



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Desarrollo de un modelo para la  
selección estratégica de proyectos  
basado en el Proceso Analítico  
Jerárquico(AHP)

Autor:  
Martín Martín, Rubén

Tutor:  
Pajares Gutiérrez, Javier

Departamento de Organización de Empresas y Comercialización e Investigación de  
Mercados



Universidad de Valladolid

“Desarrollo de un modelo para la selección estratégica de proyectos  
basado en el  
Proceso Analítico Jerárquico (AHP)”



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



# RESUMEN Y PALABRAS CLAVE (ABSTRACT Y KEY WORDS)



## **Resumen y palabras clave – Abstract y key words**

### **Resumen**

En este TFG hemos desarrollado e implementado un modelo para la selección estratégica de proyectos con la innovación de integrar la metodología AHP con otra de las técnicas de selección y evaluación de proyectos como es la Programación Monobjetivo.

Previamente se ha realizado un recorrido por las principales técnicas de selección y evaluación de proyectos, centrándonos en qué consisten, ejemplos, ventajas, desventajas, etc. Además se ha desarrollado un capítulo que versa sobre el estándar que muchas empresas utilizan para alinear sus proyectos con su estrategia.

Con todo eso realizado previamente, se ha elaborado un apartado solo para la metodología AHP focalizándonos sobre todo en el funcionamiento en sí de la misma para poder estar en condiciones de realizar y explicar cómo se han desarrollado las implementaciones del supuesto en Excel.

Por último se han desarrollado dos estudios económicos, uno para que el lector pueda conocer de manera aproximada cuánto le podría suponer a una empresa llevar a cabo una implementación parecida a la nuestra y el otro un estudio económico sobre el TFG al completo.

### **Palabras clave**

AHP, Programación Monobjetivo, Selección de Proyectos, Evaluación de Proyectos, Standard for Portfolio Management.



# ÍNDICE



## ÍNDICE

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE.....	3
Resumen.....	4
Palabras clave.....	4
ÍNDICE .....	5
INTRODUCCIÓN.....	11
Antecedentes y motivación.....	12
Objetivos del TFG.....	12
Metodología.....	13
Alcance del TFG .....	13
Estructura del documento.....	14
CAPÍTULO 1: Selección y evaluación de proyectos (Contexto e Introducción).....	17
Introducción histórica .....	18
Modelos de dirección de proyectos.....	20
El proyecto es nuestro producto.....	26
¿Qué proyectos nos podemos encontrar? .....	27
Las fuentes de información como papel fundamental.....	29
CAPÍTULO 2: Selección y evaluación de proyectos (Técnicas y metodologías) .....	31
Introducción.....	32
Técnicas y metodologías .....	33
Técnicas de medidas de beneficio .....	33
Modelos de programación matemática.....	51
Otras técnicas.....	57
Revisión bibliográfica de selección de proyectos.....	60



CAPÍTULO 3: Gestión de Portfolios – Más allá de la Gestión de Proyectos.....65

    Introducción.....66

    La relación entre la Gestión de Portfolios y el Gobierno de la compañía.....67

    Los proyectos y la estrategia de la organización.....67

    La gestión de portfolios y el proceso empresarial.....68

    Papeles y responsabilidades de las partes interesadas del portfolio.....69

    Procesos de la gestión de portfolios (Portfolio Management Processes)....74

    Resumen de la metodología de la gestión de portfolios.....82

    ¿Se puede ir más allá de la gestión de portfolios?.....82

CAPÍTULO 4: Metodología AHP - ¿En qué consiste?.....87

    Introducción.....88

    Fundamento del método.....88

    Explicación del método.....88

    Revisión bibliográfica de la metodología AHP (materia de Selección de  
    Proyectos).....102

CAPÍTULO 5: Implementación en Excel (1)– Programación Monobjetivo + AHP  
(Cartera de 10 proyectos).....105

    Introducción.....106

    Implementación y supuesto a resolver.....106

    Datos de la compañía.....108

    Programación Monobjetivo.....110

    AHP.....111

    AHP + Programación Monobjetivo.....114

    Conclusiones.....117



CAPÍTULO 6: Implementación en Excel (2)– Programación Monobjetivo + AHP (Cartera de 25 proyectos) .....	119
Introducción.....	120
Implementación y supuesto a resolver.....	120
Datos de la compañía.....	121
Programación Monobjetivo.....	122
AHP.....	124
Conclusiones.....	125
Análisis de sensibilidad 1 y 2.....	127
Implementación con varios niveles (criterios y subcriterios).....	130
CAPÍTULO 7: Estudio económico de lo que podría suponer a una compañía la evaluación, selección y jerarquización de posibles proyectos – AHP + Programación Monobjetivo.....	135
Introducción.....	136
Desarrollo.....	136
Resumen.....	140
CAPÍTULO 8: Estudio Económico del TFG.....	141
Introducción.....	142
Desarrollo.....	142
Resumen.....	144
CONCLUSIONES.....	145
Resumen de lo realizado.....	146
Conclusión final.....	147
BIBLIOGRAFÍA.....	149



ANEXOS.....	165
Lista de Tablas.....	166
Lista de Figuras.....	169
Lista de Ecuaciones.....	171



Universidad de Valladolid

“Desarrollo de un modelo para la selección estratégica de proyectos  
basado en el  
Proceso Analítico Jerárquico (AHP)”



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



# INTRODUCCIÓN



## Introducción

### - Antecedentes y motivación

Actualmente la mayoría de las empresas que se gestionan por proyectos se encuentran con que tienen que seleccionar sus proyectos de una cartera inicial con varios proyectos con la finalidad de no solo que esos proyectos se ejecuten correctamente sino que también estos proyectos se encuentren alineados con la estrategia de la compañía.

Uno de los métodos para llevar a cabo esta selección es el Proceso Analítico Jerárquico o más comúnmente conocido como AHP. Este es un método de decisión multicriterio que desde que Thomas L. Saaty lo desarrolló en la década de los 80 se ha usado en infinidad de ocasiones para distintos fines, entre ellos el ámbito de la selección de proyectos.

Ahora bien como la mayoría de los métodos de decisión multicriterio no son capaces de abordar la problemática de la selección de proyectos por completo. Algunas de las metodologías son capaces de abordar las propuestas estratégicas (seleccionar proyectos que produzcan empleo por ejemplo) pero no las concernientes a las limitaciones operativas que cualquier empresa presenta (horas determinadas de I+D o restricciones presupuestarias son un ejemplo). Esto ya fue mencionado en el artículo de Javier Pajares y Adolfo Paredes con título “New Methodological Approaches to Project Portfolio Management: The Role of Interactions within Projects and Portfolios”

La metodología AHP es capaz de abordar las propuestas estratégicas de una posible empresa pero no las limitaciones operacionales, es por eso que la innovación que presento para este TFG es una implementación donde se puedan integrar dos de estas metodologías como son la Programación Monobjetivo y el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), para intentar abordar la problemática por completo.

### - Objetivos del TFG

El objetivo principal de este TFG implementar una herramienta para la selección de proyectos en una cartera mediante integración de dos metodologías que tendrán en cuenta tanto la estrategia más pura de la empresa (AHP) como la operativa de la misma y sus más que probables restricciones (Programación Monobjetivo).

A parte se desarrollarán otros objetivos adicionales a este principal:



- Conocer qué implica la evaluación y selección de proyectos. Análisis de las distintas técnicas y metodologías
- Ventajas y desventajas de los distintos métodos.
- Conocer qué es la gestión de portfolios y la gestión organizacional de proyectos - Procesos y metodología
- Desarrollar una implementación en Excel de la metodología AHP con programación matemática previa. Estudios de sensibilidad con los pesos.
- Saber mediante un estudio económico aproximado qué costaría la implementación para la evaluación, jerarquización y selección de proyectos
- Elaborar un estudio económico del TFG

- **Metodología**

Se ha implementado en Excel porque es una herramienta claramente enfocada a la alta dirección de las empresas para que puedan tomar decisiones en cuanto a qué proyectos pueden ser los que mejor se alineen con su estrategia.

Es por eso que elegí Excel porque es un software potente pero a la vez sencillo de manejar y entendible por una extensa mayoría.

Además esto hace que la implementación sea mucho más accesible y flexible desde el punto de vista didáctico y académico.

- **Alcance del TFG**

El alcance de este trabajo es que un posible usuario o empresa pueda elegir según convenga la metodología que mejor se le adapte a su problemática ofreciendo una implementación de una de las técnicas más recurridas (AHP) modificada o completada con otra de las metodologías más empleadas como es la Programación Monobjetivo.

Dicho en otras palabras se va a tratar de conectar la estrategia de la compañía con la parte operativa de la misma.

Hay que poner en conocimiento del lector o usuario que para poder evaluar los proyectos y jerarquizarlos, los tenemos que comparar o dicho de una manera más informal “medirlos con la misma vara” con la finalidad de que lo que obtengamos

sea homogéneo. Así podremos llevar a cabo una jerarquización de los proyectos que tengamos entre manos.

