar. Este grupo de personas es también el encargado de efectuar la evaluación de las ofertas técnicas que presenten las empresas interesadas en participar en la licitación. Por tanto podemos afirmar que ellos constituyen la unidad de decisión (UD). Esta UD está formada por el siguiente personal:

<u>Profesión</u>	<u>Cargo</u>	<u>Experiencia en el área</u>
Ingeniero Electrónico	Jefe del proyecto	18 años
Ingeniero de Sistemas	Senior	15 años
Ingeniero de Sistemas	Gerente	4 años
Ingeniero Electrónico	Junior	3 años
TSU en Electrónica	Consultor junior	15 años
TSU en Informática	Técnico A	5 años

Tabla 9

Integrantes de la unidad de decisión

Este grupo también, es el encargado en primer lugar de validar los documentos necesarios para iniciar el proceso de licitación, entre los

que se encuentran las especificaciones funcionales y técnicas de cada uno de los sistemas, los cronogramas de actividades, los presupuestos estimados, la matriz de evaluación técnica, el anteproyecto de contrato y las condiciones particulares de instalación. Posteriormente, este mismo grupo se encarga de la evaluación de cada una de las alternativas representadas en las ofertas entregadas por los participantes, para lo cual utiliza como herramienta la matriz de evaluación previamente diseñada. Por último esta unidad envía la recomendación de cómo fueron evaluadas cada una de las ofertas, al Comité de Licitación; a cada oferta se le asigna un valor numérico en orden decreciente, siendo el mayor puntaje asignado a la oferta que se considera ganadora.

A los efectos de este trabajo se consideró que, aún cuando no todos participaron directamente en la elaboración de los documentos de licitación, se le dará el mismo peso en la decisión a los integrantes de la UD, en vista que cada uno representa un punto de vista importante de acuerdo a las funciones que realizan dentro de la GTC, no importando el cargo desempeñado, ya que el mismo no guarda relación con la experiencia en el área de cada uno de ellos.

4.2.2 *Objetivo del proceso de licitación.*

¿Qué se busca con el proceso de licitación? La CAMC como empresa del Estado busca como fin último, solucionar un problema en particular a través de la contratación de una empresa. Para lograr este objetivo debe utilizarse una metodología que permita transitar el camino hacia el logro de esa meta.

El objetivo concreto que se persigue en este ejemplo, es afrontar la problemática de calificación técnica de las ofertas, la cual en principio, se enmarca dentro de una problemática del tipo P β (Categorizar); es decir, se quiere determinar si la oferta presentada, evaluada ante una

serie de criterios, califica o no califica técnicamente para la siguiente etapa del proceso.

¿Qué se entiende por calificación técnica?, se puede describir como el proceso mediante el cual se evalúan aspectos propios de las empresas participantes y los aspectos técnicos de la oferta que presentan, con la finalidad de optar por un pase a la segunda etapa del proceso de licitación y competir en concurrencia con otras ofertas por el objetivo superior de alcanzar la Buena-Pro y de esta forma lograr la contratación.

Ahora bien, dado que dependiendo de las condiciones establecidas en los pliegos de licitación y luego de efectuar la evaluación de las ofertas en la segunda etapa del proceso (evaluación de oferta comercial), el resultado, o recomendación final, puede depender de la evaluación asignada a los oferentes en la primera etapa. Es decir, que no necesariamente la oferta más económica es la ganadora; aún cuando el precio es regularmente el elemento de mayor importancia, no es menos cierto que podrían evaluarse otros factores que incidan en la selección final. Por tanto para logro del objetivo señalado, se modelará el problema de calificación de las empresas, planteándose una problemática del tipo $P\gamma$ (Ordenamiento).

En resumen, el objetivo que se persigue es evaluar sobre una serie de aspectos técnicos, a un conjunto de empresas y sus ofertas, de forma de asignarles una puntuación y establecer un ordenamiento de mayor a menor. Además, esto permitirá asignar a cada oferta en una de las dos categorías establecidas (califica o no califica), a través de las normativa exigida en los pliegos de licitación.

4.2.3 Definición del Problema.

Definida la unidad de decisión y el objetivo que se persigue con esta metodología, demos una breve descripción del objetivo y alcance del proyecto que se licita; de aquí en adelante se denominará por sus siglas

SISSET (Sistema Integrado de Servicios de Telecomunicaciones). Se desean adquirir tres sistemas mediante un sólo proceso de licitación, los cuales son:

- A. *Sistema de transporte de datos por fibra óptica*; Suministro e instalación de equipos de transmisión de datos basados en el estándar SDH, con la finalidad de actualizar tecnológicamente el equipamiento existente en la Línea 1 y contar con un mayor ancho de banda.
- B. *Sistema de radiocomunicaciones trunking digital*; El proyecto contempla dentro de su alcance la adquisición de todo el equipamiento (hardware y software) necesario para implementar la plataforma de comunicaciones de voz y datos, bajo el estándar de comunicaciones TETRA, de forma de darle cobertura al Área Metropolitana de Caracas, donde se desarrollan las actividades de la empresa.
- C. *Sistema de videoconferencia multipunto*; El proyecto comprende dentro de su alcance, dotar a seis (6) salas de recursos multimedia y de capacidad para establecer videoconferencias interactivas con cualquier otra sala, interna o externa, inclusive múltiples salas simultáneamente.

Cada uno de estos sistemas tiene una serie de características técnicas y particularidades, que van más allá del alcance de este trabajo y dado que lo que se busca es ejemplificar la metodología propuesta, sólo se detallarán los aspectos que tienen que ver con el Sistema de Radiocomunicaciones (denominado por simplicidad de ahora en adelante, proyecto TETRA). No obstante en el anexo 1, se puede observar que para los otros dos sistemas los aspectos a evaluar son similares y entrar en su discusión no aporta nada adicional al objetivo planteado.

El proyecto TETRA requiere la contratación de una empresa con la estructura y experiencia necesaria para suministrar, instalar y capacitar al personal de la CAMC, en un sistema de telecomunicaciones de última generación; el alcance del proyecto se puede resumir en:

- Suministro e instalación del nodo de conmutación central y sistema de gestión.
- Suministro e instalación del equipamiento de cinco sitios de repetición (estimado) para cubrir el Área Metropolitana de Caracas. Esto incluye equipos de control local, transmisores y receptores, radio enlaces, antenas y cableado.
- Suministro e instalación de radios bases en instalaciones de Metro y Metrobús, radios portátiles para algunas unidades de la empresa y radios móviles para los autobuses de Metrobús.
- Suministro e instalación de una unidad de control de despacho en la sede operativa del sistema Metrobús, con la finalidad de independizar su operación.

4.2.4 Antecedentes.

En el proyecto original, se elaboraron en primer lugar las especificaciones funcionales y técnicas de cada uno de los sistemas. Por especificaciones funcionales se entienden las características que los usuarios (esta palabra engloba al técnico de mantenimiento, el cliente final o el administrador del sistema) esperan de los sistemas que se adquirirán y por especificaciones técnicas, aquellas que garantizan la configuración requerida, la disponibilidad, las interfases solicitadas y en general los parámetros técnicos. Con la finalidad de obtener los insumos necesarios para redactar las especificaciones, se efectuaron reuniones de trabajo con las empresas de reconocida experiencia en el mercado, de esta forma se conoció el estado real de la tecnología, las limitaciones de cada producto, sus ventajas sobre la competencia, etc.

Una vez se tuvieron las especificaciones, se procedió a diseñar la matriz de evaluación técnica. Su elaboración se basó en experiencias pasadas con licitaciones similares y en las siguientes premisas, establecidas por consenso de los miembros de la UD:

- Durante la evaluación de las ofertas, se asume que la opinión de cada miembro del comité tiene la misma importancia, por lo que la tabla de desempeños final resulta de la media aritmética de las evaluaciones individuales.
- Los criterios se estructurarán de forma jerárquica, considerando tres grandes áreas de interés: organización, experiencia y especificaciones, a su vez cada uno de ellos se subdividirá en otros ítems.
- Se requiere que el ofertante obtenga un mínimo de puntos en cada uno de estos tres aspectos, según se indica en la tabla 14, en caso contrario la oferta es automáticamente descalificada.
- El método de agregación de las evaluaciones finales se basa en sumas ponderadas, donde a cada criterio se le asigna un peso, seleccionado por consenso de la UD.

La matriz de evaluación técnica se dividió en los siguientes aspectos:

- Organización
- Experiencia
- Especificaciones Funcionales y técnicas
 - SDH
 - TETRA
 - Videoconferencia

Cada aspecto tiene asignado un peso y está dividido en una cierta cantidad de ítems, que funcionan como criterios base de evaluación. La evaluación de cada ítem se realizó por medio de una escala apreciativa, de la siguiente forma:

No cumple con lo solicitado: cero (0) puntos

Cumple con muy poco de lo solicitado: un (1) punto.

Cumple algunos aspectos: dos (2) puntos

Cumple con reservas: tres (3) puntos

Cumple con lo solicitado: cuatro (4) puntos

Excede lo solicitado: cinco (5) puntos.

Tabla 10

Puntuación apreciativa utilizada para
la evaluación de los criterios

Para la evaluación del aspecto Organización, se consideraron los siguientes ítems:

ORGANIZACIÓN	Puntuación
Organización de la empresa detallando: misión, diagrama organizacional, áreas de especialización, ubicación.	
De acuerdo al a la documentación consignada, la empresa cuenta con personal técnico especializado y debidamente entrenado en los equipos a suministrar para la implantación de los sistemas solicitados.	
La empresa cuenta con la Infraestructura adecuada para dar soporte a las áreas de radiocomunicaciones, tales como oficinas, equipos, instrumentos, facilidades de entrenamiento, bancos de prueba, simuladores, soporte a clientes, entre otros.	
La empresa dispone de los certificados de la casa matriz y/o fabricantes como representante y distribuidor oficial del equipamiento a suministrar en el Sistema Digital de Radiocomunicaciones Trunking.	
La empresa dispone de los Certificados de Homologación de los equipos que conforman a cada sistema: Radiocomunicaciones, Transporte de datos y Videoconferencia.	
PUNTUACIÓN OBTENIDA (mínima 20)	

Tabla 11

Criterios originales para evaluar la organización

Para la evaluación del aspecto Experiencia, se consideraron los siguientes ítems:

EXPERIENCIA (TETRA)	Puntuación
La información consignada demuestra que la empresa ha tenido experiencia en la implantación de sistemas de radiocomunicaciones Trunking TETRA. Se detallan los datos del cliente, el alcance, monto aproximado (\$) del proyecto, tiempo de puesta a punto del sistema, cantidad de equipos instalados y cobertura del sistema.	
La información consignada demuestra que la empresa ha tenido experiencia en la implantación de sistemas de radiocomunicaciones Trunking Analógicos multisite. Se detallan los datos del clientes, el alcance, monto aproximado (\$) del proyecto, tiempo de puesta a punto del sistema, cantidad de equipos instalados y cobertura del sistema.	
La información consignada demuestra que la empresa ha tenido experiencia en la implantación de sistemas de radiocomunicaciones Convencional multisite. Se detalla el alcance, monto aproximado (\$) del proyecto, tiempo de puesta a punto del sistema, cantidad de equipos instalados y cobertura del sistema.	
La información consignada demuestra que la empresa ha tenido experiencia en el manejo de contratos de mantenimiento para sistemas de radiocomunicaciones.	
PUNTUACIÓN OBTENIDA (mínima 16)	

Tabla 12

Criterios originales para evaluar la experiencia.

Dentro del sistema que nos interesa desarrollar en este ejemplo (TETRA) se subdividió la evaluación en los aspectos que se muestran en la siguiente tabla (Tabla 13), donde se indica además la cantidad de ítems a evaluar en cada aspecto. En el anexo 1 se muestra la lista detallada de ítems.

