

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



*ASEGURANDO EL VALOR EN PROYECTOS DE  
CONSTRUCCIÓN:*  
UNA GUÍA ESTRATÉGICA PARA LA  
CLASIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE  
SISTEMAS DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

**Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil**

Presentada por:

**Manuel Santiago Herrera Chávez**

Lima, Perú

2007

## RESUMEN

Un proyecto de ingeniería civil está compuesto por diversos sistemas o componentes, los cuales están enfocados a satisfacer las necesidades del cliente. En este sentido, en un proyecto de construcción se pueden tener sistemas relativos a la estructura principal, las instalaciones eléctricas y sanitarias, el aire acondicionado, entre otros.

En la práctica usual, la clasificación de estos componentes se basa únicamente en los elementos comunes a proyectos previos, o en las especificaciones dadas en el diseño. Este enfoque tradicional, se adecúa únicamente a aquellos “Sistemas Duros”, que se rigen bajo parámetros netamente técnicos y desarrollados en normativas rigurosas. Sin embargo, aquellos sistemas con características flexibles como funcionalidad, confiabilidad, etc. denominados “Sistemas Blandos”, requieren de una clasificación diferenciada que permita su óptima evaluación.

Por lo tanto, con un análisis inadecuado de los sistemas, las expectativas del cliente y del usuario son sub-atendidas, al despreciar los beneficios de los Sistemas Blandos midiendo equívocamente su desempeño; y se reduce las posibilidades de ahorro en las inversiones durante el desarrollo sostenible del proyecto de construcción.

En este contexto, es necesario disponer y aplicar, herramientas y modelos que estructuren estas diversas características, bajo una clara diferenciación entre los sistemas blandos y rígidos, del proyecto. El objetivo debe ser optimizar la evaluación y selección, bajo un único enfoque técnico-económico.

La presente investigación desarrolla y propone un modelo matemático que permite realizar esta clasificación, evaluación y selección de los diferentes sistemas que conforman el proyecto de construcción. Para el diseño de este modelo, se realizó una revisión de distintos procedimientos en el manejo de variables de un sistema -algunos normalizados por la ASTM- y un análisis del proceso de toma de decisiones, y su comparación con las fases del proyecto de construcción, estudiado por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de EUA y distintas investigaciones doctorales.

De esta manera, la metodología converge en una ponderación final de los desempeños monetarios y no monetarios de los sistemas, la cual se estructura bajo dos pilares básicos: a) un método de análisis de decisión multiatributo (MADA), específicamente el Analytical Hierarchy Process, que maneja beneficios cualitativos; y b) el cálculo del costo a lo largo del ciclo de vida (LCC), que valora la sostenibilidad del sistema.

Finalmente, se realizó una verificación de las bondades del modelo propuesto y la facilidad del software sugerido, mediante el análisis en la implementación de un sistema de aire acondicionado en un Centro Médico. En síntesis, esta investigación constituye una herramienta y un aporte a la innovación tecnológica, mediante la aplicación de modelos en el proceso de toma de decisiones para agregar valor a los proyectos de construcción.



*A mi hermano:*

*Jorge Eduardo, pues me permitió vivir este sueño*

*y me apoyó siempre para lograrlo,*

*A mis padres:*

*Jorge y Silvia, por su sabiduría y eternos consejos,*

*y su increíble fortaleza en este largo camino.*

## CONTENIDO DE LA TESIS

Resumen .....	i
Tema de Tesis Aprobado .....	ii
Dedicatoria .....	iv
Contenido.....	v
	<i>Pág</i>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.Antecedentes.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.Definición Del Problema .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.Solución Planteada En La Investigación .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.Meta Y Objetivos.....</b>	<b>5</b>
<b>1.5.Metodología De La Investigación .....</b>	<b>5</b>
<b>1.6.Alcance Y Limitaciones .....</b>	<b>6</b>
<b>1.7.Estructura De La Tesis.....</b>	<b>6</b>
 <b>CAPÍTULO 2:COMPONENTES DE UN PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL.....</b>	 <b>10</b>
<b>2.1.DEFINICIÓN DE UN SISTEMA DE UN PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.SISTEMAS BLANDOS Y RÍGIDOS EN LA CONSTRUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
2.2.1. Criterios de División .....	12
2.2.1. Criterios de División .....	12
2.2.2.Subdivisión del Aspecto Flexible del Proyecto .....	14

<b>2.3.LISTADO GENERAL DE LOS COMPONENTES DE UNA EDIFICACION .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4.BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>23</b>
 <i>CAPÍTULO 3: LA TOMA DE DECISIONES EN LA CONSTRUCCIÓN.....</i>	 <i>26</i>
<b>3.1.PROCESO DE ANÁLISIS Y ESTRUCTURACIÓN DE UN PROBLEMA .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.NIVELES DE DECISIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN .....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.TIPOS DE DECISIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN.....</b>	<b>32</b>
<b>3.4.ELEMENTOS BÁSICOS EN UNA TOMA DE DECISION EN LA CONSTRUCCIÓN.....</b>	<b>33</b>
<b>3.5.ETAPAS DE LA TOMA DE DECISIÓN PARA DAR SOLUCIÓN A UN PROBLEMA .....</b>	<b>34</b>
<b>3.6.BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>38</b>
 <i>CAPITULO 4: EVALUACIÓN MULTIATRIBUTO COMO METODO DE ANALISIS EN LA</i>	
<i>CONSTRUCCIÓN .....</i>	<i>39</i>
<b>4.1. ANÁLISIS DE DECISIÓN MULTIATRIBUTO.....</b>	<b>40</b>
4.1.1. Elementos de un problema MADA .....	40
4.1.2. Asunciones comunes de simplificación .....	42
<b>4.2 MÉTODOS COMUNES UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS MULTICRITERIO .....</b>	<b>43</b>
4.2.1. Comparación entre el AHP y el NCIC.....	62
<b>4.3 ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) .....</b>	<b>65</b>
4.3.1. Procedimiento del AHP .....	65
4.3.2. Fortalezas y Limitaciones del AHP .....	62
<b>4.4 BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>73</b>

## CAPÍTULO 5 MODELO PARA LA ÓPTIMA EVALUACIÓN Y SELECCIÓN TÉCNICA Y

	<i>ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS DE UN PROYECTO</i> .....	76
<b>5.1.</b>	<b>MODELO CONCEPTUAL DE ANÁLISIS</b> .....	<b>77</b>
<b>5.2.</b>	<b>MODELO PARA LA OPTIMA EVALUACION Y SELECCIÓN DE UN SISTEMA</b> .....	<b>79</b>
5.2.1.	Base de Datos.....	80
5.2.1.1.	Contexto del Problema.....	80
5.2.1.2.	Información de Diseño .....	86
5.2.2.	Generación de Alternativas .....	86
5.2.3.	Evaluación de Alternativas .....	87
5.2.3.1.	Desempeño Financiero.....	88
5.2.3.2.	Desempeño no Financiero.....	92
5.2.4.	Ponderación de Desempeños .....	94
5.2.5.	Selección de la mejor Alternativa .....	97
<b>5.3.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>98</b>

## CAPÍTULO 6: CASO PRÁCTICO: ANÁLISIS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA

### *DE AIRE ACONDICIONADO EN UN CENTRO MÉDICO*.....

<b>6.1.</b>	<b>ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMAS</b> .....	<b>103</b>
6.1.1.	Descripción del problema.....	103
<b>6.2.</b>	<b>PLANTEAMIENTO PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA MEDIANTE LA</b>	
	<b>APLICACIÓN DEL MODELO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>108</b>
6.2.1.	Establecimiento del contexto del problema .....	108
6.2.2.	Recopilación de Información de Diseño.....	112
6.2.3.	Generación de Alternativas .....	115
6.2.4.	Evaluación de Postores.....	115

6.2.4.1. Desempeño Financiero (Software BLCC 5.3) .....	115
6.2.4.2. Desempeño no Financiero (Software Expert Choice 11.0) .....	121
6.2.5. Ponderación de Desempeños .....	131
6.2.6. Selección del mejor sistema de HVAC.....	133

**CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA FUTURAS LINEAS DE**

<i>INVESTIGACIÓN</i> .....	135
<b>7.1. CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>136</b>
<b>7.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS .....</b>	<b>136</b>
<b>7.3. RECOMENDACIONES PARA FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>140</b>





## PARTE I

# INTRODUCCIÓN

La siguiente tesis busca plantear un modelo para la evaluación técnica y económica de un proyecto de ingeniería civil, a través del estudio de los principales sistemas que lo componen, caracterizando y analizando sus principales variables.

El capítulo se inicia explicando los antecedentes y el entorno del estudio así como el proceso de toma de decisiones. Seguidamente se identifica la situación problemática, el enfoque bajo el cual se propone dar solución al mismo, la metodología de realización de la tesis y finaliza con el alcance y las limitaciones del presente estudio.

## 1.1 ANTECEDENTES

Un proyecto de ingeniería civil está compuesto por diversos sistemas o componentes, los cuales están enfocados a satisfacer las necesidades del cliente bajo una correcta selección, integración, operación y mantenimiento. En este sentido, en un proyecto de edificaciones se pueden tener sistemas relativos a la estructura principal, las terminaciones, instalaciones eléctricas y sanitarias, seguridad, entre otros.

Estos sistemas o componentes pueden ser divididos bajo dos perspectivas: sistemas duros y sistemas blandos. Un sistema es considerado “duro” cuando se considera al sistema como único, el cual manifiesta parámetros rigurosos por sus características técnicas y se desarrolla en un marco preestablecido o una normativa vigente. Por ejemplo el diseño estructural de un edificio; estos son denominados “sistemas duros”.

Por otro lado, en los sistemas blandos encontramos componentes que ameritan un análisis cualitativo, y por ende deben ser enfocados bajo múltiples criterios para medir correctamente su performance, por ejemplo la funcionalidad de un sistema de aire acondicionado o contra incendios.

Asimismo estos últimos pueden ser subdivididos en estáticos y dinámicos. En el primer caso, los sistemas muestran un estado fijo, es decir que los criterios y parámetros cualitativos que se consideran para su evaluación se pueden considerar que se mantienen fijos a lo largo de su ciclo de vida; en contraposición un sistema blando dinámico abarca complejos modelos cíclicos de situaciones más reales, enfocado por ejemplo al aspecto social de un proyecto.

Bajo esta división, los procesos de toma de decisiones, frecuentes y muchas veces sin argumentos técnicos, se realizan unificando todos los sistemas de un proyecto de construcción bajo un mismo criterio, utilizando usualmente aquel enfocado a sistemas rígidos.

Si la selección y análisis de los sistemas de un proyecto es realizada de una forma errónea, entonces las necesidades del cliente no serán satisfechas y las expectativas del usuario serán sub-atendidas. Si un sistema no óptimo es

seleccionado, entonces al integrarse al proyecto generará un resultado no óptimo.

En la industria local de la construcción, las personas encargadas de la toma de decisiones no sólo analizan a los sistemas blandos bajo criterios tradicionales, sino que no diferencian los diferentes sistemas que pueden existir en un proyecto de ingeniería civil, impidiendo lograr ahorros potenciales en el desarrollo del proyecto.

Así mismo, el Instituto de Nacional de Estándares y Tecnología, del departamento de Comercio de los Estados Unidos concluye que las inversiones de capital en la construcción usualmente son evaluadas usando únicamente indicadores económicos tradicionales tales como el valor presente neto, el costo de ciclo de vida, la tasa de retorno, o el tiempo de retorno.

Una característica común de estos indicadores económicos es que exclusivamente consideran beneficios y costos monetarios asociados a las alternativas de inversión, por lo tanto en el análisis económico, tanto los atributos positivos como negativos deben ser descritos en términos monetarios.

Sin embargo las alternativas de inversión en construcción, pueden diferir en características que el tomador de decisión considera importante, pero no necesariamente se puede expresar en términos monetarios. Un ejemplo de estas características, que pertenecen a la selección de la inversión en un edificio, puede ser la localización, el acceso, la seguridad, el mantenimiento, la calidad del ambiente visual como sonoro, la imagen hacia el público en general y hacia sus ocupantes. Estas variables, a pesar que son importantes, el introducirlas en el valor de un proyecto financiero no necesariamente es sencillo.

Estas características no financieras pueden ser cuantitativas o cualitativas. Las primeras, pueden ser medibles pero requieren un criterio previo para ser cuantificables, aunque no lo sean en términos monetarios.

Los impactos cualitativos son casi imposibles de medirlos con un costo.

## 1.2 **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

De acuerdo a lo descrito anteriormente, queda claro que el tomador de decisiones necesita un método que recopile las particularidades (atributos) de un proyecto, permitiéndole disgregar aquellos sistemas blandos y rígidos del mismo, con el objetivo de poder lograr una mejor evaluación y selección, tanto desde un enfoque técnico como económico.

## 1.3 **SOLUCIÓN PLANTEADA EN LA INVESTIGACIÓN**

La siguiente tesis busca plantear un modelo para una óptima evaluación y selección de los sistemas de un proyecto de construcción, lo cual involucra un análisis técnico y económico acorde a los componentes del mismo.

Con el fin de lograr una correcta evaluación y selección de los sistemas, es necesario utilizar un método de análisis de decisión, que permita el manejo de los diferentes beneficios monetarios y no monetarios de un proyecto. Para esta tesis, utilizaremos los métodos MADA (Análisis de Decisión Multiatributo), los cuales se describen en el capítulo 4.

Este tipo de métodos, permiten obtener un respaldo técnico de aquellas decisiones que se basen en criterios monetarios y no monetarios, las cuales generan beneficios a corto y largo plazo del proyecto.

Cabe resaltar que la aplicación del modelo, se puede adecuar a las distintas etapas del proyecto de construcción, sin embargo se plantea como requisito la definición de algunos parámetros básicos de diseño que ayudarán a un mejor planteamiento y aplicación del mismo.

Adicionalmente, para poder medir los atributos económicos de los diferentes sistemas, se plantea el uso del método LCC (Life Cycle Cost) el cual permite una evaluación completa de los costos del componente a lo largo de su ciclo de vida (tales como el costo de uso de energía y mantenimiento del producto).

A pesar que el enfoque está relacionado a la empresa privada, su impacto puede ser aún mayor en el área pública, aunque implique una inversión mayor en la etapa de planificación y evaluación de los proyectos. Esto debido que el

área de influencia y los criterios bajo los cuales se manejan este tipo de proyecto es notablemente superior.

Por lo tanto una optimización en la comparación de alternativas para la toma de decisiones de la construcción de obras públicas, pone en manifiesto una necesidad de aplicar este tipo de conocimientos y metodologías para obtener el mayor beneficio.

#### 1.4 META Y OBJETIVOS

Misión: Maximizar el valor de un proyecto de construcción, satisfaciendo las necesidades del cliente.

Meta: Optimizar el funcionamiento de los sistemas que forman parte de un proyecto de construcción.

Objetivo: Desarrollar y adaptar un procedimiento que permita una mejor evaluación y selección técnica y económica de los diferentes sistemas que conforman un proyecto de construcción.

Estrategia: Utilizar un procedimiento de análisis con múltiples características y un método de evaluación financiera del costo a lo largo del ciclo de vida de un sistema o proyecto de construcción.

#### 1.5 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación planteada consiste en una revisión literaria de los principales temas relacionados a la toma de decisiones, evaluación multicriterio y diferenciación de sistemas blandos y rígidos de un proyecto

Una vez recopilada la literatura, se realiza un propuesta de un modelo, el cual denominaremos “Modelo para la Óptima Evaluación y Selección Técnica y Económica de los Sistemas de un Proyecto”

La propuesta del modelo se enfoca en la etapa de Implementación de un proyecto de construcción, luego de establecer los aspectos básicos de diseño del mismo, tal como se detalla en el capítulo 3.

En esta etapa, la tesis busca integrar el análisis de los atributos financieros y no monetarios de los sistemas que componen el proyecto, específicamente de aquellos denominados “sistemas blandos”.

Finalmente, para comprobar el modelo propuesto, se plantea su aplicación en un caso práctico : La implementación de un sistema de aire acondicionado en un Centro Médico de la ciudad; donde se obtiene, mediante una comparación con respecto al procedimiento empírico de toma de decisiones utilizado en el medio, un beneficio justificado de la metodología.

## 1.6 ALCANCE Y LIMITACIONES

La aplicación de la investigación se limita a la etapa de implementación del proyecto, ya que luego de establecer los aspectos básicos de diseño del mismo, se logran las mejoras y ahorros potenciales superiores.

Por otro lado se recomienda su aplicación en los sistemas del proyecto denominados blandos, ya que ellos permiten un mejor análisis de alternativas en base a diferentes atributos debido a su flexibilidad.

Este análisis de alternativas, detallados en el capítulo 4, tienen como mayor limitación la cantidad finita de atributos, restringida por la capacidad del sistema informático que se utilice. El resto de limitaciones de los métodos MADA así como del método evaluación financiera LCC, se detallan en el capítulo correspondiente.

Finalmente, el análisis de incertidumbre y riesgo, inherente en cualquier toma de decisiones, se considera fuera del alcance del presente trabajo; sin embargo según el Instituto de Nacional de Estándares y Tecnología, del departamento de Comercio de los Estados Unidos, esto no reduce el campo de aplicación de este tipo de modelos.

## 1.7 ESTRUCTURA DE LA TESIS

El siguiente documento esta dividido en cuatro partes principales:

**Parte I.-** Introducción.

**Parte II.-** Revisión de Literatura.

- Parte III.-** Modelo para la Óptima Evaluación y Selección Técnica y Económica de los Sistemas de un Proyecto
- Parte IV.-** Caso Práctico: Análisis para la Implementación de un Sistema de Aire Acondicionado en un Centro Médico.
- Parte V.-** Conclusiones y Recomendaciones.

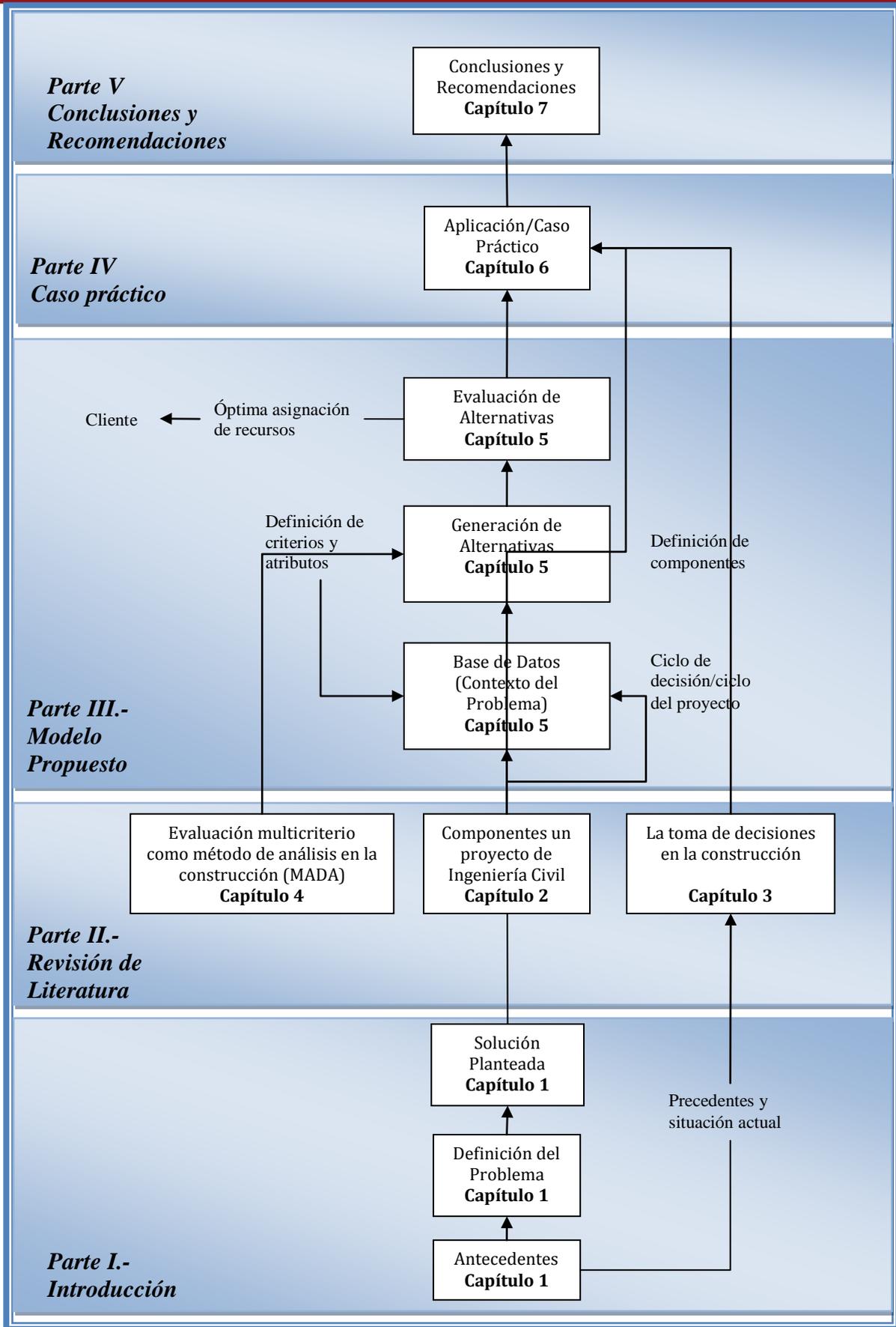
En la parte I, se describe el enfoque actual de la construcción en el proceso de toma de decisiones y del proyecto en sí, lo cual motiva el problema y la solución planteada en la presente tesis. Así mismo, se detalla la misión, meta, objetivos y estrategia del planteamiento.

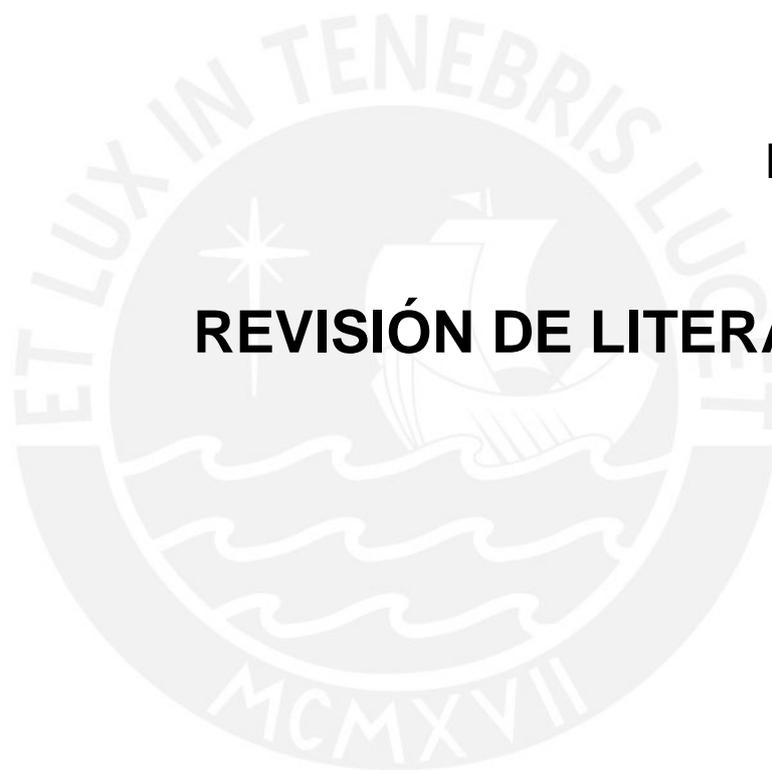
La parte II, recopila una revisión de literatura sobre el proceso de toma de decisiones, los problemas de decisión de múltiples criterios, y la división en sistemas blandos y rígidos de un proyecto de construcción. Mediante el desarrollo de estos tres acápites, se logra establecer las pautas para la implementación del modelo para la optimización de la toma de decisiones en la construcción.

En la parte III, se describe la metodología consecuente a la recopilación de literatura; partiendo en primer lugar en establecer el entorno y las premisas del análisis; luego detallar la caracterización y análisis de las diversas variables en una toma de decisión en la construcción; y finaliza en el procedimiento para la evaluación de las alternativas y su elección óptima.

La parte IV, permite comprobar el modelo propuesto, mediante su aplicación en un caso práctico del entorno local: Análisis para la Implementación de un Sistema de Aire Acondicionado en un Centro Médico.

La última sección, parte V, resume las conclusiones esenciales de la tesis, tanto del trabajo de investigación como del modelo y aplicación descritos, y se exponen algunas recomendaciones para posteriores líneas de investigación o aplicaciones futuras.





PARTE II

# REVISIÓN DE LITERATURA

## CAPITULO 2

# COMPONENTES DE UN PROYECTO DE INGENIERIA CIVIL

En un proyecto de ingeniería civil encontramos diversos sistemas o componentes enfocados en satisfacer las necesidades del cliente bajo una correcta selección, integración, operación y mantenimiento.

El reconocimiento adecuado de estos sistemas, permite seleccionar correctamente el enfoque y los criterios de análisis de cada uno. Así, la optimización del proceso de evaluación de alternativas al momento de elegir entre sistemas - modelo de la presente tesis - se basa en un listado adecuado de los componentes, blandos y rígidos, de un proyecto de construcción determinado.

Por este motivo, el objetivo de este capítulo es reconocer las particularidades de estos sistemas en la construcción, haciendo hincapié en aquellos con características flexibles (denominados sistemas blandos), y proporcionar un listado diferenciado de los componentes de una edificación que permita la aplicación de los modelos adecuados de evaluación para cada sistema.

## 2.1. DEFINICION DE UN SISTEMA DE UN PROYECTO DE INGENIERIA CIVIL

La Norma ASTM E 833 – 06 “Standard Terminology of Building Economics”, define al sistema de una edificación como un conjunto de elementos que interactúan o son interdependientes dentro de una construcción.

Asimismo define a un elemento, dentro del contexto del planeamiento, diseño, especificaciones, estimaciones y análisis de costos, como un componente significativo que desempeña una función específica, o una variedad de ellas, sin ser completamente dependiente de la construcción de toda la edificación.

Finalmente, se resalta el concepto de “función” dentro de esta terminología, la cual se define como el propósito de todo el proyecto o una fracción del mismo que tiene como fin satisfacer las necesidades del usuario o del dueño, expresado como una acción o como un atributo de la construcción.

### Comentario:

*La definición de sistema descrita anteriormente, se puede generalizar como cualquier componente del proyecto de construcción, con atributos básicos definidos, y capaz de satisfacer una determinada necesidad del usuario o del cliente en la etapa respectiva del ciclo del proyecto*

## 2.2. SISTEMAS BLANDOS Y RIGIDOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Según el documento “UNIFORMAT II Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating, and Cost Analysis” publicado por el NIST, el reconocimiento adecuado de los elementos que componen un proyecto de construcción (partidas de la edificación), representa una reducción notable de tiempo y costos al momento de evaluar alternativas en las etapas tempranas de diseño.

Sin embargo, luego de revisar la distinta literatura, se puede inferir que esta clasificación no es suficiente, debido que no diferencia aquellos sistemas que manifiestan parámetros rigurosos por sus características técnicas, de

aquellos que ameritan un análisis cualitativo y deben ser enfocados bajo múltiples criterios para medir correctamente su performance.

Esta nueva división la corrobora el Centro Colaborador OPS/OMS de Mitigación de Desastres en Establecimientos de Salud Universidad de Chile en su “Guía para la reducción de la vulnerabilidad en el diseño de nuevos establecimientos de salud”, donde afirma que es necesario reconocer entre los componentes de una edificación aquellos que tienen origen del cálculo estructural, de aquellos elementos, equipos y sistemas que cumplen una función distinta en la operación propia del establecimiento.

Así los componentes de una construcción pueden ser divididos bajo dos perspectivas: sistemas duros y sistemas blandos. Un sistema es considerado “duro” cuando se considera al sistema como único, el cual manifiesta parámetros rigurosos por sus características técnicas y se desarrolla en un marco preestablecido o una normativa vigente. Por ejemplo el diseño estructural de un edificio; estos son denominados “sistemas duros”.

Por otro lado, en los sistemas blandos encontramos componentes que ameritan un análisis cualitativo, y por ende deben ser enfocados bajo múltiples criterios para medir correctamente su performance, por ejemplo la sostenibilidad de un sistema de aire acondicionado o contra incendios.

### 2.2.1. Criterios de División

En principio, se detallará los criterios en los cuales se basa la estructura de la clasificación UNIFORMAT II en su selección de los elementos de una edificación:

- La clasificación realizada es jerárquica y por lo tanto permite agrupar y resumir los distintos tipos de niveles.
- La clasificación se realizó acorde a un gran rango de aplicaciones, incluyendo control de costos y descripciones de las etapas preliminares del proyecto de construcción.

- La clasificación se acomoda a ítems no incluidos basado en el juicio de los profesionales en construcción.
- Los ítems seleccionados tienen una influencia significativa en el costo del proyecto
- Los ítems seleccionados tienen una gran frecuencia de ocurrencia.
- Los ítems seleccionados son distintivos y particulares
- Se utilizó el juicio de distintos expertos para ubicar los elementos y sistemas en los distintos niveles, de modo que permita a los profesionales ubicarlos de una manera lógica de acuerdo a las prácticas actuales en la construcción

Asimismo, se indica los requerimientos para los cuales la clasificación fue diseñada:

- Es aplicable a cualquier tipo de edificación, sin embargo fue diseñada para edificios del tipo comercial.
- Permite entregar detalles específicos para describir edificios con características o fines particulares.
- Separa la clasificación de los elementos del edificio de la clasificación de aquellos relacionados al lugar de trabajo.
- Se relaciona con otras clasificaciones elementales como la original UNIFORMAT y aquella dada por el "Canadian Institute of Quantity Surveyors (CIQS)" y el "Royal Institute of Chartered Surveyors (RICS-UK)"

A pesar de la necesidad de una nueva división de los componentes de una edificación indicada anteriormente, no existen criterios definidos para poder diferenciar claramente los sistemas blandos de los rígidos de un proyecto de construcción.

Según Jay Forrester, en el artículo "System dynamics, System Thinking and Soft OR", (1994), indica que la mayor diferencia de los sistemas dinámicos (definido en el siguiente acápite) con todos los otros componentes del proyecto (incluyendo los componentes duros de la construcción) no se basa únicamente en las variables ni la flexibilidad que consideran.

En primer lugar, los sistemas duros utilizan métodos matemáticos de análisis inapropiados para otro tipo de sistemas, tales como programación lineal,

análisis de regresión, algoritmos para programación, y simulación Monte Carlo. Estos procedimientos son esencialmente estáticos y lineales y por lo tanto no pueden capturar la naturaleza dinámica de los procesos importantes del mundo real.

La nueva división entre sistemas blandos y rígidos de una edificación presentada al final del presente capítulo, se basa en

- Los fundamentos básicos de ambos sistemas.
- El listado completo de elementos del UNIFORMAT II (formato dado por la ASTM)
- Y la recopilación de opiniones y experiencias de distintos profesionales en el campo de la construcción del medio,

Cabe resaltar, que esta clasificación no intenta ser una lista exclusiva siendo abierta a modificaciones acordes al proyecto en ejecución.

### 2.2.2. Subdivisión del Aspecto Flexible del Proyecto

Jay W. Forrester (1994), define esta subdivisión de los sistemas, partiendo de las diferentes metodologías aplicables a cada uno, en estáticos y dinámicos. En el artículo se indica que algunos sistemas son intrínsecamente estáticos, por ejemplo la elección entre dos rutas para el recorrido de una nueva autopista, a pesar que en esta elección se cuenta con una variedad de criterios y características que no son netamente técnicas y tienen una mayor flexibilidad, la decisión no alberga posibilidad de un ciclo, y por lo tanto las consecuencias no involucran la posibilidad de tomar nuevamente la decisión, característica básica de un sistema dinámico. En un marco general del proyecto, se denominan componentes dinámicos por involucrar un comportamiento complejo, difícil comprensión, predicción y manejo.