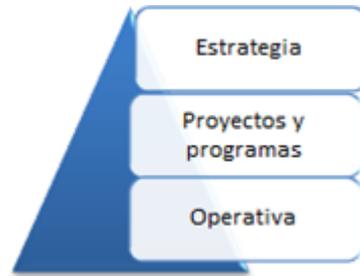


Figura1. Estrategia y operativa

#### - Estructura del documento

- Primero se ha elaborado un resumen de lo que se ha tratado de desarrollar en este TFG, es lo que conocemos comúnmente en los artículos como Abstract.
- A continuación se ha hecho un índice para estructurar la información y crear la posibilidad de ver si el TFG está equilibrado o no.
- El siguiente paso ha sido el desarrollo de una introducción que dé pie al grueso del TFG en sí
- Después se han ido desarrollando cada uno de los capítulos (Capítulo 1 – Capítulo 8)
  - Capítulo 1: Selección y Evaluación de proyectos (Contexto e Introducción)
  - Capítulo 2: Selección y Evaluación de proyectos (Técnicas y Metodologías)
  - Capítulo 3: Gestión de Portfolios – Más allá de la gestión de proyectos
  - Capítulo 4: Metodología AHP - ¿En qué consiste?
  - Capítulo 5: Implementación en Excel (1)- Programación Monobjetivo + AHP (Cartera de 10 proyectos)
  - Capítulo 6: Implementación en Excel (2)- Programación Monobjetivo + AHP (Cartera de 10 proyectos)



- Capítulo 7: Estudio económico de lo que podría suponer a una compañía la evaluación, selección y jerarquización de posibles proyectos – AHP + Programación Monobjetivo
  - Dsf
  - Capítulo 8. Estudio Económico del TFG
- 
- Después se han sacado unas conclusiones generales de lo expuesto en los capítulos
  - Se ha elaborado una bibliografía de los artículos consultados para la elaboración del TFG
  - Por último se ha realizado un apartado de anexos para indexar todo lo referente a tablas, figuras y ecuaciones



Universidad de Valladolid

“Desarrollo de un modelo para la selección estratégica de proyectos  
basado en el  
Proceso Analítico Jerárquico (AHP)”



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



# CAPÍTULO 1:

## Selección y evaluación de proyectos

### (Contexto e Introducción)



## Selección y evaluación de proyectos

### (Contexto e Introducción)

#### - Introducción histórica

En primer lugar hay que hacer referencia al cambio de mentalidad en cuanto a la manera de actuar de las empresas en la actualidad para lograr su principal objetivo: ganar dinero.

Las organizaciones desde sus inicios se han gestionado por funciones, de tal manera que si las necesidades del entorno económico-social obligaban a centrarse en una de esas áreas funcionales, así se hacía.

Por ejemplo a partir del crack del 29, la función que tuvo mayor peso fue la financiera, tanto que el director financiero de las compañías era el CEO de la misma (CFO→CEO).

A partir de la segunda guerra mundial hasta aproximadamente 1960, la función más relevante era la de producción por la simple razón de que Europa estaba arrasada debido al conflicto y había que satisfacer la demanda existente. El responsable de operaciones y de producción es el CEO de la compañía. (COO→CEO)

A partir de esa época (1960) la demanda había sido satisfecha y la capacidad productiva era mucho mayor, por tanto hasta la década de los 70 la principal función fue la del marketing, se puede decir que “había que vender”. Es en este caso en el que el director de marketing toma el mayor peso en la compañía. (CMO→CEO).

La siguiente década las compañías que tienen un gran exceso de liquidez y se dedican a absorber otras empresas, creándose las primeras corporaciones y sus respectivas unidades de negocio, es por eso que de nuevo las finanzas cobran un papel importante en las organizaciones y en su manera de gestionarlas.

Sobre 1980 surge una Revolución Tecnológica, de tal manera que las compañías ahora tienen herramientas para optimizar su gestión y surge lo que se conoce como “Estrategia”. Primero conocida como Planificación Estratégica y luego como Dirección Estratégica. Haciendo que cada unidad estratégica de negocio, se centrara en ser la más rentable para la empresa y así no desaparecer.

Actualmente las empresas (las de mayor volumen principalmente) se están tratando de gestionar por proyectos (Project Based Economy), mejor dicho por carteras de proyectos o portfolios de programas y proyectos que alineados con la estrategia de la empresa permite gestionar de una mejor manera los recursos de la

organización, básicamente este el sentido de este cambio de mentalidad y de lo que vamos a hablar en los siguientes puntos.

Es necesario decir que en nuestro país la cultura del Project Management está inicializándose, por dar algunos datos, en el sector de la construcción el 1% de las empresas lo utilizan. Aunque también hay que decir que en otros entornos como por ejemplo el del desarrollo de software el 40% de las organizaciones se gestionan siguiente este standard. Es por eso que en España esta metodología se irá desarrollando, dependiendo de los distintos sectores más o menos, pero queda mucho por trabajar.

### Esquema-Resumen

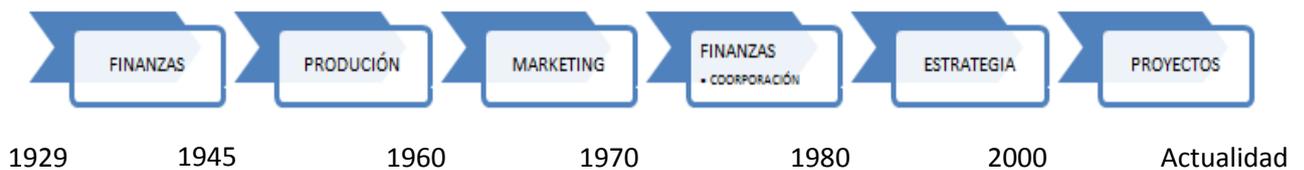


Figura 1.1 Contexto que da lugar a la gestión por proyectos.

Hay que resaltar que la gestión no es lo mismo que la ejecución. Se suele convenir que el director del proyecto no tenga demasiado conocimientos técnicos sobre el tema en sí, aunque sí básicos para poder transmitir en la jerga adecuada lo que pretende. Pero no debe ocuparse de la resolución de problemas puramente técnicos. Su principal actividad es la de gestionar y para los cometidos técnicos ya hay otras personas que se ocuparan y tomar esa responsabilidad.

Partiendo de los párrafos anteriores las causas que favorecen el hecho de que un proyecto se presente para una empresa son tanto internas como externas.

Primeramente hay que destacar la propia demanda del mercado, las empresas detectan que los usuarios o consumidores piden o demandan un nuevo servicio o producto. En la misma línea un proyecto puede surgir por la propia iniciativa de un único cliente.

Por otro lado debido a ampliaciones de nuestras líneas de negocio ya sea por avances tecnológicos o por propia estrategia de la organización suelen ser detonantes a la hora de que surjan nuevos proyectos.

Cabe citar también que desde nuestra adhesión a la Unión Europea se han llevado a cabo varios proyectos concernientes a las necesidades legales que ellos a conllevado (dando respuesta a normativas y/o requisitos legales de distinta índole).

Una vez entendido cuales son las fuentes por las que un proyecto surge estamos en condiciones de poder decir qué es; un proyecto es un esfuerzo temporal, único e



irrepetible que, consumiendo una serie de recursos, intenta cumplir con unos objetivos propios con una serie de restricciones (tiempo, coste, calidad etc). Suelen agruparse en programas. Ahora bien, las organizaciones actuales no evalúan y seleccionan los proyectos de manera individual (modo de actuar inicial - Pessemier y Baker, 1971; Easton, 1973; Gear, 1974; Howard y Metheson, 1984; etc - ) sino que ahora se va un poco más allá y el objetivo es la obtención de una cartera de proyectos que como ya hemos dicho anteriormente no solo pretende seleccionar los mejores proyectos, sino que el conjunto de ellos aproveche de la mejor manera posible los recursos que dispone la empresa. Este punto ya lo veremos con mayor profundidad en el apartado dedicado a Gestión de Portfolios.

Previo a realizar un recorrido por las diferentes técnicas que las organizaciones han utilizado para llevar a cabo la selección de los proyectos que conformen su cartera, es necesario hablar de algunos puntos bastante importantes que ya hemos anticipado en párrafos anteriores:

- **Modelos de dirección de proyectos**

Es necesario, al hablar de la gestión o dirección de proyectos, que se resalten los principales modelos de gestión. Los primordiales son los que derivan de PMI, IPMA PRINCE2 y APM.

La propuesta derivada del PMI (Project Management Institute) para asegurar que los proyectos tengan éxito es seguir su guía de los fundamentos de la dirección de proyectos más comúnmente conocida como PMBOK.

Por dar algunos datos el PMI es una organización que surge en 1969 en EE.UU y que se encuentra en 160 países. Este instituto tiene como principal objetivo “fomentar el profesionalismo de la gerencia de proyectos”.

Además goza de un programa de certificación para profesionales basado en exámenes con el reconocimiento de la ISO 9001. Algunas de las empresas que cuentan con miembros certificados por el PMI son IBM, HP, Hitachi, NEC, Oracle...etc.