Ítems a Evaluar (TETRA)	Nro. Ítems a evaluar	Puntaje
3.1.1 Interoperabilidad	3	15
3.1.2. Cobertura	7	35
3.1.3 Características funcionales del controlador central	9	45
3.1.4 Características funcionales del sistema de gestión y manejo	12	60
3.1.5 Características funcionales de las radiobases	9	45
3.1.6 Características funcionales de la unidad de despacho	19	95
3.1.7 Características funcionales de los radios fijos	12	60
3.1.8 Características funcionales de los radios móviles	14	70
3.1.9 Características funcionales de los radios portátiles	15	75
3.1.10 Servicio de mantenimiento	1	5
3.1.11 Características técnicas generales del sistema	8	40
3.1.12 Características técnicas del controlador central	12	60
3.1.13 Características técnicas del sistema de gestión y manejo	4	20
3.1.14 Características técnicas de las radiobases	11	55
3.1.15 Características técnicas de los radios fijos	9	45
3.1.16 Características técnicas de los radios móviles	10	50
3.1.17 Características técnicas de los radios portátiles	9	45
3.1.18 Características técnicas de la unidad de despacho	8	40
3.1.19 Características técnicas de los radioenlaces	6	30
	178	890

Tabla 13

Puntuación asignada a los criterios técnicos originales

A fin de obtener una oferta equilibrada en todos los aspectos se solicita la obtención de un mínimo de puntos en cada aspecto a evaluar. La no obtención de esta puntuación lleva implícita la descalificación inmediata de la oferta.

Una vez evaluado cada ítem, la puntuación final viene dada por la siguiente tabla de ponderación y agregación de los tres aspectos de interés:

Aspecto	Evaluación	Puntaje mínimo	Ponderación
1. Organización	(Puntuación obtenida / 25) x 20%	40	20
2. Experiencia	(Puntuación obtenida / 20) x 20%	28	20
3. Características funcionales y técnicas			60
3.1 TETRA	(Calificación obtenida / 890) x 26.4%	712	26.4
3.2 SDH	(Calificación obtenida / 515) x 28.8%	412	28.8
3.3 Videoconferencia	(Calificación obtenida / 510) x 4.8%	408	4.8
Puntuación Final	$\sum$ 1 + 2 + 3		

Tabla 14

Agregación final de los criterios originales

Considerando todo lo anterior, se obtiene como resultado, el que una empresa logra la calificación técnica si su puntuación final es al menos 80 puntos.

4.2.5 Desarrollo del ejemplo con la metodología planteada.

Para la aplicación de la metodología aquí expuesta, se requirió la colaboración de los miembros de la UD a fin de, en primer lugar, explicarles la metodología y posteriormente lograr efectuar reuniones de trabajo para obtener sus preferencias y poder estructurar la matriz de evaluación a la que se desea llegar. Es importante señalar que para el momento de iniciar las reuniones con los integrantes de la UD, los documentos para el proceso de licitación estaban aprobados y en espera de ser anunciada la licitación en la prensa nacional. Por tanto este trabajo se efectuó como un ejercicio que no tuvo posibilidad de ser aplicado en la práctica. No obstante, esto no le resta validez a los

resultados obtenidos, más bien permitirá efectuar una comparación entre la metodología utilizada y la propuesta.

Hay que acotar adicionalmente que el tiempo empleado en la aplicación de esta metodología no es en modo alguno un indicador válido, dada las limitaciones que impone la rutina del trabajo, ya que sólo en reuniones para explicar la metodología y acordar los aspectos a evaluar se requirieron al menos 4 horas, sin contar el tiempo de elaboración de la matriz, el cual se estima en 12 horas. El tiempo empleado en el desarrollo de la metodología, va a depender de cada problema en específico y del ambiente o entorno donde sea aplicado. Como se verá al final de este capítulo, la metodología permitió depurar la lista original de atributos, la forma de ponderación y agregación de los mismos, bajo el consenso de los integrantes de la UD.

No entra dentro del objetivo de este trabajo detallar la forma en que se efectuaron las reuniones, las cuales forzosamente implican entrar en un proceso de negociación, de forma de resolver los conflictos que necesariamente se plantean dentro de un grupo enfrentado a un problema tan complejo. Existen diversas técnicas de negociación que se pueden emplear, sólo como referencia se señala en la bibliografía algunas lecturas recomendadas (Cohen H, 1.980), (Fisher R. 1.981).

Se puede decir en resumen, que las decisiones del grupo fueron tomadas por mayoría o por consenso, siguiendo las técnicas de reuniones interactivas y tormentas de ideas. En estas reuniones, el primer objetivo fue dar un enfoque distinto a la matriz de evaluación, de forma de lograr una arborización más ramificada por aspectos funcionales que por características técnicas. ¿Por qué sucedió esto?, la aplicación de la metodología propuesta implica cambiar el enfoque tradicional, como explica Roy, debemos preguntarnos el por qué utilizamos tal o cual criterio como punto de decisión y además añadir que implicaciones tiene el no incluir ese criterio, a fin de que todos los

criterios que se seleccionen vayan en relación directa con el objetivo final, la calificación técnica de las empresas. A fin de facilitar el planteamiento del problema dada las limitaciones de tiempo para interactuar con los integrantes de la UD, se decidió:

- Para los criterios del tipo apreciativo (tipo 1), se decidió trabajar con el concepto de quasi criterio. De esta forma y a fin de tomar en cuenta los efectos propios de la incertidumbre en las evaluaciones se decidió fijar un umbral de indiferencia de 5%.
- Para la obtención de los pesos, se decidió optar por la utilización del método de comparación por pares para ordenar los pesos y la aplicación de la técnica de Swing para ponderarlos. El resultado final se obtuvo ponderando la opinión de cada miembro de la UD.

En vista que el proceso de generación de la familia de criterios es repetitivo, en el anexo 2 se desarrolla a manera de ejemplo la asignación de pesos para la rama *Experiencia*; de la misma forma se aplica lo referente a la elaboración de las curvas de valoración. En general, para los pesos se redondeó el valor obtenido al número entero más cercano. En la figura 32 se muestra el árbol de criterios definitivo donde se indica el tipo y peso de cada criterio. En las figuras 30 y 31, se muestran los árboles de criterios preliminares, obtenidos durante el proceso de depuración del conjunto de criterios.

Según el esquema planteado en el capítulo anterior, hasta aquí se ha cumplido con la Fase 1 de la metodología, recordamos que esta se definió como:

Fase 1: Planteamiento del Problema

- Unidad de Decisión.
- Objetivo que se persigue.
- Definición.

4.3 Fase 2. Generación de los Criterios

Antes de entrar en la definición de los criterios, es importante destacar que para el desarrollo de este ejemplo no se plantearán las soluciones basadas en los métodos de agregación parcial, con la utilización de métodos del tipo Electre; esto debido en primer lugar, a que la estructura de criterios arborizada que se seleccionó no es compatible con la aplicación de estos métodos, como se menciona en el capítulo 2, la agregación parcial considera que todos los criterios se encuentran al mismo nivel y cada uno indica un eje de preferencias, siendo la comparación entre alternativas definidas por comparaciones pareadas. En segundo lugar, la aplicación de estos métodos requiere un cierto conocimiento teórico por parte de los actores involucrados en el proceso, cuestión ésta que no se encuentra dentro del alcance del ejemplo que se desarrolla. Por último se requiere disponer o elaborar un software para poder implementar alguno de los métodos de agregación parcial.

Esta decisión, no le resta en modo alguno aplicabilidad a los métodos de agregación parcial para modelar este tipo de problemas, únicamente se prefirió optar por los métodos de agregación completa dada la empatía existente con los mismos de parte de los actores participantes en este ejemplo.

Por tanto, seleccionado el método de agregación, se le dará a los criterios una estructura arborizada. Encontrándose en la cúspide del árbol el objeto de la evaluación que denominamos con la etiqueta Calificación Técnica.

Para cada uno de estos criterios se debe definir su significado, qué se busca evaluar, qué se desea evitar y su forma de medición. Antes de comenzar a definir el árbol de criterios y a fin de facilitar la exposición

siguiente, se indicaran las formas de medición de los criterios utilizados en este ejemplo. Establecidos los tipos de criterios y su forma de evaluación, se procede a la construcción de la familia de criterios.

Nivel uno

La UD decidió, que el primer nivel del árbol se soportara en dos criterios, etiquetados como:

1. Empresa

Se requiere: Evaluar la Organización y la Experiencia de la empresa que esta ofertando.

Se desea evitar: Contratar con empresas cuya Organización no se adecue a las exigencias que la CAMC requiere para llevar adelante el proyecto o que no posean la experticia suficiente.

2. Especificaciones Funcionales y Técnicas

Se requiere: Garantizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas solicitadas para cada uno de los equipos que conforman el sistema y que se logre la funcionalidad mínima solicitada.

Se desea evitar: Calificar a una empresa cuya oferta no cumpla con los estándares técnicos solicitados, evidentemente por que sería absurdo adquirir un bien o servicio que no es el deseado.

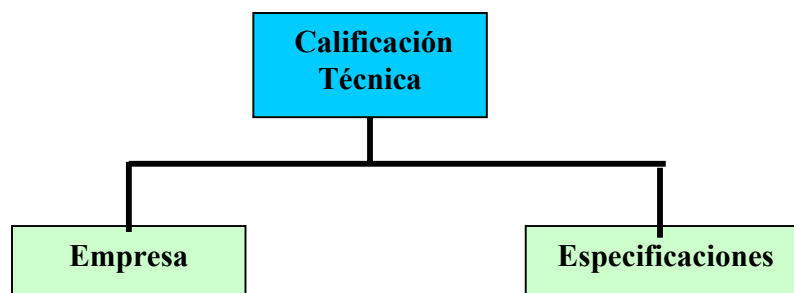


Figura 17

Criterios que soportan la decisión final

Dado que los criterios maestros se soportan sobre la evaluación de criterios inferiores, es conveniente para poder definirlos con claridad, esbozar o establecer los criterios inferiores que los soportan, a fin de lograr que su definición permita, al efectuar las pruebas de coherencia,

obtener un resultado confiable a los ojos de la U.D. y a su vez se pueda asignar el tipo de criterio.

Nivel dos

Empresa

El criterio empresa se soporta en dos sub-criterios:

1. Organización:

Se requiere: Que la empresa con la cual se contrate cuente con una estructura organizacional, una infraestructura y un personal que permitan una relación fluida con la CAMC para el desarrollo del proyecto.

Se desea evitar: Contratar a una empresa que no tenga la solidez, capacidad y flexibilidad suficiente y que implique a posteriori problemas de atrasos en los cronogramas, de soporte técnico, de planificación y de administración de recursos.

2. Experiencia:

Se requiere: Garantía de haber trabajado con estos sistemas, por ser de tecnologías de avanzada y de alta complejidad técnica.

Se desea evitar: Contratar empresas que aún cuando tengan la representación de un producto de calidad y una excelente organización, no tengan experiencia en la instalación de sistemas similares, lo que podría redundar en inconvenientes durante la puesta a punto de los mismos.

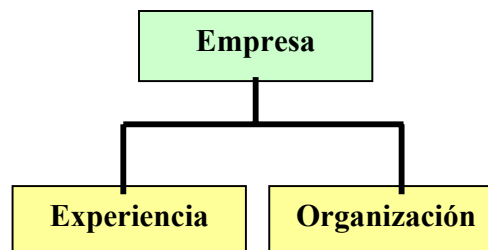


Figura 18

Criterios que soportan al criterio Empresa

Especificaciones Técnicas

El criterio Especificaciones técnicas se soporta en cuatro criterios:

1. Operatividad: Por operatividad se entiende la capacidad del sistema de cumplir con todos los aspectos funcionales solicitados en las especificaciones, estos aspectos tienen que ver con funcionalidad y manejo y gestión. Se desea evaluar la interfaz hombre-máquina tanto a nivel administración del sistema como a nivel de mantenimiento y operación.