#### 2.2.2.1. Sistemas Estáticos

El Ing. Max T. Rossi, en una presentación de Project Management Avanzado ofrecida en la ciudad de Lima en el 2006, indica que según la

disciplina académica de System Dynamics, la característica principal de un sistema estático es que este sea abierto, ya que aunque produzca outputs (resultado o consecuencias), estos no pueden influenciar sus inputs (decisiones o acciones iniciales). De esta manera, tendríamos en contraposición aquellos sistemas cerrados, donde los inputs pueden ser influenciados por los outputs, por lo que se denominan loops o feedbacks.

Para observar de manera general estas características, podemos detallar lo indicado por el Centro Colaborador OPS/OMS de Mitigación de Desastres en Establecimientos de Salud Universidad de Chile, el cual destaca entre los componentes no estructurales más importantes aquellos elementos arquitectónicos tales como fachadas, tabiquería, falsos techos, etc.; así mismo aquellos sistemas como el equipamiento industrial, de oficina, médico y de laboratorio (según sea el tipo de edificación), mobiliario, sistemas de distribución eléctrica, equipos mecánicos, instalaciones básicas, sistemas de climatización, transporte vertical, etc.

Por ejemplo, indica que en el caso de hospitales, cerca del 80% del costo total de la instalación corresponde a componentes no estructurales (cuadro 4.2).

Arquitectónicos	Equipos y mobiliario	Instalaciones básicas
Divisiones y tabiques interiores	Equipo médico	Gases médicos
Fachadas	Equipo industrial	Gas industrial
Cielos falsos	Equipo de oficina	Electricidad
Elementos de cubierta	Mobiliario	Comunicaciones
Cornisas	Suministros	Vacío
Terrazas		Agua potable y servidas
Chimeneas		Agua industrial
Recubrimientos		Control del clima
Vidrios		Vapor
Techos		Tuberías y ductos en general
Antenas		

Fuente: Boroshek, R. y Astroza, M. *Mitigación de Desastres en Establecimientos de Salud: Aspectos No Estructurales*, Organización Panamericana de la Salud, 2000.

**Fuente:** Boroshek, R y Astroza, M. *Mitigación de Desastres en Establecimientos de Salud: Aspectos No Estructurales*, Organización Panamericana de la Salud, 2000

Es bajo la definición de un sistema blando estático, es donde se incluirá la nueva división mencionada anteriormente entre sistemas blandos y rígidos de una edificación en base a los componentes dados por el UNIFORMAT II, la cual se presenta al final del presente capítulo.

### 2.2.2.2. Sistemas Dinámicos

En este concepto, se observa dos enfoques de la construcción dados por la teoría de System Dynamics, y por la Metodología de Sistemas Blandos (SSM).

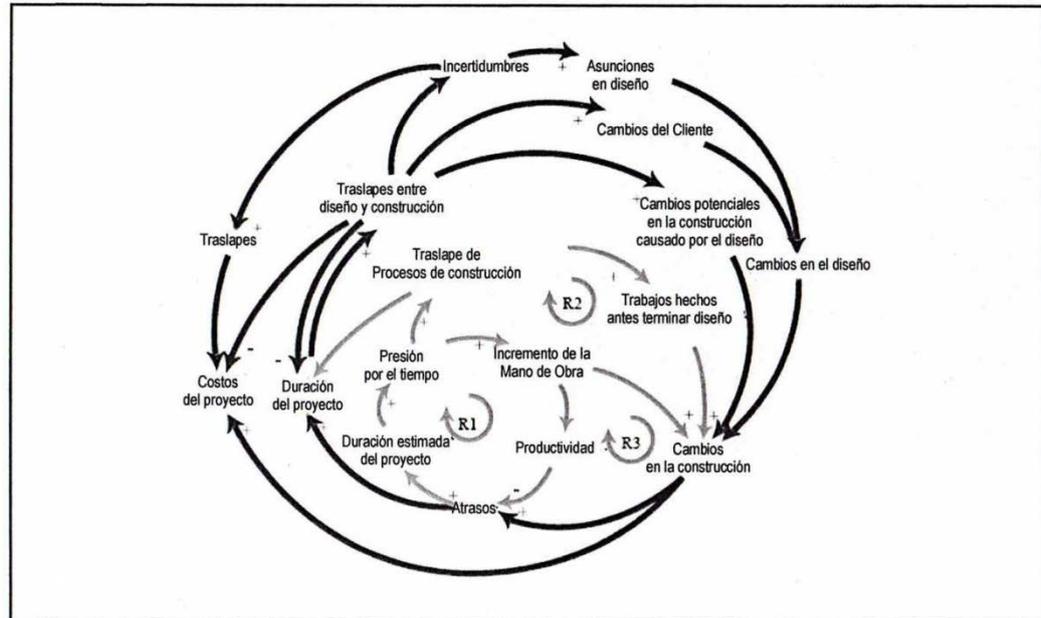
Según T.Rossi, desde el punto de vista de la System Dynamics, la mayoría de problemas de obra se evocan como problemas o componentes dinámicos, los cuales tienen las siguientes características:

- Poseen características interdependientes.
- Involucran múltiples feedbacks (retroalimentación).
- Involucran relaciones no lineales.

Mediante el uso de técnicas como System Dynamics, el analista intenta identificar los patrones de comportamiento en el tiempo (típicos de las diferentes variables de este tipo de sistemas), y construir un modelo que pueda reproducir estos patrones. Así se puede ensayar los comportamientos dinámicos determinados por medio de loops. A cada dependencia se le asigna un signo ( positivo o negativo) con el fin de indicar su influencia en la otra variable.

A continuación se presenta un ejemplo dado en la presentación de Project Management Avanzado ofrecida en la ciudad de Lima en el 2006.

Fig. II.11C  
 Casual Loop elaborado – Ejemplo 3



Por otro lado se tiene el enfoque social dado por la SSM, en el artículo “A Soft Approach to Solving Hard Problems in Construction Project Management” escrito por el Dr. Tayyab Maqsood.

Aquí se indica que las características que sugieren, que la construcción desde el punto de vista social, es un sector que tiene componentes altamente dinámicos y de muy complicadas soluciones. (denominados “wicked problems” por Green 1999, Ballard 2002) son las siguientes:

- La resistencia al cambio
- Una cultura tradicional
- La falta de motivación o la ausencia de un sistema de incentivos y compensaciones
- Un liderazgo débil, estrategias y visión inadecuada de la empresa
- Ausencia de mecanismos de aprendizaje
- Falta de conciencia sobre la dirección de la investigación en la construcción y
- El no prever los beneficios de adoptar innovaciones

Este tipo de problemas típicamente tienen una gran cantidad de factores interrelacionados, haciendo difícil su entendimiento de cómo una decisión

impactara en otras decisiones pertenecientes a distintas áreas del proyecto de construcción.

Esta clase de problemas usualmente existen en ambientes de gran incertidumbre, como es la industria de la construcción.

Gustafsson (2002) describe al diseño y el gerenciamiento de los escenarios cambiantes de una organización como un proceso complejo que encaja con el concepto mencionado anteriormente. Otros problemas típicos de este tipo son aquellos que enfrenta el planeamiento estratégico de las organizaciones (Buckingham Shum, 1997), y la presencia de muchos involucrados al momento de la toma de decisiones pues se incrementa la complejidad de la situación problemática.

Una de las soluciones recomendadas por Barry and Fourie McIntosh (2001) para este tipo de problemas es la Metodología de Sistemas Blandos (SSM), la cual ofrece una estructura que abarca a todos los involucrados del proyecto en un ciclo continuo de aprendizaje. Así mismo ofrece una base que permite estructurar, y analizar las posibles respuestas de estos problemas.

El enfoque de los sistemas blandos busca explorar aquellas situaciones problemáticas y desordenadas que nacen de la actividad humana. Sin embargo, en vez de reducir la complejidad de ese “desorden”, característica de los modelos matemáticos (sistemas duros), los sistemas blandos luchan por aprender de las distintas percepciones que existen en la mente de los distintos agentes involucrados en la situación (Andrews, 2000).

**Comentario:**

*El enfoque de la presente tesis, no abarca el estudio de los sistemas blandos dinámicos, pues tal como se define en el capítulo de “Toma de Decisiones”, su análisis está incluido en la etapa estructuración del problema, y por lo tanto no incluye la premisa de la investigación (sistemas con atributos previamente definidos del diseño).*

A pesar que estos conceptos dan pie a investigaciones futuras (mayor valoración actual del factor humano en esta industria (SSM), la complejidad de las decisiones tomadas en obra y las innumerables dependencias que se pueden generar), la metodología del tipo MADA que se presenta en esta tesis, se enfoca a los sistemas blandos de un proyecto de construcción y parte de dos conceptos claros:

- ✓ Un reconocimiento adecuado de los componentes de una edificación como los presenta el UNIFORMAT II; y
- ✓ Una división adecuada de aquellos sistemas que cuentan con atributos que ameritan un análisis cualitativo (blandos), y aquellos que se encuentran previamente enmarcados en una normativa vigente la cual los rigidiza.

### 2.3. LISTADO GENERAL DE LOS COMPONENTES DE UNA EDIFICACION

La clasificación estándar de elementos dada por ASTM UNIFORMAT II "Standard Classification of Elements" muestra una clasificación de todas las partidas que deben considerarse en una obra.

Como se puede observar en la Tabla 3.3.1, el **Grupo Mayor** de elementos de construcción se incluye en el nivel 1, el **Grupo de Elementos** en el nivel 2, y los **Elementos Individuales** en el nivel 3.

Así mismo, se presenta una columna adicional en la cual se asigna la categoría de Sistema Blando o Rígido, según las consideraciones dadas en el presente capítulo. Para un mayor detalle sobre lo que incluye cada partida, revisar la bibliografía presentada al final del presente capítulo.

NIVEL 1 GRUPO MAYOR DE ELEMENTOS	NIVEL 2 GRUPO DE ELEMENTOS	NIVEL 3 ELEMENTOS INDIVIDUALES	TIPO DE SISTEMA DENTRO DEL CRITERIO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN
A SUB –ESTRUCTURA	A10 Cimentaciones	A1010 Cimentaciones Estándar A1020 Cimentaciones Especiales A1030 Losas de cimentación	SISTEMA RÍGIDO
	A20 Sótano	A2010 Excavación de sótano A2020 Paredes del sótano	SISTEMA RÍGIDO
B CASCO	B10 Super Estructura	B1010 Construcción de pisos B1020 Construcción de techos	SISTEMA RÍGIDO
	B20 Cerramiento exteriores	B2010 Paredes exteriores B2020 Ventanas exteriores B2030 Puertas exteriores	SISTEMA SEMI-BLANDO <sup>1</sup>
	B30 Cerramiento Superior	B3010 Coberturas B3020 Aberturas del techo	SISTEMA SEMI- BLANDO
C INTERIORES	C10 Construcciones interiores	C1010 Particiones C1020 Puertas Interiores	SISTEMA SEMI- BLANDO

<sup>1</sup> La definición de un sistema semi-blando, parte de un enfoque relativo a la complejidad. Dependiendo del nivel de detalle o valor económico que le corresponda puede considerarse bajo ambos criterios, aunque de todas maneras el impacto al utilizar el modelo de esta investigación es menor a aquellos sistemas netamente blandos.

	C20 Escaleras	C2010 Construcción de las escaleras C2020 Acabados de las Escaleras	SISTEMA RÍGIDO
	C30 Terminaciones interiores	C3010 Terminaciones de paredes C3020 Terminaciones de Pisos C3030 Terminaciones de Techos	SISTEMA SEMI- BLANDO
<b>D SERVICIOS</b>	D10 Sistema de Traslado	D1010 Ascensores y Montacargas D1020 Escaleras mecánicas D1090 Otros medios de Transporte	SISTEMA SEMI- BLANDO
	D20 Sistemas Sanitarios	D2010 Instalaciones empotradas D2020 Distribución del agua doméstica. D2030 Sistema de Desagüe D2040 Sistema de Alcantarillado de lluvias D2090 Otros sistemas sanitarios	SISTEMA RÍGIDO
	D30 Sistema de aire acondicionado	D3010 Generador de energía D3020 Sistemas generadores	SISTEMA BLANDO

		<p>de calor.</p> <p>D3030 Sistemas generadores de refrigeración.</p> <p>D3040 Sistema de distribución.</p> <p>D3050 Unidades terminales</p> <p>D3060 Controles e Instrumentación.</p> <p>D3070 Sistemas de prueba</p> <p>D3090 Otros sistemas y equipos</p>	
	D40 Sistema de protección contra incendios	<p>D4010 Sprinklers</p> <p>D4020 Sistema de Tuberías</p> <p>D4030 Sistemas especiales de protección contra incendios</p> <p>D4090 Otros sistemas</p>	SISTEMA SEMI- BLANDO
	D50 Sistemas Eléctricos	<p>D5010 Distribución del servicio eléctrico.</p> <p>D5020 Iluminación y cableado</p> <p>D5030 Seguridad y sistema de comunicación.</p> <p>D5090 Otros sistemas eléctricos</p>	SISTEMA SEMI- BLANDO

<b>E EQUIPAMIENTO Y AMUEBLAMIENTO</b>	E10 Equipamiento	E1010 Equipamiento comercial E1020 Equipamiento Institucional E1030 Equipamiento vehicular E1090 Otro equipamiento	SISTEMA BLANDO
	E20 Amueblamiento	E2010 Muebles fijos E2020 Muebles movibles	SISTEMA RÍGIDO
<b>F CONSTRUCCIONES ESPECIALES Y DEMOLICIONES</b>	F10 Construcciones Especiales	F1010 Estructuras Especiales F1020 Construcciones integradas F1030 Sistemas especiales de construcción. F1040 Locaciones especiales F1050 Controles e instrumentación especial	SISTEMA SEMI- BLANDO
	F20 Demoliciones	F2010 Elementos de demolición F2020 Componentes riesgosos	SISTEMA RÍGIDO

## 2.4. BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM E 833-06

“*Standard Terminology for Building Economics*” 2006 USA

BUSTARD D.W., HE Z. y WILKIE F.G. “Soft Systems and Use-case Modelling: Mutually Supportive or Mutually Exclusive?” en *Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Science*, 1999.

CROPLEY, David H; HARRIS Michael B “Too Hard, Too Soft, Just Right...Goldilocks and Three Research Paradigms in SE”, en *MANAGING COMPLEXITY AND CHANGE! INCOSE 2004- 14<sup>TH</sup> Annual International Symposium Proceedings*.

FORNERIS, Stephen; “La Ley CASA: La importancia de las normas para el futuro seguro de América Latina” *ASTM International*-Traducido de “Standardization News”, 2003

FORRESTER, Jay W. “System dynamics, Systems Thinking, and Soft OR”, *System Dynamics Review* 1994, Vol. 10, Núm. 2.

LASCARRO, Manuel Antonio “Esfuerzos por mejorar la integración latinoamericana a la estandarización en el sector de la construcción” *ASTM International*-Traducido de “Standardization News”, 2005.

*LIFE CYCLE COST ANALYSIS HANDBOOK*, Department of Education & Early Development State of Alaska, 1er Ed. 1999.

MAQSOOD, Tayyab, et al. “A Soft Approach to Solving Hard Problems in Construction Project Management”, en SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTION IN THE 21ST CENTURY (CITC-II) Sustainability and Innovation in Management and Technology (Hong Kong 10-12 Diciembre), 2003.

MAQSOOD Tayyab, et al. “Five case studies applying Soft Systems Methodology to Knowledge Management”, CRC for Construction Innovation, 2004.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (U.S. Department of Commerce) *Uniformat II Elemental Classification For Building Specifications, Cost Estimating And Cost Analysis*, United States of America, 1999:

RETAMALES SAAVEDRA, Rodrigo, et al. "Guía para la reducción de la vulnerabilidad en el diseño de nuevos establecimientos de salud" Centro Colaborador OPS/OMS de Mitigación de Desastres en Establecimientos de Salud Universidad de Chile, 2004.

ROSE, Jeremy, "Soft Systems Methodology as a Social Science Research Tool", Manchester UK, 2001.

ROSSI, Max T. "Curso de Project Management Avanzado", Revista Costos, Lima, 2006.

SKYRME, David J, "The 'Soft' Side of Software Engineering". 1992.

WINCH, Graham W. "Consensus building in the planning process: benefits from a "hard" modeling approach", *System Dynamics Review* 1993, Vol. 9, Núm. 3.

## CAPÍTULO 3

# LA TOMA DE DECISIONES EN LA CONSTRUCCIÓN

Durante las etapas de un proyecto de construcción, es necesario tomar decisiones de diferente ámbito, las cuales influyen en el éxito del proyecto, sobre todo en las etapas iniciales debido a la mayor trascendencia en los beneficios del mismo.

Sin embargo es muy difícil encontrar una secuencia o procedimiento que nos ayude en la toma de decisiones en esta industria.

El presente capítulo comenzará con la identificación de las diferentes etapas y niveles en la estructuración de una situación problemática, lo cual ayuda a una mejor evaluación y análisis al momento establecer la solución del mismo.

Para entender la aplicación de este análisis en un proyecto de Ingeniería Civil, se realiza la descripción de las etapas y elementos del proceso de toma de decisiones.

De esta manera se logra finalmente, no solo introducir al lector en las implicancias de este proceso, sino ubicar la presente tesis en el ciclo de vida de un proyecto de construcción mediante la comparación con el ciclo en la toma de decisiones en general.

### **3.1) PROCESO DE ANÁLISIS Y ESTRUCTURACIÓN DE UN PROBLEMA EN LA CONSTRUCCIÓN**

Según el Centro de Análisis de Riesgo, Medio Ambiente y Sistemas de Tecnología de la Universidad de Sidney (CRESTA), el proceso se inicia con la identificación de una situación problemática, la cual puede dificultarse dependiendo del entorno en el cual se encuentre.

Posteriormente, utilizando las técnicas adecuadas, se logra identificar y estructurar el problema y/o los problemas específicos que ocasionan esa situación. Recién en este momento, se puede realizar un análisis y una evaluación adecuada para solucionarlo.

En la Ilustración 3.1.1, se detallan las distintas herramientas que permiten realizar ambos procedimientos (estructuración y análisis). Entre ellos encontramos los que tienen un enfoque subjetivo, como un focus group o la Metodología de Sistemas Flexibles (descrita brevemente en el capítulo 2); y aquellas con las cuales se analiza y evalúa las alternativas para poder tomar la mejor decisión en un proyecto de construcción (Métodos MADA), detalladas en el capítulo 4.

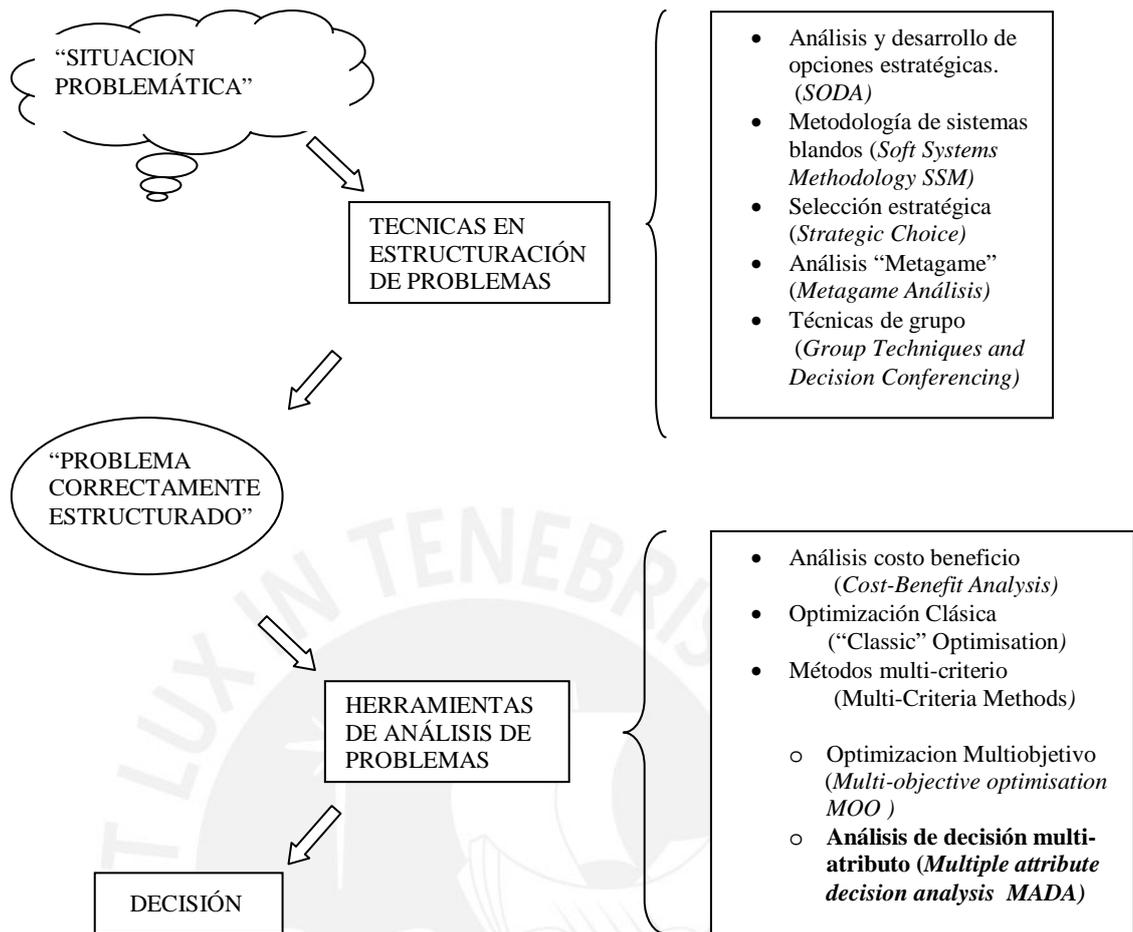


Ilustración 3.1. 1 Técnicas para Análisis y Estructuración de un Problema

La Dra Deissy Bibiana Alarcón Núñez indica en su tesis doctoral "Modelo Integrado de Valor Para Estructuras Sostenibles", que cuando los problemas de toma de decisión se conciben en proyectos de construcción, requieren un análisis de múltiples características definidas por el tomador de decisiones.

Comentario:

*Este acápite, permite entender las dos fases marcadas en la solución de un problema, la estructuración y el análisis. Saber distinguir y lograr un problema estructurado antes de emplear las distintas herramientas mencionadas, es la pauta más importante que el tomador de decisiones debe considerar antes iniciar el proceso.*

*Como se vio en el capítulo 2, el proceso de estructuración de un problema involucra "loops" y sus elementos muestran una interdependencia del tipo cíclica, por lo cual se encuentra fuera del alcance del presente documento.*

### 3.2) NIVELES DE DECISIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

En primer lugar, debido a la variedad de escenarios que un tomador de decisiones debe enfrentar en la construcción, es necesario establecer niveles de decisión, que determinan el alcance que cada uno puede llegar a tener sobre el proyecto.

El centro de investigación CRESTA, muestra los distintos niveles de toma de decisión bajo marco general, denominados: Estratégicos, Tácticos y Operacionales (Tabla 3.2.1).

NIVEL	TIPO	EJEMPLO
<b>Operacional</b>	Gestión de Operaciones	Elecciones de proveedores, gestión ambiental de los productos, cumplimiento de la legislación vigente, etc.
	Comunicaciones y Marketing	Decisiones de Marketing, etc.
<b>Táctica/Técnica</b>	Diseño y Desarrollo	Desarrollo de nuevos procesos, desarrollo de tecnología, etc.
<b>Estratégica</b>	Inversiones y Adquisiciones	Inversión en nueva tecnología, fusiones y consorcios, etc.
	Planeamiento Estratégico	Desarrollo de políticas de la empresa, estrategias de desarrollo tecnológico e investigación, etc.

**Tabla 3.2. 1** Niveles de Decisión según el Centro de Investigación CRESTA

Esta institución añade, que las decisiones tomadas en distintos niveles pueden diferir en complejidad, nivel de incertidumbre, y en la naturaleza del interés del involucrado logrando que su correcta diferenciación genere una decisión rentable, por ejemplo:

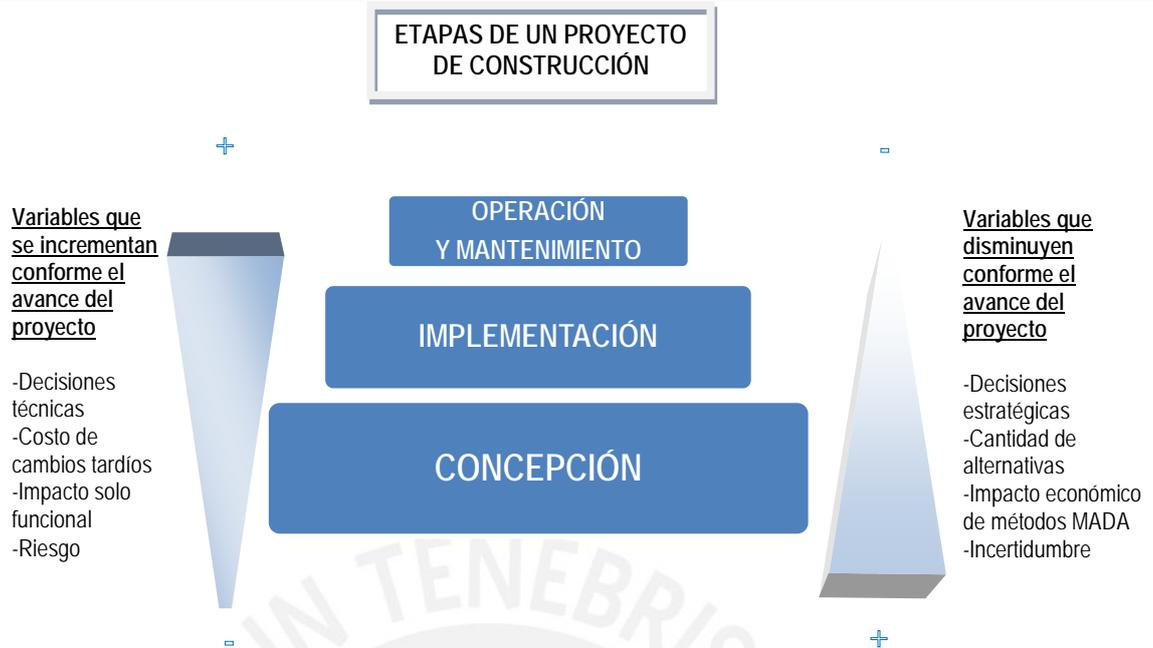
En las decisiones estratégicas -inicio del ciclo de vida del proyecto- el número de alternativas es considerable, así como el grado de

incertidumbre, y por tanto la participación de los involucrados del proyecto es indirecta.

Sin embargo en las decisiones tácticas o aquellas en las etapas tardías del proyecto, el número de alternativas se reduce así como la incertidumbre, y los involucrados participan directamente en el proyecto, pero la trascendencia de las decisiones se reduce.

El CRESTA concluye, que los involucrados en la toma de decisión usualmente tienen distintos objetivos y necesidades por satisfacer en un contexto particular de decisión; por lo tanto el manejo de variables y criterios se vuelve complejo.

A pesar que la investigación referida no tiene como base netamente la industria de la construcción, su inferencia es completamente lógica. De esta manera se muestra en la Ilustración 3.4.3, la adaptación propia a un proyecto de construcción, de los factores descritos anteriormente por cada nivel de decisión.



**Ilustración 3.4. 1** Variación de decisiones e impactos del modelo a lo largo del proyecto

Fuente: Propia

**Comentario:**

En primer lugar, la posición de las etapas de la construcción se basa en el criterio de concatenación de decisiones lo cual nos indica que el resultado de una decisión tomada en una etapa genera las condiciones de entorno para aquellas correspondientes a la siguiente.

Es decir, en un primer nivel de decisión, fase de Concepción, nosotros generamos los parámetros y pautas para el diseño, sin embargo se otorga una diversidad de libertades para que se desarrollen en la etapa posterior (Implementación), las cuales progresivamente se reducen hasta llegar a un nivel mínimo de toma de decisiones en la operación y mantenimiento de la edificación

Asimismo, se deduce las progresiones mostradas en el ilustración anterior. En una primera instancia, la participación de los involucrados en el proyecto de construcción, el costo de cambios tardíos por encontrar mejores alternativas, las decisiones técnicas, y el riesgo asumido por cada participante del proyecto, muestran un incremento notable conforme se avanza en el mismo.

En contraposición, la cantidad de decisiones estratégicas que involucran planificación y proyecciones de largo plazo del proyecto, la cantidad de criterios y alternativas que permiten una optimización en su selección, el impacto propio de los métodos MADA en el proyecto y la incertidumbre de cada decisión que se toma, es considerablemente mayor en las etapas iniciales, reduciéndose gradualmente conforme se concretizan las decisiones y disminuyen las libertades donde podemos desenvolvemos.

Esto confirma la importancia dada en la presente tesis de distinguir la fase adecuada para implementar los procedimientos de análisis en la toma de decisiones de la construcción.

### 3.3) TIPOS DE DECISIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

Es necesario definir los tipos de decisión que usualmente se dan en un proyecto de construcción, pues no solo limita el alcance de la presente tesis, sino que sirve de guía para el tomador de decisiones para diferenciar los contextos que un proyecto presenta.

En primer lugar, la Norma ASTM E 1185-02 - *Guía estándar para la selección de métodos económicos para la evaluación de edificaciones o sistemas de construcción* -, detalla los siguientes tipos de decisión al momento de realizar una inversión en una edificación o sistema de la misma :

***Decisión de Aceptación/Rechazo:*** Se considera este tipo de decisión al análisis de rentabilidad o viabilidad de la construcción de la edificación de forma individual o de un solo sistema de la misma. Este tipo de decisión se realiza de forma independiente a otras evaluaciones del proyecto. Se enfoca principalmente en los méritos de una sola alternativa, en vez de encontrar la opción más óptima.

***Decisión de Diseño:*** Una decisión de este tipo se refiere a elección entre alternativas de diseño para un sistema en particular, donde solo una de ellas puede ser seleccionada. El modelo de análisis y evaluación que posteriormente se presenta, considera este tipo de toma de decisión, pues se realiza una comparación sistemática de las alternativas en la etapa de diseño y se obtiene una opción óptima.

***Decisión por Tamaño o Alcance:*** En la cual se pretende elegir el nivel de alcance de la inversión que se quiere realizar, y la selección considera que sólo se puede optar por un nivel de alternativas.

***Decisión por Prioridad:*** Una decisión por prioridad abarca la elección de uno o más proyectos de un grupo pre-seleccionado por su rentabilidad; donde por un presupuesto limitado no podemos considerar la implementación de todos los sistemas en nuestro proyecto y por lo tanto tenemos que discriminar a aquellos de menor prioridad.

Por otro lado, el Instituto de Nacional de Estándares y Tecnología, del departamento de Comercio de los Estados Unidos (NIST), muestra un enfoque más sencillo y de fácil entendimiento que abarca las decisiones típicas relacionadas a la construcción con múltiples atributos, en cuatro clases:

1. Elección entre posibles ubicaciones de una construcción
2. Elección entre edificios
3. Elección de los materiales de construcción
4. Elección entre los componentes de un edificio

**Comentario:**

*La presente tesis se enfoca directamente en las decisiones de Diseño según lo indicado por la ASTM, y en la elección entre la mejor alternativa para un componente o sistema de un edificio según la definición de NIST, ya que implica un campo de aplicación razonable y adaptable al medio actual de la construcción.*

### **3.4) ELEMENTOS BÁSICOS EN UNA TOMA DE DECISION EN LA CONSTRUCCIÓN**

A continuación se describen los elementos del proceso de toma de decisiones, lo cual permitirá una comparación con el ciclo de proyecto de construcción.