En 1987 se lanza la primera edición del PMBOK tratando de poner en papel todas las prácticas e información que hasta ese momento se habían aceptado en la gestión de proyectos. Es un estándar que es aplicable a proyectos de distinta índole como construcción, software, ingeniería civil, etc.

Esta guía reconoce 9 áreas de conocimiento y 5 procesos. Estos últimos son:

- Inicio
  
- Planificación



- Ejecución
- Control y monitoreo
- Cierre

Estos procesos se abordan mediante entradas o documentos previos y/o necesarios, herramientas o mecanismos a aplicar a las entradas y salidas o productos resultantes de las herramientas aplicados.

Mientras que las áreas de conocimiento son:

- Gestión de la Integración de Proyectos
- Gestión del Alcance en Proyectos
- Gestión del Tiempo en Proyectos
- Gestión de la Calidad en Proyectos
- Gestión de Costos en Proyectos
- Gestión del Riesgo en Proyectos
- Gestión de Recursos Humanos en Proyectos
- Gestión de la Comunicación en Proyectos
- Gestión de las Adquisiciones en Proyectos

Por otra lado IPMA o International Management Association se funda en 1965 como un grupo de gerentes de proyectos que tiene como principal fundamento el desarrollo de las sociedades nacionales asociadas.

Es por tanto que podemos decir que IPMA es un grupo de agrupaciones que está presente en aproximadamente 40 países y que surge de las especificaciones de más de 40.000 expertos en dirección de proyectos en su propio idioma y cultura.

IPMA trata de resaltar el comportamiento que deben tener las personas inmersas en los proyectos como los valores, maneras de actuar y sus capacidades.

ICB es la línea base de competencia internacional o estableciendo un símil con el PMI, es el BOK de IPMA y que alberga las prácticas, habilidades, funciones,

técnicas, herramientas y métodos de la teoría de gestión de proyectos. Pero lo que distingue esta guía es que muestra las competencias (técnicas, contextuales y de comportamientos), necesarios para un experto en esta materia.

A mayores de esto esta metodología se basa en el conocimiento de las técnicas (hay que saber que existen las herramientas), también en la experiencia (hay que saber cuándo utilizarlas) y por supuesto en la actitud (es necesario saber ponerlas en práctica para ser capaz de tomar decisiones y dirigir el proyecto)

IPMA ofrece 4 escalones de certificación: A, B, C y D. Los cuales se basan en el ICB y en cada asociación nacional en el IPMA-NCB o lo que es lo mismo, la línea base nacional de competencia. El fin de esto es que se puedan adaptar a la cultura de cada país específico.

Normalmente para cada certificación se han de cumplir 3 pasos (en algunos casos se omite alguno de ellos):

- Paso 1: valoración del CV, listas de referencia, etc.
- Paso 2: Examen escrito, trabajo opcional, informe de proyecto, etc.
- Paso 3: Entrevista personal

Título	Capacidades	Proceso de la certificación		
		Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Certificado Director de Proyectos (Nivel A de IPMA)	Capacidad = conocimiento + experiencia + actitud personal	A	Opcional	Informe del proyecto
Certificado digital Administrador de Proyectos (Nivel B de IPMA)	Capacidad = conocimiento + experiencia + actitud personal	B	e.g. taller, seminario	
Certificado de Administrador de Proyectos (Nivel C de IPMA)	Capacidad = conocimiento + experiencia + actitud personal	C	e.g. taller, informe	Examen
Certificado de Administración de Proyectos Asociado (Nivel D de IPMA)	Conocimiento	D	Uso, currículum vitae, autoevaluación	Examen

Figura 1.2 Certificaciones de IPMA

Otra de las metodologías en la dirección de proyectos se llama PRINCE2 o también conocido como Project In a Crontrrolled Enviroment. Goza de un proceso de

certificación bastante riguroso y actualmente se utiliza tanto en el sector privado como en el público y aunque su origen está en la industria informática y en la administración de proyectos del gobierno inglés, cada vez se está haciendo más popular en otros países como Japón, Australia, etc.

PRINCE2 se trata de una metodología que es adaptable a distintos casos de proyecto y que en cada uno de sus procesos (8) se definen con claridad las entradas y salidas fundamentales, así como los objetivos que hay que alcanzar y las actividades que hay que desarrollar. Básicamente PRINCE2 ofrece una manera de desglosar el proyecto en varias fases haciendo posible su monitoreo y ejercer un control de los recursos existentes.

También hay que decir que los papeles y sus respectivas responsabilidades están fuertemente identificados para hacer de esta metodología más eficiente. Además debido a que cuenta con personas profesionales en la materia, a que se ha ido perfeccionando con el paso de los años y a que pertenece a un organismo público inglés como es la oficina de comercio del gobierno de Gran Bretaña (OGC), PRINCE2 difunde las herramientas, la información y los manuales, lo que la hace aún más atractiva.



Figura 1.3 Modelos de procesos de PRINCE2.

La última de las metodologías en materia de dirección de proyectos que vamos a ver en este TFG va a ser la propuesta por APM o la Association for Project Management. Esta asociación surge en 1972 cuando un grupo de ingenieros británicos fundando lo que se conocería como INTERNET UK y que en 1975 pasaría a llamarse APM.

Tal y como ellos dicen APM trata de “desarrollar y promover las disciplinas de proyectos y la administración de programas para el beneficio público”

Esta metodología se basa en cinco áreas que son:

- Conocimiento



- Desarrollo profesional
- Membresía
- Internacional
- Gobierno y administración

La APM se focaliza en la promoción de buenos profesionales en dirección de proyectos sobre todo en Europa pero también tiene representación en otros países.

El BOK de esta asociación tiene un conjunto de 7 “llaves” dentro de las cuales se desarrollan 52 procesos. Las 7 llaves son las siguientes:

- Contexto de la Administración del Proyecto.
- Planificación de la estrategia.
- Ejecución de la Estrategia.
- Técnicas.
- Negocios y Comercio.
- Organización y Gobierno.
- Gente y la Profesión.

Los niveles de certificación de APM varios y pasamos a ver a continuación:

- Certificado Introductorio: para personas que se encuentran encaminadas a los principios de la dirección de proyectos. No es necesario presentar un amplio abanico de conocimientos previos y de experiencia
- APMP: es lo que equivaldría al nivel D de IPMA
- Calificación media: es lo que equivaldría a nivel C de IPMA
- Encargado de proyecto certificado: es lo que equivaldría a nivel B de IPMA
- Certificado de gerencia del riesgo de un proyecto

Adicionalmente a mayores de estas certificaciones se otorga la CPM o Certificated Project Manager. Sería la certificación más alta que un profesional podría obtener bajo este estándar.



Figura 1.4 Las llaves y procesos de APM

Una vez hecho este pequeño recorrido por los principales estándares en la dirección de proyectos podemos decir que el PMI y más concretamente el PMBOK recoge temáticas más generales y tradicionales. Sin embargo el BOK de APM da una visión que va más allá ya que en sus áreas incorpora aspectos de índole tecnológica, estratégica, comercial etc. Es por eso que el BOK de APM le hace ideal para tomarlo como referencia en proyectos de marcada tendencia tecnológica.

Por otro lado IPMA hace más hincapié en aspectos sobre el comportamiento de los profesionales que participan en un proyecto como pueden ser por ejemplo aquellos relacionados con la inteligencia emocional, las capacidades, las maneras de actuar, etc. Estos apartados no son tratados por el PMBOK como tal. APM en este aspecto se acerca más en la manera de abordarlo a PMI que a IPMA.

IPMA y PMI tienen el punto en común que surgieron como organizaciones para el desarrollo de metodologías en la gestión de proyectos, mientras que PRINCE2 fue primero una metodología y después se fue desarrollando la organización.

Además tanto PMI e IPMA desde el principio tuvieron la finalidad de que sus metodologías valieran para cualquier tipo de proyecto, sin embargo PRINCE2 surgió como estándar principal para proyectos relacionados con las tecnologías de la información y tras una modificación en 1996 se amplió para que su ámbito de actuación se ampliara para cualquier proyecto.

Con todo esto vemos que a la hora de gestionar según qué proyectos es necesario saber qué metodología conviene más y se adapta mejor a nuestro proyecto.

#### - El proyecto es nuestro producto

Es muy importante para la organización notar que el proyecto en el que está inmerso no va a ser un mero trámite porque es su actual manera de proceder sino que ese proyecto se va a convertir en su producto y va a ser lo que al fin y al cabo va a proporcionar valor a su empresa.

Es lógico pensar por tanto que para que esta manera de trabajar funcione en una empresa es necesaria una formación adecuada y que desde el primer empleado a último conozca en su medida, por qué trabajamos así y por qué la organización cree que así va a conseguir de manera más eficaz su principal objetivo, ganar dinero.