2. **Gestión:** Evalúa si en particular lo relacionado con el software de gestión, administración y configuración del sistema. Para esto se utiliza el modelo de la ISO (International Standards Organization), publicado en los documentos ISO/IEC 9126-1; 9126-2 y 9126-3, de la mencionada organización.
3. **Aspectos físicos:** Cubre todo lo relacionado con las especificaciones técnicas deseadas y exigidas en los pliegos. Cubre lo concerniente a la capacidad instalada del sistema, su facilidad de expansión, sus parámetros eléctricos, etc.
4. **Cobertura:** Este criterio permitirá medir en parte la calidad de la solución propuesta por el oferente. Se busca medir si la cantidad de Km² de cobertura de señal es la solicitada y que tan eficiente es la solución propuesta para cubrir la mayor cantidad de área con el menor número de repetidoras.

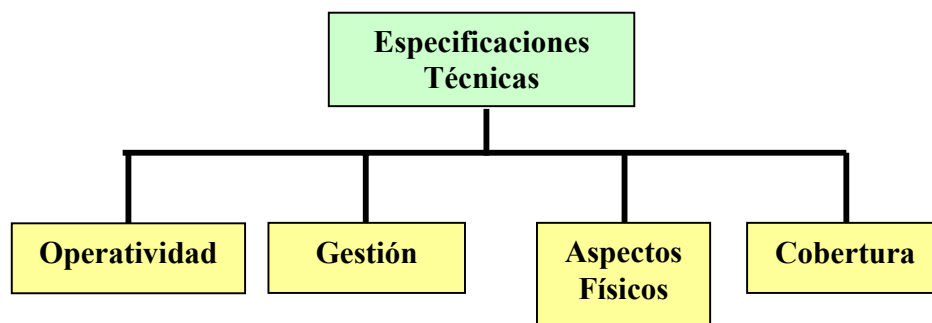


Figura 19

Criterios que soportan el criterio Especificaciones técnicas

Conocidos los criterios que soportan el nivel 1 del árbol se procede a efectuar las pruebas de coherencia para este nivel:

Pruebas de Coherencia Nivel 1 (Calificación Técnica)

Comprensión y Adhesión: Por construcción, los miembros de la UD comprenden el problema y el objetivo buscado, de forma que no expresan dudas a este nivel en cuanto a la adecuación de los criterios seleccionados para calificar a una empresa participante en el proceso.

Exhaustividad: Si dos ofertas obtienen la misma puntuación sobre cada uno de estos criterios o más aún si se obtuvieran diferentes puntuaciones sobre cada criterio, pero la puntuación final obtenida luego de la agregación fuese la misma, la UD conviene en que ambas ofertas sean evaluadas como idénticas, es decir le es indiferente a la UD seleccionar cualesquiera de las dos.

Cohesión: Por construcción existe cohesión. Cualquier oferta que supere a la otra, a este nivel se considera mejor.

No redundancia: En esta rama del árbol, esta prueba no es necesaria ya que para la UD no es posible prescindir de ninguno de los criterios planteados.

Por tanto se puede decir que a este nivel, los criterios seleccionados forman una FCC.

El desempeño sobre estos criterios se obtiene por agregación de los desempeños de criterios inferiores (en el sentido de su posición en el árbol) por tanto son criterios del tipo 1, como se definió en el capítulo anterior. En la tabla 15 se resumen las características asociadas a este nivel. La ponderación se redondeo a números enteros.

Calificación técnica					
Criterio	Tipo	Umbral de Indiferencia	Umbral de Preferencia	Forma de medición	Peso
Empresa	Verdadero	5%	X	1	0.40
Especificaciones	Verdadero	5%	X	1	0.60

Tabla 15

Resumen de características de los criterios Empresa y Especificaciones

Nivel Tres

Organización

El criterio Organización se soporta en cuatro sub-criterios base:

1. Estructura Organizacional: Este aspecto busca medir la capacidad que tiene la empresa para enfrentar este proyecto. Se requieren empresas que

posean dentro de su estructura unidades dedicadas a áreas como proyectos, importación, instalaciones, tecnología de la información, control de calidad, etc. Se filtran aquellas empresas consideradas de “maletín”.

2. Personal: El criterio personal busca evaluar la experticia de los ingenieros y técnicos que serán asignados al proyecto, para esto se solicitan los certificados de cursos en los sistemas de interés, su participación en proyectos similares, tiempo en la empresa, etc.
3. Infraestructura: También busca medir la capacidad operacional de la empresa en cuanto a almacenes, maquinarias, equipos, instrumentos de medición, salas de capacitación, laboratorios y talleres.
4. Soporte del Fabricante: Este parámetro, junto con la experiencia es uno de los más importantes ya que pretende medir el grado de apoyo con que cuenta la empresa de la casa matriz fabricante de los equipos que representa. Sin la presentación de certificados como representante, Distribuidor, Integrador o similar, automáticamente la empresa queda descalificada.

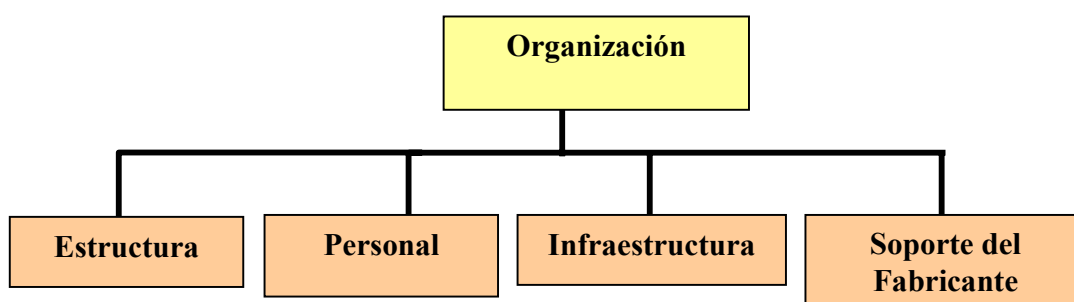


Figura 20

Criterios que soportan el criterio Organización

Experiencia

Este es un criterio base que se soporta en la agregación aritmética, de cinco aspectos, que miden de forma apreciativa la experiencia de la empresa en diversas áreas técnicas, relacionadas con cierto tipo de instalaciones en radiocomunicaciones. Este criterio se decidió evaluarlo por medio de curvas de valoración; el desarrollo de las curvas se detalla en el anexo 2.

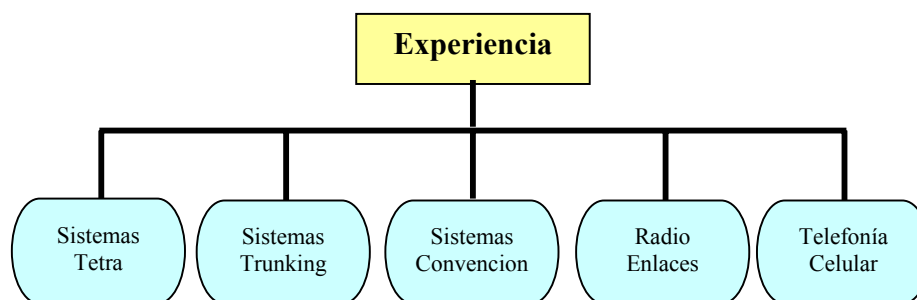


Figura 21

Aspectos que soportan el criterio experiencia

Pruebas de Coherencia Nivel 2 (Empresa y Experiencia)

Para la UD una empresa queda completamente caracterizada bajo los cuatro criterios seleccionados (estructura, personal, infraestructura, soporte del fabricante). Estos son criterios base y se evaluarán de forma apreciativa (tipo 1). De esta forma, es posible decir que los criterios se consideran exhaustivos, cohesionados y mínimos (no redundantes). Adicionalmente, es importante señalar que el criterio soporte del fabricante posee lo que en el capítulo 2, se denominó veto, que en este caso implica que la no posesión de un certificado de ser al menos representante de una empresa fabricante de los equipos ofertados, es causa suficiente para la descalificación de la empresa. A este nivel, los criterios seleccionados forman una familia coherente.

Por otra parte, la experiencia es un criterio base y su evaluación se realiza por medio de la ponderación de cinco aspectos, cada uno de ellos soportado por una curva de valoración, previamente generadas por la UD, tal y como se indica en el anexo 2. Siendo que la evaluación a través de las curvas de valoración tiene un umbral mínimo de un (1) escalón en la escala de Saaty, este criterio también se considera quasi criterio con un umbral de indiferencia de uno (1).

El resultado final de este nivel se muestra en la tabla 16.

Empresa					
Criterio	Tipo	Umbral de Indiferencia	Umbral de Preferencia	Forma de medición	Peso
Organización	Quasi criterio	5%	X	1	0.5
Experiencia	Quasi criterio	5%	X	1	0.5

Tabla 16

Resumen de características de los criterios Organización y Experiencia

Organización					
Criterio	Tipo	Umbral de Indiferencia	Umbral de Preferencia	Forma de medición	Peso
Estructura	Quasi criterio	5%	X	2	0.25
Personal	Quasi criterio	5%	X	2	0.27
Infraestructura	Quasi criterio	5%	X	2	0.20
Soporte del Fabricante	Quasi criterio	5%	X	2	0.28

Tabla 17

Resumen de características de los criterios Estructura, Personal, Infraestructura y Soporte del fabricante

Gestión

Para evaluar el criterio Gestión se utilizará el modelo de la ISO (International Standards Organization), publicado en los documentos ISO/IEC 9126-1; 9126-2 y 9126-3, de la mencionada organización. (Stamelos, 2000). Se considera sólo el aspecto software de la gestión, ya que el hardware será evaluado dentro del criterio denominado aspectos técnicos. Este modelo da una guía general para la evaluación de un producto o paquete de software, basándose en la evaluación de los siguientes atributos: funcionabilidad, confiabilidad, utilización, eficiencia, mantenibilidad y portabilidad.

Este es uno de los criterios más importantes a evaluar dentro del aspecto técnico. Con él se evalúa la interfaz hombre-máquina, mediante la cual se realizaran la operación y supervisión del sistema.

Como se mencionó anteriormente, para evaluar este criterio se utiliza un modelo estandarizado basado en seis criterios macro, soportándose cada uno en una serie de aspectos evaluables, que permiten generar las dimensiones y escalas de evaluación, adaptándolas a su caso particular. Los criterios de evaluación son los siguientes:

Funcionamiento: Se define como el grado de existencia de un conjunto de funciones que satisfacen las necesidades particulares deseadas, se puede descomponer en:

- **Conveniencia:** Grado de presencia de un conjunto de funciones para una labor específica.
- **Exactitud:** Grado de precisión con la cual cumple las tareas
- **Interoperabilidad:** Capacidad de interactuar con diversos hardware ó ambientes operativo.
- **Cumplimiento:** Grado de adherencia a las normas de la aplicación.
- **Seguridad:** Capacidad de prevenir accesos no autorizados.

Confiabilidad: Capacidad del software de mantener su nivel de desempeño bajo condiciones establecidas por un período de tiempo.

- **Madurez:** Frecuencia de fallas.
- **Tolerancia a fallas:** Capacidad de mantener un determinado nivel de desempeño en caso de fallas de software.
- **Capacidad de recuperación:** Capacidad del software de restablecer su nivel original de desempeño y recuperar la data afectada en caso de falla.

Utilización: Esfuerzo que requiere el usuario para utilizar el software.

- **Comprensión:** Esfuerzo requerido por el usuario para comprender los conceptos del software.
- **Facilidad de aprendizaje:** Esfuerzo para aprender a utilizar el software.
- **Operación:** Esfuerzo del usuario para la operación y control de la operación.

Eficiencia: Relación entre el nivel de desempeño del software y la cantidad de recursos del sistema utilizados.