Este reconocimiento viene dado por Aragonés P. del departamento de Ingeniería de Construcción de la Universidad Politecnica de Valencia (1997), citado por la Dra Deissy Bibiana Alarcón Núñez en su tesis doctoral “Modelo Integrado de Valor Para Estructuras Sostenibles” ; y son los siguientes:

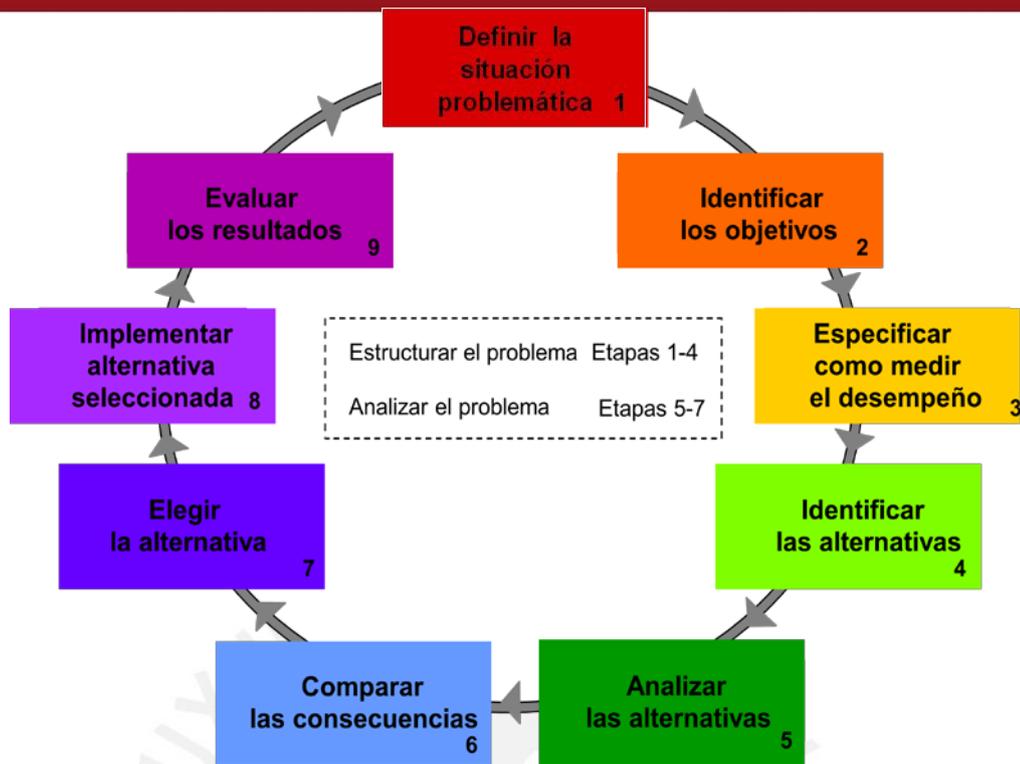
1. **Un decisor o unidad decisora:** Conformada por un conjunto de individuos cuyo interés es la solución de un problema
2. **Las alternativas o posibles decisiones:** Que es un conjunto de decisiones, estrategias o posibles acciones que hay que analizar durante el proceso de evaluación y búsqueda de la mejor solución

3. **Un ambiente o contexto de la situación de decisión:** Es el conjunto de características que definen la situación en lo que se refiere al mundo exterior.
4. **Criterios:** Este concepto engloba objetivos, atributos que se consideran relevantes en un contexto decisional. El objetivo indica el camino en la que el decisor debería enfocarse. El atributo mide el grado de alcance o cumplimiento de ese objetivo. Para cada alternativa se definen unos atributos que permiten definir la consecuencia de la decisión.
5. **Solución eficiente:** Un conjunto de soluciones es eficiente cuando está formado por soluciones factibles, y por las cuales se obtiene el mejor desempeño de cada uno de los atributos.

### 3.5) ETAPAS DE LA TOMA DE DECISIÓN PARA DAR SOLUCIÓN A UN PROBLEMA

Siguiendo con la descripción del ciclo de toma de decisiones en la construcción mencionado en el acápite 3.3., se detalla las etapas del mismo.

El centro de investigación CRESTA se basa en el ciclo de análisis mostrado en la ilustración 3.4.1, para la toma de decisiones en el ámbito de desarrollo sostenible; cabe resaltar la relación con la estructuración y análisis de un problema dado en el acápite 3.1, y bajo la cual ubicaremos la presente tesis.



**Ilustración 3.4.2** Ciclo de Análisis para la toma de decisiones según CRESTA

En un análisis similar del ciclo anterior, la Dra. Alarcón en su tesis doctoral, detalla algunas características de las etapas de la toma de decisiones:

1. Identificación y diagnóstico del Problema: Es la situación que se desea resolver mediante la selección de una alternativa de las que se dispone. Su evaluación se realizara mediante una comparación adecuada de consecuencias en base a criterios previamente definidos.
2. Definición del Objetivo: Son las necesidades e intereses que se identifican para mejorar una situación existente. Los objetivos serán establecidos por el grupo decisor involucrado.
3. Identificación de criterios: Son las dimensiones que afectan significativamente a los objetivos y deben expresar las preferencias de los implicados en la toma de decisión.
4. Generación de soluciones alternativas: Son propuestas factibles a partir de las cuales se podrá alcanzar el objetivo general.

5. Evaluación de alternativas: Es la fase de valoración de cada una de las distintas alternativas a la luz de los diferentes criterios. Se miden los atributos que permiten expresar el grado de satisfacción que cada alternativa alcanza para cada criterio.
6. Evaluación de la decisión: Consiste en la selección de la mejor solución

La secuencia lógica en la toma de decisiones en el ámbito de la construcción, nos permite entender el equívoco paradigma al traslapar las etapas mencionadas, pues se intenta dar una solución sin antes definir los objetivos ni el problema en si mismo.

La marcada diferencia que plantea CRESTA entre la estructuración y el análisis de un problema, mencionada en el acápite 3.1., permite que el modelo presentado en el capítulo 5, sea un reflejo aplicativo de las etapas 5, 6 y 7; ya que abarca un análisis completo de alternativas para un sistema de construcción, la evaluación de sus características y la elección de la alternativa más optima.

Por otro lado, la implementación de la alternativa seleccionada y evaluación de los resultados de la misma –etapas 8 y 9-, no se encuentran dentro del alcance de la siguiente tesis pues implica una investigación avanzada de campo

A continuación se presenta la ilustración 3.4.2 (fuente propia) resultado de la recopilación de información en este capítulo.

Este gráfico muestra una comparación entre las etapas de un proyecto de ingeniería civil y el proceso de toma de decisiones. Esto permite resaltar la estructuración de la decisión a lo largo del avance de la construcción. Como se indicó en el capítulo 1, la premisa básica de la investigación es que el análisis de alternativas que se presenta, se basa en que los sistemas del proyecto que se evalúan, debe poseer atributos básicos definidos.

En esta ilustración se sustenta esta aseveración, debido que en la etapa de concepción, el problema y los objetivos de la decisión se definen; sin embargo, es en la fase de diseño -al momento de la aprobación del planteamiento de componentes- donde el modelo implementa el análisis, comparación y elección de la alternativa óptima para obtener el mayor beneficio del proyecto.

Esta comparación no excluye la aplicación de los métodos de toma de decisiones en otras fases del proyecto, o la ocurrencia de ciclos de decisión que se producen en cada etapa de forma independiente; no obstante el gráfico cumple el objetivo planteado inicialmente de ubicar la evaluación de decisiones en el contexto específico de la construcción

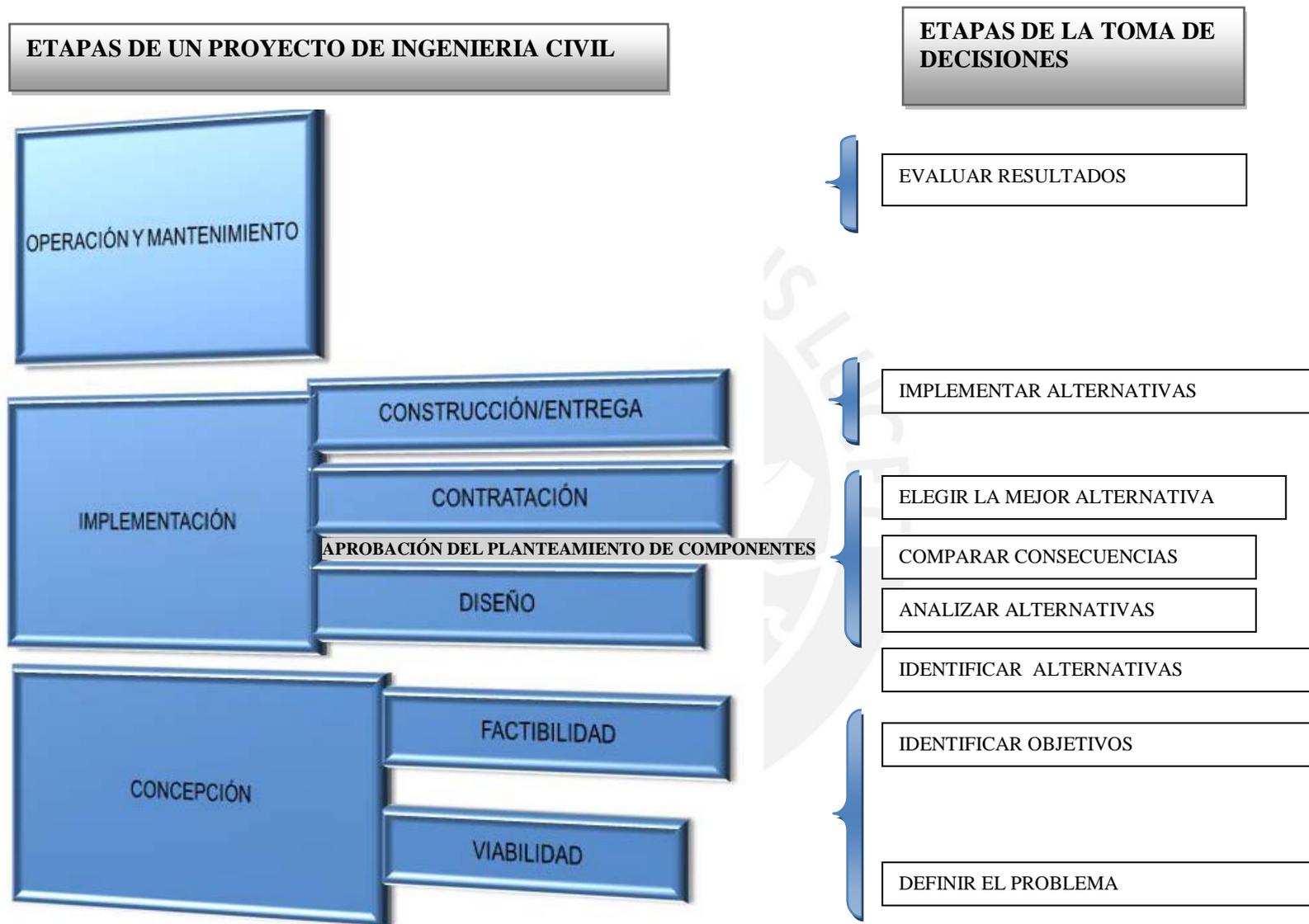


Ilustración 3.4. 3 Comparación de las Etapas de un Proyecto de Ingeniería Civil con la Toma de decisiones  
Fuente: Propia

### 3.6. BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM E 1185-02  
“Standard Guide for Selecting Economic Methods for Evaluating Investments in Buildings and Building Systems” 2002 USA

ALARCON NUNEZ, Deissy Bibiana. “Modelo Integrado de Valor para estructuras Sostenibles”. Director: Antonio Agüado de Cea. Universitat Politècnica De Catalunya, Departamento de Caminos, Canales y Puertos, 2005

ASHLEY, William C. y MORRISON, James L. “Anticipatory Management: Tools for Better Decision Making” *THE FUTURIST* (Septiembre/Octubre 1997).

BARBA ROMERO, Sergio. “Evaluación Multicriterio de Proyectos de Ciencia y Tecnología” *SAGE UNIVERSITY PAPERS*. 1982

EDWARDS, Ward y NEWMAN, J Robert. “Multiattribute evaluation: Quantitative Applications in the Social Sciences”

LAUFER, Alexander, WOODWARD, Hugh y HOWELL, Gregory A. “Managing the Decision-Making Process during Project Planning” *Journal of Management in Engineering* ( Marzo/Abril 1999).

MCINTYRE, Charles, KIRSCHENMAN, Merlin y SELTVEIT, Scott, “Applying Decision Support Software in Selection of Division Director” *Journal of Management in Engineering* ( Marzo/Abril 1999).

PETRIE, Jim, et al. “Structured Approaches to Decision Making for Cleaner Products and Processes” [Material gráfico proyectable, 30 diapositivas]. CRESTA (Centre for Risk, Environment and Systems Technology and Analysis) , Sydney, 2006

ROCHA, Wayi Chain. “DSS: Una evolución para mejorar el proceso de toma de decisiones” (Marzo 2006)

SKIBNIEWSKI, Mirosław J. y CHAO, Li-Chung. “Evaluation on advanced Construction Technology with AHP Method” *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 118, Núm. 3, Septiembre 1992.

## CAPITULO 4

**EVALUACIÓN MULTICRITERIO COMO  
MÉTODO DE ANÁLISIS EN LA  
CONSTRUCCIÓN**

Es común que en un proyecto de ingeniería civil, no solo se unifiquen todos los componentes de la edificación bajo un criterio enfocado a sistemas rígidos; sino que se utilicen indicadores económicos de evaluación, que exclusivamente consideran beneficios y costos monetarios asociados a las alternativas de inversión.

Sin embargo estas alternativas, no necesariamente se pueden expresar en términos monetarios tan fácilmente, ya que los atributos pueden tener características no financieras (cuantitativas o cualitativas).

Una clase de método que puede manejar estos beneficios no monetarios y monetarios, es el análisis de decisión multiatributo (MADA), descrito en el presente capítulo. Se presentan sus elementos, simplificaciones y distintas metodologías que se incluyen en este tipo de enfoque, finalizando con la descripción detallada del método elegido como base de la investigación.

## 4.1. ANALISIS DE DECISION MULTIATRIBUTO

Los métodos MADA se aplican en problemas donde el tomador de decisión necesita elegir o jerarquizar un número finito de alternativas, donde se pueden medir dos o más atributos relevantes. La literatura que describe estos métodos es considerable, pero la principal base se encuentra descrita por Chen y Hwang<sup>1</sup>, y Hwang y Yoon<sup>2</sup>.

A continuación se describen los elementos y simplificaciones del enfoque MADA de acuerdo al Instituto de Nacional de Estándares y Tecnología, del departamento de Comercio de los Estados Unidos.

### 4.1.1. Elementos de un problema tipo MADA

Entre los elementos más representativos de este tipo de problemas se tiene:

#### a) Cantidad finita de Alternativas

El NIST, indica que un problema del tipo MADA involucra un análisis de un juego discreto, finito y usualmente pequeño de alternativas.

De esta manera, los problemas tipo MADA se diferencian de aquellos denominados MODA - Análisis de decisión multiobjetivo - donde se involucra el **DISEÑO** de la mejor alternativa considerando los intercambios e interacción de las diferentes restricciones del proyecto. En un problema de este tipo, se considera infinito al número de alternativas, y esta interacción muchas veces se considera mediante funciones continuas. Los problemas de **optimización** multicriterio como lo describe Stadler<sup>3</sup>, se encuentra dentro de este tipo de análisis MODA.

Por ejemplo, seleccionar el mejor sistema de aire acondicionado entre varias alternativas para un edificio es un problema del tipo MADA. En

---

<sup>1</sup> Shu-Jen Chen and Chin-Lai Hwang, *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*, en “Economics and Mathematical Systems”, New York, 1992.

<sup>2</sup> Ching-Lai Hwang and Kwangsun Yoon, *Multiple Attribute Decision Making*, en “Economics and Mathematical Systems”, 1981.

<sup>3</sup> Wolfram Stadler, “Fundamentals of Multicriteria Optimization,” *Multicriteria Optimization in Engineering and in the Sciences*, Plenum Press, New York, 1988.

contraste, todo el diseño y las especificaciones de la construcción de un edificio y su sistema de aire acondicionado, corresponden a un problema MODA.

b) Intercambio de atributos

Los problemas que requieren de los métodos MADA –distingue el NIST - muchas veces no exhiben el mejor valor o performance en todos los atributos asignados. Por este motivo es necesario realizar un balance entre atributos, ya que el enfatizar en alguno, puede significar perder valor en otro atributo pero sin dejar de ser la mejor alternativa.

c) Unidades no comunes

De acuerdo al NIST, los atributos en un problema tipo MADA, generalmente no son medibles en las mismas unidades. De hecho, la medición de algunos atributos es poco práctica, imposible, o muy complicada. Por ejemplo, el costo a lo largo del ciclo de vida de un sistema de construcción se mide directamente en términos monetarios, el número y tamaño de oficinas será medido en otras unidades, así como la imagen pública del edificio puede ser simplemente no medible. Sin embargo, como se verá más adelante, es posible valorizar las variables logrando unificar los scores para una elección adecuada.

d) La matriz básica de decisión

Un problema MADA, según NIST, puede generalmente ser caracterizado por una matriz básica de decisión, en la cual se indican en un eje las alternativas y en el otro los atributos que son considerados en un determinado problema.

Por ejemplo, en un problema con un total de “m” alternativas, caracterizados por “n” atributos se describe como “m x n”, tal como se muestra en la ilustración 4.1.1. Cada elemento de la matriz tiene un score o un ranking, que significa la performance de la alternativa de esa fila respecto al atributo de esa columna, y puede ser colocado en términos numéricos o verbales.

$$X = \begin{pmatrix} X_{11} & & X_{1n} \\ \text{(Información de la alternativa 1 con respecto al atributo 1)} & & \text{(Información de la alternativa 1 con respecto al atributo "n")} \\ & X_{ij} & \\ & \text{(Información de la alternativa "i" con respecto al atributo "j")} & \\ X_{m1} & & X_{mn} \\ \text{(Información de la alternativa m con respecto al atributo 1)} & & \text{(Información de la alternativa "m" con respecto al atributo "n")} \end{pmatrix} = [X_{ij}]$$

**Ilustración 4.1. 1** Matriz Básica de Decisión

*Fuente: Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST)*

A excepción de los métodos MADA más elementales, se requiere mayor información del proyecto para poder llegar a una correcta selección.

Por ejemplo, esta matriz no proporciona información sobre la importancia relativa de cada uno de los distintos atributos para el tomador de decisión; ni tampoco el mínimo o máximo aceptable o valores especiales para determinados atributos.

Una característica que resalta esta guía, es que la matriz únicamente debe contener aquellos atributos que destacan en alguna de las alternativas, y por lo tanto sea importante para el decisor; ya que si el atributo es uniforme en todas las opciones, no debe ser incluido en esta matriz.

#### 4.1.2. Asunciones comunes de simplificación

Una de las principales simplificaciones que se realiza, es obviar las incertidumbres inherentes que puede existir dentro de la matriz de decisión base. Esta omisión se da, debido que los valores inciertos se representan por aquellos valores esperados, en vez de distribuciones de probabilidad. Por ejemplo, al momento de convertir escalas como “bueno” o “malo”, a una escala numérica.

Hay métodos más elaborados que incluyen el análisis de sensibilidad y la imprecisión e incertidumbre en los costos estimados, por ejemplo “FUZZY SET THEORY”, los cuales se encuentran fuera del alcance de la presente tesis.

## 4.2. MÉTODOS COMUNES UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS MULTICRITERIO

Luego de la revisión de la diversa información respecto a los métodos, y la división bajo la cual pueden ser enfocados, se eligió dos perspectivas que describen, bajo argumentos de fácil entendimiento e investigaciones que los respalda, varios métodos para el análisis de decisiones multicriterio.

Ambas y llegan a una conclusión similar en la elección de los procedimientos que son más adecuados en el campo de la construcción.

En primer lugar, detallaremos la división realizada por la doctora Alarcón en su “Modelo Integrado de Valor para Estructuras Sostenibles” donde considera los métodos de evaluación, por un lado de acuerdo según el número de alternativas<sup>4</sup> y por otro, aquellos que dependen de una función adicional de valor para su implementación.

En la Tabla 4.2.1 y 4.2.3, se muestra esta división junto con sus características, y una breve descripción que intenta resumir la investigación realizada.

Por otro lado se mostrará, la división realizada por el NIST que muestra una mayor cantidad de criterios para su ejecución, en la Tabla 4.2.4.

---

<sup>4</sup> La Dra. Alarcón también realiza una división de acuerdo a la información sobre las preferencias del tomador de decisiones, sin embargo, de acuerdo al alcance de la presente tesis, la descripción de estos métodos no se incluye en esta revisión. Así mismo, se detallan rubros que van más allá del alcance de los métodos MADA como es la cantidad infinita de alternativas o la inclusión de la incertidumbre.

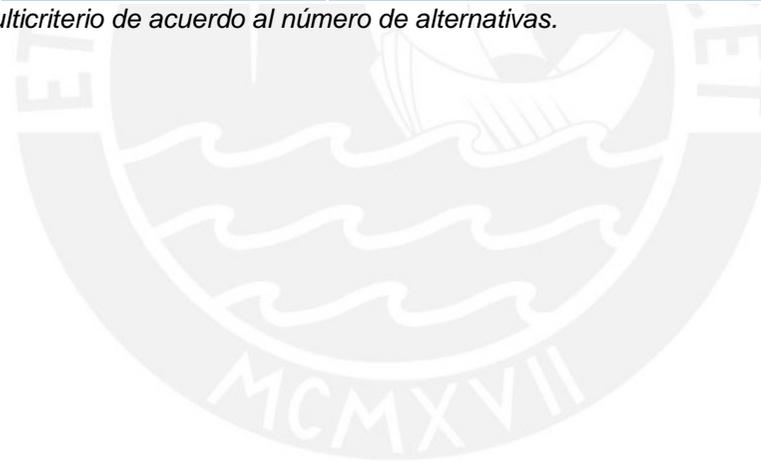
TÉCNICA	CARACTERÍSTICAS	METODOLOGÍAS	DESCRIPCION
<b>Infinito Continuo</b>	El número de alternativas es infinito, y se aplican aproximaciones basadas en optimización, en la que se supone que los distintos objetivos pueden ser expresados en un denominador común mediante intercambios	<p><b>Programación por metas y programación por compromiso</b></p> <p>TOPSIS (Technique for Order Preference by similarity to Ideal Solution)</p>	Es la denominada metodología de programación por compromisos. Es utilizada para identificar soluciones que se encuentran lo más cerca posible a una solución ideal aplicando para ello alguna medida de distancia. Las soluciones así identificadas se denominan “soluciones compromiso” y constituyen el conjunto más cercano al cumplimiento del objetivo de la evaluación.
<b>Finito Continuo<sup>5</sup></b>	Incluye casos con número pequeño de alternativas y varios criterios. Se suelen denominar decisiones con multiatributos. El punto de partida es una matriz en la cual sus elementos representan la importancia de un atributo con respecto a una alternativa.	<p><b>Métodos de superación:</b></p> <p>PROMETHEE (Preferente Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations)</p>	<p>Consiste en la construcción de relaciones de superación con asignación de valor en cada caso, e incorpora conceptos y parámetros con interpretación física o económica fácilmente comprensibles por el decisor.</p> <p>Este método utiliza el concepto de seudocriterio (diferencia de puntaje de dos acciones respecto a algún criterio, donde se produce un rango indefinido) ya que construye entre cada par de alternativas dadas a y b, una función: <math>\pi(a,b)</math>, tomando en cuenta la diferencia de puntuación que esas acciones poseen respecto a cada atributo. La asignación de valor o importancia de esas diferencias, pueden realizarse mediante seis funciones de valor posibles y que son utilizadas de acuerdo a las preferencias del decisor, quien además debe proporcionar los rangos</p>

<sup>5</sup> En la tesis doctoral “Modelo Integrado de Valor para Estructuras Sostenibles”, el autor considera que existe una división adicional- Técnicas finitas discretas- entre las cuales incluye a los métodos de decisión multiobjetivo. Sin embargo, luego de profundizar en el tema, se considera que no existe una diferencia clara entre este tipo de métodos y aquellos considerados como Finitos Continuos, y por lo tanto el único criterio válido que se describe es el número de alternativas que se evalúan.



		<p>• <u>Jerárquicos</u>                  A.H.P.(Analytical Hierarchy Process)</p> <p>A.N.P.(Analytical Network Process)</p>	<p>El A.H.P. involucra todos los aspectos concernientes a la toma de decisión: El problema se modela a través de una estructura jerárquica, y utiliza escala de prioridades basada en la preferencia de un elemento sobre otro, ordena estos juicios y entrega un "ranking" de las alternativas de acuerdo a los pesos obtenidos.</p> <p>El A.N.P. por su parte, provee un esquema para introducir juicios y medidas. Estos juicios se derivan de una escala de prioridades previamente establecida. Adicionalmente se hacen unas comparaciones por pares para obtener prioridades. El A.N.P. se divide en dos partes. La primera es un control de jerarquía o de red de objetivos y criterios que controlan las interacciones del sistema bajo estudio. La segunda corresponde a muchas sub-redes que pertenecen a cada criterio.</p>
--	--	---	--

**Tabla 4.2. 1** División de evaluaciones multicriterio de acuerdo al número de alternativas.



Luego de esta descripción, la Dra Alarcón en su “Modelo Integrado de Valor para Estructuras Sostenibles”, confirma que el AHP (Analytical Hierarchy Process) destaca en relación a los otros métodos.

Los argumentos en los cuales basa esta afirmación son:

-Además de la asignación de pesos a los atributos, se puede considerar como una estructura completa para la toma de decisiones.

-Considera que esta asignación es una consecuencia de un planteamiento ordenado, y no realizado a priori, y que involucra la comparación por pares, el cual es un planteamiento admitido en el ámbito científico,

A continuación se presenta un cuadro comparativo, utilizado como un argumento de lo indicado anteriormente en la tesis de referencia, del AHP en relación a otros métodos de uso comercial.

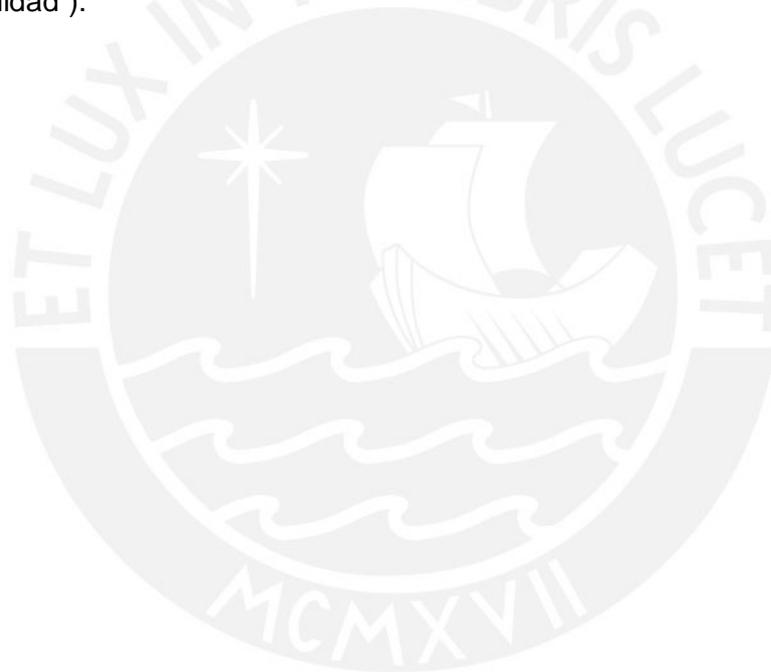
TECNICA	COMPLEJIDAD DE CALCULO	INVERSION DE TIEMPO	DE FIABILIDAD	ALCANCE
<b>Análisis Básico Multicriterio<sup>7</sup></b>	Sencilla	Mínima	Baja	Proyectos Pequeños
<b>Utilidad Multiatributo</b>	Compleja	Máxima	Media	Proyectos Medianos y Pequeños
<b>Electro III</b>	Compleja	Máxima	Media	Proyectos Grandes y Medianos
<b>A.H.P</b>	Compleja	Máxima	Alta	Proyectos Grandes y Medianos

**Tabla 4.2. 2** Alcance de los principales métodos de evaluación

<sup>7</sup> Se considera dentro de este rubro a aquellos métodos que consideran únicamente la matriz de decisión descrita anteriormente como herramienta para la toma de decisiones, asumiendo las limitaciones que esta conlleva.

Por otro lado, se describen los métodos que consideran una función de valor, la cual puede definirse como la diferencia del beneficio en la magnitud de un atributo con respecto a otro. El objetivo básico de esta función, es transformar la importancia de los atributos o variables (reflejada en un número) a una escala común entre ellos.

Estas metodologías pueden dividirse bajo dos enfoques: una en el cual se conocen los valores de cada criterio con certeza asociado a su alternativa (en este caso la función se denomina “Función de Valor”), y otra en el cual los criterios se modelan, debido a la incertidumbre, mediante variables aleatorias asociadas a cada alternativa (Para este caso la función se denomina “Función de Utilidad”).