Figura 1.5 La PMO en la empresa



Muchas empresas en la actualidad están optando por implantar en su organización una PMO (Project Management Office) que no es otra cosa que una unidad funcional más dentro de la empresa que actúa como nexo de unión entre lo temporal (proyectos) y lo permanente (la empresa). Dicho de otra manera más específica es la entidad responsable de la dirección centralizada y coordinada de los proyectos que se encuentran en ese momento en la organización. Sus funciones son:

- Soporte, asesoramiento y consultoría
- Recursos Humanos, formación de empleados, selección de personal
- Reporting a la dirección de la compañía
- Desarrollar metodologías y estándares, buenas prácticas
- Gestión del conocimiento, mantener archivos históricos de proyectos y lecciones aprendidas
- Dirección y control de proyectos
- Gestión multiproyecto
- Dirección de carteras

Estas funciones no son empleadas por todas las PMO sino que dependerá de cuán absorbida esté esta metodología en esa empresa en sí. Si es mucho su grado de implicación en esta manera de proceder se dedicará a la gestión multiproyecto o de carteras sin embargo si no lo es, su función principal será la de asesoramiento y/o formación de empleados, según convenga.

- **¿Qué proyectos nos podemos encontrar?**

Algunos de los citados por la Guía para la implantación de Proyecto AFITEP (AFITEP-AENOR) editada por AENOR, podrían ser:

- Los proyectos de tipo industrial
- Los proyectos de menor tamaño con características especiales
- Los proyectos de mantenimiento e intervención
- Los proyectos de I+D

- Los proyectos de desarrollo e introducción de nuevos productos
- Los proyectos informáticos
- Los proyectos internacionales

Además Serer en su libro del año 2001 nos pone de manifiesto algunos de los lugares donde los proyectos pueden surgir de cara a ser satisfechos por alguna empresa:

- Proyectos venidos del Consejo de Administración
- Proyectos venidos de algún área funcional o departamentos determinado: ventas, producción, RRHH...
- Proyectos venidos de la propia estrategia de la compañía al reunirse los responsables de cada área funcional.

En ese mismo libro se nos presenta lo que podría considerarse como una selección clásica de proyectos

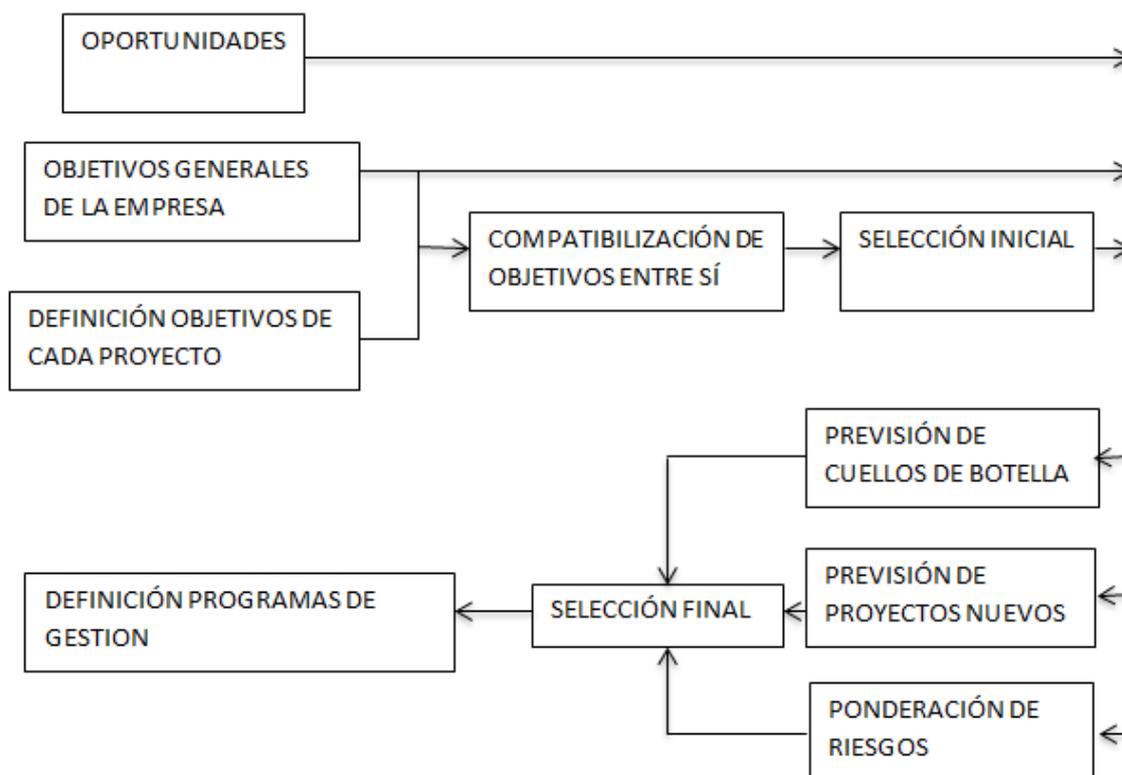


Figura 1.6 Selección clásica de proyectos

Podemos ver a través de esta figura como inicialmente las empresas tratan de aprovecharse de sinergias y oportunidades comparando los objetivos de la compañía con los de cada proyecto. Dado este primer análisis, se trataría de llevar



a cabo una ponderación de riesgos, previsiones de proyectos venideros y cuellos de botella tanto desde el punto de vista de la factibilidad técnica como financiera y económica.

Los métodos cualitativos, cuantitativos, etc, que hacen este tipo de selecciones son los que vamos a presentar en este capítulo del TFG, centrándonos en uno de ellos especialmente, que trataremos en el capítulo 4 del TFG (AHP).

#### - **Las fuentes de información como papel fundamental**

La gestión como el desarrollo, así como los planteamientos iniciales del proyecto tienen que estar apoyados en fuentes de información que permitan la obtención de datos tan necesarios actualmente.

Nos estamos refiriendo a las publicaciones, bases de datos, información de proveedores y promotores, experiencia interna, información de alto coste, etc.

- **Publicaciones**: documentos escritos en soportes electrónicos, mecánicos o fotocopiados. Estamos hablando de libros de texto, catálogos comerciales, revistas técnicas, enciclopedias o handbooks, resúmenes o abstracts, informes inéditos de Universidades o Centros de Investigación, normas y reglamentos entre otros.
- **Bases de datos**: sistemas informáticos de integración de información
- **Proveedor y promotor**: Los proveedores de algún componente del proyecto puede tener información sobre la globalidad del mismo y es necesario conocerla. Por otro lado el promotor o persona física que encarga el proyecto a la entidad nos aportará información que nosotros tendremos que revisar y valorar para validarla o desecharla.
- **Experiencia propia de la empresa**: Se trata de poder utilizar nuestro background de los otros proyectos que hayamos desarrollado con anterioridad
- **Información de alto coste**: se refiere a información del tipo de las patentes de invención o modelos de utilidad, en definitiva a los ensayos o experiencias de otras empresas competidoras.



Universidad de Valladolid

“Desarrollo de un modelo para la selección estratégica de proyectos  
basado en el  
Proceso Analítico Jerárquico (AHP)”



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



# CAPÍTULO 2:

## Selección y evaluación de proyectos

### (Técnicas y metodologías)



## Selección y evaluación de proyectos

### (Técnicas y metodologías)

#### - Introducción

En cuanto a las técnicas y metodologías empleadas por las empresas para la selección de proyectos hay que destacar que ha evolucionado en gran medida. Esto ha sido propiciado principalmente por el afán de conseguir cada vez técnicas cada vez más sofisticadas y completas y aun así después de todo el problema no está solucionado en su globalidad ya que es necesario lograr un modelo genérico que dé respuesta a cualquier problema de selección y planificación de carteras de proyectos.

Por tanto es lógico hacer un repaso por el estado del arte en cuanto a qué técnicas han sido utilizadas por las organizaciones.

Cabe decir que para realizar tal repaso se ha tomado como principal referencia el artículo de Carazo et al. (2008).

Primeramente hay que decir que en un principio las variables que tomaban partido en el proceso de selección de proyectos no eran difícilmente manejables por las dimensiones de los propios proyectos. Estas variables podían ser: presupuesto, número de proyectos candidatos, plazo o período temporal, etc. Y los encargados de tomar este tipo de decisiones en cuanto a la selección, lo hacían de manera intuitiva o en el mejor de los casos tomando como base modelos sencillos, por ejemplo recopilando la mayor cantidad de documentación disponible de cada uno de los proyectos candidatos y con todo eso estar en condiciones de tomar una decisión medianamente fundamentada y aportar una conclusión fundamentada. Esto se mantuvo durante bastantes años pero en torno a la segunda mitad del siglo pasado las organizaciones evolucionan incrementando considerablemente su tamaño y consecuentemente sus recursos y necesidades. Además a todo esto hay que sumarle la creciente competencia en todos los sectores que se daba por esos tiempos haciendo que los decisores busquen una estrategia mucho más racional a la hora de seleccionar y posteriormente ejecutar qué proyectos. Esas personas creen necesario la consideración de encontrar alguna escala de medida común permitiendo de tal manera la comparación entre proyectos aparentemente distintos.