- Comportamiento en tiempo: Tiempo de respuesta del Software y tiempo de procesamiento, “Throughputs rates”.
- Utilización de recursos: Desempeño del software en la utilización de recursos.

Mantenibilidad: Esfuerzo necesario para efectuar modificaciones

- Diagnostico: Esfuerzo necesario para diagnosticar de fallas.
- Configuración: Esfuerzo necesario para modificación o cambios de parámetros.
- Estabilidad: Riesgo no esperado por efecto de las modificaciones.
- Pruebas: Esfuerzo necesario para validar modificaciones.

Portabilidad: Capacidad de ser transferido de un ambiente a otro.

- Adaptabilidad: Oportunidad de adaptarlo en diferentes ambientes.
- Instalación: Esfuerzo necesario para instalar el software.
- Estandarización: Grado en el cual el software se adhiere a los estándares o convenciones relativas a la portabilidad.
- Capacidad de Reemplazo: Oportunidad y esfuerzo de utilizar el software en lugar de un viejo software.

Para el caso en especial de los sistemas de gestión, con relación al Funcionamiento, nos interesa la Conveniencia, Interoperabilidad y Seguridad, podemos prescindir de la Exactitud y el Cumplimiento. La Confiabilidad no la podemos medir con facilidad, puesto que implica un conocimiento a priori y en general todos estos productos son altamente confiables. El criterio Utilización, no es aplicable, ya que el personal que utilizará el software esta capacitado para comprenderlo con facilidad. La Eficiencia, en este caso no es un parámetro evaluable independientemente del sistema que supervisa el sistema de gestión, por tanto tampoco se considerará. En cuanto a la Mantenibilidad interesa el parámetro Diagnóstico, por lo relativo a la capacidad de diagnosticar, clasificar y analizar fallas; también es

importante el parámetro Configuración, con el cual se evaluará la capacidad de permitir cambios en la configuración del sistema. Por último en la Portabilidad, se requiere evaluar la Adaptabilidad a fin de conocer si el software trabaja bajo diversas plataformas de equipos y la estandarización, aspecto que mide el apego a las normas internacionales.

Aún cuando se aplique el modelo ISO para la evaluación del software, la evaluación final sigue siendo necesariamente subjetiva, de esta forma la escala de medición de cada parámetro dependerá de la valoración que cada miembro de la unidad de decisión decida, según su escala de valores, su experiencia y preferencias. Por tanto se utilizará la escala propuesta por Saaty (del 1 al 9) haciendo coincidir el 1 con el no cumplimiento del parámetro evaluado y el 9 como indicador de que sobrepasa lo solicitado o esperado. Todos estos parámetros se resumen en las tablas 18 a la 21.

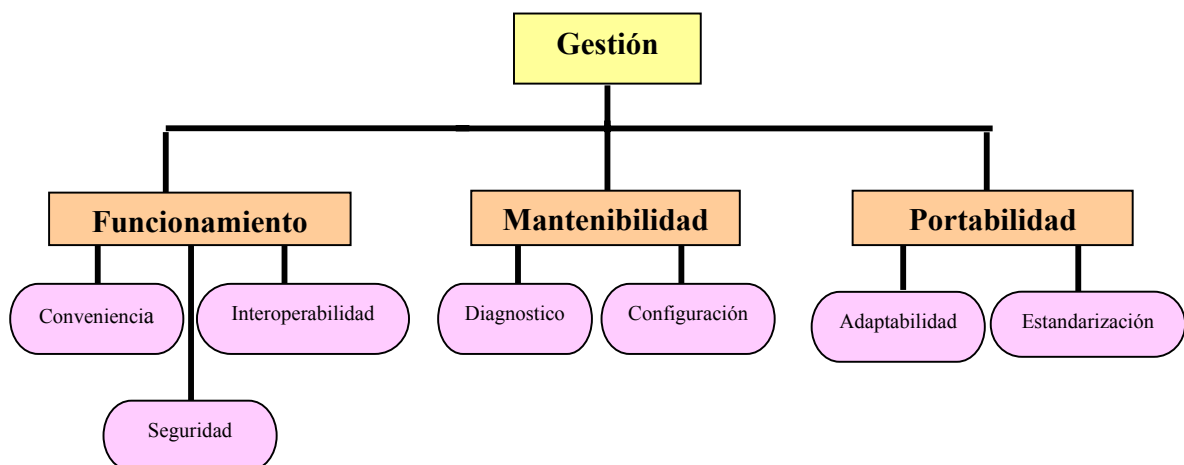


Figura 22

Criterios que soportan el criterio Interoperabilidad.

Pruebas de Coherencia (Gestión)

Dado que el conjunto de criterios que soportan al criterio gestión, están basados en un método avalado por una norma de reconocimiento internacional y a los ojos de la UD los criterios de evaluación seleccionados son suficientemente representativos de las bondades que se buscan, este conjunto de criterios se asume coherente.

Gestión					
Criterio	Tipo	Umbral de Indiferencia	Umbral de Preferencia	Forma de medición	Peso
Funcionamiento	Quasi criterio	5%	X	1	0.40
Mantenibilidad	Quasi criterio	5%	X	1	0.35
Portabilidad	Quasi criterio	5%	X	1	0.25

Tabla 18

Resumen de características de los criterios Funcionamiento, Mantenibilidad y Portabilidad

Funcionamiento		
Criterio	Forma de medición	Peso
Conveniencia	2	0.30
Interoperabilidad	2	0.40
Seguridad	2	0.30

Tabla 19

Resumen de características de los criterios Conveniencia, Interoperabilidad y Seguridad

Mantenibilidad		
Criterio	Forma de medición	Peso
Diagnóstico	2	0.5
Configuración	2	0.5

Tabla 20

Resumen de características de los criterios Diagnóstico y Configuración

Portabilidad		
Criterio	Forma de medición	Peso
Adaptabilidad	2	0.5
Estandarización	2	0.5

Tabla 21

Resumen de características de los criterios Adaptabilidad y Estandarización

Operatividad

El criterio Operatividad se soporta en dos criterios intermedios:

1. Funcionabilidad: Evalúa el cumplimiento de las especificaciones funcionales solicitadas al sistema, orientadas hacia los servicios particulares en lo referente a transmisión de voz y datos, así como las facilidades que brinda. Se verifica el apego a las especificaciones Funcionales.
2. Manejo: Aquellas características solicitadas, referentes a la interfaz Hombre Máquina, que no tengan que ver con el software de gestión. Esta evaluación esta orientada hacia las facilidades brindadas al técnico que mantiene el sistema.

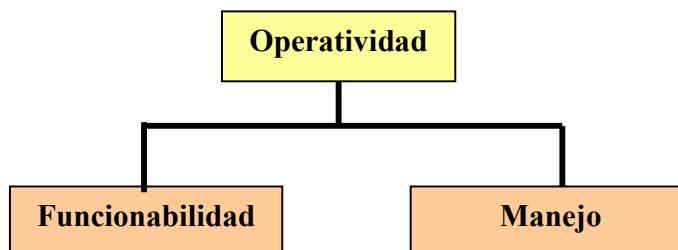


Figura 23

Aspectos que soportan el criterio Operatividad

Tanto el criterio Funcionabilidad como Manejo, evalúan una gran cantidad de aspectos, agrupados por tipo de equipos; en su mayoría son difíciles de evaluar ya que su valoración depende de la experiencia, formación y preferencias de cada uno de los integrantes de la UD. Como este sistema en particular es bastante reciente y no existen experiencias en el país, la evaluación de los aspectos se efectuará de forma apreciativa (tipo 1).

Aspectos Físicos

Este criterio se soporta en dos criterios intermedios:

1. Posibilidad de Expansión: Mide de que forma y hasta donde puede ampliarse el sistema ofertado. La consecuencia de esta evaluación esta en prever una posible ampliación del equipo a futuro, de forma que soporte más carga o funciones adicionales.
2. Características Técnicas: Todos aquellos aspectos que miden parámetros eléctricos, mecánicos y ambientales. En su gran mayoría son del tipo cumple no cumple. No obstante se deja abierta la posibilidad de dar puntuaciones intermedias.

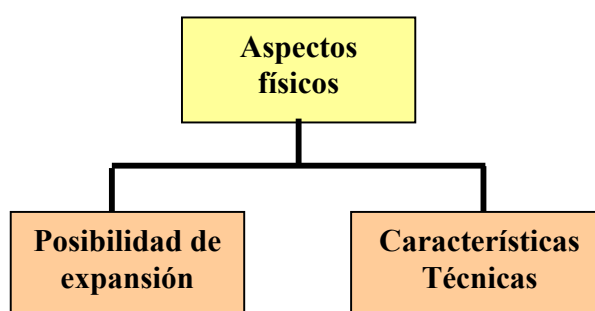


Figura 24

Aspectos que soportan el criterio Aspectos físicos.

Así como el criterio operatividad evalúa el cumplimiento de las especificaciones funcionales, este criterio mide el apego a las especificaciones técnicas solicitadas. Cada uno de los criterios Posibilidad de expansión y Características técnicas, evalúan una gran cantidad de aspectos solicitados en las especificaciones técnicas.

Cobertura

El criterio Cobertura se soporta en los siguientes:

1. Área Cubierta: Mide la cantidad de Km2 cubiertos en el área metropolitana. Permite verificar tanto el cumplimiento de la cobertura en las zonas solicitadas como evaluar el área adicional que se cubre, como un valor agregado.
2. Eficiencia: Permite conocer la eficiencia de la solución propuesta para cubrir el área señalada ($\text{Área} / \#$ de estaciones repetidoras). Este criterio complementa la información obtenida con el anterior.

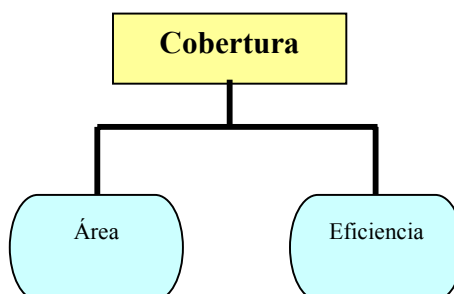


Figura 25

Aspectos que soportan el criterio Cobertura.

Estos criterios son evaluados como del tipo 6. Se compararán las ofertas contra aquella que presente el mejor valor en cada uno de los criterios.

Pruebas de Coherencia Nivel 2 (Especificaciones Técnicas)

Para la UD. estos cinco criterios (gestión, operatividad, aspectos físicos, cobertura e interoperabilidad) resumen la evaluación de las especificaciones técnicas, por tanto por construcción son coherentes. Aún cuando pueden existir dudas para una persona ajena al proceso, se debe recordar, como se mencionó que cada criterio se soporta en una gran cantidad de aspectos técnicos claramente definidos, lo que en cierta forma diluye la subjetividad al ser la evaluación final resultado de la ponderación de todos ellos. Los criterios seleccionados forman una familia coherente. En la tabla 22, se resume la descripción de cada uno de estos criterios y su ponderación.

Especificaciones Técnicas					
Criterio	Tipo	Umbral de Indiferencia	Umbral de Preferencia	Forma de medición	Peso
Gestión	Quasi criterio	5%	X	1	0.25
Operatividad	Quasi criterio	5%	X	1	0.25
Aspectos técnicos	Quasi criterio	5%	X	1	0.25
Cobertura	Quasi criterio	5%	X	6	0.25

Tabla 22

Resumen de características de los criterios Gestión, Operatividad,

Aspectos técnicos y Cobertura.

Nivel Cuatro

Funcionabilidad

El criterio Funcionabilidad se soporta en la evaluación de un conjunto de aspectos, divididos por áreas de interés, tal y como se muestra en la figura. El resultado final es la sumatoria de los evaluaciones individuales divididas por el número de aspectos evaluados y ponderados según lo que se indica en la tabla 23.