## MÉTODOS QUE INCLUYEN UNA FUNCION DEL VALOR

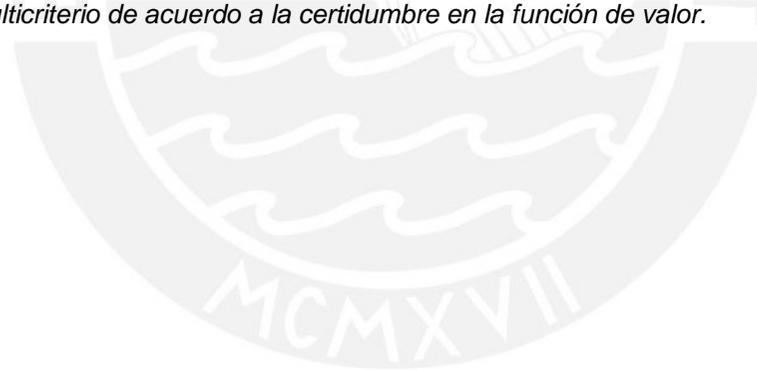
FUNCION DE VALOR CON CERTIDUMBRE	<b>Total Implied Value Method(NCIC)</b>	<p>La construcción de la función de valor se hace expresada en términos monetarios. Esta tiene en cuenta beneficios y costos respecto a una alternativa base. Para construir la función se comparan los incrementos de valor para cada una de las alternativas en un atributo específico con respecto a una alternativa base. Los incrementos de valor estimados se grafican versus el valor de los actuales niveles de funcionamiento de tal manera que se obtenga una función de valor implícita "implied value function (IVF)"</p> <p>El eje de las abscisas corresponde a los valores cuantitativos en caso de ser atributos medibles con sus respectivas unidades. En este caso, la función se utiliza, además de ordenar y priorizar las alternativas, en seleccionar la más preferida y para corroborar la consistencia de los juicios del tomador de decisiones</p>
	<b>Método de la Bisección</b>	<p>Para construir la función inicialmente se debe identificar la peor y la mejor magnitud en el atributo (para ello se puede o bien elegir entre dos de las alternativas propias o establecer dos externas no incluidas en la evaluación, aunque conviene que se siga el mismo criterio en todos los atributos). Posteriormente se debe asignar el valor de 0 a la menor y 100 a la mayor de las alternativas en el atributo en estudio.</p> <p>Luego se define qué magnitud del atributo produce un valor medio en la función de valor, asignándole un valor de 50. Se debe repetir el proceso para encontrar magnitudes intermedias con valores entre 0 y 50 y entre 50 y 100. Con estos, se deben representar las magnitudes del atributo (abscisas) y sus correspondencias según la función de valor. Después se traza la curva suavizada que une todos los puntos de la función. A partir de allí, se obtiene los valores cuando existen muchas alternativas.</p>
	<b>Método de las diferencias iguales</b>	<p>En este método se asigna valor a la diferencia entre magnitudes lo que permite discriminar los beneficios asociados a los cambios de magnitudes de la variable (atributo) en estudio. Este consiste en determinar la diferencia a partir del valor más bajo (<math>X_0</math>) y de la variable (<math>X_1 - X_0</math>). El siguiente paso consiste en establecer otra diferencia por encima de la anterior (<math>X_2 - X_1</math>) cuyo beneficio sea similar al producido en la primera diferencia. Estas diferencias se repiten sucesivamente hasta que se alcance la cantidad máxima de la variable en estudio. A partir de estos valores, se construye la función de valor deseada.</p>

FUNCION DE VALOR CON INCERTIDUMBRE	<b>Método de Rios y YU</b>  <i>Modelo de función de valor general</i>   <i>Modelo de funciones de valor aditivas</i>	<p>Este modelo se basa en dos procedimientos: La construcción de “superficies de isovalor” y en la construcción, propiamente dicha, de la función de valor a partir de estas “superficies”. La idea básica de este concepto es que se parte de un punto y se da incrementos, hasta que se obtiene, por consulta al decisor, el incremento negativo de la otra variable. Se obtiene un cociente, denominado tasa de intercambio. Por pasos sucesivos se consigue la curva de valor y mediante un ajuste, se obtiene la función buscada.</p> <p>o Método 1 de la sucesión estándar o de la “sierra”</p> <p>o Método 2: Método de graduación directa</p> <p>El decisor asigna directamente un valor numérico para cada atributo particular de las alternativas. En caso de que las posibilidades correspondan a una función continua se debe considerar un intervalo mínimo y máximo. Posteriormente, mediante interpolación lineal obtener las asignaciones de valor o también mediante estimación subjetiva directa de algunos.</p> <p>o Método 3: Método del punto medio</p>
	<b>Método Convencional</b>	<p>Cuando existen probabilidades, riesgo e incertidumbre, se usan las “loterías” para construir las funciones de valor, Una lotería es un suceso probabilístico. En la función de utilidad, definida al inicio del acápite, se representa la actitud del decisor con respecto al riesgo. Según la literatura, esta técnica refleja la valoración de beneficios por parte del decisor, aunque los errores de medida y las diferencias observadas entre los distintos procedimientos de construcción son mayores que las diferencias mismas entre función de valor y de utilidad, prefiriendo por tanto, la función de valor por su simplicidad. La construcción de esta función a partir del método convencional se inicia estableciendo un rango de valores de utilidad</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir una variable como mejor alternativa posible en rango</li> <li>• Definir una variable como la peor alternativa posible en rango</li> <li>• Asignar valores convenientes de la función para cada una</li> <li>• Recolectar datos para encontrar nuevas variables en la función.</li> </ul> <p>Repetir, sustituyendo una nueva variable en la lotería, a partir de un valor medio, y obtener la función de utilidad.</p>

	<p><b>BRLT (Basic referente Lotery Ticket)</b></p>	<p>Consiste en definir la mayor alternativa y la peor de aquellas disponibles en el atributo en evaluación. Construir la lotería : puede ocurrir la mejor alternativa con una probabilidad de P, o en caso contrario ocurrirá la peor con una probabilidad de 1-p. Luego elegir una magnitud de la variable que deseamos conocer su utilidad. Puede ser directamente una magnitud correspondiente a una de las alternativas. Mediante sucesivas preguntas y respuestas con el decisor, cambiando los valores de p, debe establecerse la relación entre una variable cualquiera, y las probabilidades de la mejor y peor alternativa</p> <p>Determinado el intervalo preguntar directamente al decisor por la probabilidad de la variable en estudio, incluida en el intervalo, para el cual su preferencia entre la cantidad segura y la lotería se hace indiferente. Finalmente se debe calcular la utilidad de la variable .</p> <p>La ventaja de estos métodos es que presenta de manera formal una situación incierta, pero la clara desventaja es que es difícil saber la probabilidad de ocurrencia del fenómeno.</p>
	<p><b>A fuzzy logic Stochastic Technique for project selection</b></p>	<p>Este método es el más actual de los mencionados hasta el momento, y el procedimiento en el cual consiste es el siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Especificar y hacer un listado de los atributos para la evaluación.</li> <li>- Obtener estimaciones de expertos para los atributos: Para atributos inciertos, los expertos consideran subjetivamente el valor optimista y el más pesimista. Estos valores proveen un intervalo de probabilidades en números reales , esto es, <math>(P_x &lt; a</math> o <math>P_x &gt; b)</math>. Para atributos cualitativos se escalan de acuerdo a las preferencias del decisor.</li> <li>- Determinación empírica de las funciones de utilidad: Básicamente esta función pues ser aditiva o multiplicativa. Aquí, para cada atributo, se especifica una función. Se otorga al mejor valor una utilidad de uno y al peor un valor esperado de cero. Luego el decisor admite un valor indiferente entre recibir una cantidad determinada o la lotería.</li> </ul> <p>A partir de este número se puede obtener una utilidad igual al valor esperado para este número. Con el mismo procedimiento, se obtiene la utilidad entre el peor y el mejor valor en comparación con aquel que resulta indiferente.. Con estos datos, se siguen creando hipotéticas loterías entre los nuevos valores que se obtienen.</p> <p>Al final, la forma de la función de utilidad depende de los juicios de subjetividad.</p> <p>Comúnmente, las funciones de utilidad son expresadas matemáticamente en términos exponenciales, logarítmicas o polinómicas .</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Representación "difusa" o "fuzzy" de la utilidad de atributos: Para esta representación numérica se usan tres valores: el peor, indiferente y el mejor. La función se define mediante funciones decrecientes, un valor medio y valores para las tendencias a la izquierda o derecha respectivamente.</li> <li>- Determinar el peso para los atributos.</li> <li>- Derivación de la función de utilidad. Una vez que se obtienen los pesos y el número Fuzzy para cada atributo, es necesario substituirlo en el modelo agregado de utilidad para obtener la función de utilidad. Para este caso se utilizan los modelos aditivos y multiplicativos mencionados al comienzo.</li> </ul> <p>Comprobación del dominio estocástico: El mayor defecto de la función de utilidad es que no puede ser usada en el caso en que dos o más alternativas tengan cerca sus puntuaciones por tanto hay que realizar comprobaciones del dominio estocástico. El dominio estocástico es el análisis de la distribución de probabilidades sin especificar si la media o la varianza es el parámetro considerado. En el caso del número fuzzy la probabilidad acumulativa puede ser aproximada por una distribución triangular donde se tienen los valores mínimo, máximo y más probable. La desventaja también es el conocimiento de las funciones de probabilidad</p>
--	--	---

**Tabla 4.2. 3** División de evaluaciones multicriterio de acuerdo a la certidumbre en la función de valor.



**Comentario:**

*En este primer enfoque de división de los distintos métodos y técnicas para la toma de decisiones, se observa el nivel de complejidad numérica y de procedimiento bajo el cual se puede trabajar.*

*En el ámbito de la construcción, es claro que depende mucho del nivel de inversión de tiempo, fiabilidad y alcance bajo el cual se requiera ejecutar el proceso de toma de decisiones. Sin embargo, se llega en un primer caso, a la conclusión que el planteamiento que combina y resume mejor este proceso, y se presenta como una herramienta adecuada para la construcción, es el Analytical Hierarchy Process.*

*En segundo lugar, se concluye que el manejo de la incertidumbre, expande notablemente el procedimiento para la evaluación de alternativas, y por lo tanto la utilización de funciones de valor aditivo, que bajo un rigor científico y menor esfuerzo, es una forma adecuada para representar el beneficio entre las alternativas..*

*Cabe resaltar, que el método NCIC; a pesar de incluirse en otro rubro en la división presentada anteriormente, se encuentra entre los procedimientos que tienen funciones de valor del tipo aditivo, tal como se detalla en el siguiente acápite.*

En un segundo enfoque, se describe la división realizada por el NIST de los distintos métodos y clases de métodos utilizados para el análisis de decisiones de múltiples atributos.

### Métodos MADA para la toma de decisiones

METODO O CLASE	PROPÓSITO	COMPENSATORIO O NO COMPENSATORIO	INFORMACION EXTRA A LA MATRIZ DE DECISION	
			SOBRE LOS ATRIBUTOS	SOBRE LAS ALTERNATIVAS
<b>Dominación</b>	Revisar	N/A	Ninguna	Ninguna
<b>“Maximin”</b>	Priorizar, Seleccionar	No compensatorio	Ninguna	Ninguna
<b>“Maximax”</b>	Priorizar, Seleccionar	No compensatorio	Ninguna	Ninguna
<b>Conjuntivo o de Satisfacción</b>	Revisar	No compensatorio	Mínima performance de cada atributo	Ninguna
<b>Disyuntivo</b>	Revisar	No compensatorio	Mínima performance de cada atributo	Ninguna
<b>Lexicográfico</b>	Priorizar, Seleccionar	No compensatorio	Priorización por importancia de forma alfabética	Ninguna
<b>Lexicográfico Semi-Orden</b>	Priorizar, Seleccionar	No compensatorio	Priorización por importancia de forma alfabética, y rangos para los “empates”.	Ninguna
<b>Eliminación por Aspectos</b>	Seleccionar	No compensatorio	Priorización por importancia de forma alfabética, y mínima performance	Ninguna

<b>Método de Asignación Lineal</b>	Revisar, Priorizar, Seleccionar	Compensatorio parcialmente	Niveles o Pesos de importancia (formato numérico)	Evaluación(formato alfabético) y priorizar performance
<b>Sumatoria de pesos (incluye AHP)</b>	Revisar, Priorizar, Seleccionar	Compensatorio	Niveles o Pesos de importancia (formato numérico)	Evaluación(formato numérico) y priorizar performance
<b>Producto de pesos</b>	Revisar, Priorizar, Seleccionar	Compensatorio	Niveles o Pesos de importancia (formato numérico)	Evaluación(formato numérico) y priorizar performance
<b>NCIC</b>	Revisar, Priorizar, Seleccionar	Compensatorio	Comparaciones en pares de las diferencias con respecto a valores base, entre atributos para cada alternativa.	
<b>TOPSIS</b>	Revisar, Priorizar, Seleccionar	Compensatorio	Niveles o Pesos de importancia (formato numérico)	Evaluación(formato numérico) y priorizar performance
<b>Distancia del objetivo</b>	Revisar, Priorizar, Seleccionar	Compensatorio	Niveles o Pesos de importancia (formato numérico)	Evaluación(formato numérico) y priorizar performance

**Tabla 4.2. 4** División de los métodos MADA de acuerdo al NIST

Como se puede observar los nombres o clases de los métodos (tal es el caso de los métodos del tipo aditivos) se encuentran detallados en la columna 1. En la segunda columna se indica si cada uno de los métodos puede ser utilizado para revisar, priorizar o seleccionar alternativas, o realizar más de un solo propósito. La tercera columna muestra si el método es compensatorio o si no lo es. (Ambos conceptos se explican más adelante).

Algunos métodos requieren mayor información, sobre los atributos y alternativas, a la referida en la matriz de decisión (ilustración 4.1.1). Por ejemplo, cuatro de los últimos cinco métodos indicados en la tabla anterior,

requieren niveles o pesos de importancia en un formato numérico. Estos mayores requisitos, implican en el decisor una mayor inversión de tiempo y recolección de data, pero se suple con un análisis que le permite evaluar, combinar y realizar compensaciones de una manera más sofisticada que los métodos simples.

El NIST; indica que para realizar esta compilación, en primer lugar se realizó un análisis de los métodos desarrollados por Hwang y Yoon<sup>8</sup>, que incluye 17 tipos. Luego de actualizar esta clasificación<sup>9</sup> se añadió tres nuevos métodos y excluyendo seis de los originales debido que su aplicación a problemas reales era poco práctica. A esta lista, se añadió una nueva técnica desarrollada por Boucher y MacStravic<sup>10</sup> denominada NCIC. El NIST también agregó el método ELECTRE, debido que, según Chen y Hwang, provee una priorización adecuada de las alternativas.

Es importante distinguir, los tipos de problemas MADA a los cuales estos métodos tienen como propósito resolver, y si permiten al tomador de decisiones intercambiar niveles de performance entre atributos.

Los métodos MADA se pueden dirigir especialmente a tres tipos de problemas:

- Revisión básica de las alternativas,
- Priorizar o realizar un ranking de alternativas,
- Seleccionar la mejor alternativa final.

Cabe resaltar que los métodos que generan un ranking de alternativas en formato numérico, permiten realizar los tres propósitos de forma indistinta. Esta característica la poseen los últimos seis métodos de la Tabla 4.2.4

Esta caracterización de los problemas multicriterio también es realizada por la Norma ASTM E 1765-02 *“Standard Practice for Applying Analytical Hierarchy Process to Multiattribute Decision Analysis of Investments Related to Buildings and Building Systems”*

---

<sup>8</sup> Hwang y Yoon, “Multiple Attribute Decision Making”, 1981 pp 10-11

<sup>9</sup> F.Hwang, An Expert Decision Making Support System for Multiple Attribute Decision Making, Ph.D. Thesis, Departamento de Ingeniería Industrial, Univesidad de Kansas City, 1987

<sup>10</sup> R.Boucher y E.L. MacStravic, “Multiattribute Evaluation Within a Present Worth Framework and its Relation to the Analytic Hierarchy Process” Ingeniería Económica, 37,1991

Como se indicó, este tipo de métodos requiere mayor información y procesamiento de datos, que aquellos que solo ejecutan una revisión básica de las alternativas. Por lo tanto, en caso de tener una cantidad regular de alternativas (un número mayor de 10), se recomienda realizar un descarte inicial mediante una revisión básica. Esta revisión es vital cuando existe requerimientos mínimos respecto a un atributo y por lo tanto la exclusión inicial de algunas alternativas se vuelve imperiosa.

Como se indicó, otra de las consideraciones es que en muchos casos, los tomadores de decisiones observan que el alto desempeño relativo a un atributo puede compensar, por lo menos parcialmente, la baja performance de algún otro (ya que en la revisión básica se elimina las opciones que no cumplen con los requerimientos mínimos de performance). Los métodos que incorporan este intercambio entre alto y bajo desempeño en un análisis se denominan (compensatorios).

Este tipo de métodos, con el fin de realizar los intercambios de performance entre atributos, usualmente requieren que el método incorpore la normalización de los datos

Asimismo hay que destacar, que la mayoría de métodos MADA, permiten al tomador de decisión asignar diferentes niveles de importancia a los diferentes atributos. Los últimos cinco métodos de la Tabla 4.2.4, que tienen el mayor alcance, la importancia relativa de los atributos esta generalmente reflejada por la asignación por separado de coeficientes, o “pesos” para cada atributo.

En casos con más de dos atributos, usualmente se encuentra dificultad al especificar la importancia relativa de los pesos de forma directa. Se puede encontrar dos tipos de enfoque a este problema : 1) Convertir el problema de dar pesos de todos los atributos a la vez, en comparaciones por pares independientes<sup>11</sup>, o 2) Especificar el uso de un procedimiento computacional para convertir la data de comparaciones en “pesos” de los atributos. Se

---

<sup>11</sup> El uso de este tipo de comparaciones se puede revisar en el libro “Value Engineering, A systematic approach” de Arthur E. Mudge

encuentran disponibles ejemplos de estos procedimientos, para convertir las matrices de comparación en pesos<sup>12</sup>, en la literatura.

El número de posibles comparaciones en pares de atributos crece rápidamente con el número de atributos<sup>13</sup>, lo cual se convierte en un incremento de esfuerzo y tiempo al momento de manejar la data. Para aliviar este inconveniente, algunos métodos incluyen procedimientos que permiten a los tomadores de decisión, describir los problemas en una forma jerárquica mediante 1) la agrupación en conjuntos de atributos o 2) dividir aquellos atributos complejos en conjuntos de sub-atributos. Estas técnicas reducen el número total de comparaciones a realizarse.

### Descripción Resumida de algunos Métodos MADA

El NIST realiza una compilación breve de los 14 métodos MADA que aparecen en la Tabla 4.2.4, la cual se basa en el tercer capítulo del libro “Multiple Attribute Decision Making” de Hwang y Yoon, así como del segundo capítulo del libro “Fuzzy Multiple Attribute Decision Making”, de Chen y Hwang.

#### *Método de Dominación*

Se considera que una alternativa es dominada cuando otra se desempeña mucho mejor, con respecto por lo menos a un atributo, y se desempeña igual con respecto al resto. Con el método de dominación, las alternativas son revisadas de una forma básica, de modo que todas aquellas que entran al rubro de dominadas son descartadas. El alcance de la revisión en este método disminuye conforme el número de atributos es mayor.

#### *Maximin*

El principio de este método, es que una cadena solo es tan fuerte como su eslabón más débil. Efectivamente, el método entrega a cada alternativa un score igual a la fortaleza de su peor atributo. De esta manera, requiere que la performance con respecto a todos los atributos sea medible en unidades comunes (muy raro en los problemas MADA).

---

<sup>12</sup> Hwan y Yoon, en Multiple Attribute Decision Making, 1981, revisan cuatro de estos procedimientos, pp 41-57. Otros procedimientos simples se describen en el libro Value Engineering in th Construction Industry de Alphonse Dell 'Isola , New York: Van Nostrand Reinhold, 1982.

<sup>13</sup> Excluyendo la comparación de un atributo consigo mismo, el numero de pares de comparación es igual a  $n*(n-1)/2$ , donde “n” es el numero de atributos.

### *Maximax*

El punto de vista donde se basa el método Maximax es el asignar la importancia del atributo con respecto al de mejor performance. Extendiendo la analogía de la cadena descrita en el método Maximin, el objetivo de este método es encontrar el eslabón más fuerte. El score de cada cadena (alternativa) es igual al desempeño de su eslabón más fuerte. De igual manera que método anterior, Maximax requiere que los atributos sean normalizados o tengan unidades comunes.

### *Conjuntivo (“Satisfaciente”)*

Este método está enfocado específicamente al propósito de Revisión Básica. Los requerimientos dados por el enfoque conjuntivo es que en orden a ser aceptable, la alternativa debe exceder la performance mínima de todos los atributos, “satisfaciendo” las necesidades básicas de la evaluación.

### *Disyuntivo*

Este método esta también enfocado netamente al propósito de Revisión Básica. Es el complemento del método Conjuntivo, ya que para pasar la revisión en este método, la alternativa debe exceder una performance mínima en por lo menos un atributo.

### *Eliminación por Aspectos*

Este método es la formalización del conocido método heurístico, “proceso de eliminación”. La evaluación se realiza un atributo a la vez, empezando con aquellos que se consideran más importantes. Luego, como el método conjuntivo, las alternativas que no exceden una performance mínima – con respecto al atributo en particular – deben ser eliminados. El proceso usualmente se ejecuta hasta que queda una sola alternativa, aunque en algunos casos se debe hacer un ajuste al desempeño mínimo para alcanzar la solución.

### *Método de la asignación lineal.*

Este método requiere, además de la matriz de decisión, la importancia de pesos en formato numérico para cada atributo y la priorización de las alternativas con respecto a cada uno. Esta información es de un nivel intermedio entre los simples, y los últimos 5 detallados en la Tabla 4.2.4, ya que requiere un ranking en un formato alfabético de alternativas con

respecto a los atributos. El uso primordial de esta información adicional, es que posibilita el análisis compensatorio.

#### *Sumatoria de Pesos*

Este rubro de métodos se describe con mayor detalle más adelante. Para resumir, el score de una alternativa es igual a la sumatoria de pesos de las evaluaciones o preferencias numéricas, donde los pesos son el valor de importancia asignado a cada alternativa. El resultado de los scores para cada alternativa sirve para priorizar, revisar o escoger la mejor alternativa. El AHP es un caso particular de este método.

#### *Producto de Pesos*

Este método es similar al de sumatoria. Sin embargo, el cálculo de los valores, se realiza al elevar la performance a la potencia del peso de cada atributo. Entonces, en vez de sumar el resultado de los subcores de los atributos hasta un total para cada alternativa, es el producto de ellos lo que entrega el score final. El problema es que este método penaliza notablemente, a aquellas alternativas con un pobre performance de los atributos, en comparación al método de sumatoria.

#### *NCIC*

Este método también es descrito al final del presente capítulo. El NCIC hace hincapié en las comparaciones en pares de la performance entre atributos, pero en relación a una línea base, para cada alternativa. Uno de los atributos debe ser considerado en unidades monetarias. Estas comparaciones se combinan para estimar el valor monetario atribuible a cada desempeño, y estos valores son sumados para obtener el valor total de cada alternativa. Estos pueden ser usados para cualquiera de los propósitos mencionados inicialmente.

#### *TOPSIS*

El principio detrás de este método es simple: la alternativa escogida debe ser lo más cercana a la solución ideal, y lo más alejada a la posibilidad más negativa posible. La solución ideal está formada como una composición de los mejores desempeños mostrados en la matriz de decisión por cualquiera de las alternativas. Así mismo la solución más negativa la formarán los peores valores de performance. La proximidad de cada alternativa está dada

por una medida Euclidiana (la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las distancias a lo largo del eje en el “espacio del atributo”), con una sumatoria de pesos opcional para cada atributo. Este método, y sus resultados, son simplemente gráficos.

#### *Distancia al objetivo*

Este método y sus resultados también son directamente gráficos. En primer lugar, los valores objetivo para cada atributo que son elegidos, no necesariamente se muestran en alguna de las alternativas. Luego, cada alternativa con la menor distancia (nuevamente en el sentido euclideano) hacia el punto del objetivo en el “espacio del atributo” se selecciona. También la sumatoria de pesos es factible. Los resultados pueden utilizarse para cualquier propósito.

#### Comentario:

*Solo dos métodos en particular de los cinco que son compensatorios, incorporan directamente un procedimiento para la comparación en pares junto con un enfoque para convertir estas comparaciones en “pesos” de los atributos; así como permitir una descripción en jerarquías de los problemas de modo que el número de comparaciones pueda ser manejable. Estos métodos son el AHP (“Analytical Hierarchy Process”) y el NCIC (Non-Traditional Capital Investment Criteria).*

*El AHP es un método que ha sido ampliamente estudiado y aplicado para distintos aspectos de la construcción como se puede encontrar en la diferente literatura, y su uso está sostenido por un software comercial disponible.*

*En cambio, el NCIC, diseñado a partir de algunas críticas hacia el AHP, desarrolla “scores” para las alternativas en términos monetarios, logrando un valor explícito, y permite que los resultados puedan ser incorporados en un análisis económico tradicional de la construcción. Su aplicación en la toma de decisiones de inversión en edificaciones aún no está acompañada de un software.*

*Como se observa de las descripciones realizadas hasta el momento, en ambos estudios hechos por el NIST y el descrito en la tesis “Modelo Integrado de Valor para estructuras Sostenibles”; los métodos AHP y NCIC son los que otorgan las mejores condiciones para la aplicación en los procesos de toma de decisiones en la construcción, convergencia de la cual se partirá en la presente investigación para aplicar uno de ellos en el modelo del capítulo 5.*

#### 4.2.1. Comparación entre el AHP Y NCIC

Debido a la gran importancia de estos dos métodos, se muestra una comparación entre los principios básicos en los cuales se fundamentan, y se observa como el NCIC nace como un método AHP evolucionado. Posteriormente se procede a detallar el método que se utiliza en la presente investigación, el Analytical Hierarchy Process. ( para mayor detalle del Non Tradicional Capital Investment Criteria (NCIC), revisar la bibliografía de su creador Thomas O. Boucher y la distinta literatura al respecto dada al final del presente capítulo).



	METODOS CON SUMATORIA DE PESOS AHP	METODOS CON FUNCION DE NCIC
<b>DESCRIPCION</b>	<p>La revisión de los métodos MADA y las aplicaciones encontradas, muestran que esta clase de métodos son probablemente los más conocidos y usados de los métodos MADA <sup>14</sup>, debido que poseen una lógica simple e intuitiva, y pueden ser aplicables a múltiples propósitos dentro de la ingeniería civil.</p> <p>Un método de sumatoria de pesos facilita cualquier revisión básica, priorización, y elección de alternativas mediante el desarrollo de scores numéricos para cada alternativa. Este score para una alternativa en particular, implica la distinta performance de sus atributos de una forma compensatoria, utilizando pesos para cada uno de ellos dados por el tomador de decisiones, y siendo comparables entre ellos.</p>	<p>Este método une la evaluación multiatributo de alternativas con el análisis tradicional de valor presente. Para cumplir con este objetivo, el NCIC entrega scores finales en unidades monetarias de valor presente, en vez de producir scores de importancia adimensionales como lo hacen el resto de métodos MADA compensatorios descritos en la Tabla 2, donde se incluye el AHP, etc.</p> <p>Sus creadores desarrollaron el NCIC haciendo algunas modificaciones al método AHP en vez de construirlo con nuevas premisas</p> <p>Los principios básicos donde se basa el NCIC pueden ser extrapolados a otros métodos donde se incluyen todos aquellos con una función de valor.</p>
<b>PREMISA 1: Scores numéricos de las alternativas</b>	<p>Los métodos aditivos usan scores numéricos que caracterizan la importancia total de cada alternativa. Estos scores de importancia, <math>D_i</math> (para cada una de las "m" alternativas, <math>i=1, \dots, m</math>), pueden ser usados para priorizar alternativas, o identificar la mejor de ellas.</p>	<p>Desarrolla scores numéricos que definen el valor total de cada alternativa.</p> <p>Este valor, <math>V_i</math> (para cada una de las alternativa, <math>i= 1, \dots, m</math>) puede ser usado para priorizar alternativas, para identificar un subgrupo de las alternativas preferidas, o para seleccionar la mejor de ellas.</p>
<b>PREMISA 2: Pesos de los atributos</b>	<p>La importancia relativa de los atributos al tomador de decisiones está definida como una constante a través</p>	<p>Se asume que la importancia relativa de los atributos para el tomador de decisiones no se mantiene constante</p>

<sup>14</sup> Hwang and Yoon “Multiple Attribute Decision Making” 1981, p 99.

	<p>de las alternativas, y es descrita usando pesos numéricos (<math>w_j</math>) asignados por el tomador de decisiones para cada uno de los “n” atributos , <math>j= 1, \dots, n</math>. Estos pesos usualmente son normalizados para que sumen el valor de la unidad.</p>	<p>a través de las alternativas. En su lugar, la importancia de los atributos depende de la performance de cada alternativa relativa al atributo en particular. Por lo tanto, estos métodos no utilizan pesos para caracterizar la importancia relativa de los atributos o subatributos.</p>
<p><b>PREMISA 3: Contribución a la importancia total de la alternativa</b></p>	<p>El desempeño de cada alternativa con respecto a cada atributo debe ser expresado numéricamente, y estos “Scores numéricos de los atributos” (<math>x_{ij}</math>), deben ser comparables entre todos los atributos. Esta característica de las alternativas con respecto a cada atributo, contribuyen a calcular la importancia total de las mismas (<math>D_i</math>). La contribución es calculada como el producto del score del atributo (<math>x_{ij}</math>) por el peso relativo a cada uno (<math>w_j</math>).</p>	<p>La performance de cada alternativa con respecto a cada atributo contribuye al incremento de valor (<math>v_{ij}</math>) - positivo o negativo- para formar el valor total de la alternativa.</p>
<p><b>PREMISA 4: Aditividad</b></p>	<p>La importancia total de cada alternativa está definida como la suma de las contribuciones individuales de los atributos:</p> $D_i = \sum_{j=1}^n w_j x_{ij}$	<p>Los incrementos de valor son sumables. Esto quiere decir, que el valor total de una alternativa está definido por la suma de los valores incrementales asociados a la performance relativa de cada uno de los atributos independientes(n) de la jerarquía.</p> $V_i = \sum_{j=1}^n v_{ij}$

**Tabla 4.2. 5** Comparación entre principios básicos del AHP y del NCIC

### 4.3. ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP)

A continuación se describe el procedimiento bajo el cual funciona este método, partiendo de las premisas dadas anteriormente, y concluyendo con las fortalezas y las limitaciones del AHP al aplicarlo en la toma de decisiones de inversión en la construcción.

Según, Stephen L. Liedtka en el artículo “The Analytic Hierarchy Process and Multi-Criteria Performance Management Systems”, el procedimiento se basa en 4 pasos básicos:

- ✓ Estructurar el problema mediante una jerarquía.
- ✓ Realizar una serie de comparaciones por pares de atributos (MPC por sus siglas en inglés) con el fin de evitar los juicios complejos.
- ✓ Estimar la consistencia de los juicios realizados previamente.
- ✓ Utilizar el método del “Eigenvector” para obtener los pesos finales de cada alternativa.

#### 4.3.1. Procedimiento del AHP

##### *El uso de jerarquías*

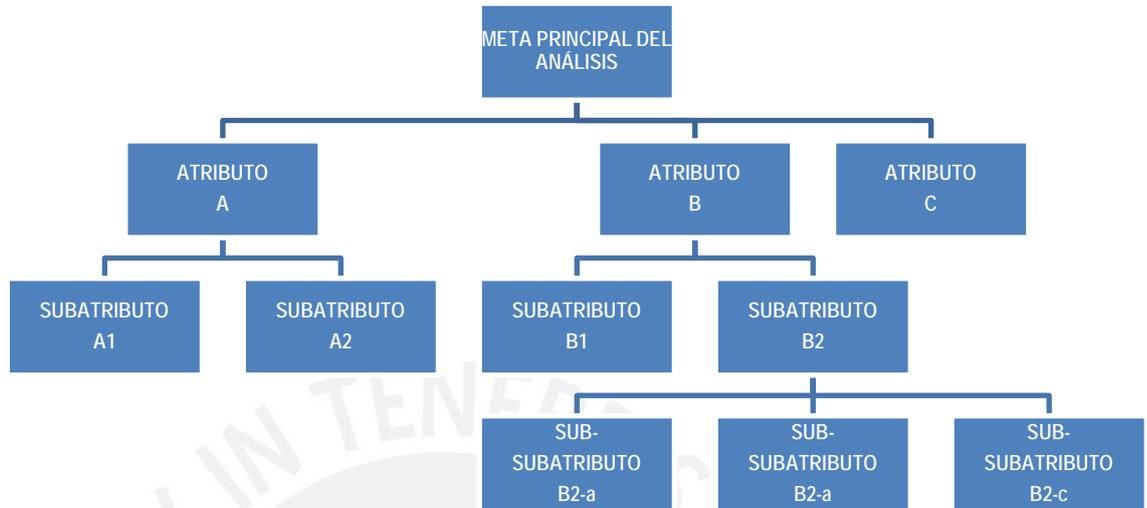
El análisis de la utilización de las jerarquías de atributos y subatributos en un problema MADA en general, se mantiene en las aplicaciones del AHP.

Este procedimiento destaca el hecho que un tomador de decisiones puede mejorar notablemente el manejo de un mayor número de atributos y objetivos de un problema, mediante su agrupación por jerarquías, manteniendo el número de comparaciones manejable.

Básicamente consiste en dividir en niveles o por series los atributos, de modo que cada uno sea parte de un grupo del mismo nivel, y que todos ellos estén asociando a un solo atributo del nivel inmediatamente superior.