Para ello es necesario ir matematizando todo lo que sabemos de los proyectos como por ejemplo que existe un conjunto de alternativas  $I$  o proyectos candidatos  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_I\}$ .

Y cada uno de los mismos será valorado en función de otro conjunto, esta vez de criterios  $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , que dan lugar a la matriz de datos  $A = (a_{ij})$ , donde  $a_{ij}$



representa el valor del criterio  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ), para el proyecto  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, l$ ). De tal manera que el decisor seleccione un subconjunto de  $l$  que verificando la disponibilidad de recursos, sea el más adecuado para conseguir los objetivos de la compañía.

Los primeros estudios que realizaban una clasificación (Baker y Pound (1964), Baker (1974) y Baker y Freeland (1975)) dicen que las técnicas se pueden clasificar básicamente en dos categorías: “técnicas de medidas de beneficio” y “técnicas de selección de proyectos y asignación de recursos”. Posteriormente, Liberatore y Titus (1983), Martino (1995), Heidenberger y Stummer (1999), Archer y Ghasemzadeh (1999) y Dye y Pennypacker (1999) incluyen otro tercer grupo llamado “resto de técnicas” que engloba las metodologías que no están integrados en los dos primeros. Además estos últimos autores califican el segundo grupo como “métodos de programación matemática”.

- **Técnica y metodologías**

A continuación hablaremos de estos tres grupos de técnicas y se hará una subclasificación dentro de los mismos de la siguiente manera.

- Técnicas de medidas de beneficio, dentro de las cuales podemos distinguir:
  - Modelos económicos
  - Modelos de teoría de la decisión
  - Métodos basados en pesos y ordenación
  
- Modelos de programación matemática, de los que podemos destacar:
  - Programación monobjetivo
  - Programación multiobjetivo
  - Programación por metas
  
- Otras técnicas, donde se puede encontrar tales metodologías como:
  - Cluster

El orden que vamos a seguir viene marcado por la complejidad, cada vez mayor, lo cual marca de cierta manera la utilización de cada técnica.

➤ Técnicas de medidas de beneficio

Utiliza la palabra beneficio en el sentido genérico es decir, en cuanto a nivel de satisfacción, de utilidad o por supuesto de algún tipo de medida económica. En lo que se basa es en evaluar los proyectos individualmente para realizar una posterior ordenación de ellos e ir seleccionándolos después hasta agotar el presupuesto disponible según el orden anterior.



- Modelos económicos

Las primeras industrias que llevaban a cabo estas metodologías eran, a finales de la década de los cuarenta, las químicas, aeronáuticas, petrolíferas, etc., debido a que el coste de sus proyectos eran increíblemente grandes. Su auge viene en la década de los sesenta, momento en el que las técnicas se apoyan aspectos económicos (sostenibilidad financiera en el tiempo por ejemplo) aunque aún no se preocupaban de valorar aspectos no cuantificables desde el punto de vista económico. Tendrán en cuenta sobre todo el cash-flow que se prevé que tenga cada proyecto a lo largo de su ciclo de vida porque de esta manera se establecerán las necesidades financieras de cada uno de los proyectos para su futura implementación.

Algunos ejemplos de estos métodos económicos más comunes serían:

➔ Valor Actual Neto (VAN)

Metodología que se basa principalmente en la comparación de flujos de ingresos y gastos de un proyecto; dicho de otra manera, el flujo neto de caja ( $Q_t = \text{cobros}_t - \text{pagos}_t$ ) del año  $t$  es descontado al instante en el que se está haciendo la valoración del proyecto por medio de una tasa de interés. Suele usarse como tasa de descuento ( $r$ ), la tasa de interés existente en el mercado en el momento de la valoración.

Por tanto partimos de un conjunto de proyectos candidatos  $I$ ,  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_I\}$ , para el cual se calcula los diferentes VAN de cada proyecto. Si el resultado es positivo quiere decir que el valor de los ingresos está por encima del de sus gastos; es decir, si  $VAN_i \geq 0$  el proyecto será un buen candidato y al contrario tendrá altas posibilidades de ser rechazado. Una vez terminados todos los cálculos, los proyectos se ordenarán en función del resultado y eligiendo aquellos con VAN superior hasta que el presupuesto se agote.

Esta es la forma que tendría la fórmula genérica:

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+r)} + \frac{Q_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{Q_T}{(1+r)^T}$$

Ecuación 2.1 VAN

Donde  $A$  es la inversión inicial y  $Q_t$  el flujo neto de caja para el período correspondiente.

La principal ventaja de este método es el carácter temporal que otorga a los flujos de caja. Aunque es fácil también darse cuenta de los inconvenientes que se pueden encontrar, como por ejemplo, normalmente se desconocen los ingresos y gastos futuros del proyecto, teniendo por tanto que estimarlos para que sean los más fiables posibles.

### Ejemplo

La empresa TornilleSA pretende adquirir una nueva máquina para la fabricación de sus tornillos. Este proyecto requiere de una inversión inicial de 1000€, con una vida útil de 4 años. Por esta compra se esperan unos ingresos anuales de 300€ en la venta de tornillos. El tipo de interés en la operación es del 6%. Y presenta el siguiente esquema temporal:

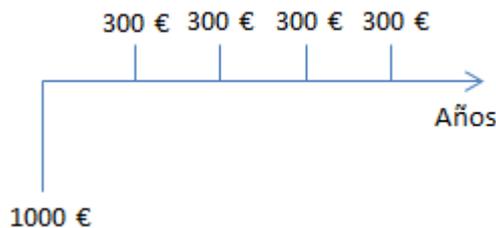


Figura 2.1 Esquema del VAN de TornilleSA

Aplicando la fórmula (Ecuación 1) arriba expuesta nos queda:

$$VAN = -1000 + \frac{300}{(1.06)} + \frac{300}{(1.06)^2} + \frac{300}{(1.06)^3} + \frac{300}{(1.06)^4} = 39.15\text{€}$$

### → Tasa Interna de Retorno (TIR)

Para un proyecto dado  $p_1$ , se calcula la tasa para la que el cash-flow sea 0 o lo que es lo mismo  $VAN_1 = 0$ .

Esto

es:

$$VAN = 0 \leftrightarrow -A + \frac{Q_1}{(1 + TIR)} + \frac{Q_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{Q_T}{(1 + TIR)^T} = 0$$

### Ecuación 2.2 TIR

Una vez hecho esto, hemos calculado el TIR, pero para realizar la toma de decisión pertinente sobre nuestro proyecto es necesario compararlo con el coste de financiación del proyecto  $p_1$ , que llamaremos  $r_1$ , y que normalmente es la tasa de mercado que hemos utilizado para calcular el VAN de tal manera que:



$TIR_1 \geq r_1 \rightarrow$  Inicialmente aceptamos el proyecto

$TIR_1 \leq r_1 \rightarrow$  Inicialmente rechazamos el proyecto

Y quiero resaltar la palabra “Inicialmente” ya que como hemos dicho en el párrafo de arriba, se suele comparar la tasa TIR con la tasa del mercado y eso suele ser una consideración bastante fuerte, debido principalmente a que esta tasa es una rentabilidad relativa del total de la inversión. Por otro lado se está suponiendo que tanto los flujos positivos como los negativos son financiados a una tasa igual a TIR.

Una vez tenido todo esto en cuenta y hecha una comparación de los resultados obtenidos, se financiarán los proyectos de mayor a menor TIR, siempre teniendo en mente los recursos de los cuales disponemos.

### Ejemplo

Para el ejemplo de TornilleSA que aplicamos en el cálculo del VAN, el TIR quedaría así:

$$0 = -1000 + \frac{300}{(1 + TIR)} + \frac{300}{(1 + TIR)^2} + \frac{300}{(1 + TIR)^3} + \frac{300}{(1 + TIR)^4} \rightarrow TIR = 7.71\%$$

### ➔ Período mínimo de recuperación

Es por definición, una medida del tiempo que tarda el proyecto en darnos beneficios netos, habiendo recuperado por completo la inversión inicial del proyecto  $p_1$ . Dicho de otra manera, el cash-flow llega a ser positivo.

### Ejemplo

Para nuestro supuesto de TornilleSA, el período mínimo de recuperación de la inversión tiene lugar a los cuatro años, tal y como se muestra en los siguientes cálculos:

$$VAN = -1000 + \frac{300}{(1.06)} + \frac{300}{(1.06)^2} + \frac{300}{(1.06)^3} = -198.09\text{€} \quad \textit{Negativo}$$

$$VAN = -1000 + \frac{300}{(1.06)} + \frac{300}{(1.06)^2} + \frac{300}{(1.06)^3} + \frac{300}{(1.06)^4} = 39.15\text{€} \quad \textit{Positivo}$$



Al igual que en las técnicas arriba expuestas tendremos que hacer esto para cada uno de los proyectos que queramos evaluar y esta vez elegiremos aquellos con menor período de recuperación de la inversión.