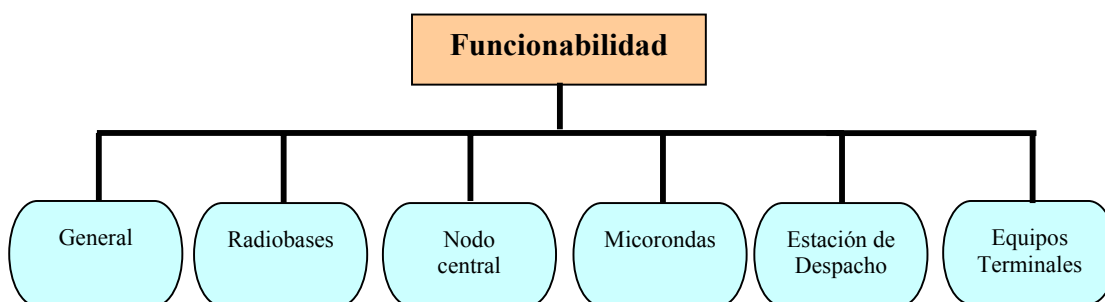


Figura 26

Aspectos que soportan el criterio Funcionabilidad.

Funcionabilidad		
Criterio	Forma de medición	Peso
General	2	0.20
Radiobases	2	0.20
Nodo central	2	0.25
Radioenlaces	2	0.15
Estación Despacho	2	0.10
Terminales	2	0.10

Tabla 23

Resumen de características de los aspectos que soportan el criterio Funcionabilidad

Manejo

Similar en estructura al criterio funcionamiento, evalúa las facilidades brindadas al personal de mantenimiento. El resultado final es la sumatoria de las evaluaciones individuales divididas por el número de aspectos evaluados y ponderados según lo que se indica en la tabla 24.

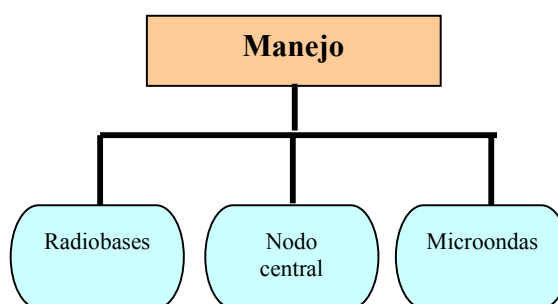


Figura 27

Aspectos que soportan el criterio Manejo.

Manejo		
Criterio	Forma de medición	Peso
Radiobases	2	0.30
Nodo central	2	0.40
Microondas	2	0.30

Tabla 24

Resumen de características de los aspectos que soportan al criterio Manejo

Pruebas de Coherencia Nivel 3 (Operatividad)

Para la UD estos dos criterios (Funcionabilidad y manejo) resumen la evaluación de la operatividad solicitada en el sistema. Aún cuando para un observador externo puedan existir otras formas de evaluar la operatividad de un sistema de este tipo, para los miembros de la UD los criterios se consideran consecuentes con el objetivo planteado, por tanto por construcción son coherentes. Cada criterio se soporta

en una gran cantidad de aspectos técnicos, lo que en cierta forma diluye la subjetividad al ser la evaluación final resultado de la ponderación de todos ellos. En la tabla 25, se resume la descripción de cada uno de estos criterios y su ponderación.

Operatividad					
Criterio	Tipo	Umbral de Indiferencia	Umbral de Preferencia	Forma de medición	Peso
Funcionabilidad	Quasi criterio	5%	X	1	0.60
Manejo	Quasi criterio	5%	X	1	0.40

Tabla 25

Resumen de características de los criterios

Funcionabilidad y Manejo.

Posibilidad de expansión

Con este criterio se evalúa la capacidad de crecimiento del sistema a futuro, por cada tipo de equipo y algunos aspectos del sistema en general. El resultado final es la sumatoria de las evaluaciones individuales divididas por el número de aspectos evaluados y ponderados según lo que se indica en la tabla 26.

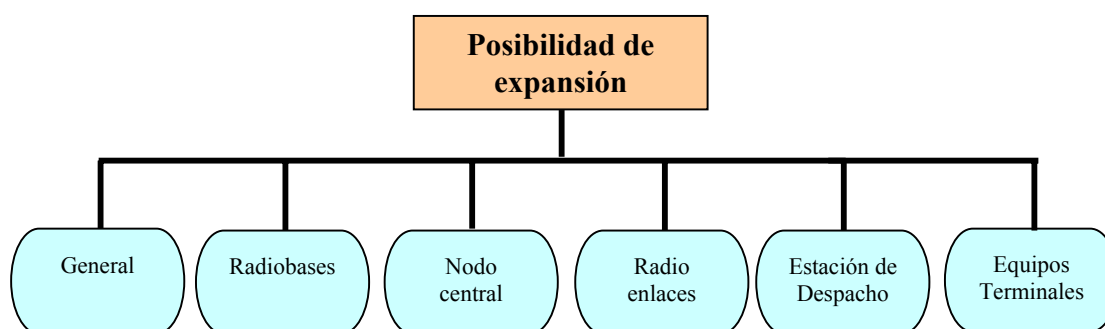


Figura 28

Aspectos que soportan el criterio Posibilidad de Expansión.

Posibilidad de expansión		
Criterio	Forma de medición	Peso
General	2	0.15
Radiobases	2	0.23
Nodo central	2	0.30
Radio enlaces	2	0.12
Estación despacho	2	0.15
Equipos terminales	2	0.05

Tabla 26

Resumen de aspectos que soportan al criterio Posibilidad de Expansión.

Características físicas

Similar a los dos anteriores. Se resumen aquí todas las características técnicas que no pudieron agruparse en ninguno de los criterios anteriores, así como aquellas relativas a los elementos accesorios menores pero indispensables para la implementación del sistema. El resultado final es la sumatoria de las evaluaciones individuales divididas por el número de aspectos evaluados y ponderados según lo que se indica en la tabla 27.

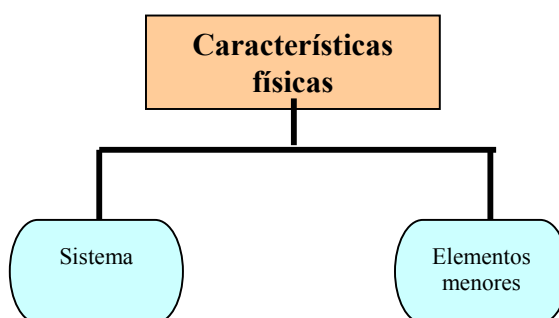


Figura 29

Aspectos que soportan el criterio Características Físicas.

Características Físicas			
Criterio	Cantidad de Aspectos	Forma de medición	Peso
Sistema		3	0.58
Elementos menores		3	0.42

Tabla 27

Resumen de aspectos que soportan al criterio Características físicas.

Pruebas de Coherencia Nivel 3 (Aspectos técnicos)

Similar a lo expresado para el criterio Operatividad. En la tabla, se resume la descripción de cada uno de estos criterios y su ponderación.

Aspectos técnicos					
Criterio	Tipo	Umbral de Indiferencia	Umbral de Preferencia	Forma de medición	Peso
Posibilidad expansión	Quasi criterio	5%	X	1	0.55
Aspectos técnicos	Quasi criterio	5%	X	0.45	0.45

Tabla 28

Resumen de características de los criterios
Posibilidad de Expansión y Aspectos Técnicos

En conclusión una vez que la UD definió el problema, estableció el objetivo que se persigue y determinó los criterios de evaluación, los definió, asignó las escalas de medición, límites, umbrales, habiendo estructurado el árbol de criterios y considerando los miembros que la problemática planteada es comprendida, las técnicas y métodos utilizados son aceptados como válidos (Adhesión) y que la construcción y aplicación de las pruebas de coherencia (Exhaustividad, Cohesión y

No redundancia) dan como resultado un conjunto de criterios que toma en cuenta todos los ejes pertinentes al problema, esta de acuerdo en declarar que la familia de criterios construida es coherente y por tanto refleja las preferencias de los miembros de la UD y las aspiraciones de la empresa en obtener la mejor alternativa en el proceso de licitación.

4.4 Fase 3: Evaluación de las alternativas

En este ejemplo se optó por trabajar con la agregación aditiva en todos los niveles del árbol de criterios. No obstante, es importante señalar que para el proceso de licitación señalado, la necesidad de implementar los tres sistemas (Radiocomunicación, transporte de datos y video conferencia) hace que sea conveniente utilizar la forma de agregación multiplicativa denominada media geométrica dual ponderada, que permite evaluar con mejor puntuación a las alternativas que presenten un desempeño equilibrado en los criterios, y de la misma forma penalizar los desbalances. Esta forma de agregación puede aplicarse en cualquier nivel del árbol, sin que implique un aumento en la complejidad del modelo.

La agregación multiplicativa es interesante, en procesos de licitación, cuando el ente contratante desea lograr lo siguiente:

- Mantener desempeños equitativos, pudiendo deberse a que se busca obtener una solución en la que no se pueda despreciar un aspecto en particular.
- Las alternativas con menor puntuación son penalizadas más severamente (la escala no es lineal).

A fin de ejemplificar la metodología propuesta, se solicitó la colaboración de dos miembros de la UD, quienes junto con mi persona, efectuamos la

evaluación de las ofertas reales presentadas en por las empresas participantes en el proceso de licitación mencionado.

En esta licitación participaron tres empresas, las cuales denominaremos *A*, *B* y *C*. La empresa ganadora fue la empresa *A*, la cual destacó de forma sobresaliente sobre las otras dos, tanto en el área Empresa como en el área, Especificaciones Técnicas. La empresa *B* obtuvo el segundo lugar de la calificación, no obstante a juicio del comité evaluador la empresa *C* debió obtener el segundo lugar, estando más cerca de la empresa *A* que de la *B*.

Se determinó que el diseño de la matriz de evaluación no permitía ordenar las ofertas según lo que las preferencias del comité de evaluación, dada su experiencia en el área y la documentación presentada por las empresas demostraban.

Con la aplicación de la matriz diseñada en este ejemplo se pretende determinar si la misma permite obtener el resultado esperado, es decir el orden siguiente *A - C - B*. Para lograr esto se utilizó el formato incluido en el anexo 3, se les explicó la metodología de evaluación a los evaluadores y se procedió al llenado de las planillas.

Una vez llenadas las tablas de desempeño para cada alternativa, por cada miembro del comité evaluador, se ponderaron las evaluaciones individuales y se generó una tabla de desempeño resumen, con indicación de los valores máximos, mínimos y promedios obtenidos en cada criterio, como se muestra en el anexo 3.

Una forma con la que se acostumbra agregar las evaluaciones de varios evaluadores, es eliminar las puntuaciones mayores y menores y tomar la media de las evaluaciones restantes. Esto añade un elemento adicional de filtrado, evitando las desviaciones exageradas que pueden surgir por múltiples motivos. En este caso, dado el escaso número de evaluadores no se aplicó esta recomendación.

4.5 Fase 4, Análisis de Robustez y recomendación

La prueba de robustez, como se menciona en el capítulo 2 tiene como finalidad determinar que tan cierto es el ordenamiento de ofertas obtenido luego de aplicada la metodología planteada. Dado que tanto los pesos asignados a los criterios, como los desempeños de las ofertas sobre cada criterio evaluado a través de una curva de valoración, son el resultado de la media aritmética obtenida de los valores asignados por los integrantes de la UD, el ordenamiento alcanzado puede ser visto como un valor puntual, resultado de la aplicación de un vector de pesos y/o un vector de desempeños en particular.

Por ejemplo, si tomáramos los valores mínimos y máximos de los desempeños para cada criterio, resultado de tomar el mínimo valor que el integrante X de la UD asignó al desempeño del criterio K y el máximo valor que el integrante Y asignó a ese mismo criterio, y así para todos los criterios, el resultado de la agregación de los desempeños de cada oferta será un intervalo de solución.