A continuación se muestra un ejemplo de una jerarquía de atributos y subatributos. Hay que destacar que la meta principal del análisis (“seleccionar el mejor sistema”), está ubicada en la parte superior de la jerarquía. Luego, en la parte inferior de cada descomposición, se encuentra

a aquellos atributos independientes, lo cuales no tienen subatributos que los compongan y se relacionarán directamente con las alternativas.



*Esquema 4.3.1 Ilustración de una jerarquía de atributos, donde se resaltan aquellos que son independientes*

Una vez que el problema ha sido ordenado de forma jerárquica, el siguiente paso es otorgar los pesos correspondientes a cada nivel de atributos (Atributos, subatributo, etc). Para cada uno de estos niveles se realizara un MPC para luego conseguir el vector final del peso correspondiente a las alternativas.

### Matriz de Comparación por Pares (MPC)

Una matriz de comparación por pares (Esquema 4.3.2) es el resumen de las distintas comparaciones que se realiza por cada par de atributos en los distintos niveles, con el fin de establecer la importancia relativa de un elemento con respecto al otro.

Aquí se pueden observar dos características básicas

- **La reciprocidad:** Se indica que los elementos por encima de la diagonal de la matriz (aquellos sombreados en el Esquema 4.3.2) son recíprocos a los elementos por debajo de la misma. Por ejemplo si la Importancia relativa del atributo “n” con respecto al atributo A, es igual a 5; entonces en el lado opuesto el atributo A es 1/5 importante con respecto al “n”. De esta manera se reduce el número de comparaciones requeridas.

- La identidad: Aquellos elementos en la diagonal de la matriz tienen un valor igual a “1” por definición, debido que cada atributo es igual de importante como si mismo.

	ATRIBUTO A	ATRIBUTO B	...	ATRIBUTO “n”
ATRIBUTO A	1	Importancia relativa del atributo A con respecto al B	...	Importancia relativa del atributo A con respecto al “n”
ATRIBUTO B	Importancia relativa del atributo B con respecto al A	1	...	Importancia relativa del atributo B con respecto al “n”
...	...	...	1	...
ATRIBUTO “n”	Importancia relativa del atributo “n” con respecto al A	Importancia relativa del atributo “n” con respecto al B	...	1

Esquema 4.3.2 Matriz de comparación por pares (MPC)<sup>15</sup>

Para cada par de atributos (“A” y “B”) que se comparan, el tomador de decisiones responde a la pregunta “¿Cuánto más importante es el atributo A, con respecto al atributo B, en relación al objetivo final?”.

La respuesta a esta pregunta se puede dar en distintas formas: numérica, gráfica o literalmente. Dependiendo del atributo, al usuario puede parecerle más sencillo decir: el atributo A es **3 veces** más importante; el atributo A es **moderadamente más** importante, etc.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Cabe resaltar que es necesario llenar únicamente los elementos que no se encuentran sombreados en la matriz, ya que por los axiomas detallados anteriormente, tienen un valor recíproco a los otros.

<sup>16</sup> El detalle de la equivalencia literal con la numérica, y con la gráfica respectivamente, se puede observar en las guías del software Expert Choice, dadas al final del capítulo 5.

La equivalencia entre la asignación numérica y la literal fue dada por Saaty, el creador del método en 1980, y recomienda el uso de una escala numérica del 1-9 con su correspondencia indicada en la tabla 4.3.1.

ESCALA DE SAATY	
Hipótesis: "i" más importante que "j"	
Escala General	Escala Verbal
1	Igual Importancia
2	Preferencia Intermedia entre 1-3
3	Moderadamente más importante
4	Preferencia Intermedia entre 3-5
5	Más importante
6	Preferencia Intermedia entre 5-7
7	Mucho más importante
8	Preferencia Intermedia entre 7-9
9	Extremadamente más importante

**Tabla 4.3.1** Escala de Saaty (1980) traducida por la Dra. Alarcón en su tesis doctoral.

Como se puede observar, los juicios básicos están resaltados, y corresponden a los números impares; mientras los intermedios otorgan un mejor rango de descripción. De acuerdo al profesor Ernest Forman, en su libro "Decision By Objectives", la verificación de la redundancia y consistencia, permite asignar prioridades adecuadas a las alternativas a partir de las escalas verbales, a pesar que los términos utilizados no sean del todo precisos.

Cuando el número de atributos independientes es muy grande, por ejemplo excede a 10, el número total de comparaciones puede ser reducido, agrupando los atributos en 2 o más grupos. Luego, se realiza una MPC para cada juego de atributos. El resultado final no será afectado por los grupos en particular que se formen para realizar las comparaciones.

### Revisión de la Consistencia de los Juicios realizados

Luego de la construcción de la MPC, se puede obtener juicios que no sean “perfectamente consistentes”, en el sentido que no satisfagan la propiedad denominada “transitividad”.

Este concepto se puede ilustrar con un ejemplo: si se tienen los atributos A,B,C; si A se considera dos veces más importante que B, y B se considera tres veces más importante que C, entonces A debe ser exactamente seis veces más importante que C.

De esta manera, se podría considerar que la comparación entre los atributos A y C, es completamente redundante, y únicamente sería necesaria la asignación de valores a una fila o columna, y el resto de datos de la matriz sería deducible.

Sin embargo, según el NIST; el propósito de no asumir una perfecta transitividad, es generar la oportunidad al decisor de realizar un mayor número de comparaciones independientes y mejorar sus juicios.

Asimismo, de acuerdo a lo descrito por el profesor Ernest Forman, la inconsistencia de los juicios se adapta a la realidad de los problemas, donde un ratio<sup>17</sup> por debajo del 10% se puede considerar en un nivel aceptable, aunque condiciones particulares ameriten un valor más preciso.

$$\text{Ratio de Consistencia} = \frac{\text{Índice de Consistencia}}{\text{Índice de aleatoriedad}} \leq 0.1$$

**Ecuación 4.3.1** Relación de consistencia de la MPC

Donde:

*Índice de Consistencia* = Se plantea mediante la siguiente ecuación (Si se acerca a cero, más conveniente es la comparación)

$$I.C. = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1}$$

$\lambda_{\text{máx}}$  = Máximo valor propio de la matriz

$n$  = Tamaño de la matriz

*Índice de Aleatoriedad* = Descrito como el máximo índice de consistencia de una matriz de decisión generada de forma aleatoria (depende del tamaño de la matriz).

<sup>17</sup> La revisión matemática de la relación de consistencia de la MPC puede ser revisada en la tesis doctoral de la Dra. Alarcón “Modelo integrado de Valor para estructuras sostenibles”.

Tamaño de la matriz N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Índice de aleatoriedad	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Entre las razones por las cuales ocurre esta inconsistencia en los juicios, el Profesor Forman destaca las siguientes:

- Falta de información: Si el tomador de decisiones no cuenta con la información necesaria de los atributos en cuestión, su juicio posiblemente será aleatorio y generará un ratio de inconsistencia alto.
- Falta de concentración: Puede darse cuando el usuario se encuentra fatigado debido a un número elevado de comparaciones o falta de interés.
- El mundo real no es siempre consistente: Debido que en las situaciones reales se observan diversas inconsistencias, estas se verán reflejadas en los juicios del usuario.
- Inadecuada estructura del modelo: Cuando la descomposición y jerarquía realizada inicialmente no es correcta, los juicios no reflejarán una adecuada importancia relativa, pues posiblemente los niveles de comparación distorsionen el resultado.

### Método del “Eigenvector”

Finalmente, se resume los valores de las comparaciones, mediante el método del “Eigenvector Principal”, para convertir la data de la matriz de pares en un vector de pesos.

Este vector se asocia al mayor valor propio de cada matriz, y para calcularlo se recurre a nociones de álgebra lineal para la solución<sup>18</sup> de:

<sup>18</sup> El detalle de la solución matemática esta ecuación puede ser revisada en la tesis doctoral de la Dra. Alarcón “Modelo integrado de Valor para estructuras sostenibles”. En la presente investigación se utiliza un algoritmo que permite su resolución mediante un medio informático.

$$M * \underline{e} = \lambda_{\text{máx}} * \underline{e}$$

#### Ecuación 4.3.2

Donde:

M = Matriz de comparaciones por pares (MPC)

$\underline{e}$  = Vector propio de la matriz (“Eigenvector Principal”)

$\lambda_{\text{máx}}$  = Máximo valor propio de la matriz

Para obtener el vector final de pesos, es necesario normalizar el vector principal, de modo que sumen la unidad:

$$\omega = \underline{e} * (1 / (\sum \underline{e}_j)) = [w_j]$$

#### Ecuación 4.3.3

En resumen, este método calcula un vector final con el peso de la alternativa, el cual parte de un vector propio de la MPC, y posteriormente se normaliza a 1.

#### 4.3.2. Fortalezas y Limitaciones del AHP

Según la investigación realizada por el NIST, este método MADA permite a los analistas de inversiones de construcción incluir consideraciones de atributos múltiples y no monetarios de las alternativas en su toma de decisiones. Así mismo, una de sus mayores fortalezas, es que cuenta con un software amigable y comprobado para su fácil aplicación. Las principales limitaciones de este método son de una naturaleza más teórica, y han sido debatidas en la distinta literatura revisada. Los críticos de este método indican que:

- Para que las comparaciones de los atributos sean significativas, estas deben realizarse con respecto a una línea base, que equivale al promedio de la performance de las alternativas.<sup>19</sup>
- El ranking de alternativas se revierte, al momento de eliminar una de las posibilidades de la jerarquía, lo cual se asegura que es inconsistente.<sup>20</sup>

<sup>19</sup> Boucher y MacStravic, “Multiattribute Evaluation within a Present Worth Framework and its relation to the AHP”

<sup>20</sup> James Dyer “Remarks on the Analytical Hierarchy Process”

- Finalmente, algunos aseguran que todo el método es completamente arbitrario.

En respuesta, Saaty como creador, indica que la reversión no es una falla, debido que las situaciones del mundo real, ocasionalmente exhiben este comportamiento.

Finalmente, el NIST asegura, que a pesar que la aceptación del AHP no es universal, su combinación de flexibilidad y facilidad de uso, han contribuido notablemente en su aplicación en diversos problemas alrededor del mundo.



#### 4.4. BIBLIOGRAFIA

ALVARADO, Raúl. "Multiattribute decision problems: An algorithm for long matrices" *Revista Ingeniería* 2-1992.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM E 1765 "Standard Practice for Applying Analytical Hierarchy Process (AHP) to Multiattribute Decision Analysis of Investments Related to Buildings and Building Systems". USA.

BOUCHER, Thomas O; GOGUS, Ozerk y WICKS, Elin M. "A Comparison Between Two Multiattribute Decision Methodologies Used in Capital Investment Decision Analysis" *The Engineering Economist*, (Enero 1997), Vol. 42, Num. 3, p179-202.

BOUCHER, Thomas O. y RIEKS, Peng Zhao "NCIC User Manual Non-Traditional Capital Investment Criteria Decision Support Software for Investment in Advanced Manufacturing Technology Version 4.0" 2003

BOUCHER, Thomas O. y GOGUS, Ozerk "Fuzzy NCIC" en *The Engineering Economist* VOLUME 43 N°3 1998

CHENG, Eddie W. L. y HENG U "Contractor selection using the analytic network Process". *Construction Management and Economics* (Diciembre 2004)

CHEUNG, Sai-on et al. "An analytical hierarchy process based procurement selection method", *Construction Management and Economics*, (2001), p427–437.

DRAKE, P. R. "Using the Analytic Hierarchy Process in Engineering Education" *International Journal of Engineering* Vol. 14, No. 3, p. 191±196, 1998

GUITOUNI, Adel et al. "A Framework to Choose a Discrete Multicriterio Aggregation Procedure", Canada

ITO, Hiroyuki “Promotion of the comprehensive evaluation method in public works Projects” en *Annual Report of NILIM*, 2006

KIRKHAM, Richard J. “Re-engineering the whole life cycle costing process” *Construction Management and Economics* (Enero 2005)

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (U.S. Department of Commerce) “Multiattribute Decision Analysis Method for Evaluating Buildings and Building Systems” 1995

SARJA, Asko European “*Guide for Life Time Design and Management of Civil Infrastructures And Buildings*” (Octubre, 2005)

SNYDER, Frank “Comparative Evaluation of Analytical and Intuitive Decision Making” *Journal Of Management In Engineering* (Abril 2003).

WAN, Yue-Wang et al. “Improving Objectivity in Procurement Selection” *Journal Of Management In Engineering* (Julio 2001).



PARTE III

# METODOLOGIA PROPUESTA

## CAPITULO 5

# MODELO PARA LA ÓPTIMA EVALUACIÓN Y SELECCIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS DE UN PROYECTO

De acuerdo a lo descrito en los capítulos anteriores, queda claro que el tomador de decisiones involucrado en la industria de la construcción, necesita un modelo sistemático que le permita manejar las diversas particularidades (atributos) de un proyecto.

A partir de un enfoque adecuado del aspecto financiero y no financiero de los sistemas, se espera lograr una mejor evaluación y selección de los mismos, consiguiendo ahorros y beneficios potenciales para el proyecto.

Para poder establecer esta metodología, se parte de un modelo conceptual con tres ejes básicos: sistemas del proyecto de construcción, atributos o variables de análisis y el ciclo de vida del mismo; los cuales determinan el alcance y el enfoque bajo el cual fue elaborado.

A partir de ellos, se presenta el modelo sistemático completo, y la descripción del procedimiento y de las variables propuestas, con el fin de guiar al usuario en su manejo adecuado, de modo que se logre el análisis y la evaluación correcta al sistema en aplicación.

### 5.1. **MODELO CONCEPTUAL DE ANÁLISIS**

Este modelo inicial tiene como objetivo definir el alcance de la presente metodología mediante el establecimiento de tres ejes básicos.

El primero son los sistemas del proyecto, el cual implica un enfoque principalmente en los sistemas catalogados como blandos o semi-blandos, de acuerdo a lo descrito en el capítulo 2, por su mayor flexibilidad en el análisis y evaluación, de acuerdo a sus características no monetarias.

Luego se observa el eje de las variables de análisis, las cuales establecen cuales son las características que debemos tomar en cuenta en la selección, y por tanto deben involucrarse los desempeños financieros, como atributos no financieros de las alternativas, acordes al sistema en evaluación.

Finalmente, la decisión óptima sugerida, se basa en involucrar el ciclo de vida del proyecto en el análisis, ya que se considera que las variables que caracterizan a los sistemas blandos, ameritan un análisis no solo en la etapa inicial, sino a la largo de su operación, una vez que la construcción está al servicio de los usuarios.

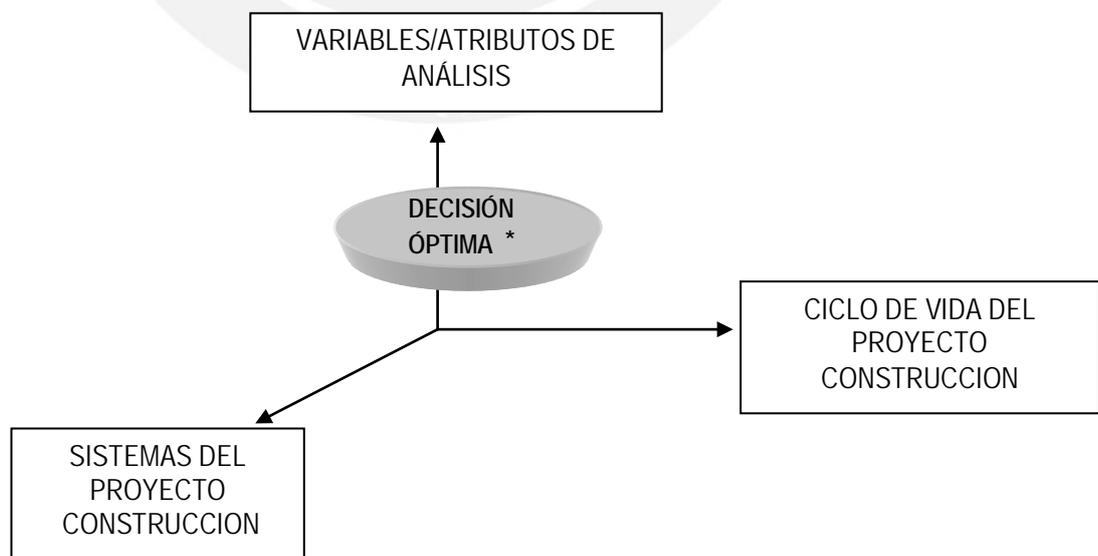


Ilustración 5.1. 1 *Modelo Conceptual de Análisis*  
Fuente: El Autor

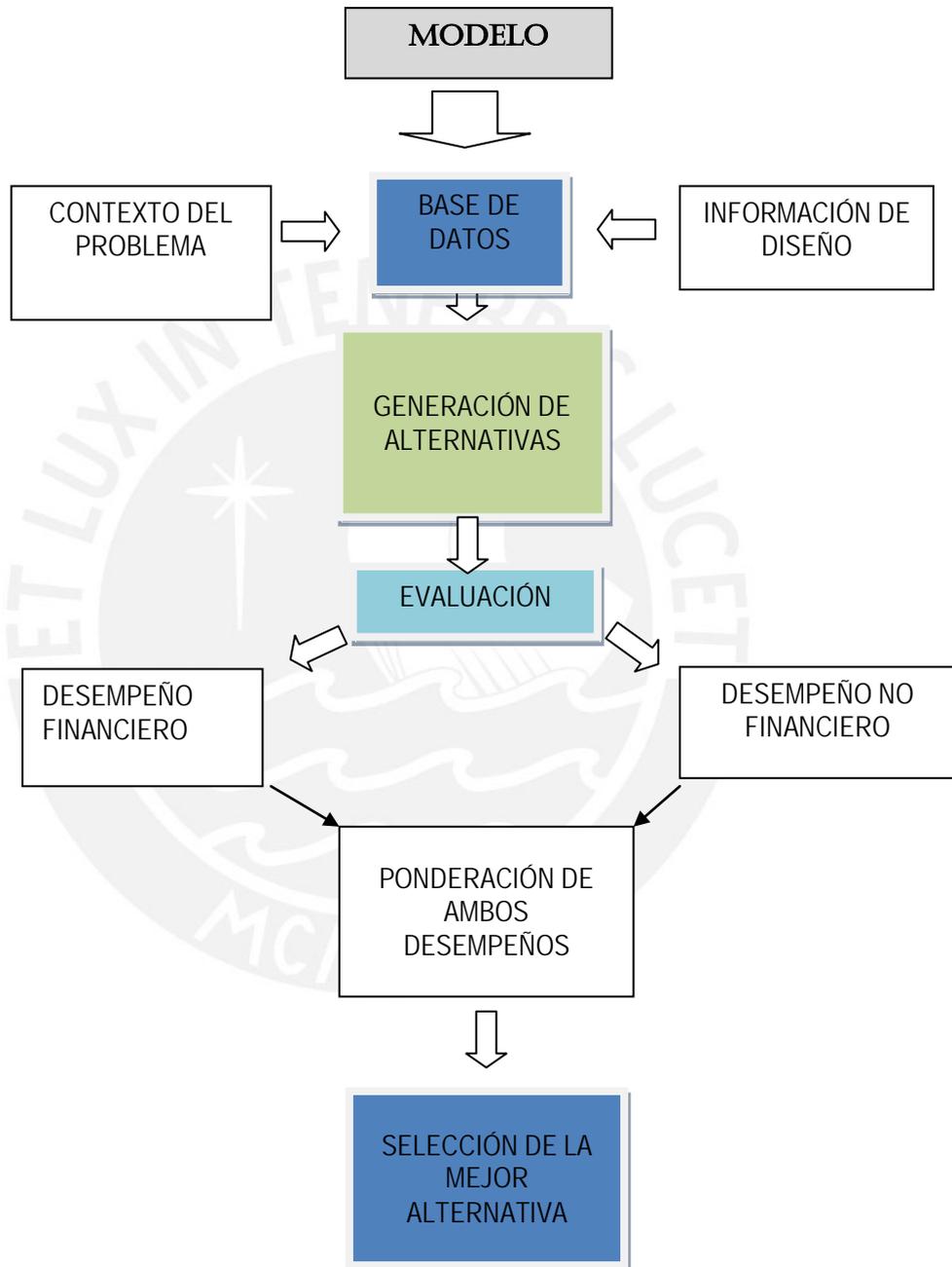
\*Se considera como decisión óptima, a la elección del sistema con la mejor performance, a lo largo del ciclo de vida del proyecto, considerando las variables acordes al mismo.

De esta manera, el modelo está incluido bajo ciertos parámetros definidos, que a pesar de ser flexibles para una posterior adaptación en otras etapas del proyecto de construcción, engloban correctamente el procedimiento de análisis y evaluación que a continuación se presenta.



**5.2. MODELO PARA LA ÓPTIMA EVALUACIÓN Y SELECCIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN SISTEMA**

La metodología propuesta es la siguiente:



**Ilustración 5.2.** Modelo para la óptima evaluación y selección de técnica y económica de un sistema. Fuente: El Autor

### 5.2.1. **BASE DE DATOS**

En esta etapa inicial es necesario considerar las premisas relevantes para la solución del problema, los cuales abarcan el contexto y la información de diseño previamente establecida.

#### 5.2.1.1. CONTEXTO DEL PROBLEMA

En primer lugar, se debe reconocer el problema y definir si la decisión a tomar es del tipo DISEÑO<sup>1</sup>, donde al final de la evaluación se selecciona una única alternativa. Un diferente tipo de decisión, como priorizar o seleccionar más de una opción, condiciona el método financiero que en la presente tesis se utiliza.

Luego es necesario identificar si el sistema en evaluación es el adecuado para la aplicación del modelo.

Como se indico en el capítulo 2, el alcance de la presente investigación destaca aquellos sistemas del proyecto de construcción que ameritan un análisis cualitativo, y por ende deben ser enfocados bajo múltiples criterios para medir correctamente su performance.

A continuación se resumen aquellos sistemas blandos y semi-blandos recomendados para una adecuada ejecución del modelo.

---

<sup>1</sup> Revisar los tipos de decisiones en la construcción en el capítulo 3

NIVEL 2 GRUPO DE ELEMENTOS	TIPO DE SISTEMA DENTRO DEL CRITERIO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN
<b>B20 Cerramiento exteriores</b>	SISTEMA SEMI-BLANDO <sup>2</sup>
<b>B30 Cerramiento Superior</b>	SISTEMA SEMI- BLANDO
<b>C10 Construcciones interiores</b>	SISTEMA SEMI- BLANDO
<b>C30 Terminaciones interiores</b>	SISTEMA SEMI- BLANDO
<b>D10 Sistema de Traslado (Ascensores y Montacargas)</b>	SISTEMA SEMI- BLANDO
<b>D30 Sistema de aire acondicionado</b>	SISTEMA BLANDO
<b>D40 Sistema de protección contra incendios</b>	SISTEMA SEMI- BLANDO
<b>D50 Sistemas Eléctricos</b>	SISTEMA SEMI- BLANDO
<b>E10 Equipamiento</b>	SISTEMA BLANDO
<b>E20 Amueblamiento</b>	SISTEMA RÍGIDO
<b>F10 Construcciones Especiales</b>	SISTEMA SEMI- BLANDO

**Tabla 5.2.1.1.1** Sistemas recomendados para la aplicación de la metodología

<sup>2</sup> La definición de un sistema semi-blando, parte de un enfoque relativo a la complejidad con el cual se analiza. Dependiendo del nivel de detalle o valor económico que le corresponda puede considerarse bajo ambos criterios (blando y rígido). El impacto al utilizar el modelo de esta investigación es menor a aquellos sistemas netamente blandos.

Así mismo es importante definir la cantidad de participantes en la toma de decisión el sistema. A mayor número de juicios, el proceso de toma de decisión se incrementa; sin embargo, el modelo muestra así una fortaleza, pues permite una retroalimentación sistemática al momento de reevaluar decisiones realizadas en conjunto, ya que cuenta con un software que facilita esta acción.

Finalmente, se intenta dar ciertas características de los sistemas de un proyecto de construcción, de tal forma que se puedan tener un enfoque integrado a la construcción, y sobre todo, a las necesidades del cliente.

Estos atributos y sub-atributos, mostrados en la Tabla 5.2.1.1.2, parten de la compilación de tres fuentes principales. La primera es la lista completa de factores de servicio que el subcomité E06.25 de ASTM ha desarrollado para cuantificar la capacidad de una construcción para desempeñar las funciones deseadas por los clientes.

La segunda es la jerarquía realizada por Marat Goldenberg y Aviad Shapira, en la investigación "SYSTEMATIC EVALUATION OF CONSTRUCTION EQUIPMENT ALTERNATIVES: CASE STUDY. Finalmente, se agregaron algunas variables que se consideran adecuadas a una evaluación y selección óptima de los sistemas de un proyecto de construcción en nuestro medio.

Las descripciones de los atributos se aplican principalmente a los edificios públicos, comerciales o de oficinas.

Hay que tener en cuenta que la compilación presentada a continuación no representa una lista exclusiva y completa, sino provee de un enfoque general para caracterizar los atributos de la mayoría de sistemas blandos del proyecto. De esta manera sirve de guía al usuario, para que elija y/o agregue aquellas variables que se adapten mejor a su problema.

ATRIBUTOS	SUBATRIBUTOS
GESTION DEL PROVEEDOR DEL SISTEMA	Confiabilidad del sistema
	Experiencia del proveedor
	Servicio Post-Venta
	Ventaja de Financiamiento por parte del Proveedor
	Requisitos de trabajo adicional de Obra
	Capacidad de trabajo nocturno
FUNCIONALIDAD SISTEMA	Simplicidad
	Cobertura ( Área de influencia en la obra)
	Compatibilidad con el diseño (congestión con otros sistemas)
	Nivel de Avance Tecnológico
EFICIENCIA EN OPERACIÓN Y MANENIMIENTO	Facilidad en el manejo y Control de equipos
	Frecuencia de Mantenimiento
	Ventajas en caso de falla (sistema de repuesto)
	Durabilidad
	Facilidad de limpieza
	Adaptabilidad/Flexibilidad a cambios ( nueva ubicación o tecnología)
SEGURIDAD	Condiciones propias de instalación
	Capacidad de trabajo nocturno
	Adaptación al nivel de seguridad de la obra
ESTETICA	Imagen que el dueño requiere proyectar
	Diseño apropiado en conjunto al edificio
SOSTENIBILIDAD	Impacto ambiental
	Impacto sonoro
	Iluminación
	Control del sistema por parte de los usuarios
	Control de residuos

ASPECTO TERMICO Y CALIDAD DEL AIRE	Calidad del aire
	Condiciones de control de temperatura y humedad
	Control del sistema por parte de los usuarios
TECNOLOGIA DE LA INFORMACION	Suministro de energía y distribución
	Telecomunicaciones e infraestructura informática
	Control del sistema por parte de los usuarios
INFLUENCIA DE INSTALACIÓN EN EL PLAZO DE OBRA	Tiempo de instalación
	Capacidad de trabajo nocturno
	Disponibilidad del sistema ( Necesidad de importación)

**Tabla 5.2.1. 2.**Lista de variables que caracterizan la mayoría de los sistemas blandos de un proyecto de construcción

**Gestión del Proveedor del sistema.-** Involucra características del ámbito general de la empresa proveedora del sistema, tales como la confiabilidad del sistema, y la experiencia del proveedor que sustenten esta confianza. Asimismo podemos incluir variables como la capacidad para el trabajo nocturno del mismo, las ventajas de financiamiento, y el servicio post- venta que puede otorgar.

**Funcionalidad.-** Es el nivel del desempeño de la edificación para cubrir las necesidades de los ocupantes/dueño. Un diseño simple, conveniente y acorde al resto de la edificación, y un nivel de avance tecnológico adecuado, puede lograr una función del edificio en global.

**Eficiencia en Operación y Mantenimiento.-** La facilidad y conveniencia para la operación, mantenimiento, limpieza, reparaciones y reposiciones del sistema.

La durabilidad es importante en un edificio que tiene usualmente cambios de función y distribución a lo largo del tiempo, donde el sistema debe ser capaz de mantener su desempeño.

**Seguridad.-** El nivel de protección que se provee al momento de la instalación y del sistema en sí. Y por otro lado la facilidad de adaptación al sistema de seguridad de la empresa constructora, pues condiciona la facilidad de instalación y los plazos asumidos.

**Estética.-** Es la imagen que el dueño quiere que se proyecte al público y a los ocupantes dentro del edificio. Esto incluye la apariencia y el atractivo de los diseños tanto interior como exterior del sistema.

**Sostenibilidad.-** Es el nivel de impacto aceptable que el cliente está dispuesto asumir. Aquí se incluye el impacto ambiental (fuentes de energía) y el nivel de ruido que el sistema puede generar. Así mismo la condiciones de iluminación que involucra, por ejemplo el nivel de luz que permite ingresar. Así mismo incluye, el control de desechos y el grado de los ocupantes para tener control de todas estas condiciones.

**Aspecto Térmico y Calidad del Aire.-** Referido a los niveles de temperatura, humedad, y ventilación; así mismo la calidad de aire y el grado de los ocupantes para tener control de todas estas condiciones.

**Tecnología de la Información.-** La capacidad y la flexibilidad de la infraestructura para acoger el sistema en evaluación. Esto incluye el suministro de energía y distribución, telecomunicaciones e infraestructura requerida por el sistema (computadoras, cableado y refrigeración).

**Influencia en el plazo de obra.-** Es el tiempo bajo el cual se completa la instalación, así como los tiempos de llegada del sistema a obra y la disponibilidad del mismo.

### 5.2.1.2. INFORMACIÓN DE DISEÑO

Esta etapa consiste en la recolección de los parámetros básicos de diseño del sistema a evaluarse (mínimos desempeños aceptables, máximo costo y detalles técnicos).

Así mismo es necesario revisar la normativa vigente con respecto al sistema en evaluación, pues permite retirar del análisis, a aquellas que no estén acordes a la misma.

### 5.2.2. **GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS**

El siguiente paso, consiste en establecer las alternativas adecuadas para el sistema de análisis.

Se deber realizar una revisión básica de las alternativas disponibles, con el fin de descartar aquellas que no cumplan con los requisitos básicos de diseño establecidos en la etapa anterior.

Por ejemplo aquellas que se encuentren fuera del presupuesto del cliente, que no cumplan desempeños mínimos requeridos o aquellos dados por la normativa respectiva.

El software utilizado en el modelo, permite la inclusión de un número ilimitado de alternativas, sin embargo es necesario su control, pues el manejo de una mayor cantidad de opciones incrementa la complejidad de análisis y evaluación.