→ Ratio beneficio-coste (BCR)

En lo que se basa esta técnica es en establecer una comparativa entre el valor actual de los ingresos con el valor actual de sus costes del proyecto  $p_1$ , de la siguiente forma:

$$BCR_1 = VAIngresos_1 / VACostes_1$$

Ecuación 2.3 BCR

Para ello será necesario traer al momento actual los flujos de caja esperados por el proyecto, como es lógico.

Este ratio tendrá mejor valoración cuanto mayor sea, poniendo como límite inferior para poder aceptar el proyecto, la unidad.

$$VAN_1 \geq 0 \quad BCR_1 \geq 1 \rightarrow \text{Aceptamos el proyecto}$$

$$VAN_1 < 0 \quad BCR_1 < 1 \rightarrow \text{Rechazamos el proyecto}$$

### Ejemplo

Continuando la evaluación del proyecto de TornilleSA el BCR quedará de la siguiente manera:

$$BCR = \frac{\frac{300}{(1.06)} + \frac{300}{(1.06)^2} + \frac{300}{(1.06)^3} + \frac{300}{(1.06)^4}}{1000} = 1.039 \geq 1 \quad \text{Se aceptaría}$$

Al mostrar valores relativos no es descabellado pensar que este método no es el mejor de todos, ya que por esta razón no nos permite tomar decisiones entre proyectos alternativos.

Una vez explicadas más profundamente estas cuatro técnicas, hay que decir que el resultado obtenido por cada uno de estos métodos no tiene por qué ser el mismo, aunque pueden existir coincidencias para algunos proyectos.

A título de curiosidad, para ver que estas metodologías se han llegado a utilizar frecuentemente con anterioridad ponemos de manifiesto algunos de los trabajos que han utilizado estas técnicas:

→Freeman (1982)

→Ellis (1984)



- Graves y Ringuest (1991)
- Meredith y Mantel (1999)
- Hartmann y Hassan (2006)

Como ventaja podemos decir de estas técnicas de valoración que son muy sencillas de comprender por parte de los decisores y CEO`s de las empresas. No implican modelos matemáticos complejos. Como contrapartida debemos decir que:

- No se considera el problema en su globalidad, no se tienen en mente todas las características que intervienen en la puesta en marcha de los proyectos seleccionados, como pueden ser la multiplicidad de recursos o restricciones.
- Su principal objetivo es el aspecto económico (cuantitativo), mientras que estos tipos de problemas implican normalmente aspectos difícilmente cuantificables (cualitativos).
- Demasiada información ha de ser estimada porque necesitan de una información que normalmente no está disponible en el momento de la valoración. Por tanto ahí hay una falta de exactitud implícita.
- Una crítica más específica podría ser la de la elección de una buena tasa de descuento ajustada a cada período de tiempo. Como ya hemos dicho anteriormente esta tasa solía ser la tasa de mercado, pero claro, esto necesita que el mercado sea perfecto pero no lo es como es lógico pensar. Por eso hay autores como Graves y Ringuest que sostienen que en el VAN del proyecto a valorar, la tasa de descuento debe ser establecida de acuerdo al nivel de riesgo esperado o asumido por los decisores.

Con los años han ido surgiendo otras técnicas ampliamente conocidas como pueden ser los árboles de decisión (de los que hablaremos en el siguiente apartado), scoring, etc.

- Modelos de Teoría de la Decisión: tablas y árboles de decisión

Estos modelos tratan de seleccionar un proyecto basándose en la asignación de probabilidades de ocurrencia para los distintos factores que pueden afectar a la decisión. Dicho de otra manera estas metodologías se apoyan en la Teoría de la Probabilidad. Básicamente lo que se hace es modelar esta posibilidad para cada



suceso mediante una distribución probabilística que se actualizará mediante el Teorema de Bayes.

### Recordatorio-Explicación del teorema de Bayes

Sean  $\{A_1, A_2, A_3, \dots, A_i, \dots, A_n\}$  un conjunto de sucesos mutuamente excluyentes y exhaustivos, y su probabilidad es distinta de cero. Sea B un suceso del cual se conocen sus probabilidades condicionadas  $P(B/A_i)$ , entonces:

$$P(A_i/B) = \frac{P(B/A_i) \cdot P(A_i)}{P(B)}$$

### Ecuación 2.4 Teorema de Bayes

Para indicar de alguna manera la utilidad,  $u$ , que se obtiene cuando el decisor toma una alternativa o proyecto,  $p$ , dándose un estado,  $\theta$ , se utiliza una función tal como,  $u(p, \theta)$ . Partiendo de esta función y de las probabilidades de que se dé un estado o no, se seleccionará el proyecto que mayor utilidad proporcione.

Dentro de la Teoría de la Decisión existen las tablas de decisión o también llamadas matrices estratégicas y los árboles de decisión. En las dos vertientes se selecciona una alternativa de un conjunto dado, en el que puede haber o no múltiples objetivos y un entorno que se puede llegar a modificar por las decisiones ya tomadas, existiendo por tanto incertidumbre en muchos aspectos. Esto obliga al decisor a tomar decisiones sin tener en cuenta el efecto de factores externos no controlados (llamados estados) y que acabarán influyendo. Si por el contrario quien va a llevar a cabo la toma de decisiones conoce con total exactitud el verdadero estado, sí que podría predecir la consecuencia de su decisión con veracidad: *decisión* ( $p$ ) + *estado* ( $\theta$ )  $\rightarrow$  *consecuencia* [ $c(p, \theta)$ ].

Llevándolo a la selección discreta de proyectos tendríamos:

- Conjunto  $I$  o proyectos candidatos  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_l\}$
- $m$  estados posibles  $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_m)$
- Asignación por parte del decisor o quien convenga, de una utilidad cuando se tome la alternativa  $p_i$  y se presente el estado  $\theta_j$ .
- Probabilidades de ocurrencia de cada posible suceso  $b_j$ .

Todos estos elementos nos ayudarán a llevar a cabo la toma de decisiones y por consiguiente seleccionar los proyectos oportunos para nuestra empresa.

→ Tablas de decisión

En este caso, utilizaremos una tabla o matriz en la cual tendremos en fila los  $l$  proyectos candidatos y columna los  $m$  estados posibles, de tal manera que iremos asignando las utilidades correspondientes para cada proyecto en cada posible estado, rellenando la matriz de decisión de la siguiente manera:

	$\theta_1$	$\theta_2$	...	$\theta_m$
$p_1$	$u(p_1, \theta_1)$	$u(p_1, \theta_2)$	...	$u(p_1, \theta_m)$
$p_2$	$u(p_2, \theta_1)$	$u(p_2, \theta_2)$	...	$u(p_2, \theta_m)$
:	:	:	...	:
$p_l$	$u(p_l, \theta_1)$	$u(p_l, \theta_2)$	...	$u(p_l, \theta_m)$

Tabla 2.1 Teoría de la Decisión. Tabla genérica

Una vez tenemos la tabla completa, es necesario evaluar cada una de las alternativas que tenemos; y para eso primeramente hay que asignar una probabilidad de ocurrencia a cada uno de los estados posibles,  $b_j$ , y una vez hecho esto, se calculará la utilidad esperada de cada una de las alternativas  $p_i$ , con la siguiente expresión:

$$\sum_{j=1}^m b_j u(p_i, \theta_j) = E[u(p_i)].$$

#### Ecuación 2.5 Tablas de decisión

Se elegirá a aquellas alternativas con la máxima utilidad esperada.

Es fácil intuir que las tablas de decisión son la forma más básica de representación de una problemática de decisión, aunque tienen dos grandes inconvenientes. Uno de ellos es que no admite problemas dinámicos en los que la alternativa presente varios momentos de elección. Y el otro es que se hace mucho más intuitivo el hecho de utilizar una representación gráfica, árboles de decisión. Es por eso que estos últimos hayan sido más conocidos en los problemas de decisión sobre cartera de proyectos, aunque sean metodologías equivalentes a nivel matemático.

#### → Árboles de decisión

Técnica que tiene su origen en Leonard Jimmie Savage, matemático y estadístico, que introdujo con su obra “Fundamentos de Estadística” ciertos elementos sobre lo que sería la Teoría de la Decisión.

Esta metodología tiene principal aplicación cuando el decisor, para llevar a cabo la selección del proyecto, tiene que secuenciar una serie de decisiones de tal manera que entre cada dos decisiones se da el resultado de la anterior; dicho de otra manera cada decisión depende directamente de las decisiones previas, cada una de ellas con diferentes estados y probabilidades de ocurrencia.

Así después se evaluaría cada rama del árbol en función de la probabilidad de ocurrencia  $\theta_j$ . El cálculo se hará siempre desde las hojas del árbol hacia la raíz, de atrás hacia delante, ya que así las últimas decisiones son analizadas primero determinando las decisiones anteriores y por supuesto eligiendo la máxima utilidad esperada. Un árbol de decisión se compone de:

- Nodos de decisión o nodos rectangulares de los cuales surgen ramas que son las posibles decisiones que se pueden tomar.
- Nodos de azar o nodos circulares, cuyas ramas representan los estados que se pueden dar en ese tiempo. En estos nodos, las probabilidades deben de sumar 1.
- Nodos de valor o terminales los cuales representan las utilidades asociadas a la sucesión de decisiones y estados desde la raíz hasta ese nodo.