Entonces, una forma de conocer la robustez de la solución, es que si no se solapan los intervalos de los resultados obtenidos de la agregación de los criterios, para las dos primeras ofertas (por ejemplo), entonces la recomendación final es suficientemente sólida ante las indeterminaciones subyacentes en las curvas de valoración. En caso de que exista solapamiento, se deben afinar las curvas de valoración a fin de minimizar estas indeterminaciones.

Puede suceder que continúe existiendo el solapamiento, debido al mismo fenómeno ocasionado por el procedimiento de asignación de las ponderaciones ó que la eliminación de solapamientos requiera un análisis multivariable, ya que es ocasionado por diversos factores. El análisis de robustez es una herramienta que permite avalar con mayor seguridad los resultados presentados, al buscar minimizar los efectos de

las imprecisiones de las variables con mayor carga de subjetividad de la metodología.

En relación con el ejemplo, como se observa en la figura denominada “Posición de las ofertas evaluadas” del anexo 3, se obtuvo el ordenamiento esperado, a saber $A - C - B$, destacándose lo siguiente:

- La empresa A sobresale sobre las otras dos, de la misma forma que lo hizo en el proceso de licitación real.
- La separación entre los intervalos de evaluación de las ofertas es lo suficientemente grande como para afirmar que el resultado obtenido no presenta dudas sobre su validez.
- La oferta presentada por la empresa C esta más cerca de la empresa A que de la B , obteniéndose el resultado esperado, según la opinión del grupo evaluador.

Este ejemplo no intenta demostrar que los resultados obtenidos sean válidos, en la evaluación efectuada la opinión del grupo evaluador se encuentra, en cierto sentido sesgada, dado que ya se conocían las ofertas y el resultado final. En resumen sólo se pretende ilustrar la metodología propuesta, a fin de demostrar por una parte la forma de hacerla operacionalmente aplicable y por la otra la bondad de la misma de servir como marco referencial para su utilización en la compleja problemática de los procesos de licitación.

4.6 Comparación de la metodología actual y la forma tradicional de trabajar.

Ya se ha mencionado, que dentro del marco legal que rige los procesos de licitaciones, no existe una metodología que sirva de referencia o de guía para generar un modelo de evaluación. Tampoco, dentro de los

entes públicos, donde existen infinidad de procesos de licitación, unos más complejos que otros, no existe en general, una guía que le permita a la unidad que elabora la documentación, generar y dimensionar los criterios que componen la matriz de evaluación.

La principal diferencia con la forma tradicional de llevar estos procesos, se encuentra en que el modelo de soporte a la decisión propuesto, presenta un conjunto de herramientas que permiten obtener un resultado, que toma en cuenta a todos los actores involucrados en el proceso y de manera sistemática va construyendo una solución aceptada por todos. La forma tradicional de elaborar las matrices de evaluación, no cuenta con ningún mecanismo de verificar la coherencia de la misma, por lo tanto no es posible detectar problemas de redundancia en los criterios, inconsistencia en las escalas de medición ni la falta de criterios que permitan establecer una clara diferenciación entre dos alternativas, cuando existen dudas en diferenciar el desempeño, por parte de alguno o algunos miembros de la unidad de decisión.

La metodología propuesta acepta la inclusión de elementos subjetivos dentro del modelo. Le da libertad al analista de utilizar varios tipos de herramientas y añade una herramienta de validación de los resultados obtenidos. Dentro de la experiencia del autor, siempre se le da mayor importancia a los documentos de especificaciones que a los criterios para la evaluación en los procesos de licitación. De hecho, el tiempo, personal y recursos invertidos en la primera actividad es muy superior al de la segunda. Existe la tendencia a utilizar matrices de evaluación de procesos anteriores, efectuándoles pequeñas adaptaciones, sin efectuar un análisis de validez de la aplicabilidad de esos criterios en el problema que se está modelando.

Es importante para la persona que tome el papel de analista, hacer comprender a los actores en el proceso que la selección final se realiza

de acuerdo a lo que señale la matriz de evaluación, la cual se apoya en lo solicitado en las especificaciones y no al contrario. Quizás, más que error es la costumbre de afrontar un problema desde un punto de vista del ingeniero o técnico, cuando lo que se requiere es de una visión diferente, como la propuesta en esta metodología.

Como resultados prácticos basta observar la diferencia entre la matriz de evaluación original utilizada en el proceso de licitación y la que se obtuvo luego de aplicada la metodología. Claramente existe:

- Una estructura jerárquica de criterios, que permite comprender con mayor facilidad lo que se busca con el proceso de evaluación, resaltando las relaciones e importancia de cada criterio, en el conjunto de evaluación.
- Una estructura que evita o minimiza la aparición de doble pesaje.
- Una minimización del sesgo hacia un criterio que tienda a favorecer a un participante.
- La facilidad de premiar por sobre logros y penalizar por incumplimientos, de forma que se refleje dicha evaluación en el resultado final y no se diluya junto con otros desempeños de menor cuantía.
- Un proceso de construcción iterativo, de forma que permite reconsiderar aspectos no tomados en cuenta o desechar aquellos que no se relacionen directamente con el objetivo planteado
- Un respaldo a la opinión de la mayoría y respeto a la opinión de la minoría, ya que se toma en cuenta la opinión de un colectivo y no de una individualidad.

Por último cabe destacar que esta metodología potencia la aplicación de los principios establecidos en la ley en cuanto a la igualdad, competencia, honestidad y transparencia, en comparación con la forma tradicional presentada en este ejemplo.

ESPECIFICACIONES

ORGANIZACIÓN

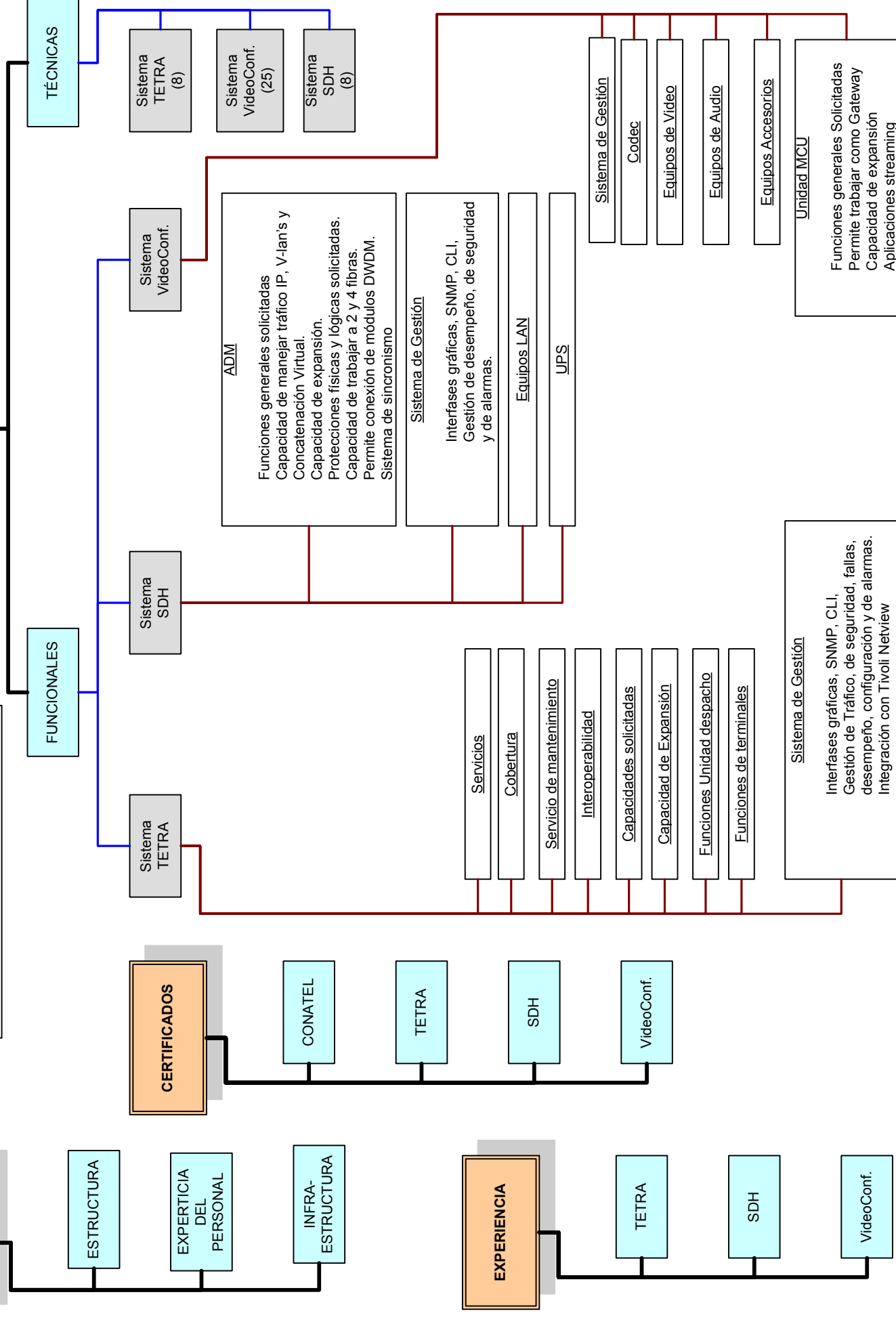
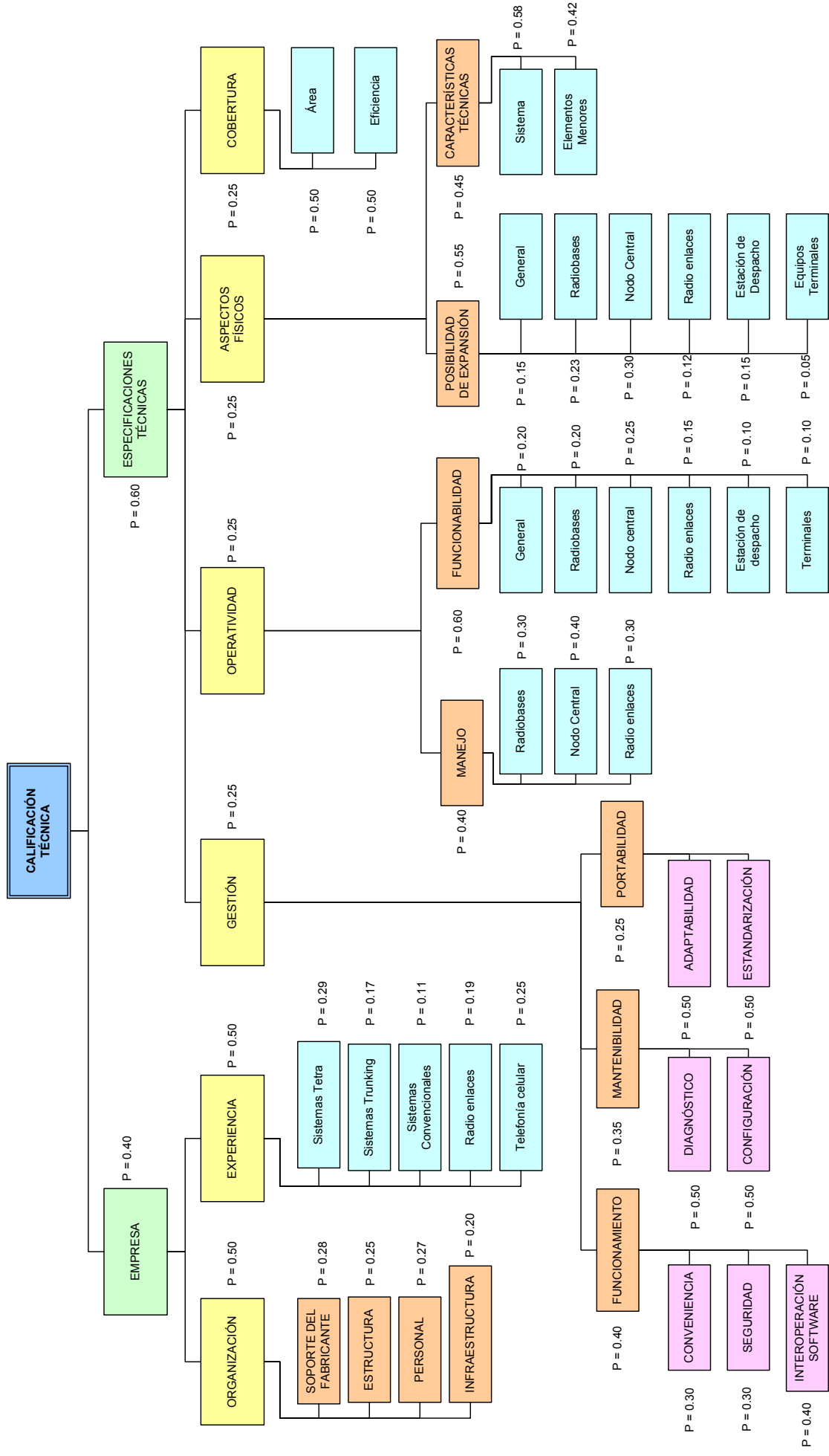


Figura 31 Diagrama intermedio de criterios generado al aplicar la metodología propuesta.