5.2.3. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

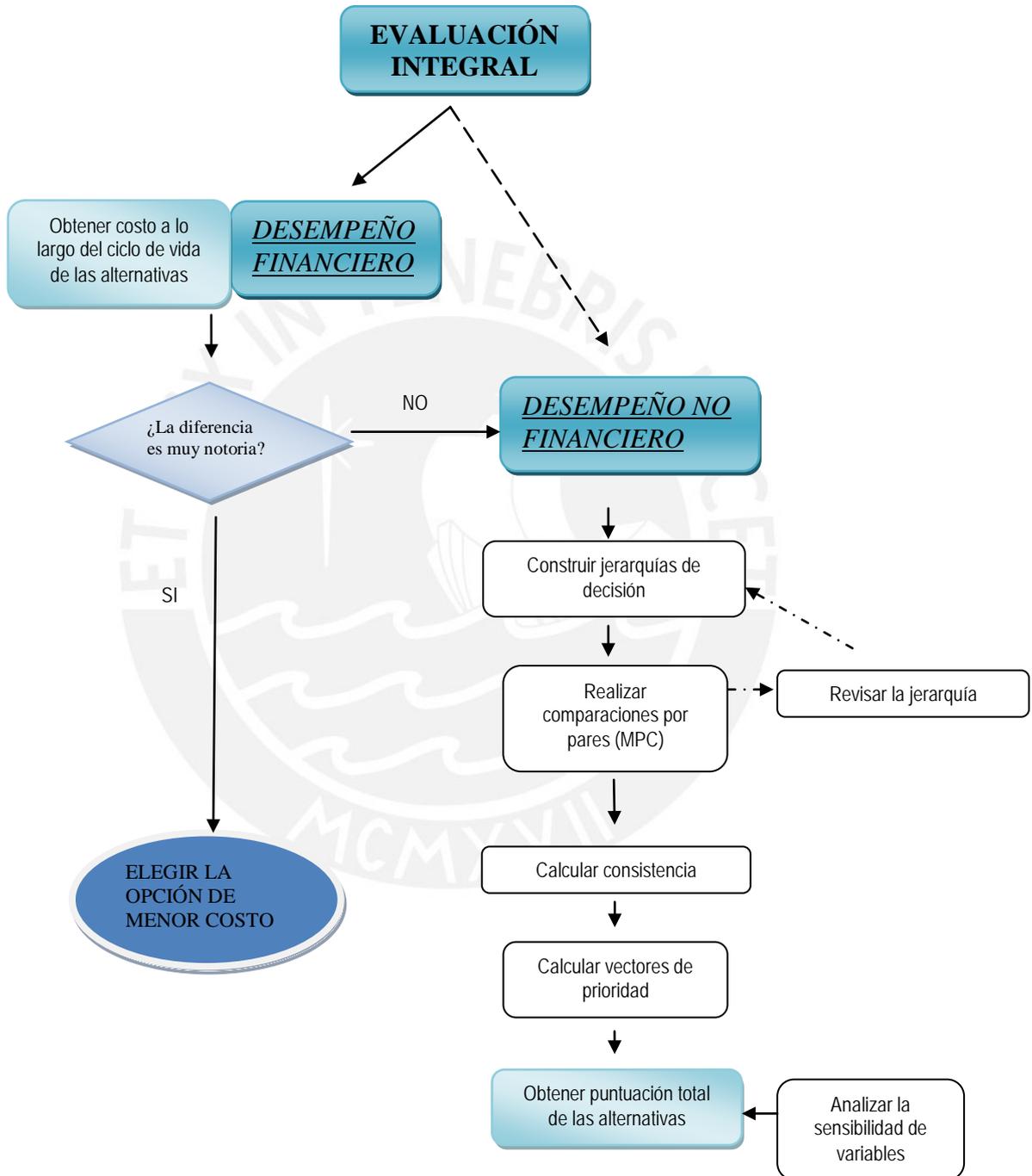


Ilustración 5.2. 2 Procedimiento para la evaluación de los desempeños de las alternativas.  
Fuente: Propia

### 5.2.3.1. DESEMPEÑO FINANCIERO

Es común que en la evaluación del desempeño financiero de un sistema, se refiera únicamente a los costos de compra e instalación del mismo (inversión inicial).

A pesar que estos costos son de gran importancia, también debe considerarse en el análisis económico, los costos futuros asociados a la operación del sistema.

El método LCC o Costo a lo Largo del Ciclo de Vida, es aplicable para evaluar, no solo la inversión inicial, sino todos los costos desde la adquisición del sistema, su mantenimiento y el reemplazo del mismo a lo largo de un periodo dado. Esto conlleva a una correcta selección del mejor sistema con un menor costo a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Con el fin de contabilizar y comparar los costos distribuidos a lo largo del tiempo, estos tienen que ser medidos en el mismo momento. Para lograr esta equivalencia de los costos futuros, considerando el valor del dinero a lo largo del tiempo, se debe “traer” los costos al valor presente. El periodo de tiempo sobre el cual los costos futuros son considerados relevantes, se denomina “Periodo de estudio”.

Por ejemplo, para un propietario de una residencia, el periodo de estudio puede ser el tiempo desde que realiza la compra, hasta el momento que espera venderla.

Este enfoque está dado y estandarizado por la Norma ASTM E917-02, “Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems”.

De acuerdo a este estándar, el método LCC calcula “La suma de todos los costos relevantes asociados a la posesión, operación y mantenimiento de un edificio o un sistema del mismo en un periodo de estudio”. Aquí puede incluirse desde costos de diseño, compra o alquiler, construcción o instalación, hasta la operación, mantenimiento, reparación, reemplazo y desecho.

En general, el Costo a lo largo del Ciclo de vida de un sistema puede ser representado de la siguiente manera:

$$LCCx = + \sum_{n=0}^N \left[ \frac{Cn}{(1+i)^n} \right]$$

Ecuación 1

Donde :

- X = Alternativa del sistema X
- LCC x = Costo a lo largo del ciclo de vida de la alternativa X
- Cn: = Suma de todos los costos relevantes, tanto al inicio como costos futuros, flujos positivos y negativos, hasta el año “n”.
- I = Tasa de descuento, valor entre 0 y 1, que indica la tasa a la cual se descuentan los costos de un periodo de tiempo al siguiente.
- N = Periodo de estudio

En el caso de proyectos de construcción, la fórmula se puede desglosar de la siguiente manera:

$$LCC = \text{Costo Inicial} + \text{Reemp} - \text{Salv} + E + \text{OM\&R}$$

Ecuación 2

- LCC = Costo a lo largo del ciclo de vida de un alternativa en términos de valor presente
- Costo inicial = Valor presente de los costos de la inversión inicial
- Reemp = Valor presente de los costos de Reemplazo parcial.
- Salv = Valor presente del costo de salvataje (reventa, o valor residual)
- E = Valor presente del costo anualizado del gasto de energía
- O&Mxn = Valor presente de los costos de Operación, mantenimiento y reparaciones (incluye los costos de inspección de rutina).

El Costo Inicial de una alternativa es calculado de la siguiente manera:

$$\text{Costo Inicial} = \text{Costo de Compra} + \text{Costo de Instalación} + \text{Costo de Diseño}^3$$

Puede existir la posibilidad, que los sistemas tengan un tiempo de vida muy prolongado, de acuerdo a las especificaciones del proveedor, por el ejemplo 80 o 100 años. Por lo tanto, no sería necesario incluir en el análisis los costos de reemplazo, si el periodo de estudio es menor al tiempo de vida del sistema.

Así mismo, en algunos casos puede ser necesario incluir un beneficio que pueda cuantificarse en términos monetarios en alguna alternativa. Este se ingresará de forma similar al valor de Salvamento del equipo, el cual es un valor fijo negativo al final del periodo de estudio, descontado del costo total del sistema.

A continuación se presenta el cuadro resumen 5.2.3.1 de los datos de ingreso al software BLLC 5.5 dado por el departamento de Energía de los EEUU, el cual permite realizar el cálculo mencionado anteriormente e incluir parámetros adicionales relacionados a la conservación de energía del sistema.

<b>CRITERIOS PARA UN ANALISIS ECONOMICO DE ACUERDO AL FEMP<sup>4</sup></b>	<b>DESCRIPCION</b>
	<b>METODOLOGIA</b>
<b>Método de evaluación</b>	Análisis del Costo a lo Largo del Ciclo de Vida
<b>Método de descuento</b>	Valor Presente a la fecha base
<b>Medida base</b>	Dólares “constantes” (No se encuentran afectados por la inflación)
<b>Convención para el flujo de caja</b>	Flujos dados al final del año (puede considerarse flujos a mitad del año)

<sup>3</sup> Cabe resaltar, que en nuestro medio, es usual que el costo de diseño no se incluya en este análisis, debido que se considera en una etapa distinta del proyecto. Revisar las premisas de la presente investigación, donde se requiere parámetros básicos de diseño establecidos.

<sup>4</sup> Department of Energy's Federal Energy Management Program

DATA Y PARAMETROS	
<b>Fecha base</b>	Fecha del análisis / inicio del periodo de estudio
<b>Fecha de servicio</b>	Inicio del periodo de servicio cuando el sistema entra en funcionamiento al ocuparse la construcción
<b>Periodo de estudio</b>	Periodo de Construcción/Planeamiento (si la hay), sumada a un máximo de 25 años de periodo de servicio.
<b>Tasa de descuento</b>	Tasa efectiva de descuento, generalmente es anual.
<b>Precios de la energía</b>	Precios de la energía a nivel local, dependiendo del tipo de energía utilizada por el sistema (puede ser más de 1 fuente)
<b>Costos escalados Precios de la energía</b>	El programa provee los cambios proyectados en los costos de energía actualizados cada año <sup>5</sup> .

**Tabla 5.2.3.1** Cuadro resumen de los datos de ingreso e información necesaria para el cálculo del LCC

Algunos factores intangibles, no pueden ser cuantificados en la ecuación 2, por ejemplo la facilidad y tiempo de instalación del sistema, lo cual puede condicionar considerablemente la elección de una de las alternativas por encima del costo. De esta manera es necesario realizar el análisis de desempeño no monetario de las alternativas presentado en el siguiente acápite.

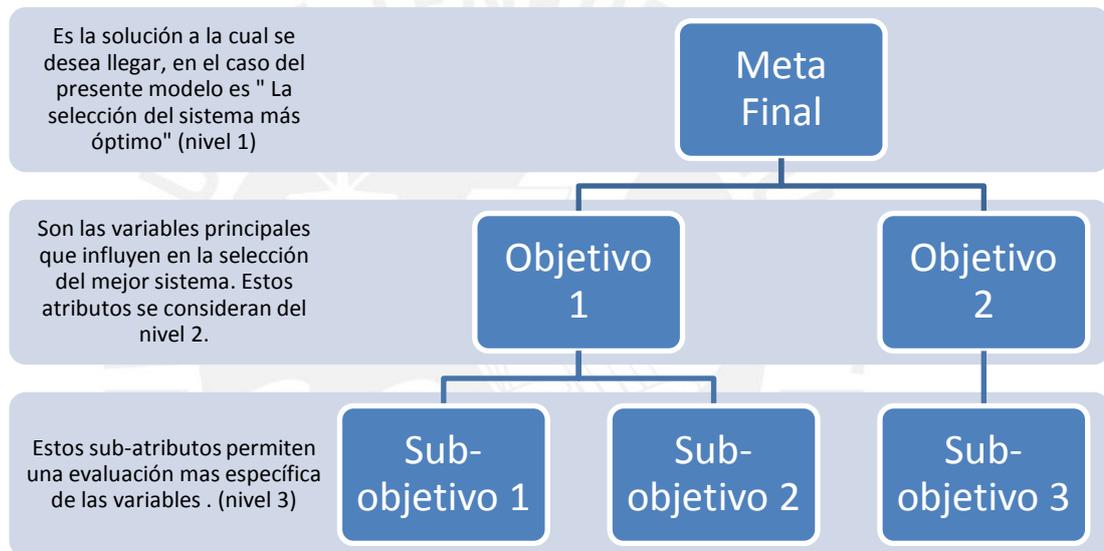
<sup>5</sup> Proyecciones realizadas por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, sin embargo estos pueden ser adaptados a las variaciones de precios dadas en nuestro medio, o ser despreciados.

### 5.2.3.2. DESEMPEÑO NO FINANCIERO

Esta evaluación de los beneficios de cada una de las alternativas se realiza mediante el software Expert Choice 11.0, el cual se basa en el método Analytical Hierarchy Process (AHP), descrito en la revisión de literatura.

El primer paso para esta evaluación, es el desarrollo de la **jerarquía de decisión**.

La construcción de la misma se realiza mediante una división por niveles de las variables que participan en la decisión final:



Como se puede observar, el campo aplicativo de este método es notable, pues en el nivel 1, como meta final, se puede considerar la selección del mejor equipo para la obra, la mejor ubicación de una construcción, el mejor material en determinado procedimiento, etc.

Para el nivel 2 y 3, la presente investigación muestra un listado de las variables o atributos y sub-atributos respectivamente, que mejor se adaptan a los sistemas blandos dados anteriormente. De esta manera, se invita al usuario a seleccionar aquellos más adecuados al sistema que se evalúa.

El software permite el incremento de niveles, así como, la inclusión de otros parámetros como posibles escenarios, incertidumbre y subdivisión

por el número de involucrados. Sin embargo, se debe considerar que a mayor detalle, se incrementa el tiempo de evaluación y análisis notablemente.

En segundo lugar, se realiza la **Comparación por Pares**, en los distintos niveles.

Al momento de utilizar el software, estas comparaciones, se realizan en función de:

- **Importancia:** Cuando se comparan variables con el fin de obtener la importancia relativa de cada una.
- **Preferencia:** Cuando se compara la preferencia de las alternativas con respecto a una variable.
- **Probabilidad:** Cuando se comparan escenarios o eventos con respecto a su probabilidad de ocurrencia.

Cada par de atributos (“A” y “B”) que se comparan, el tomador de decisiones responde a la pregunta “¿Cuánto más importante/preferente/probable es el atributo A, con respecto al atributo B, en relación al objetivo final?”.

El software permite la realización de juicios de forma numérica, gráfica o verbal. De acuerdo al atributo en evaluación, se preferirá los distintos enfoques, sin embargo el juicio verbal es aquel más fácil de utilizar para cualquier comparación cualitativa.

ESCALA NUMÉRICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
1.0	Igual importancia de ambos elementos	Los dos elementos contribuyen de igual forma.
3.0	Importancia moderada de un elemento con respecto al otro.	La experiencia y el juicio favorecen a uno de los elementos sobre el otro.
5.0	Mayor importancia de un elemento con respecto al otro.	Uno de los elementos es notablemente favorecido.
7.0	Mucho más importancia de un elemento con respecto al otro.	Uno de los elementos es notablemente dominante sobre el otro.
9.0	Extremadamente más importante un elemento con respecto al otro.	Uno de los elementos es dominante casi a nivel excluyente sobre el otro.
2.0,4.0,6.0,8.0	Valores intermedios	

Tabla 5.2.3. 2Escala para Comparación por Pares dadas por Saaty.

Como se indicó en el capítulo 4, es importante revisar la consistencia de los juicios realizados, sin embargo no debe forzarse la evaluación a una consistencia igual a 0, pues este método se basa en permitir un nivel de inconsistencia y transitividad, reflejo del comportamiento humano en decisiones cotidianas. Un ratio por debajo del 10% puede considerarse aceptable.<sup>6</sup>

De ser necesario, revisar la jerarquía utilizada, y adicionar o disgregar los atributos necesarios, para una mejor evaluación.

La asignación de las puntuaciones por niveles de las alternativas, la obtención del vector de prioridad y la valoración final de cada alternativa son calculadas directamente por el programa Expert Choice 11.0, el cual sigue la secuencia matemática mencionada en el capítulo 4.

De esta manera, con la información procesada, se obtiene la puntuación final de cada alternativa con respecto a los beneficios y desempeño en todas las variables. El software provee un resumen, donde se observa el ranking de las alternativas en función de la meta final de selección. Este reporte, incluye la descripción de la evaluación de cada alternativa con respecto a cada variable y sub-atributos respectivos.

Es posible realizar un análisis de sensibilidad, para ver como las alternativas se comportan con respecto a cada una de las variables, y mostrar que tan sensibles son a los cambios de importancia de cada uno de los atributos.

#### **5.2.4. PONDERACIÓN DE DESEMPEÑOS**

Luego de obtener, por un lado la puntuación final del desempeño no financiero, y el costo total de cada alternativa por otro, se realiza una ponderación de estos valores con el fin de obtener un ranking final.

En esta instancia se puede realizar un nuevo descarte, por ejemplo si una alternativa presenta el costo más elevado y los menores beneficios, no tiene sentido seguir considerándola.

---

<sup>6</sup> Revisar capítulo 4 para mayor detalle sobre consistencia y transitividad de los juicios.

Como indica Marat Goldenberg y Aviad Shapira, M.ASCE en el documento “SYSTEMATIC EVALUATION OF CONSTRUCTION EQUIPMENT ALTERNATIVES: CASE STUDY, la mayor dificultad en esta etapa es determinar el peso relativo de los costos y los beneficios, con el fin de producir una puntuación final a cada alternativa.

La premisa de solución que ellos plantean, es que los pesos relativos a los costos de las alternativas deben reflejar - en proporción lineal - la diferencia de magnitud entre ellas. Es decir que la mayor diferencia entre la alternativa más económica (denominada alternativa base) y cualquier otra, debe corresponder a un mayor peso relativo de costo de esta última.

Por lo tanto, en un lado se tiene a la alternativa base, la cual tiene un peso correspondiente a cero. En el otro extremo, se debe establecer una diferencia máxima de costo, que corresponda a un peso relativo de 1. Esta cantidad de dinero, expresa el máximo valor que la compañía está dispuesta a pagar por los beneficios potenciales que puede ofrecer una alternativa cuyo costo no sea el más económico.<sup>7</sup>

Para poder entender esta ponderación se plantea el siguiente ejemplo:

#### INFORMACIÓN OBTENIDA DE LA ETAPA ANTERIOR<sup>8</sup>

DATOS DE INGRESO		
ALTERNATIVAS	PUNTUACION NORMALIZADA EN DESEMPEÑO NO FINANCIERO (BENEFICIOS)	COSTO TOTAL A LO LARGO DEL CICLO DE VIDA (\$)
ALTERNATIVA 1	0.5	28
ALTERNATIVA 2	0.2	25
ALTERNATIVA 3	0.1	24
ALTERNATIVA BASE	0.1	24
MONTO MAXIMO POR BENEFICIOS	Se considera el 15% de la alternativa más cara	4.2

<sup>7</sup> Marat Goldenberg y Aviad Shapira, M.ASCE “SYSTEMATIC EVALUATION OF CONSTRUCTION EQUIPMENT ALTERNATIVES: CASE STUDY”

<sup>8</sup> La puntuación normalizada de los beneficios se obtiene del programa Expert Choice 11.0 y el costo a lo largo del ciclo de vida se obtiene del programa BLCC 5.5

Se establece la alternativa 3 como alternativa base, por ser la de menor costo.

Así mismo se establece la máxima cantidad de dinero que el cliente está dispuesto a pagar por los beneficios.

A pesar que este valor puede diferir en los distintos proyectos<sup>9</sup>, la presente investigación asume y refiere 15 % del máximo monto, como la cantidad que el cliente puede asumir por los beneficios.

En el ejemplo, este monto será \$ 4.2

ALTERNATIVA 1		
(a)Costo:	28	
(b)Puntuación de beneficios:	0.5	
(c)Diferencia de Costo:	4	(28-ALT. BASE)
(d)Peso relativo del costo:	0.952	(c)/4.2
(e)Peso relativo de los beneficios:	0.048	1-(d)
(f)Puntuación del costo ( relativa a la alternativa base)	0.857	(28/ALT. BASE)
(g)Puntuación de beneficios(relativa a la alternativa base):	5.000	(0.5/ALT. BASE)
Puntuación Final:	1.056	(g)*(e) + (f)*(d)

ALTERNATIVA 2		
Costo:	25	
Puntuación de beneficios:	0.2	
Diferencia de Costo:	1	(25-24)
Peso relativo del costo:	0.238	(1/4.2)
Peso relativo de los beneficios:	0.762	(1-0.238)
Puntuación del costo ( relativa a la alternativa base)	0.960	(24/25)
Puntuación de beneficios(relativa a la alternativa base):	2.000	(0.2/0.1)
Puntuación Final:	1.752	2*0.762+0.96*0.238

<sup>9</sup> Marat Goldenberg y Aviad Shapira, recomiendan que este monto sea el 1% del costo total del proyecto.

ALTERNATIVA 3		
Costo:	24	
Puntuación de beneficios:	0.1	
Diferencia de Costo:	0	(24-24)
Peso relativo del costo:	0	(0/4.2)
Peso relativo de los beneficios:	1	(1-0)
Puntuación del costo ( relativa a la alternativa base)	1.000	(24/24)
Puntuación de beneficios(relativa a la alternativa base):	1.000	(0.1/0.1)
Puntuación Final:	1.000	1*1+1*0

**5.2.5. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA**

Por último, se obtiene las puntuaciones finales de las alternativas, que incluyen los costos y los beneficios de cada una. Esta puntuación, resultado de una evaluación integral, permite mostrar la selección de la mejor alternativa de las analizadas. En el ejemplo dado, la mejor alternativa es aquella que contaba con la puntuación intermedia de beneficios y de costo.

RESULTADO FINAL		
ALTERNATIVAS	PUNTUACIÓN FINAL	PUNTUACIÓN FINAL NORMALIZADA
ALTERNATIVA 1	1.000	0.263
ALTERNATIVA 2	1.752	0.460
ALTERNATIVA 3	1.056	0.277

MEJOR ALTERNATIVA		
ALTERNATIVA 2	1.752	0.460

### 5.3. BIBLIOGRAFIA

ALDEN ÁNGELES, D. F. "Evaluación Económica de un Tren de Tratamiento de Agua Residual para la UDLA-P". Universidad de las Américas, Departamento de Ingeniería Civil, Puebla ,2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS:

ASTM E 964-06 "Standard Practice for Measuring Benefit-to-Cost and Savings-to-Investment Ratios for Buildings and Building Systems" 2006 USA

ASTM E 1074-06 "Standard Practice for Measuring Net Benefits and Net Savings for Investments in Buildings and Building Systems" 2006 USA

ASTM E 1057-06 "Standard Practice for Measuring Internal Rate of Return and Adjusted Internal Rate of Return for Investments in Buildings and Building Systems" 2006 USA

ASTM E 2204-05 "Summarizing the Economic Impacts of Building-Related Projects" 2005 USA

ASTM E 917-05 "Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems" 2005 USA

ASTM E 1946-02 "Standard Practice for Measuring Cost Risk of Building and Building Systems" 2002 USA

ASTM E 1369-02 "Standard Guide for Selecting Techniques for Treating Uncertainty and Risk in the Economic Evaluation of Buildings and Building Systems" 2002 USA

ASTM E 1121-02 "Standard Practice for Measuring Payback for Investments in Buildings and Building Systems" 2002 USA

"Briefing, Building Performance Assessment and Post occupancy Evaluation :Case studies".

[http://projects.bre.co.uk/productive\\_workplace/building\\_performance.html](http://projects.bre.co.uk/productive_workplace/building_performance.html) (01 de mayo de 2007)

DELL'ISOLA, Alphonse. "VALUE ENGINEERING: PRACTICAL APPLICATIONS...For Design, Construction, Maintenance & Operations" RSMEANS, USA, 1997

FORMAN, Ernest y SELLY, Mary Ann "Decision by Objectives (How to convince others that you are right)".2001.

LI Yawei, NIE, Xiangtian y CHEN Shouyu. "Fuzzy Approach to Prequalifying Construction Contractors" *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 133 N°1, Enero 2007

LIEDTKA, Stephen L. "The Analytic Hierarchy Process and Multi-Criteria Performance Management Systems" *Cost Management* Noviembre/Diciembre, 2005.

MANZANO, Eduardo Roberto "Estudio de una metodología para evaluar la calidad del servicio del alumbrado urbano" UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA Barcelona, 2000.

PAEK, James H. et al. "Selection of Design/Build Proposal Using Fuzzy-Logic System". *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 118 N°2, Junio 1992

POLAT, Gul et al. "Simulation-Based Decision Support System for Economical Supply Chain Management of Rebar" *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 133 N°1, Enero 2007

RIPOLL NOVALES, Miguel, "Propuesta De Un Modelo De Evaluación Económica De Proyectos Educativos" Universidad de Barcelona, Septiembre del 2004.

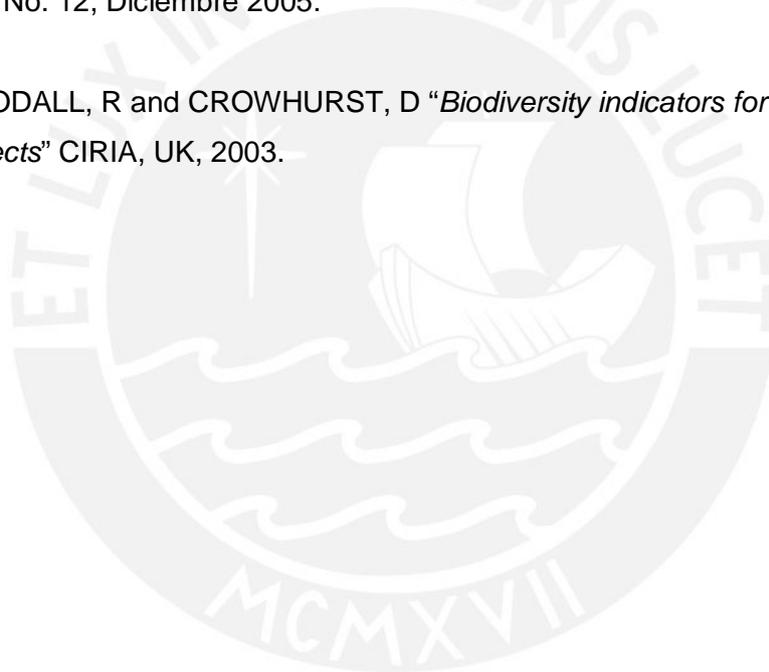
SAATY, Thomas L. y NIEMIRA, Michael P. "A Framework for Making a Better Decision How to Make More Effective Site Selection, Store Closing and Other Real Estate Decisions" *RESEARCH REVIEW*, V. 13, No. 1, 2006

SALMAN, Ahmed F. "BOT Viability Model for Large-Scale Infrastructure Projects" *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 133 N°1, Enero 2007.

SHAPIRA, Aviad. y GOLDENBERG, Marat. "Systematic Evaluation of Construction Equipment Alternatives: Case Study" *Journal of Construction Engineering and Management ASCE* /Vol. 133, No. 1, / Enero 2007.

\_\_\_\_\_ "AHP-Based Equipment Selection Model for Construction Projects". *Journal of Construction Engineering and Management ASCE* /Vol. 131, No. 12, Diciembre 2005.

WOODALL, R and CROWHURST, D "Biodiversity indicators for construction projects" CIRIA, UK, 2003.

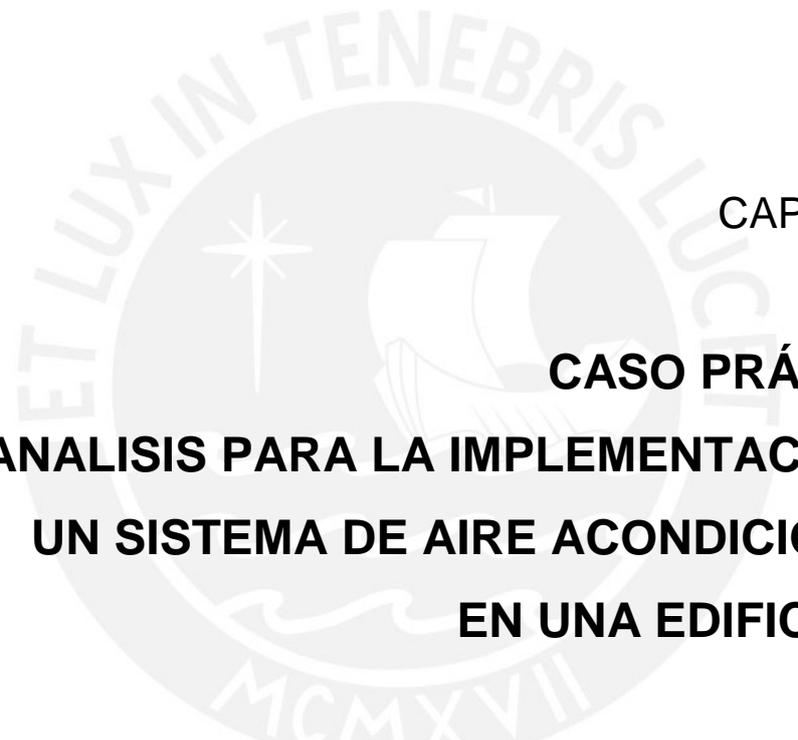




PARTE IV

## CASO PRÁCTICO

## CAPITULO 6



**CASO PRÁCTICO:  
ANÁLISIS PARA LA IMPLEMENTACION DE  
UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO  
EN UNA EDIFICACIÓN**

En el capítulo 5 de esta tesis, se ha expuesto un modelo que permite una óptima evaluación y selección de los sistemas de un proyecto de construcción, el cual involucra un análisis técnico y económico acorde a las diversas particularidades (atributos) del mismo.

De acuerdo a esto, el objetivo del presente capítulo se centra en la aplicación de la metodología y las herramientas informáticas recomendadas previamente, con el fin de comparar siete alternativas para la implementación de un sistema de aire acondicionado en un centro médico, y seleccionar aquella que muestre el mejor desempeño integral a lo largo de su ciclo de vida y del proyecto.

Este caso práctico es desarrollado bajo condiciones reales aunque su aplicación ha sido simplificada con el fin de emplear el modelo de investigación. Los datos utilizados se encuentran en el orden de magnitud dado en la práctica profesional, pero no tienen como objetivo servir como referencia de forma excluyente.

## 6.1. **ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO EN UN CENTRO MÉDICO**

### 6.2.1. **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El centro médico en evaluación cuenta con 7 pisos, los cuales abarcan consultorios médicos de atención ambulatoria y locales de servicio médico de apoyo. Cuenta con un área total de 2520.64 m<sup>2</sup>, y un área construida: 4947.10 m<sup>2</sup>

La distribución general es la siguiente:

1er nivel: Local de servicios de apoyo de Imagenología y puesto de control.

2do nivel: Locales de servicio. Laboratorio, Farmacia y locales Comerciales.

3-6 nivel: Atención médica, salas de espera SSHH, consultorios y zonas de servicio.

7mo nivel: Administrativa y rehabilitación.

Todos estos niveles, requieren la implementación de un sistema de climatización adecuado a este tipo de edificación, en cual permita controlar la temperatura de los distintos ambiente durante la etapa de servicio de edificación.