En un árbol de decisión, la persona que decide puede elegir qué rama de un nodo rectangular sigue, pero no qué rama de un nodo al azar, debido a que vendrán determinadas por circunstancias “out of control”

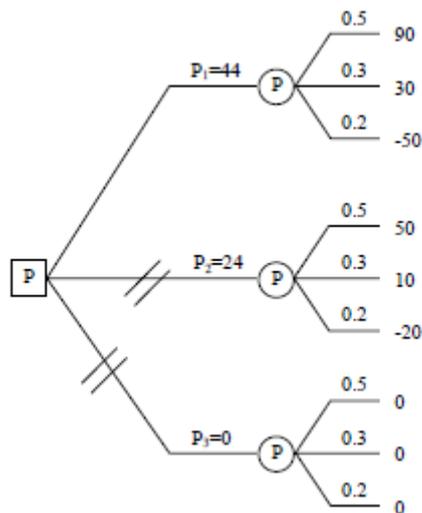


Figura 2.2 Ejemplo de un árbol de decisión

Así pues para el árbol de la figura, el decisor elegirá primero el proyecto 1, ( $p_1$ ) y en función del presupuesto que disponga seleccionará el segundo y tercer proyecto respectivamente, ( $p_2$  y  $p_3$ ).

Este es un ejemplo de un árbol simétrico, en el que solo existe un único período temporal y ninguna decisión está condicionada a la anterior, es por tanto el caso más fácil que podemos presentar. De haber tenido alguna decisión condicionada a otras anteriores, la estructura del árbol se incrementa con ramas anteriores y



posteriores a partir de los nodos del árbol, haciendo del proceso de cálculo y evaluación algo bastante engorroso.

Ejemplos de esta metodología aplicados al campo de la selección de proyectos son los trabajos de Gear y Lockett (1973), Hess (1993) o Martino (1995).

Se puede decir que el principal punto a favor de esta técnica es que es muy gráfica tratando el problema de manera longitudinal. El principal punto negativo es que este método, como ya hemos dicho en los párrafos anteriores, requiere de una gran cantidad de tiempo para su resolución cuanto mayor sea el tamaño del problema de selección ya que obliga a evaluar a todas y cada una de las alternativas con sus probabilidades pertinentes.

Es también notorio la dificultad que presenta este método cuanto a la valoración del riesgo de los sucesos, ya que como normalmente los proyectos dependen, de la ocurrencia o no de esos sucesos. Y por último también tenemos que tener en cuenta que la estructura del propio árbol no es capaz de mostrar las dependencias existentes entre las alternativas, lo que es muy importante a la hora de seleccionar carteras de proyectos.

Hasta el momento con los métodos de contribución al beneficio y de decisión hemos sido capaces de seleccionar una o varias alternativas entre un conjunto de proyectos candidatos pero ambas metodologías presentan una más que notorio exceso de dependencia hacia la vertiente económica del problema. La consecuencia de esto es que se están llevando a cabo valoraciones parciales de la problemática en sí. Es por eso que las organizaciones en los años setenta y ochenta del pasado siglo presentaron otras opciones tampoco no muy complicadas pero con la salvedad de que incluyen aspectos no cuantificables económicamente. Estos métodos son los basados en pesos y ranking.

- Métodos basados en pesos y ordenación (ranking)

Como bien dice el epígrafe estos métodos tratan establecer una jerarquía entre todos los proyectos candidatos. Esto se hace en función de una serie de criterios que el agente decisor cree que son convenientes y que tienen que ser tomados en cuenta para el proceso de decisión. Los métodos más comunes son: *métodos comparativos* y *scoring*.

#### → Modelos comparativos

Se trata de comparar con otro u otros proyectos alternativos. Los más usuales son: *dominancia* y *el método de la escala anclada*. En este trabajo evaluaremos el primero de ellos más a fondo en las siguientes líneas.



- Dominancia

Como ya hemos dicho jerarquizaremos los proyectos en función de unos criterios y este método lo hará atendiendo al orden de dominancia de cada proyecto con respecto al resto. De tal manera que se verá cuál es el proyecto más dominante en todos los criterios a tener en cuenta y así sucesivamente.

Para una mejor comprensión del método en sí, vamos a poner un ejemplo sencillo que ayudará a su comprensión.

Ejemplo

Una empresa dedicada a la explotación de tierras de cultivo se está planteando llevar a cabo una serie de proyectos para llevar a cabo su actividad. Para ello los criterios que creen más convenientes para llevar a cabo la toma de decisiones son: la disponibilidad de agua en la zona, la actitud de la comunidad allí asentada para con la nueva empresa, la facilidad a la hora de obtener subvenciones agrícolas por parte de la administración.

Con todo esto podríamos elaborar la correspondiente matriz de decisión para todos los proyectos o alternativas y los criterios correspondientes:

	Criterio (AGUA)	Criterio (ACTITUD)	Criterio (SUB)
Proyecto 1	Mala	Buena	Regular
Proyecto 2	Excelente	Regular	Mala
Proyecto 3	Mala	Mala	Mala
Proyecto 4	Regular	Regular	Excelente
Proyecto 5	Buena	Excelente	Buena
Proyecto 6	Regular	Buena	Regular
Proyecto 7	Buena	Regular	Mala

Tabla 2.2 Ejemplo para la técnica de dominancia

La evaluación podría ser la siguiente para el Proyecto 1:

Vemos que la valoración de los criterios son: Mala, Buena y Regular respectivamente, ahora bien, tenemos que ver si alguna de las otras alternativas o proyectos en este caso tiene mejor valoración en todos y cada uno de los criterios. Vemos que el Proyecto 5 tiene mejores valoraciones para esos criterios (Buena, Excelente y Buena) y por tanto podemos decir que el Proyecto 5 domina al Proyecto 1.

Esto se haría para todos y cada uno de los proyectos hasta que se obtenga un gráfico de dominación como el siguiente.

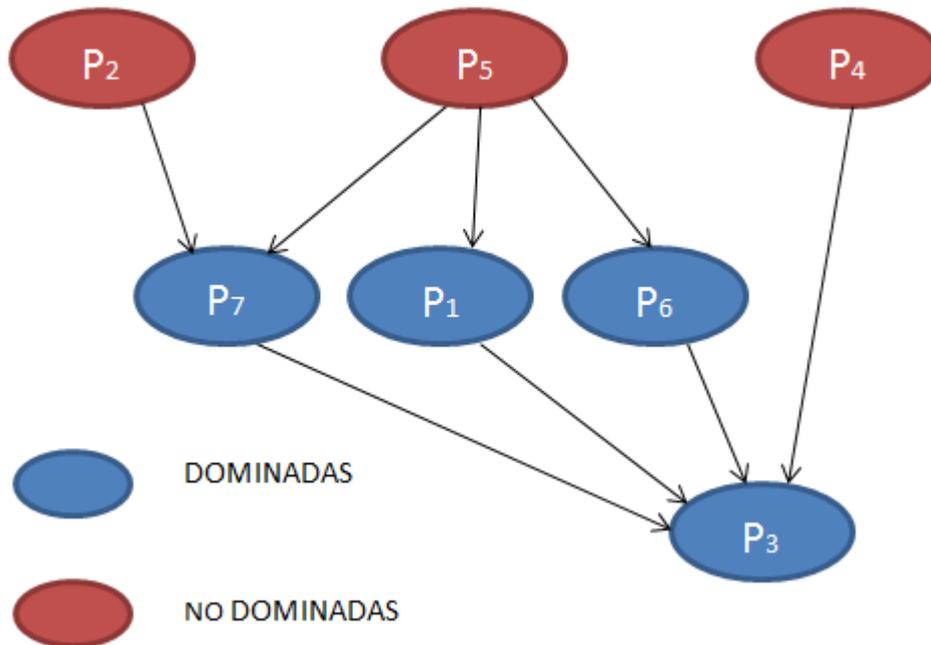


Figura 2.3 Gráfico de dominación para el ejemplo descrito

Las ventajas de esta técnica son bastante claras. Algunas pueden ser la facilidad de entender el desarrollo y de su computación ya que simplemente se están haciendo comparaciones dos a dos.

Por otro lado un inconveniente a tener en cuenta es que a pesar de lo simple que parece, cuando aumenta el número de proyectos de manera destacable, su complejidad crece también, lógico ya que no solo emplearemos mucho más tiempo en la evaluación sino que nos encontraremos con proyectos con las mismas valoraciones y eso hará que haya que aplicar otra técnica que los diferencie y así poder jerarquizarlos. Otro punto en contra importante es que en algún caso nos encontremos con que los proyectos no sean comparables en algún criterio haciendo imposible establecer un orden entre ellos a priori.