Figura 32
Árbol de Criterios generado a través de la metodología
propuesta



Conclusiones y recomendaciones

La metodología propuesta pretende brindar herramientas que permitan a las unidades de decisión dentro de los entes de la administración pública, plantearse el problema de las licitaciones en el marco conceptual de la Escuela Francesa de Soporte a la Toma de Decisiones. La cual, como se ha descrito a lo largo de esta exposición, se adapta mejor a la problemática del sector público que su contraparte americana.

Ante todo, al plantearnos problemas en el área social donde entran en consideración infinidad de factores, con múltiples criterios muchos de ellos con una elevada carga de indeterminación, incertidumbre e imprecisiones propias de evaluaciones subjetivas, es difícil aplicar los modelos matemáticos tradicionales, de ahí la necesidad de enfocar el problema con herramientas que permitan manejar la subjetividad sin entrar en la arbitrariedad.

Los métodos empleados buscan ser de fácil comprensión e implementación de forma que la metodología pueda ser aceptada. No se está a la búsqueda de un óptimo matemático, sino de una solución satisfactoria para los actores del proceso. Los métodos que se presentan no son necesariamente los únicos disponibles, sólo se seleccionaron aquellos que se consideraron adecuados, por ser simples sin dejar de ser exhaustivos y soportados suficientemente dentro de la teoría de toma de decisiones.

Más allá de lo anterior, la importancia de este trabajo para el autor, está en que brinda otra visión a la tradicionalmente utilizada en los entes públicos, en el modelaje de situaciones con alto contenido de subjetividad, la cual es inherente a todo proceso humano de toma de decisiones, de forma de no descartarla a priori como un elemento no científico, sino más bien integrarla y utilizarla en pro de la consecución de los objetivos que cada problema plantea.

Las aproximaciones monocriterio no permiten atrapar en una única ecuación la complejidad del problema de licitaciones públicas, es altamente improbable obtener consenso en todos los aspectos que lo componen, dado que los elementos dependen de un sistema particular de valores y se encuentran entrecruzados a un gran número de otras opciones en un modelo que luce inevitablemente complicado y opaco.

Ignacio Velez Pareja en su libro, *Decisiones empresariales bajo riesgo e incertidumbre*, lo expresa de esta forma:

“Un problema real tiene demasiadas variables, demasiadas restricciones y demasiados actores o afectados y el comportamiento de esas variables, esos actores y esas restricciones son impredecibles; muchas veces imposibles de modelar (léase medir y a veces medir no implica necesariamente cuantificar) por lo tanto, pretender concentrar en una sola cifra toda la complejidad de los elementos que componen la realidad es algo menos que ingenuo.”

Con este trabajo se utilizaron técnicas y métodos conocidos para concebir un nuevo procedimiento que permita la estructuración de un conjunto de criterios de forma que en conjunto se considere coherente; el planteamiento original fue generar una metodología guiados por una visión constructivista (proceso de consenso entre el analista y el decisor), en la cual se dejará al analista un cierto grado de libertad que le permita seleccionar las herramientas que considere adecuadas para enfrentar el problema. De ahí, surge la necesidad de conocer bien el basamento axiomático de cada herramienta, a fin de conocer qué se puede o no hacer.

Se logra constituir una metodología que permite introducir una forma de organización racional en el proceso de evaluación de licitaciones públicas, a fin de permitir afrontar el problema de forma clara y estructurada.

Luego de la investigación bibliográfica realizada y como se mencionó en el capítulo 3, no se tiene conocimiento de alguna metodología similar aplicada al campo de las licitaciones públicas en el ámbito nacional; a nivel internacional sólo se encontró una referencia de un trabajo similar, el cual refiere a una empresa europea, dedicada a prestar servicios de soporte a la decisión a los entes públicos para la estructuración y seguimiento de procesos de licitación. No obstante no pudo encontrarse información adicional para consultas. Esta carencia de información, hace a esta línea de investigación un campo fértil para posteriores trabajos.

Uno de los aspectos que queda pendiente, es lo relacionado con la aplicación de los métodos de agregación parcial. Métodos como Electre, pueden ser implementados en hojas de cálculo y aplicados a la problemática planteada, la comparación de los resultados obtenidos y su comparación con los métodos de agregación total como el planteado, dejan abierta una puerta para futuros trabajos.

Otro planteamiento que, en opinión del autor, sería interesante de analizar es la aplicación de un método interactivo informatizado, sería una solución excelente para enfrentar la problemática de licitaciones; se haría uso de las facilidades brindadas hoy en día por las tecnologías de la información (Redes de datos, Internet, Intranets, etc...) tanto para la recepción de las ofertas como para su evaluación por el grupo de decisión y se apoyaría en la posibilidad de instrumentar las licitaciones electrónicas, dispuesta en los últimos siete artículos de la Ley de Licitaciones.

La presente metodología debe ser evaluada en la práctica, con procesos de licitación similares al mostrado en el ejemplo. No obstante, es opinión del autor que esta metodología puede extender su campo de

aplicabilidad hacia el planteamiento y solución de problemas en otras áreas. Aplicando algunas mejoras y adaptaciones puede utilizarse en la elaboración de matrices de decisión, por ejemplo en problemas de diseño industrial y problemas ambientales.

El núcleo de la metodología, se encuentra en la construcción del conjunto de criterios utilizados como herramienta para permitir sumarizar un conjunto de evaluaciones, para lo cual se utilizaron los postulados de Bernard Roy. Un criterio es un modelo que permite establecer relaciones de preferencia entre alternativas. La calidad en la construcción de este modelo es crucial para la calidad del proceso de soporte a la decisión.

Uno de los aprendizajes en la elaboración de este trabajo, es que luego de haber definido el problema y el objetivo a buscar, la siguiente etapa sea la construcción de los criterios maestros que soportarán el proceso de evaluación de desempeños y a partir de allí, elaborar las especificaciones técnicas y funcionales propias del problema. No se pretende restarle importancia a las especificaciones sino en dar un orden lógico a un proceso, a fin de facilitar la toma de decisiones a la unidad de decisión.

Al optar por la utilización de los métodos de agregación completa, se recomienda la estructuración de los criterios de forma jerárquica, dado que siempre una jerarquía permite una visualización simple de la importancia de cada criterio dentro del árbol, facilitando la ponderación de los mismos y la aplicación de las pruebas de coherencia, además de poder tomar en cuenta gran cantidad de criterios. Además se recomienda, para facilitar la aplicación posterior de las técnicas de ponderación, no utilizar más de cinco criterios por rama. En los métodos de agregación parcial, los autores recomiendan no tratar con más de diez criterios para modelar un problema, dada la complejidad posterior

en la comparación por pares; no obstante esto no impide que exista agregación de sub criterios, que soporten a los criterios principales.

La construcción de criterios, implique o no una gran cantidad de trabajo siempre introduce elementos de arbitrariedad en la definición de los mismos, no obstante a pesar de ésta, no es imposible alcanzar un consenso en la definición de los criterios. La familia de criterios que el analista construya dependerá de los objetivos que la unidad de decisión tenga en mente y de la forma en que se utilicen las herramientas propuestas. Es decir, que para un mismo problema, el enfoque dado por dos unidades de decisión distintas no tiene por que conducir a resultados similares, a menos que los objetivos, preferencias y entorno del problema sean similares para ambas unidades.

Una limitación de esta metodología en la práctica, viene precisamente de su naturaleza constructivista, que puede resultar difícil de implementar si el decisor no sigue y acepta progresivamente todos los pasos del modelo. Pueden también presentarse conflictos con la forma intuitiva de resolver los problemas de algunas unidades de decisión, por la experticia que han adquirido a través de procesos de decisión repetitivos. De hecho está demostrado, que cuanto más experto es un decisor respecto a problemas recurrentes de decisiones prácticas, mayor es su aversión a seguir tales modelos exhaustivos, en vista del tiempo que se invierte en consideraciones que él considera irrelevantes.

Por otra parte, existen también ventajas que trae la aplicación de esta metodología, se plantea una visión sistémica del problema, que claramente incrementa el conocimiento, que los actores involucrados en el proceso tienen del mismo, y en todo momento se interroga a los actores a fin de extraer información de sus preferencias. Estos dos

hechos participación y compromiso de los involucrados permiten que el modelo resultante goce de transparencia ante terceros.

Otro punto a favor de su aplicación es que la metodología propuesta, no pretende ser una receta de cocina, ni un camino de un sólo sentido, sino más bien un marco adaptable donde se pueden utilizar cualesquiera de las múltiples herramientas y técnicas conocidas en la teoría de toma de decisiones y en especial las del área de multicriterio.

Una gran cantidad de métodos y técnicas multicriterio son aplicables y caben dentro de la metodología. No obstante el uso de los mismos debe ser guiado por una analista que sea capaz de mostrar a los actores dentro del proceso, las bondades y debilidades de cada método, y de generar mecanismos de extracción de información a estos actores. Siempre hay que tener en cuenta que el método que se utilice para resolver un problema multicriterio es parte del modelo y no es definido desde el exterior.

Es sabido, que no hay forma de garantizar que en presencia de múltiples criterios sea posible encontrar soluciones factibles tales que todos los objetivos puedan ser simultáneamente optimizados. El premio Nobel Kenneth Arrow (1951), fue más allá y propuso un teorema denominado teorema de la imposibilidad, el cual establece que no puede garantizarse que los actores involucrados en un proceso de decisión establezcan un método aceptable para la traducción de las preferencias individuales en preferencias colectivas. Esto puede expresarse de la siguiente forma:

No es posible crear un procedimiento universal para un problema de toma de decisiones multicriterio. O bien, nos vemos obligados a extraer más información o deben adoptarse más procedimientos que complican el problema. O bien, la solución es obtenida por consenso y su calidad es

pobre (en términos de acercarse al óptimo) o se requiere un buen resultado, que satisfaga a todos los actores, que de antemano se sabe es imposible de obtener.

Adaptando estas consideraciones a nuestra propuesta, se pueda establecer que cualquier metodología que se proponga para encontrar una solución a una problemática multicriterio, logrará una solución consistente y de utilidad, si los actores involucrados en el proceso de decisión están convencidos de la validez de la misma, los resultados obtenidos son considerados adecuados y se cumple con las consideraciones para la coherencia de los criterios utilizados en el problema.

Como reflexión final, quiero dejar expresado que soy de la idea que las organizaciones no son las que toman las decisiones, esta facultad solo la poseen los individuos, los seres humanos son los que poseen las habilidades y competencias capaces de generar decisiones y de aprender durante el proceso a mejorarlas para futuras aplicaciones. En los procesos de decisión el ser humano siempre busca la simplificación y las aproximaciones más operacionales hacia la decisión.