Las especificaciones técnicas requeridas para el sistema, dadas en el diseño del proyecto, son las siguientes:

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
<b>Chiller</b>	
<u>Generales</u>	
Tipo	Agua/Aire
Circuito de enfriamiento	Independiente ( Consta de 2 unidades)
Refrigerante	R-134A
Capacidad mínima	210 Ton
Eficiencia a plena Carga	EER 12
Eficiencia a Carga Parciales	NPLV 14.5
Factor de potencia mínimo del conjunto	0.95
<u>Compresor</u>	
Tipo	Tornillo semihermético
Arranque	Sin picos
Regulable	del 10% al 100% continuo
Presión de trabajo max	350 psig
<u>Evaporador</u>	
Tipo	Expansión directa
Presión de trabajo min	235psig lado refrigerante
Presión de trabajo min	150psig lado del agua
<u>Condensador</u>	
Tipo enfriado	Enfriado por aire
Presión de trabajo max	350 psig
<u>Panel de Control</u>	
Tipo	Microprocesador
Display de pantalla liquida	Si/No incluye

#### Parámetros de información y control:

Temperatura de agua a la entrada y salida del evaporador  
 Temperatura de aire a la entrada y salida del condensador  
 Presión y temperatura del refrigerante en el evaporador para cada circuito  
 Presión y temperatura del refrigerante en el condensador para cada circuito  
 Temperatura en la línea de succión y sobrecalentamiento para cada circuito  
 Temperatura en la línea de succión y subenfriamiento para cada circuito  
 Posición de la válvula de expansión

Programación del Set Point y estados de operación  
 Registro histórico de alarmas, Set Point, horas de trabajo  
 Mensajes de alarmas

**Protecciones mínimas:**

Perdidas de fase, inversión de fase y sobre y bajo voltaje para cada compresor  
 Descarga de alta presión de refrigerante en el condensador  
 Protección al compresor de cada circuito por alta presión de descarga  
 Protección de congelamiento para cada compresor  
 Anticongelamiento, bajo diferencial de presión, bajo nivel de aceite  
 Pérdida de flujo en el evaporador  
 Pérdidas de refrigerante

Normas:

ARI – ASHRAE – ASME- NEMA - UL

**Electrobombas de Agua Helada**

Tableros de Control

Tipo Para uso exterior  
 Con equipo completo  
 Interruptor termomagnético Cutler hammer, Melin Guerin

Primarias (BAHP 01, BAHAP 02)

Caudal	502 GPM
Altura dinámica	40 pies
Eficiencia Mínima	75%
Características Eléctricas	440V, 3F, 60Hz, 7.5HP
Tipo de arranque	Directo/tensión reducida

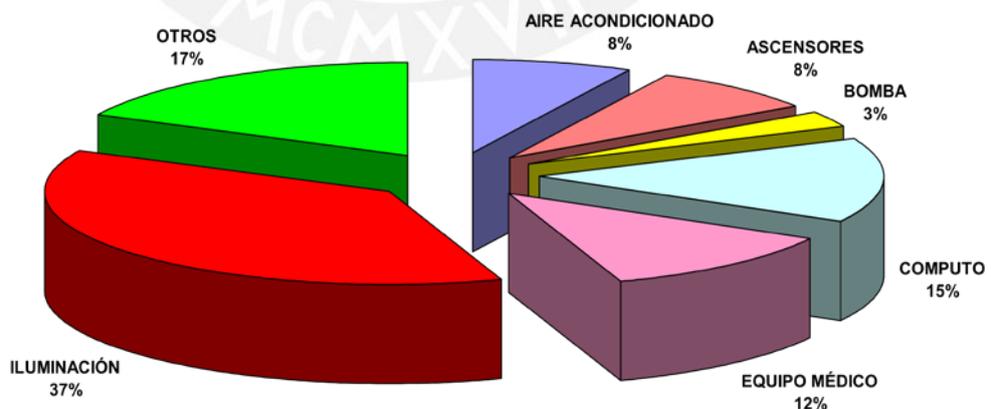
Secundarias (BAHS 01, BAHS 02)

Caudal (502 GPM)	502 GPM
Altura dinámica (75 pies)	75 pies
Eficiencia Mínima (75%)	75%
Características Eléctricas	440V, 3F, 60Hz, 15HP
Variador de frecuencia	Marca Johnson Controls o Danfoss, factor de potencia 1

Fan Coils	
Tensión de operación	220V 1 fase 60Hz
Relación de flujo de agua helada	2.4 gpm de agua por Ton de refrigeración con ingreso de agua a 44°F
Certificación ARI (USA)	Si/No cumple
Presión estática mínima	0.15 pulg.c.a

Equipo de AA Tipo Split Decorativo	
Tipo	Para montaje en pared
Refrigerante	R-22
Procedencia	USA (York, Carrier, Trane)
Eficiencia nominal mínima	EER 10BtuH/Watts
Otros	
Pruebas y Balanceo completo del Sistema	

Por otro lado, el cronograma general de obra incluye como una etapa a la selección y contratación del Sistema de Aire Acondicionado, cinco meses después del inicio del proyecto. De acuerdo a un estudio de eficiencia energética, este sistema junto a otros del tipo blando, consumen un gran porcentaje de energía en un centro hospitalario.



Fuente: Estudio de eficiencia energética a un centro hospitalario

Año 2002

Acorde a esta información, se puede rescatar la necesidad por parte del cliente, o de la entidad consultora respectiva, de realizar una evaluación y posterior selección de un sistema del tipo blando del proyecto de construcción.

Sin embargo, antes de realizar la aplicación del modelo propuesto en la presente investigación, es necesario reconocer el enfoque del cliente en el respectivo proyecto, pues esto permite la adaptación del modelo a esta situación en particular..

De esta manera se recurrió a la tesis de pregrado: “Asegurando el valor en proyectos de construcción un estudio de técnicas y herramientas usadas en las etapas de concepción y planeamiento”<sup>1</sup> en la cual se analiza este mismo proyecto en su etapa de concepción y de la cual se obtiene la siguiente información:

*El cliente tenía la necesidad principal de incrementar el intercambio de bienes y servicios en el centro comercial y por lo tanto decide crear una nueva unidad de negocio única en el mercado, que aumentará su prestigio e imagen, decidiendo hacer un Centro Médico.*

*De acuerdo a los diferentes estudios realizados, se muestra que el Centro Médico debe funcionar como foco de atención de nuevos clientes/usuarios, creando un impacto en la comunidad y mejorando el sector salud del entorno.*

*Así mediante entrevistas a las personas claves del proyecto, se obtuvo los siguientes criterios de valor del inversionista, en orden de prioridad:*

- 1. Costo de Operación*
- 2. Confort*
- 3. Estética*
- 4. Costo de inversión*
- 5. Velocidad<sup>2</sup>*
- 6. Política de la Empresa*

<sup>1</sup> Miranda Valdez Jose Antonio, Lima 2006

<sup>2</sup> Concepto relativo a la necesidad del traslape de etapas del proyecto para reducir el plazo del mismo.

7. *Impacto Ambiental*

8. *Flexibilidad*<sup>3</sup>

9. *Valor Reventa*

*Los tres primeros son acordes al público objetivo, sectores socioeconómicos A-B, y gastos operativos en el tiempo de una estructura de estas características.*

*Así mismo la tesis de referencia muestra, mediante el empleo de la técnica del QFD, la manera que los Costos de Operación y el Confort, eran prioridad del proyecto. Sin embargo, en tercer lugar se considera la política de la empresa, pues en última instancia, esta rige la decisión de invertir en resaltar la arquitectura o aspecto estético del proyecto.*

## 6.2. **PLANTEAMIENTO PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE INVESTIGACIÓN**

### 6.2.1. **BASE DE DATOS: CONTEXTO DEL PROBLEMA**

En primer lugar, se define que la decisión es del TIPO DISEÑO (acorde a ASTM E- 1185-02), pues al final de la evaluación, se seleccionará una de las propuestas para la implementación del sistema de aire acondicionado del centro médico. Así mismo, se reconoce a este componente como un sistema del tipo BLANDO, pues pertenece al listado de descrito en el capítulo 5.

NIVEL 2 GRUPO DE ELEMENTOS	TIPO DE SISTEMA DENTRO DEL CRITERIO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN
<b>B20 Cerramiento exteriores</b>	SISTEMA SEMI-BLANDO <sup>4</sup>
<b>B30 Cerramiento Superior</b>	SISTEMA SEMI- BLANDO

<sup>3</sup> Especifica las posibilidades de adaptación a cambios dados por los usuarios.

<sup>4</sup> La definición de un sistema semi-blando, parte de un enfoque relativo a la complejidad con el cual se analiza. Dependiendo del nivel de detalle o valor económico que le corresponda puede considerarse bajo ambos criterios (blando y rígido).El impacto al utilizar el modelo de esta investigación es menor a aquellos sistemas netamente blandos.

<b>C10 Construcciones interiores</b>	SISTEMA SEMI- BLANDO
<b>C30 Terminaciones interiores</b>	SISTEMA SEMI- BLANDO
<b>D10 Transporte</b>	SISTEMA SEMI- BLANDO
<b>D30 Sistema de aire acondicionado</b>	SISTEMA BLANDO
<b>D40 Sistema de protección contra incendios</b>	SISTEMA SEMI- BLANDO

**Tabla 5.2.1.1.1** Sistemas recomendados para la aplicación de la metodología

Finalmente, se eligen las variables acordes a la implementación de un sistema HVAC a partir de la lista dada en el capítulo 5. En este caso, su selección se basa en el enfoque que el cliente desea darle al proyecto, y la importancia relativa entre los distintos criterios se realiza en una etapa posterior del modelo.

ATRIBUTOS	SUB-ATRIBUTOS
<p><b>Aspectos de Gestión del Proveedor del Sistema:</b></p>	<p><u>Confiabilidad:</u> Uno de los indicadores de la confiabilidad del proveedor es la cantidad de años que este posee en el mercado, pues demuestra un trabajo comprometido y es factible obtener referencias de la confiabilidad de sus sistemas.</p> <p><u>Experiencia en Obras Similares:</u> Se considera como un indicador la cantidad de sistemas similares a los del proyecto suministrados por el proveedor.</p> <p><u>Garantía (Servicio Post-Venta):</u> El indicador más usual es la garantía que el proveedor puede ofrecer de todo el sistema, así como por parte de los fabricantes con respecto a alguno de sus componentes.</p> <p><u>Ventajas en el Financiamiento:</u> Se toma en cuenta el porcentaje de adelanto, y la adaptación de la diferencia con el flujo de caja del proyecto. (En algunos casos la diferencia será a contraentrega y en otros casos será con valorización conforme al avance)</p>
<p><b>Eficiencia en Operación y Mantenimiento</b></p>	<p><u>Facilidad de manejo y control del sistema:</u> De acuerdo a la necesidad del usuario final, se evalúa la facilidad de manejo del sistema en la etapa de operación del mismo. En este ejemplo se incluye la facilidad con que puede realizarse la limpieza y mantenimiento del mismo sin interrumpir la labor cotidiana del ambiente.</p> <p><u>Nivel de Avance Tecnológico:</u> Acorde a los avances de la tecnología, los sistemas de última generación tienden a ser más eficientes y sostenibles.</p> <p><u>Adaptabilidad y Flexibilidad:</u> Referido a la capacidad o falta de ella para posibles cambios de tecnología o una futura reubicación.</p>

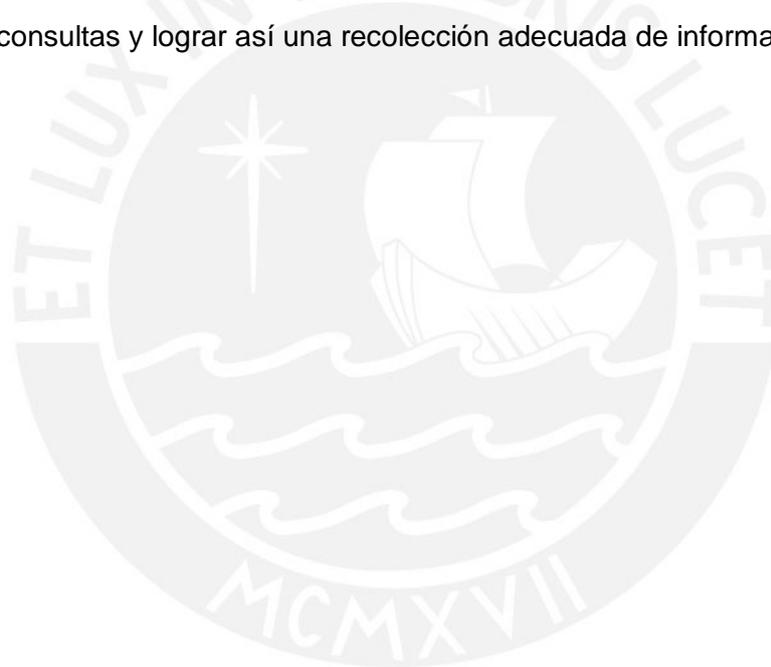
<b>Seguridad</b>	El nivel de seguridad que el sub-contratista puede ofrecer, y si es compatible con aquel que rige dentro de la obra
<b>Estética</b>	Se refiere si la imagen del sistema, está de acuerdo con aquella que el dueño quiere proyectar.
<b>Sostenibilidad</b>	<p><u>Calidad del Aire:</u> La compatibilidad con el medio ambiente del sistema, y el impacto del mismo en los distintos salones donde se condiciona la temperatura.</p> <p><u>Impacto Sonoro y Vibración:</u> La cantidad de ruido que genera el sistema en actividad. En algunas especificaciones se incluye el nivel de decibeles permitido o aceptable por el cliente.</p> <p><u>Control de Residuos:</u> Se considera la compatibilidad del sistema con el medio ambiente pero en función del uso de materia prima ecológica, y la no generación de residuos tóxicos para los seres vivos y/o medio ambiente. En este caso el uso de un refrigerante ecológico era establecido previamente como parámetro de diseño.</p>
<b>Influencia en el plazo de obra</b>	El indicador es el plazo que el proveedor ofrece para la instalación completa del sistema. Puede ser referido al caso de la necesidad de importar todo el sistema, o algunos accesorios del mismo. En algunos casos, el proveedor maneja un stock suficiente como para asegurar la disponibilidad del sistema a pesar de la procedencia extranjera de los componentes del mismo.

**Tabla 6.2.1. 1** Variables a considerarse en la evaluación del Sistema de Aire Acondicionado del Centro Médico

### 6.2.2. **RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE DISEÑO**

En esta fase se detallan aquellos parámetros básicos de diseño del sistema de HVAC que se evalúa. En el presente ejemplo, de acuerdo al listado de especificaciones técnicas dadas al inicio del capítulo, se solicitó a cada postor, un sistema que cumpla con estos requisitos mínimos que el proyecto exigía.

A continuación se muestra el cuadro comparativo donde se resume el resto de data, de aquellos criterios que tienen datos cuantitativos. Como se puede observar, gran parte de esta información no es solicitada usualmente a los diferentes postores, a pesar de su gran importancia, por ende, se recomienda iniciar la evaluación antes de cerrar la etapa de consultas y lograr así una recolección adecuada de información



EMPRESA	PROCEDENCIA	GARANTIA	ANTIGÜEDAD	OBRAS SIMILARES REALIZADAS	EJECUCION	PLAZO TOTAL	FORMA DE PAGO
COLD IMPORT	USA	3 años	40 años	10	Equipos + instalación: 12 semanas	12	20% de adelanto, saldo contraentrega.
TERMOREP	USA	1 año	10 años	7	Chiller: 10 - 12 semanas, instalado. Fan Coils: 12 - 14 semanas, instalados. Bombas y accesorios: 12 - 14 semanas, instalados. Tuberías, ductos y accesorios: 08 - 10 semanas, instalados.	14	50% de adelanto, saldo según avance.
MLC	USA	1 año	18 años	5	Chiller y Fan Coils: 18 -19 semanas en obra Bombas y accesorios: 6 semanas en obra Ventiladores: 6 semanas en obra Instalación: 10 semanas	19	40% con orden de compra. Saldo por equipos contra presentación de documentos de embarque. Saldo por instalaciones por valorizaciones quincenales de acuerdo al avance de obra.

ASCENSORES	USA	1 año	14 años	5	Equipos + instalación: 16 semanas	16	Material a importar: 50% con orden de compra, 50% carta simple de embarque de equipos. Material local e instalación: 50% de adelanto, 30% al primer tercio del tiempo ofrecido, 20% al segundo tercio del tiempo ofrecido.
REFRICORP	USA	1 año	9 años	6	21 - 22 semanas luego de aceptación de oferta y realización de primer pago, 19-21 semanas para importar	22	60% de adelanto 30% según valorizaciones quincenales 10% contraentrega
HI - TECH	USA	1 año	22 años	2	20 a 24 semanas para importación. 12 semanas para fabricación nacional.	24	20% con orden de compra, saldo en valorizaciones
ACS	USA/Fan coils CHINA	2 años(FAN COILS)	12 años	3	16 semanas.	16	30% de adelanto, saldo según avance.

**Tabla 6.2.1. 2** Datos cuantitativos de los postores para el suministro e instalación del sistema de aire acondicionado.

### 6.2.3. **GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS**

Se realiza una revisión básica de las siete alternativas disponibles para el sistema de aire acondicionado, con el fin de descartar aquellas que no cumplan con los requisitos básicos de diseño establecidos en la etapa anterior.

Se recomienda que se compile los requerimientos técnicos del sistema en evaluación en la forma de un listado. Esto permite que los postores enfoquen su propuesta en lo solicitado, tal como se muestra en las comparaciones, de modo que facilite la evaluación.

En este caso, todos los sistemas de aire acondicionado superan los desempeños mínimos requeridos por el cliente, y por tanto no es necesario excluir ninguna alternativa de la evaluación.<sup>5</sup>

Si el tomador de decisiones, viera la necesidad de incluir alguno de estos parámetros como determinante es necesario retornar a la jerarquía inicial e incluir el atributo en consideración como un nuevo criterio.

### 6.2.4. **EVALUACIÓN DE POSTORES**

#### 6.2.4.1. **DESEMPEÑO FINANCIERO**

De acuerdo al modelo propuesto, es necesario contabilizar y comparar los costos distribuidos a lo largo del tiempo de cada propuesta para el sistema.

Para poder realizar esto es necesario en primer lugar ordenar los datos de ingreso al programa BLCC 5.3, tal como se muestra a continuación:

---

<sup>5</sup> A pesar que en algunos casos, las propuestas no concuerdaban con lo especificado en el diseño, se considera para fines didácticos, y basado en la práctica profesional, que no influyen considerablemente en el desempeño de los sistemas y por lo tanto no serán tomados en cuenta en lo que resta de la evaluación.

CRITERIOS PARA UN ANALISIS ECONOMICO	DESCRIPCION						
Método de evaluación	Análisis del Costo a lo Largo del Ciclo de Vida						
Método de descuento	Valor Presente a la fecha base						
Medida base	Dólares “constantes”						
Convención para el flujo de caja	Flujos dados al final del año						
DATA Y PARAMETROS	COLD IMPORT	TERMO REP	MLC	ASCENSORES	REFRICORP	HI-TECH	ACS
Fecha base	septiembre-07						
Fecha de servicio	septiembre-07						
Periodo de estudio	10 AÑOS						
Tasa de descuento	10%						
Costo Inicial	\$265,217.11	\$279,519.17	\$299,164.83	\$312,261.28	\$338,055.80	\$345,574.48	\$327,685.00
Costo de Salvamento (% del Costo Inicial)	25%						
Costo de Reemplazos parciales	0	0	0	0	0	0	0
Consumo Anual de Energía(kw)	1126685	1333132	1175094	1182387	1139955	1139955	1139955
Precio de la energía en dólares (kw-hr)	0.08						
Variación del precio de la energía	0%						
Costo de OM&R(Anual)	\$7,000.00	\$8,000.00	\$7,000.00	\$9,000.00	\$4,500.00	\$7,000.00	\$9,990.00
Observaciones	1 año gratis de mantenimiento						2 años gratis de mantenimiento

Tabla 6.2.4.1 Cuadro resumen de los datos de ingreso para cálculo en el programa BLCC 5.5

La mayoría de datos para la evaluación económica se obtienen directamente de las ofertas de los postores, sin embargo, el consumo anual de energía requiere de algunos cálculos adicionales. En este caso, se solicitó a los postores la información que se muestra en el tabla 6.2.4.2

Características		COLD IMPORT	TERMO REP	MLC	ASCENSORES	REFRICORP	HI- TECH	ACS
Capacidad Neta	tn	221.2	213.3	214	219.4	210.5	210.5	210.5
Uso al día	hras	18						
Uso al año	días	365						
EER	%Utilización							
100% - 86F	5%	0.98	1.02	1.00	1.13	1.00	1.00	1.00
75% - 79F	25%	0.85	0.96	0.90	0.94	0.87	0.87	0.87
50% - 72F	50%	0.75	0.96	0.82	0.77	0.81	0.81	0.81
25% - 65F	20%	0.68	0.90	0.75	0.70	0.75	0.75	0.75

**Tabla 6.2.4.2** Datos en relación a la eficiencia y capacidad de cada uno de los sistemas propuestos

Con estos datos, se obtiene el consumo en kw (requisito del software), mediante la presente ecuación <sup>6</sup>:

$$\text{Consumo Anual (kwh)} = \text{Capacidad Neta} * \text{Horas anuales} * \sum \% \text{ Utilización}_i * \text{EER}$$

Luego del ingreso de los datos y parámetros, el programa BLCC 5.5, calcula el costo a lo largo del ciclo de vida de cada una de las propuestas, entregando los siguientes resultados:

<sup>6</sup> El EER= Energy efficiency ratio, es un valor de eficiencia utilizado en los sistemas de HVAC, puede ser dado en kw/tn, en este caso se utilizó cargas parciales para temperaturas variables.

# NIST BLCC 5.3-07: Lowest LCC

Consistent with Federal Life Cycle Cost Methodology and Procedures, 10 CFR, Part 436, Subpart A

## General Information

<b>Analysis Type:</b>	MILCON Analysis, Energy Project
<b>Project Name:</b>	Sistema de Aire Acondicionado de un Centro Médico
<b>Project Location:</b>	U.S. Average
<b>Analyst:</b>	Santiago Herrera Chávez
<b>Comment:</b>	Ejemplo del evaluación económica a lo largo del ciclo de vida de un sistema
<b>Base Date:</b>	September 1, 2007
<b>Beneficial Occupancy Date:</b>	September 1, 2008
<b>Study Period:</b>	11 years 0 months (September 1, 2007 through August 31, 2018)
<b>Discount Rate:</b>	10%
<b>Discounting Convention:</b>	End-of-Year

## Lowest LCC

### Comparative Present-Value Costs of Alternatives

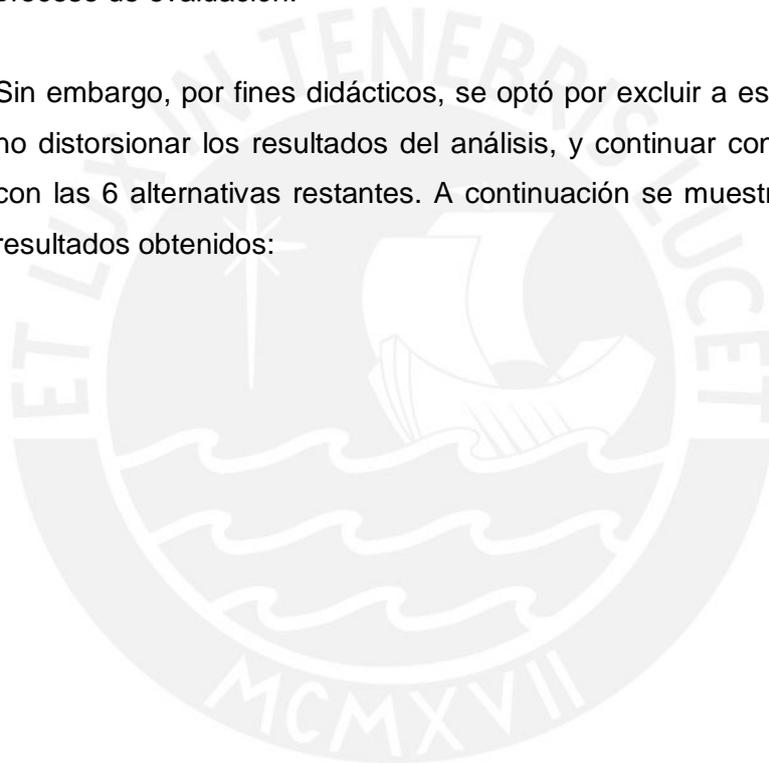
(Shown in Ascending Order of Initial Cost, \* = Lowest LCC)

Alternative	Initial Cost (PV)	Life Cycle Cost (PV)
COLD IMPORT	\$265,217	\$749,169 *
TERMO REP	\$279,519	\$860,419
MLC	\$299,165	\$806,287
ASCENSORES	\$312,261	\$832,477
ACS	\$327,685	\$818,109
REFRICORP	\$338,056	\$813,023
HI-TECH	\$345,574	\$833,850

De acuerdo al modelo propuesto en el capítulo anterior, en esta instancia es necesario analizar la diferencia económica presente en el análisis. De la data inicial, se distingue el postor COLD IMPORT, quien contaba con el menor costo inicial, el menor consumo de energía anual, y un valor razonable de mantenimiento en comparación con el resto de alternativas.

De esta manera era previsible que luego del análisis, coincidiera con ser el de menor costo a lo largo del ciclo de vida. Así, con una breve revisión de los beneficios no financieros que esta alternativa también posee, podemos seleccionarla directamente como la opción óptima en este proceso de evaluación.

Sin embargo, por fines didácticos, se optó por excluir a este postor, para no distorsionar los resultados del análisis, y continuar con la evaluación con las 6 alternativas restantes. A continuación se muestran los nuevos resultados obtenidos:



# NIST BLCC 5.3-07: Lowest LCC

Consistent with Federal Life Cycle Cost Methodology and Procedures, 10 CFR, Part 436, Subpart A

## General Information

<b>Analysis Type:</b>	MILCON Analysis, Energy Project
<b>Project Name:</b>	Sistema de Aire Acondicionado de un Centro Medico
<b>Project Location:</b>	U.S. Average
<b>Analyst:</b>	Santiago Herrera Chávez
<b>Comment:</b>	Ejemplo del evaluación económica a lo largo del ciclo de vida de un sistema
<b>Base Date:</b>	September 1, 2007
<b>Beneficial Occupancy Date:</b>	September 1, 2008
<b>Study Period:</b>	11 years 0 months (September 1, 2007 through August 31, 2018)
<b>Discount Rate:</b>	10%
<b>Discounting Convention:</b>	End-of-Year

## Lowest LCC

### Comparative Present-Value Costs of Alternatives

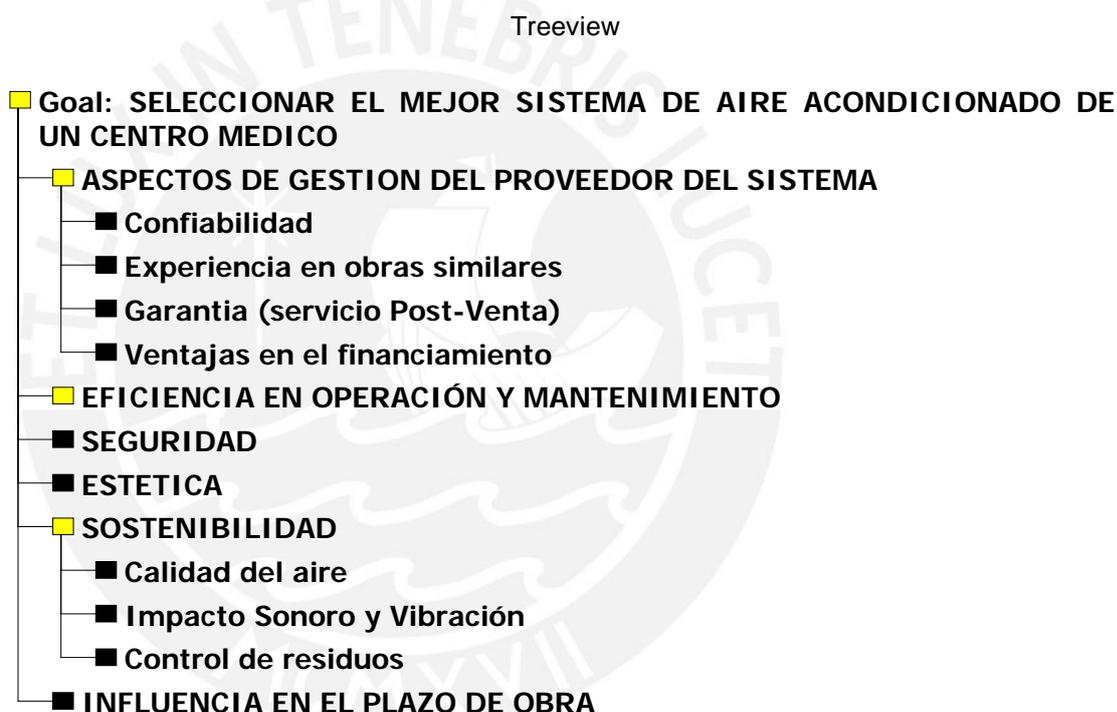
(Shown in Ascending Order of Initial Cost, \* = Lowest LCC)

Alternative	Initial Cost (PV)	Life Cycle Cost (PV)
TERMO REP	\$279,519	\$860,419
MLC	\$299,165	\$806,287 *
ASCENSORES	\$312,261	\$832,477
ACS	\$327,685	\$818,109
REFRICORP	\$338,056	\$813,023
HI-TECH	\$345,574	\$833,850

#### 6.2.4.2. DESEMPEÑO NO FINANCIERO

De acuerdo a la metodología propuesta, los beneficios de cada una de las alternativas se evalúan mediante el software Expert Choice 11.0, el cual se basa en el método Analytical Hierarchy Process (AHP), descrito en la revisión de literatura.

La jerarquía de decisión, en base a los criterios seleccionados al inicio del procedimiento, se grafica en el programa tal como se muestra a continuación:



Esquema 6.2.4. Árbol de decisión, donde se ordenan las variables a evaluar.

En segundo lugar, se realiza la **Comparación por Pares**, en los distintos niveles.

Al momento de utilizar el software, estas comparaciones, se realizaron bajo un enfoque de intensidades<sup>7</sup>. Esto permite la creación de categorías para los sub-atributos de evaluación (o aquellos de menor rango en la matriz de decisión), en algunos casos son directamente proporcionales a los datos (variables cuantitativas), y en otros casos, se establecen nuevas

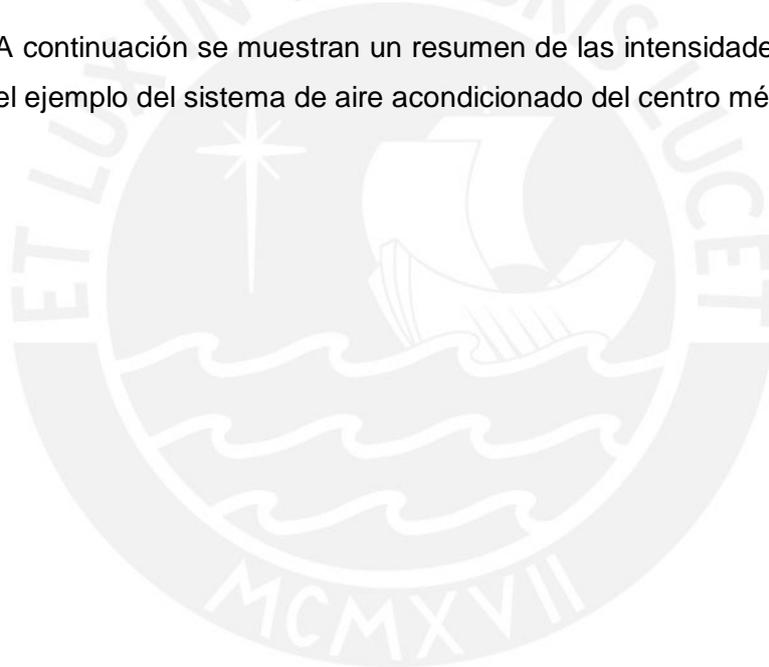
<sup>7</sup> Para un mayor detalle de este tipo de enfoque en la comparación por pares, revisar “Decision by Objectives” p.144

escalas creadas por el decisor (variables cualitativas) que facilitan la evaluación de las alternativas.

A pesar de la creación de estas nuevas escalas, es necesario realizar las comparaciones respectivas, en este caso; para cada par de intensidades (“A” y “B”) que se comparan, el tomador de decisiones responde a la pregunta “¿Cuánto más preferible es el sistema de aire acondicionado que tenga el nivel/intensidad A, con respecto a aquel que tenga un nivel/intensidad B, en relación al objetivo final?”.

La realización de estos juicios de realizo de forma numérica (directamente proporcional) en aquellas variables con datos cuantitativos y de forma gráfica/verbal en aquellos con data cualitativa.