Bibliografía

Referencias empleadas

Aravossis K, Anagnostopoulos P, A Koungolos, Ath. Vliamos S. *New methodology approach for the technical-economical evaluation of alternative waste disposal methods by use of multicriteria analysis.*, Land Planning & Regional Development Engineers Department, University of Thessaly. 2000 (www.arvis.gr/en/articlesen.htm)

Ben Mena Sami. *Introduction aux methods multicritères d'aide à la decision.* Unité de Mathématique. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Février 2000.

Bisdorff R. *Semiotical foundation of multicriteria preference aggregation.* Dpt. Études en Gestion et informatique, Centre universitaire de Luxembourg. 2001 (www.cu.lu/nbisdorff/research.htm)

Bisdorff R. *Decision and implementation of decision making checkers for industrial production scheduling, control and maintenance..* Dpt. des Études en Gestion et en Informatique. Centre Universitaire de Luxembourg. Luxembourg. March 2002.

Bouyssou Denis. *Decision multicritère ou aide multicritère?* Bulletin du group de travail européen aide multicritère à la decision, serie 2, N2, 1-2. ESSEN, Cergy, France. 1.993.

Bouyssou Denis et Vincke Philippe. *Une introduction à la modélisation des préférences.* LAMSADE; ULB, Mai 2002.

Bouyssou Denis. *Decision-aid and utility theory a critical survey.* LAMSADE, Cahier 52 Université de Paris Dauphine, 1983.

Bouyssou Denis. *Building criteria: A prerequisite for MCDA.* "Readings in multiple criteria decision-aid" C.A. Bana Costa (ed) p.p. 58-80. 1990

Bouyssou Denis. *Modeling inaccurate determination, uncertainty, imprecision using multiple criteria.* LAMSADE, Cahier 88 Université de Paris Dauphine, 1988.

Brans J. Pierre. *O.R. Ethics and decisions the Oath of Prometheus.* Universities of Brussels. Belgium. July 2.000.

Brezillon Patrick & Pomero Jean-Charles. *Contextual issues in the framework of multicriteria decisionmaking.* First international and interdisciplinary conference on modeling and using context, rio de Janeiro, Brasil. 1997.

Buchanan John(*), Sheppard P(), Vanderpooten D(***).** *Project Ranking using Electre III.* University of Waikato, Dpt. of management systems, New Zeland (*). Northern Generation Electricity Corporation, New Zeland(**). Lamsade, Université Paris Dauphine, France(***). Janury, 1.999

Carrasquero Nestor y M Torres. *Análisis Económico de Decisiones: Un enfoque conceptual.* M. Torres y N Carrasquero, editores. Caracas, 1994.

Carrasquero Nestor. *Teoría de la Toma de Decisiones Multicriterio: Un marco conceptual.* DIOC, Facultad de Ingeniería. UCV, 1994.

Carvajal. Oswaldo. *Metodología para la determinación de objetivos en problemas de investigación de Operaciones.* UCV, Tesis de Maestría. 1.999.

Cohen, H. *You can negotiate anything.* Secacus, Nj: Lyle Stuart INC. 1980.

Colson Gerard et Dorigo Fabrice. *Un logiciel de sélection multicritère d'entrepôts publics en univers incertain: Application en Belgique.* 3° conference Francophone de Modelisation et Simulation.. Troyes-France. 25-27 Avril 2001.

Croce Della. *Why is difficult to make decisions under multiple criteria.* Proceedings of AIPS-02, pp 49-45. "International workshop on planning and scheduling with multiple criteria", Toulouse, France. 2002.

Diaz Luis C. et Tsoukiàs Alexis. *On the constructive and the other approaches in decision aiding.* INESC Coimbra and faculty of economics, University of Coimbra., LAMSADE, Université Paris Dauphine. 2° Young MCDA meeting, October-2002.

Durand Sylvain. *Sur quelques paradoxes en théorie du choix social et en décision multicritère.* These pour obtenir le grade de Docteur de L'Université Joseph-Fourier-Grenoble, France. Juin 2000.

Freerk A. Lootsma. *Distributed multi-criteria decision making and the role of the participants in the process.* Paper presented at the IIASA/DAS workshop on "Decision Support in the Public Sector" Delft, , by Delft University of Technology Faculty of Information Technology and Systems Mekelweg 4, 2628 CD Delft, The Netherlands. April 11 -- 13, 1999

Fisher, R and Ury, W. *Getting to yes: Negotiating Agreement Without Living In..* Boston: Houghton Mifflin Co, 1981.

Forman Ernest, Mary ann Selly. *Decision by objectives (How convince others that you are right);* World Scientific Pub co. George Washington University. 2002

Herrera Bernal, Corrales Lenin. *Propuesta metodológica para la selección de criterios e indicadores y análisis de verificadores relativos a calidad de bosque y a nivel de paisaje.* Unidad Mundial para la Naturaleza (UICN); Oficina regional para Mesoamérica (ORMA); Área de conservación de Bosques y áreas protegidas (ACB-AP). San José de Costa Rica, Junio 1.999.

Journee P., Perny P., Vanderpooten D. *Une méthodologie multicritère pour la vérification des accords sur le contrôle des armements en Europe.* LAMSADE, Cahier 134 Université Paris Dauphine, 1996.

Kechidi Med. *Rationalités et contextes de décisions: Un retour sur H. Simon..* Revue internationale de systémique, Vol 12, 4/5. 1998.

Keeney R.L. and Raiffa H. *Decisions with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs.* John Wiley & Sons. 1976.

Lagrèze E. Jacquet et Y.Siskos. *Méthode de decision multicritère.* Editions Hommes et Techniques, Paris 1983.

Maggie C.Y.Tam, V.M. Tummala *An application of the AHP in vendor selection of a Telecommunications System.* University of Michigan, College of Business, Productions / Operations Management. July 2000.

Mousseau Vincent. *Méthodes de surclassement.*

(<http://11.lamsade.dauphine.fr/dea103/ens/bouyssou/surclassement.pdf>) Power Point. 2.002-2.003

Mousseau Vincent. *Eliciting Information the relative Importance of criteria.* Advances in multicriterio analysis, Nonconvex optimization and its applications, pages 17-43, Kluwer Academic, Dordrecht, 1995.

Mousseau Vincent. *Development of a decision aiding tool for the evolution of public transport ticket pricing in the Paris region.* Aide multicritère à la decision, p 213-230, Joint research center, European Commision, Luxembourg, 2001.

Mustajoki Jyri, Raimo P. Hämäläinen and Ahti A. Salo. *Decision support by interval SMART/SWING – Incorporating imprecision into SMART and SWING methods..* Helsinki University of Technology Systems Analysis Laboratory, Finland. Janury 16, 2004.

Picket Jacques et Bollinger Dominique. *Aspects mathématiques du droit Suisse sur le marches publics.* EPF, December 1.999.

Pirlot Marc, Denis Bouyssou. *On consistent families of criteria in the sense of roy: an axiomatic approach.* ORBEL 16, 16th Belgian Conference on Quantitative Methods for Decision Making, F.U.S.L., Brussels, January 24–25, 2002.

Pöyhönen Mari. *On Attribute weighting in Value Trees.* Helsinki University of technology, Systems Analysis Laboratory. Dissertation for the degree of Doctor of Technology. Finland. March 1.998.

Roy Bernard. *Quelques remarks sur le concept d'indépendance dans l'aide a la Decisión Multicritère.* LAMSADE, Cahier 51 Université de Paris Dauphine, 1983.

Roy Bernard. *Méthodologie Multicritère d'Aide a la Decisión.* Editorial Economica, 1985.

Roy Bernard. *Science de la decisión ou science de l'aide a la Decisión* LAMSADE, Cahier 97 Université de Paris Dauphine, 1990.

Roy Bernard. *Un glossaire d'aide à la decision en francais et anglais.* Groupe du travail Européan « Aide multicritère à la decision » Serie 3, n° 1, 2000.

Roy Bernard. *The European school of MCDA: Emergence, basic features and current Works.* LAMSADE, Cahier 130 Université de Paris Dauphine, 1995.

Roy Bernard et Bouyssou Denis. *Aide Multicritère à la Decisión: Méthodes et Cas..* Editorial Economica, 1.993.

Roy Bernard et Bouyssou Denis. *Decisión aid: an elementary introduction with emphasis on multiple criteria.* Investigación operativa, Voilumen 3, Nos. 2-3-4, páginas 175-190, Agosto-Diciembre 1993.

Roy Bernard et Bouyssou Denis. *Comparsion of two decision-aid models applied to a nuclear power plant sitting example.* LAMSADE, Cahier 47 Université de Paris Dauphine, 1983.

Roy Bernard and Mousseau Vincent. *A Theoretical framework for analyzing the notion of relative importance of criteria.* Journal of Multicriteria Decision Analysis, vol 5, 145-159. 1.996.

Sánchez Rebeca. *Enfoque multicriterio en la minimización del impacto de obras para el control ambiental..* UCV, Tesis de Maestría. 1.997.

Stamelos I. (1), I. Refanidis(1), P. Katsaros(1), A. Tsoukias(2), I. Valvas(1) and A. Pombortsis(1). *An Adaptable framework for educational software evaluation.* Dpt. Of Informatics, Aristotle Univ. Thessaloniki, Greece (1) et LAMSADE-CNRS, Univ. Paris –Dauphine, Paris, France (2).2000

Steuer, Ralph E. *Multiple criteria optimization: Theory, computation and application.* Jhon Wiley & Sons. 1986.

Tsoukiàs Alexis. *Extended preference structures in multi criteria decision aid.* In J Clímaco (ed), Multi criteria analysis, Springer Verlag, Berlin, 378-389. 1997.

Tsoukiàs Alexis (*), Patrice Perny() and Philippe Vincke(***)** *From Concordance / Discordance to the modelling of positive and negative reasons in decision aiding.* Aiding decisions with multiple criteria: Essays in honor of B. Roy, Kluwer Academic, Dordrecht, 147-174. 2002.

Vals Mateu Aidä. *Clus DM: A Multiple Criteria Decision Making, Methods for Heterogeneous Data Sets.* Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Dpt. De Lenguajes y Sistemas Informáticos. Doctorado en Inteligencia Artificial. España, Septiembre-2002

Velez Pareja Ignacio. *Decisiones empresariales bajo riesgo e incertidumbre.* Editorial Norma, abril 2003.

Velez Pareja Ignacio. *De la intuición y la ilógica en la toma de decisiones.* Pontificia Universidad Javeriana, Dpto. de Administración. Colombia. Documento de trabajo. Junio, 1.996.

Vansnick Jean-Claude. *L'aide multicritère à la décision: une activité profondément ancrée dans son temps.* EURO Working Group, no. 6, Printemps/Spring. 1995.

Vincke Philippe. *Multicriteria Decision-Aid.,* Editorial John Wiley & Sons, 1.992.

Waldeck Roger. *Aide à la decisión, Concepts Fondamentaux, Partie I et II.* Presentation Power Point. École Nationale Superior des Télécommunications de Bretagne. Département Économie et Sciences Humaines. France. Marzo 2001.

Zeleny. *Multiple Criteria decisión Making.,* Milan. Mc Graw-Hill 1982.

Yannou Bernard. *Les methods de comparasions par paires, première partie.* Laboratoire Génie Industriel. Ecole Central, Paris. Avril 2002.

Zhang Quan and Jian Ma. *Determining Weights of Criteria Based on Multiple Preference Formats.* Departament of Information Systems, City of University of Hong Kong. Kowloon, China. 2001.

El informalismo y la concurrencia en la Licitación pública. Conferencia inaugural pronunciada el 10 de agosto de 1992 en el II Congreso Internacional de Derecho Administrativo, realizado en Foz de Iguazú, Brasil. (www.gordillo.com/Pdf/RE/revii.pdf)

Ley de Licitaciones. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.596 del 13 de Noviembre de 2001.