A continuación se muestran un resumen de las intensidades utilizadas en el ejemplo del sistema de aire acondicionado del centro médico:



### Rating Scales

Confiabilidad (L: .157 G: .027)

Intensity Name	Priority
Muy Alta(>10 años)	1.000
Alta(5-10 años)	.750
Regular(< 5 años)	.250

Experiencia en obras similares (L: .157 G: .027)

Intensity Name	Priority
>6 obras	1.000
3-6 obras	.750
0-3 obras	.250

Garantía (servicio Post-Venta) (L: .613 G: .106)

Intensity Name	Priority
3 años	1.000
2 años	.660
1 año	.330

Ventajas en el financiamiento (L: .072 G: .012)

Intensity Name	Priority
Muy Conveniente (% adelanto y contraentrega)	1.000
Ventajoso( 20-30% adelanto y valorizaciones)	.750
Aceptable(>30% adelanto y valorizaciones)	.250

Facilidad de manejo y control del sistema (L: .637 G: .220)

Intensity Name	Priority
Alta	1.000
Media	.750
Baja	.250

Nivel de avance tecnologico (L: .105 G: .036)

Intensity Name	Priority
Alta	1.000
Media	.750
Baja	.250

Adaptabilidad y Flexibilidad (L: .258 G: .089)

Intensity Name	Priority
Alta	1.000
Media	.750
Baja	.250

Calidad del aire (L: .429 G: .045)

Intensity Name	Priority
Adecuada	1.000
Media	.750
Inadecuada	.100

Impacto Sonoro y Vibración (L: .429 G: .045)

Intensity Name	Priority
Normal	1.000
Medio	.750
Alto	.100

Control de residuos (L: .143 G: .015)

Intensity Name	Priority
Bueno	1.000
Medio	.750
Bajo	.100

INFLUENCIA EN EL PLAZO DE OBRA (L: .053 G: .053)

Intensity Name	Priority
<15 semanas	1.000
15-20 semanas	.750
20-25 semanas	.250

Luego, para cada postor de aire acondicionado se le asigna el valor que les corresponda por atributo. El software lo grafica de la siguiente manera:

Data Grid

	Distributive mode	RATINGS	RATINGS	RATINGS	RATINGS
AID	Alternative	ASPECTOS DE GESTION DEL PROVEEDOR DEL SISTEMA Confiabilidad (L: .157 G: .027)	ASPECTOS DE GESTION DEL PROVEEDOR DEL SISTEMA Experiencia en obras similares (L: .157 G: .027)	ASPECTOS DE GESTION DEL PROVEEDOR DEL SISTEMA Garantia (servicio Post-Venta) (L: .613 G: .106)	ASPECTOS DE GESTION DEL PROVEEDOR DEL SISTEMA Ventajas en el financiamiento (L: .072 G: .012)
A4	COLD IMPORT	1.000	1.000	1.000	1.000
A5	<input checked="" type="checkbox"/> TERMOREP	.750	1.000	.330	.250
A6	<input checked="" type="checkbox"/> MLC	1.000	.750	.330	.250
A7	<input checked="" type="checkbox"/> ASCENSORES	1.000	.750	.330	.250
A8	<input checked="" type="checkbox"/> REFRICORP	.750	.750	.330	.250
A9	<input checked="" type="checkbox"/> HI-TECH	1.000	.250	.330	.750
A10	<input checked="" type="checkbox"/> ACS	1.000	.250	.660	.750

	Distributive mode	RATINGS	RATINGS	RATINGS	Pairwise
AID	Alternative	EFICIENCIA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO Facilidad de manejo y control del sistema (L: .637 G: .036)	EFICIENCIA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO Nivel de avance tecnologico (L: .105 G: .036)	EFICIENCIA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO Adaptabilidad y Flexibilidad (L: .258 G: .089)	SEGURIDAD EN (L: .068 G: .068)
A4	COLD IMPORT	.750	.750	.750	
A5	<input checked="" type="checkbox"/> TERMOREP	.750	.750	1.000	1.000
A6	<input checked="" type="checkbox"/> MLC	1.000	1.000	1.000	1.000
A7	<input checked="" type="checkbox"/> ASCENSORES	.750	.750	.750	1.000
A8	<input checked="" type="checkbox"/> REFRICORP	1.000	1.000	1.000	1.000
A9	<input checked="" type="checkbox"/> HI-TECH	1.000	1.000	1.000	1.000
A10	<input checked="" type="checkbox"/> ACS	1.000	.750	1.000	1.000

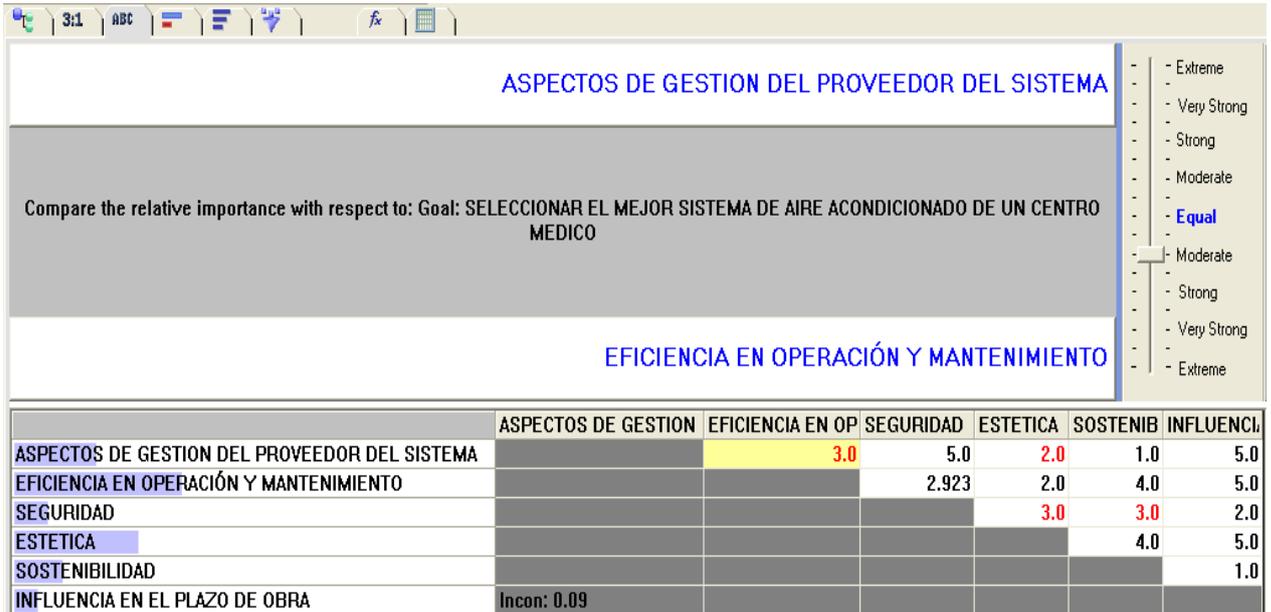
	Distributive mode	Pairwise	RATINGS	RATINGS	RATINGS
AID	Alternative	<b>ESTETICA</b> (L: .255 G: .255)	<b>SOSTENIBILIDAD</b> Calidad del aire (L: .429 G: .045)	<b>SOSTENIBILIDAD</b> Impacto Sonoro y Vibración (L: .429 G: .045)	<b>SOSTENIBILIDAD</b> Control de residuos (L: .143 G: .015)
A4	COLD IMPORT		1.000	1.000	1.000
A5	<input checked="" type="checkbox"/> TERMOREP	1.000	.750	.750	.750
A6	<input checked="" type="checkbox"/> MLC	1.000	1.000	1.000	1.000
A7	<input checked="" type="checkbox"/> ASCENSORES	1.000	.750	1.000	1.000
A8	<input checked="" type="checkbox"/> REFRICORP	1.000	1.000	1.000	1.000
A9	<input checked="" type="checkbox"/> HI-TECH	1.000	1.000	1.000	1.000
A10	<input checked="" type="checkbox"/> ACS	1.000	1.000	.750	.750

	Distributive mode	RATINGS
AID	Alternative	<b>INFLUENCIA EN EL PLAZO DE OBRA</b> (L: .053 G: .053)
A4	COLD IMPORT	1.000
A5	<input checked="" type="checkbox"/> TERMOREP	1.000
A6	<input checked="" type="checkbox"/> MLC	.750
A7	<input checked="" type="checkbox"/> ASCENSORES	.750
A8	<input checked="" type="checkbox"/> REFRICORP	.250
A9	<input checked="" type="checkbox"/> HI-TECH	.250
A10	<input checked="" type="checkbox"/> ACS	.750

Luego de evaluar el menor nivel de la jerarquía, se realiza la comparación por pares de los atributos u objetivos principales de la matriz de decisión.

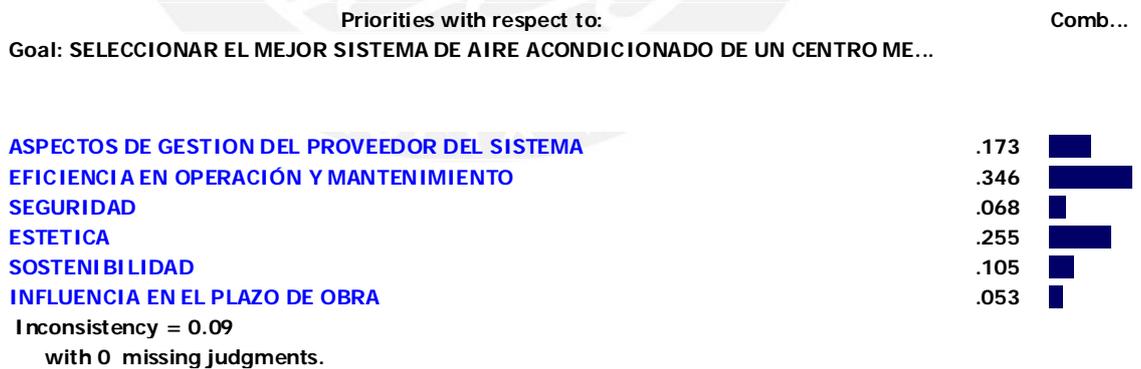
Es aquí donde se destaca la importancia del enfoque que el cliente desea darle al proyecto, expuesto al inicio del presente capítulo. De esta manera, cada variable es comparada con el resto, para detallar la importancia relativa que tiene con respecto a la elección del mejor sistema de aire acondicionado del proyecto.

El software facilita esta comparación, en este ejemplo se utilizó la escala verbal para realizar las comparaciones tal como se muestra a continuación:



De esta manera se obtienen los valores de prioridad de cada una de las variables:

### Priority Graphs



Como se puede observar, automáticamente se calcula la inconsistencia de los juicios realizados, en el ejemplo se obtuvo un valor de 0.09, y al ser menor del 10% recomendado por el creador del método, consideramos la evaluación aceptable.

Por último, se obtiene el reporte de los pesos de cada alternativa en el desempeño no financiero:

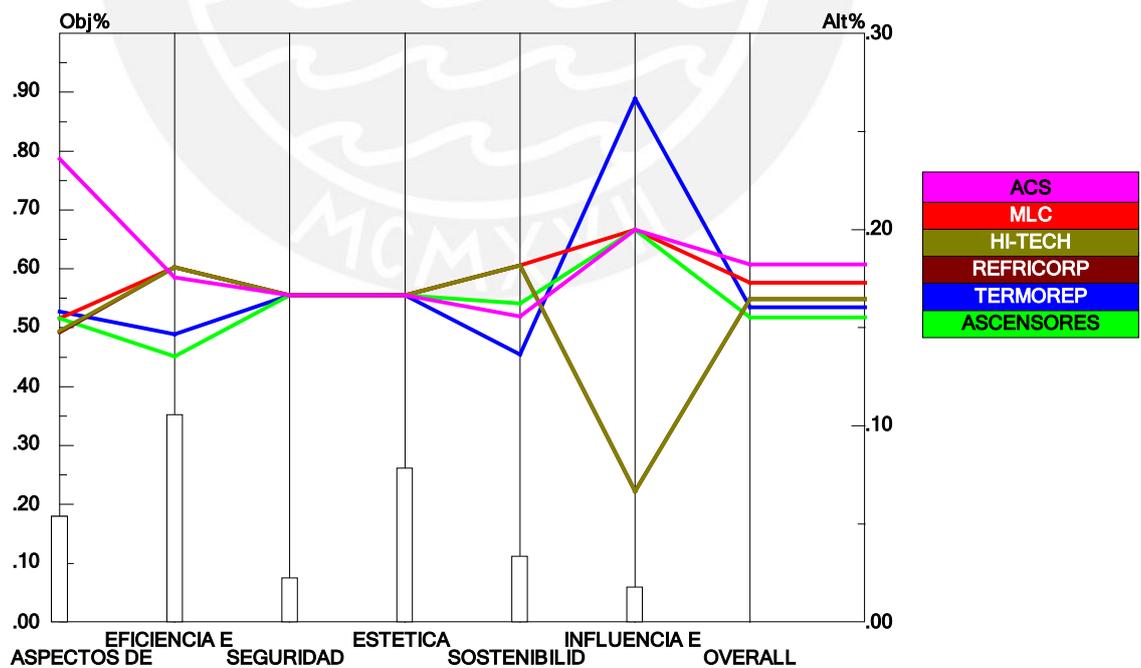
Combined instance -- Synthesis with respect to: Goal: SELECCIONAR EL MEJOR SISTEMA D.

Overall Inconsistency = .06



Es posible realizar un análisis de sensibilidad, para ver como las alternativas se comportan con respecto a cada una de las variables, y mostrar que tan sensibles son a los cambios de importancia de cada uno de los atributos.

Performance Sensitivity for nodes below: Goal: SELECCIONAR EL MEJOR SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO DE UN CENTRO MEDICO

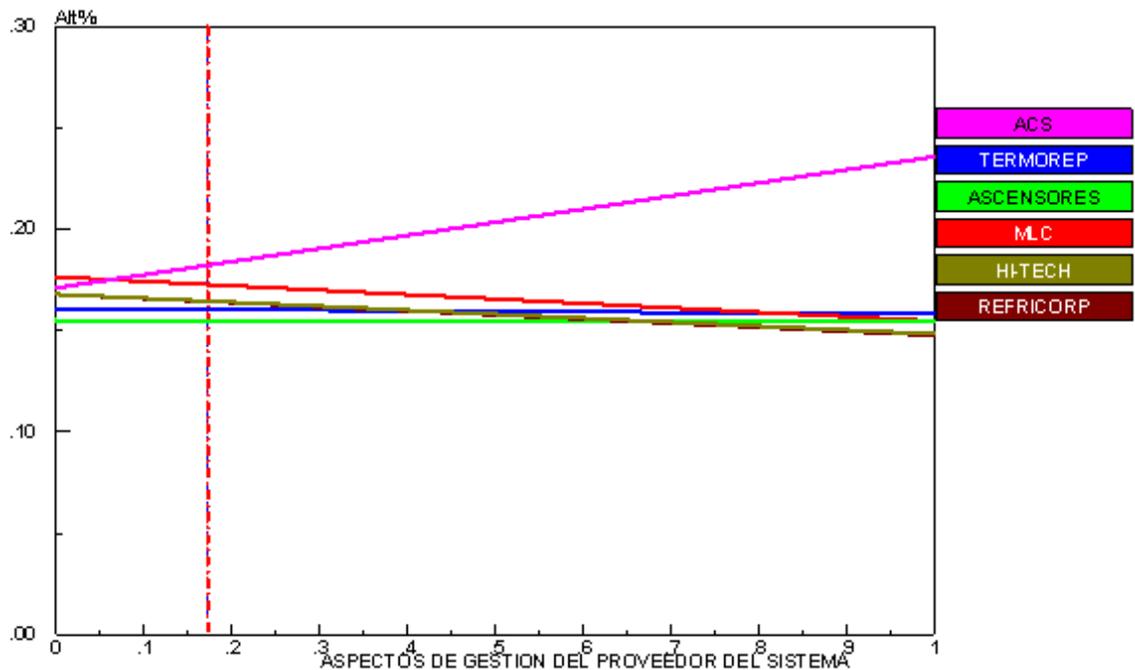


En este gráfico se observa la importancia relativa de cada atributo como barras verticales, y la preferencia de cada alternativa con respecto a

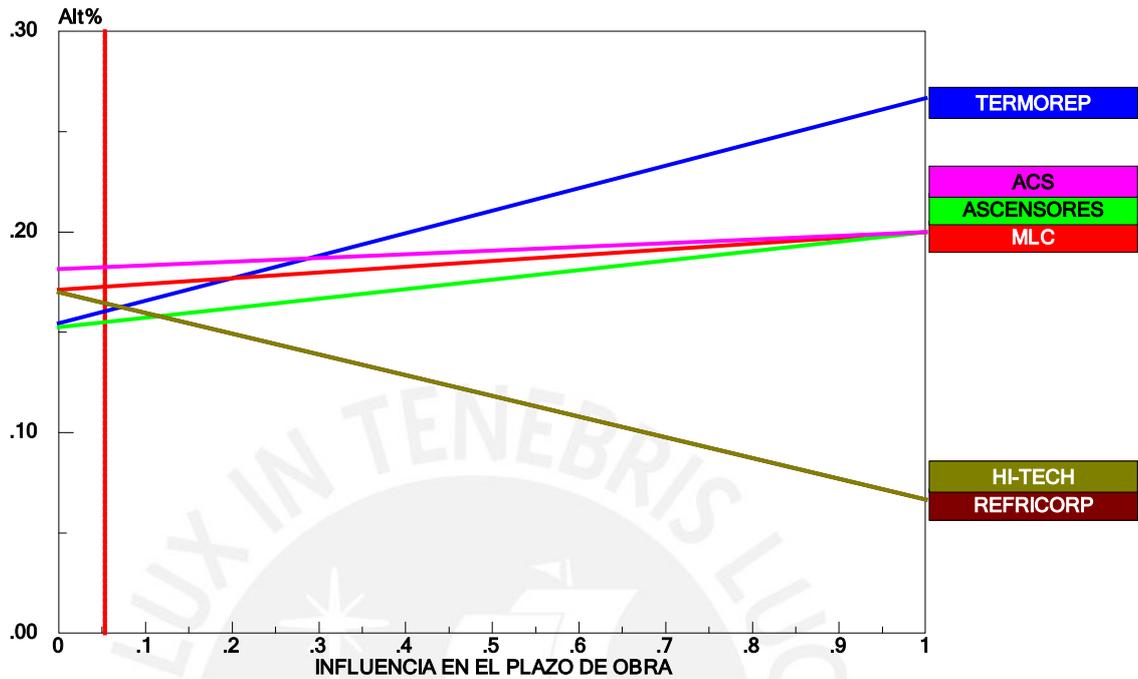
estas variables como la intersección de las curvas con las líneas verticales de cada una. El desempeño global se muestra en la última columna del gráfico.

Lo más notorio de este gráfico, es que a pesar que la alternativa MLC muestra el mejor desempeño en la variable con mayor importancia (Eficiencia en Operación y Mantenimiento); el desempeño global consolida a la alternativa ACS como la mejor opción, principalmente porque se destaca en la variable de “Aspectos de Gestión”, siendo esta diferencia lo suficiente notable como para opacar la preferencia relativa de la Eficiencia. El software permite una mejor visualización de este comportamiento mediante los gradientes de sensibilidad, los cuales por ejemplo en el gráfico indican que al reducir la importancia relativa de la variable de Gestión de 0.17 hasta alrededor de 0.07, la mejor opción sería otra. Ocurre el mismo comportamiento, tal como se observa en el siguiente gráfico, si la importancia de la variable Influencia en plazo de Obra, se incrementara hasta al 30%.

**Gradient Sensitivity for nodes below: Goal: SELECCIONAR EL MEJOR SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO DE UN CENTRO MEDICO**



**Gradient Sensitivity for nodes below: Goal: SELECCIONAR EL MEJOR SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO DE UN CENTRO MEDICO**



A pesar de este análisis, la variabilidad que generarían estos cambios implica diferencias significativas de prioridad, por lo cual se puede decir que los resultados no son sensibles a cambios mínimos de preferencia.

**6.2.5. PONDERACIÓN DE DESEMPEÑOS**

Luego de obtener, por un lado la puntuación final del desempeño no financiero, y el costo total de cada alternativa por otro, se realiza una ponderación de estos valores con el fin de obtener un ranking final. Así, estructuramos un cuadro resumen con estos pesos finales para cada postor, y mediante un breve procedimiento de Excel, se realiza la ponderación final de costos y beneficios.

DATOS DE INGRESO		
ALTERNATIVAS	PUNTUACION NORMALIZADA EN DESEMPEÑO NO FINANCIERO (BENEFICIOS)	COSTO TOTAL A LO LARGO DEL CICLO DE VIDA (\$)
TERMO REP	0.16	860,419
MLC	0.173	806,287
ASCENSORES	0.155	832,477
ACS	0.182	818,109
REFRICORP	0.165	813,023
HI-TECH	0.165	833,850
ALTERNATIVA BASE	0.173	806,287
MONTO MAXIMO POR BENEFICIOS	Se considera el 15% de la alternativa más cara	129063

RESULTADO FINAL		
ALTERNATIVAS	PUNTUACIÓN FINAL	PUNTUACIÓN FINAL NORMALIZADA
TERMO REP	0.930	0.160
MLC	1.000	0.172
ASCENSORES	0.911	0.157
ACS	1.046	0.180
REFRICORP	0.956	0.165
HI-TECH	0.957	0.165

6.2.6. SELECCIÓN DEL MEJOR SISTEMA DE HVAC

Por último, con las puntuaciones finales de las alternativas en la elección del sistema de aire acondicionado, que incluye un análisis del desempeño financiero y no financiero de cada una, procedemos con la selección de la empresa ACS por mostrar una puntuación de 0.178, resultado de esta evaluación integral.

Para una mejor visualización del resultado final, se grafican los desempeños integrales de cada alternativa de la siguiente manera:

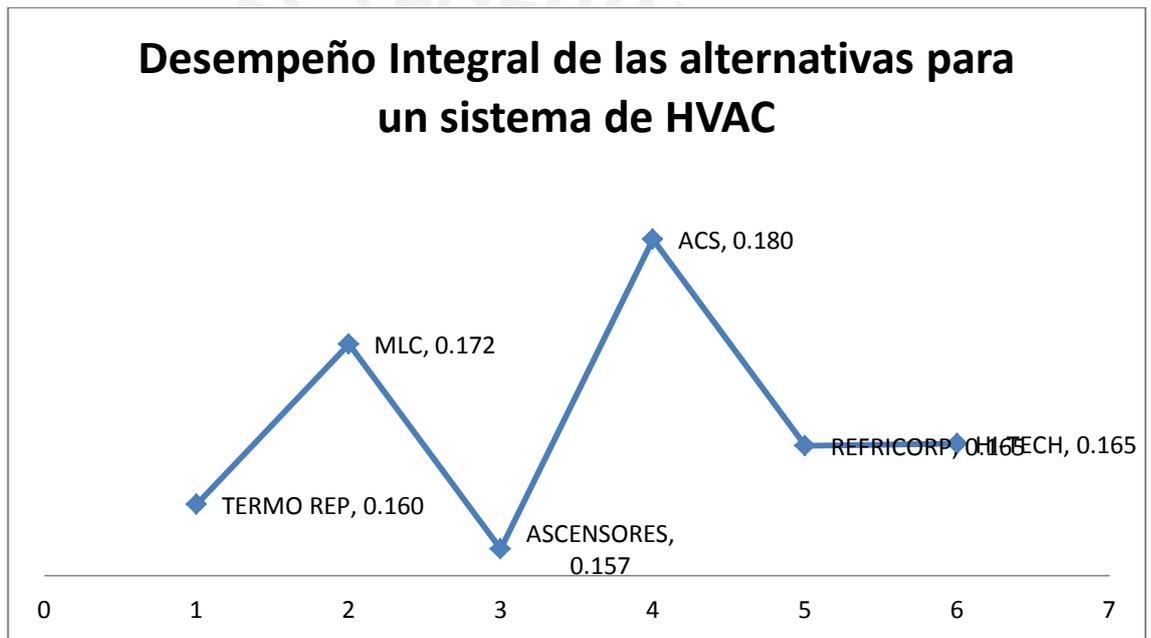


Ilustración 6.1.3.1 Desempeño Integral de las alternativas para la implementación de un sistema de aire acondicionado.



PARTE V

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CAPITULO 7

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

En el transcurso de la presente tesis, se ha desarrollado un modelo para evaluación y selección de los sistemas de un proyecto de construcción. Mediante el procedimiento propuesto, se logra seleccionar a la mejor propuesta, evaluando e integrando las variables monetarias y no monetarias, en un solo resultado óptimo, lo cual no es usual realizar en nuestro medio, ya sea por falta de conocimiento en el tema y/o por falta de herramientas de gestión adecuadas.

De esta manera, se detallan las conclusiones de la presente investigación, la cual demuestra ser un aporte y una herramienta significativa en la planificación de proyectos de ingeniería civil.

## **7.1. CONCLUSIONES GENERALES**

Luego de la realización de la presente investigación, se ha logrado el objetivo planteado inicialmente, al estructurar un modelo que optimiza la evaluación y la selección de los sistemas que forman parte de un proyecto de construcción,

De esta manera, se concluye que en la industria local, las personas encargadas de la toma de decisiones deben diferenciar los distintos componentes que pueden existir en un proyecto, y tal como se formula en la presente tesis, distinguir el criterio de aquellos rígidos y especialmente enfocar correctamente a los sistemas del tipo blando

Por otro lado, se demuestra que para una óptima evaluación y selección es necesario reconocer aquellas variables y atributos que pueden caracterizar a los diferentes sistemas, permitiendo así ahorros potenciales en el desarrollo integral del proyecto.

Así al establecer esta metodología, la tesis confirma la importancia de evaluar los sistemas del proyecto de construcción desde un enfoque sostenible; considerando una etapa de operación eficiente (monetaria y no monetaria) a lo largo de su ciclo de vida; maximizando el valor del mismo, mediante el incremento de beneficios y satisfacción de las necesidades del cliente.

## **7.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS**

Se identificó dos fases marcadas en la solución de un problema en un proyecto de construcción, la estructuración y el análisis. La pauta más importante que el tomador de decisiones debe considerar antes de iniciar el proceso de selección es esta diferenciación y la obtención de un problema estructurado antes de emplear las distintas herramientas mencionadas – pues es común intentar dar una solución sin antes definir los objetivos ni el problema en sí mismo.

En consecuencia, para una adecuada aplicación del modelo se debe analizar el enfoque y la etapa bajo la cual se encuentra el proyecto de construcción. La presente investigación concluye que es en la etapa de Implementación (específicamente entre el Diseño y la Contratación), donde el equipo de toma de decisiones se enfrenta con aquellas decisiones estratégicas que involucran una planificación, proyecciones de largo plazo del proyecto y una cantidad adecuada de criterios y alternativas; las cuales permiten una optimización al momento de evaluar y seleccionar, generando un mayor beneficio para el proyecto.

El modelo propuesto, se expone de una forma sistemática, mediante la descripción de los procedimientos a seguir y de las variables sugeridas a utilizar, con el fin de guiar al usuario en su manejo adecuado, de modo que se logre el análisis y la evaluación correcta al sistema en aplicación.

Así mismo la presente tesis demuestra, mediante la descripción de los distintos métodos de análisis de decisión multiatributo (MADA), que el Analytical Hierarchy Process, y su aplicación con el software Expert Choice 11.0, es la mejor forma de enfocar las diferentes variables no monetarias pues comprende un nivel de inversión de tiempo, fiabilidad y alcance adecuados para analizar este tipo de características.

Por otro lado, se expone la importancia de utilizar el método del Costo a lo Largo del Ciclo de Vida – mediante el programa BLCC 5.0- , el cual mostro una adecuada aplicación al momento de valorar, tanto la inversión inicial, como los costos de operación, mantenimiento y otros costos relacionados a lo largo de un periodo de estudio dado.

Con el fin de concluir la correcta aplicación del modelo se recomienda una ponderación final del desempeño monetario y no monetario del sistema. Tanto la distinta revisión de literatura como el caso de aplicación de la presente tesis, comprueban esta correlación como válida y efectiva al momento de realizar la selección final. Sin embargo, no debe ser considerada de forma excluyente como la mejor ponderación entre ambos desempeños, y debe analizarse el proyecto en estudio para su aplicación.

El caso práctico mostrado, corrobora la aplicación de la metodología y las herramientas informáticas recomendadas previamente, mostrando su viabilidad y ventajas de aplicación. Se comparó siete alternativas para la implementación de un sistema de aire acondicionado en un centro médico, y seleccionando aquella que mostro el mejor desempeño integral a lo largo de su ciclo de vida, como fue el caso de la empresa ACS con una puntuación normalizada de 0.178.

Al comparar esta selección de la empresa ACS, con respecto al procedimiento empírico de toma de decisiones utilizado en el medio, como es el de menor costo inicial; se ve el contraste notable existente; pues esta se ubica como la segunda alternativa más cara en este último enfoque. Esto demuestra las implicancias que trae la exclusión de variables con beneficios no monetarios en la evaluación.

En este caso práctico se concluye también, que la falta de información de los atributos de las alternativas, genera un juicio posiblemente aleatorio y un ratio de inconsistencia alto por parte del tomador de decisiones; lo cual recae en una evaluación inadecuada y resultados poco eficientes.

En segundo lugar, se resalta la importancia de realizar revisiones básicas de las propuestas, pues tal como se dio el caso del postor COLD IMPORT, su bajo costo inicial, alto nivel de eficiencia en uso de energía y beneficios adecuados en las variables no monetarias, lo calificaban como la mejor alternativa sin un análisis exhaustivo. Sin embargo, por fines didácticos, se optó por excluir a este postor, y continuar la evaluación con las 6 alternativas que mostraron un comportamiento más parejo.

En tercer lugar se destaca la importancia del enfoque que el cliente desea darle al proyecto, ya que para la comparación por pares de las variables, con el fin de obtener su importancia relativa, es necesaria la aplicación de la perspectiva mencionada.

Finalmente, se rescata dos aspectos claves que dan un valor agregado a este modelo, que vienen dados por el método AHP:

- ✓ La inconsistencia de los juicios realizados, como medida de correlación entre las comparaciones realizadas, la cual otorgó un

valor de 0.09, y al ser menor del 10% recomendado por el creador del método, se considera una evaluación adecuada.

- ✓ Y el análisis de sensibilidad de las variables. Aquí se resalta, que a pesar que la alternativa MLC muestra el mejor desempeño en la variable con mayor importancia (Eficiencia en Operación y Mantenimiento); el desempeño global consolida a la alternativa ACS como la mejor opción, principalmente porque se destaca en la variable de “Aspectos de Gestión”, siendo esta diferencia lo suficiente notable como para opacar la preferencia relativa de la Eficiencia. Sin embargo se concluye que los resultados no son sensibles a cambios mínimos de preferencia.



### **7.3. RECOMENDACIONES PARA FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

La aplicación de los métodos de toma de decisiones descritos en la presente tesis, son adaptables a otras fases del proyecto, o ciclos de decisión producidos en cada etapa de forma independiente; por lo tanto se recomienda su desarrollo e investigación con el fin de contribuir al incremento de valor de los proyectos de construcción.

Específicamente, los conceptos descritos dan pie a investigaciones futuras, como la aplicación del Soft System Methodology en el campo de recursos humanos, en la complejidad de las decisiones tomadas en obra (loops) y las innumerables dependencias que se pueden generar.

Así mismo se recomienda la investigación de las distintas variables/atributos incluidas en el presente modelo, con el fin de diseñar los sistemas del proyecto, de la forma más eficiente e integral a lo largo del ciclo de vida del mismo.

Por otro lado, una optimización en la comparación de alternativas para la toma de decisiones de la construcción de obras públicas, pone en manifiesto una necesidad de aplicar este tipo de conocimientos y metodologías para obtener mayores beneficios.

Finalmente, el alcance de la presente tesis no incluye el análisis de riesgo e incertidumbre que muchas veces rigen la etapas iniciales del proyecto de construcción, sin embargo se mencionó la existencia de otras herramientas que permiten este análisis, y por tanto de cara al futuro se puede desarrollar investigaciones que adicioneen estos parámetros a la metodología propuesta.