#### → Modelos de scoring

Estas técnicas se basan en una expresión algebraica, la cual genera una puntuación para cada proyecto. Basándonos igualmente en  $m$  criterios igual que en los métodos de comparación. La diferencia es que aquí cada uno de estos criterios o factores están ponderados de tal manera que así obtenemos la importancia relativa de ese criterio con respecto a los demás.

Dentro de los modelos de scoring encontramos: *checklist*, *scoring tradicional*, *análisis de utilidad multiatributo (MAUT)* y *proceso analítico jerárquico (AHP)*.



A) Checklist

Los proyectos según esta metodología son evaluados de acuerdo a  $n$  criterios, todos con la misma importancia, de tal manera que si un proyecto no cumple con un determinado requisito se le da para ese criterio la puntuación de 0 y si lo cumple 1. Matemáticamente si  $i = 1, 2, \dots, l$  son el conjunto de proyectos que estamos tratando y  $j = 1, 2, \dots, n$  los criterios a tener en cuenta, la puntuación de cada proyecto  $M_i$ , vendrá dada por  $M_i = \sum_{j=1}^n s_{ij}$ , donde  $s_{ij}$  es la valoración del proyecto correspondiente bajo el criterio en cuestión, siendo  $s_{ij} = 1$  si cumple con el criterio  $j$  o  $s_{ij} = 0$  si no lo cumple.

Un ejemplo de la evaluación de un determinado proyecto mediante esta metodología podría llevarse a cabo de la siguiente manera.

Criterio	Si	No
Aumento de requerimiento de energía	1	0
Se espera un incremento en ingreso	1	0
Se espera un incremento (%) del tamaño de mercado potencial	1	0
Necesita nuevas instalaciones	1	0
Necesita nueva experiencia técnica	0	1
Pérdida de calidad del producto final	1	0
Necesita personal nuevo para llevar a cabo el proyecto	0	1
No necesita reorganizar la estructura de la empresa	1	0
Impacto en la seguridad laboral	1	0
Impacto en los estándares medioambientales	1	0
TIR después de ingresos superior a un 15%	1	0
Beneficio anual esperado superior a 250000\$	1	0
Tiempo de recuperación de la inversión inferior a 3 años	0	0
Necesita un asesor externo	0	1
<b>Puntuación Total</b>	<b>10</b>	<b>3</b>

Tabla 2.3 Tabla para ejemplo de Checklist

Este mismo análisis debería realizarse para todos y cada uno de los proyectos implicados en la decisión. Encontraremos fácilmente proyectos con la misma puntuación siendo esto un inconveniente porque no podremos discriminar entre



ellos. Decimos que este exceso de simplicidad hace que nuevas técnicas permitan seleccionar proyectos de manera más adecuada.

### B) Modelo de scoring tradicional

El funcionamiento de esta técnica es similar al de la metodología anterior con la peculiaridad de que ésta permite dar una ponderación a cada criterio en función de su importancia relativa con respecto al resto de factores. Así este modelo calcula a través de una expresión algebraica la puntuación para cada proyecto que se tenga en cuenta.

La suma ponderada de cada uno de los valores permite hacer una buena valoración. De tal manera que para cada proyecto  $i$ :

$$M_i = \sum_{j=1}^n w_j s_{ij}$$

Ecuación 2.6 Scoring tradicional

siendo  $M_i$  la puntuación total,  $w_j$  la ponderación de cada uno de los criterios y  $s_{ij}$ , como ya sabemos, la valoración que se concede al proyecto  $p_i$  bajo el criterio  $j$ . Estas puntuaciones se normalizarán con la finalidad de que no hay problemas de escala.

Por otro lado hay otros métodos de hacer esta valoración o score buscando algo más trabajado, por ejemplo combinando una agregación aditiva y otra multiplicativa.

### Ejemplo

Tenemos 3 proyectos candidatos  $P = \{p_1, p_2, p_3\}$  sujetos a tres criterios: Éxito del proyecto, Coste del proyecto y Cuota de mercado. Suponemos que la importancia relativa de estos es  $w = \{1, 1, 2\}$ .

Con la expresión siguiente para calcular la puntuación:

$$M_i = \frac{(\text{Éxito} + 2 * \text{Cuota de Mercado})}{\text{Coste de Proyecto}}$$

Vemos como en el numerador se encuentran los criterios del tipo “cuanto más mejor” y en el denominador aquellos del tipo “cuanto menos mejor” de tal manera que el resultado,  $M_i$ , del proyecto  $p_i$ , cuanto mayor sea, antes será escogido frente a otro con menor  $M_i$ .

$p_i / a_j$	Éxito ( $a_1$ )	Cuota de mercado ( $a_2$ )	Coste de proyecto ( $a_3$ )	Puntuación ( $M_i$ )
$p_1$	7.70	1.50	2.38	4.49
$p_2$	5.09	2.97	2.73	4.04
$p_3$	3.45	10.32	1.80	13.38

Tabla 2.4 Tabla para ejemplo de scoring tradicional

El orden por tanto sería el siguiente: ( $p_3 > p_1 > p_2$ ).

Como ventajas podemos decir que como vemos es un método que trata el problema de manera más exhaustiva ya que tiene en mente criterios tanto cualitativos como cuantitativos. Pone de manifiesta la importancia relativa de un criterio sobre otro, además es de fácil resolución y el equipo directivo lo comprenderá de manera sencilla.

Por otro lado presenta dos inconvenientes importantes. En primer lugar podemos decir que este método no tiene en cuenta las restricciones que este tipo de decisiones pueden conllevar, como por ejemplo la cantidad de recursos de los que disponemos para ese período temporal. Y en segundo lugar tampoco podemos valorar el hecho de que por tener un proyecto en nuestra cartera, otro ve mejorada su situación sustancialmente (sinergias).

### C) Análisis de utilidad multiatributo

Esta metodología toma como punto de partida que el decisor siempre pretende maximizar su utilidad, es decir que tomará ese proyecto que le sea más satisfactorio aunque también tendrá en cuenta los criterios que le conciernen. Es necesario por tanto una función de utilidad total que normalmente ha sido calculada mediante las utilidades parciales de cada alternativa para cada criterio. Por tanto al final se presenta un valor para cada proyecto o alternativa presente y permite su ordenación sin mayor complicación.

Consta de dos pasos básicamente. Primeramente se calculará las utilidades parciales, lo cual se hará preguntando directamente sobre la satisfacción de cada una de las alternativas para esos criterios, como ya hemos dicho antes. Y en la segunda habrá que intentar agregar esas utilidades parciales antes calculadas para la obtención de una utilidad global y así llevar a cabo la ordenación de proyectos. La función de utilidad más utilizada es la siguiente

$$U(p_i) = \sum_{j=1}^n w_j u_j(p_i)$$

Ecuación 2.7 Función de utilidad, análisis multiatributo



donde como ya sabemos  $w_j$  es el peso otorgado para ese criterio y  $u_j(p_i)$  es la utilidad parcial.

Ejemplo

Nuestra empresa quiere saber cuál sería la mejor ubicación para la ubicación de una EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales). Las localidades que optan o dicho de otra manera las alternativas son:

$P = \{Medina\ del\ Campo,\ Dueñas,\ Venta\ de\ Baños,\ Aranda\ de\ Duero,\ Villamuriel\ de\ Cerrato,\ Laguna\}$

Y los criterios para los 6 proyectos.

$A = \{Costes\ fijos,\ Rechazo,\ Riesgo,\ Costes\ de\ explotación,\ Impacto\}$

La matriz obtenida es la siguiente:

$p_i / a_j$	Costes fijos ( $a_1$ )	Rechazo ( $a_2$ )	Riesgo ( $a_3$ )	Costes de Explotación ( $a_4$ )	Impacto ambiental ( $a_5$ )
Medina	7320.02	41067.68	9893480.00	1202080.00	6511.66
Dueñas	8283.18	31127.00	4389160.00	1246832.00	41066.40
Venta	7897.92	34421.60	7718920.00	1577730.00	24929.30
Aranda	7705.28	33252.40	7429680.00	1826600.00	11381.10
Villamuriel	7011.80	45744.20	5974620.00	1246832.00	2350.90
Laguna	7375.03	29813.20	14705760.00	2443060.00	17529.30

Tabla 2.5 Tabla “1” para el ejemplo de Análisis de Utilidad Multiatributo

La ponderación para cada uno de los criterios es la misma, es decir todos son igual de importantes,  $w_j = 0.2 \forall j$ . Después hay que calcular las utilidades parciales y lo haremos asignando a cada dato un número comprendido en el intervalo [0,10]. Notamos que todos los criterios en este caso son del tipo “cuanto menos, mejor”. Vemos entonces para el primero criterio que el coste de Dueñas (8283.18) es el mayor y por el contrario Villamuriel (7011.80) el menor. Así que asignaremos el 10 al dato 7000 y el 0 al valor 8500 y así haremos para todos y cada uno de los criterios que intervienen en la decisión, obteniendo la tabla anterior con los valores extremos.

$p_i / a_j$	Costes fijos ( $a_1$ )	Rechazo ( $a_2$ )	Riesgo ( $a_3$ )	Costes de Explotación ( $a_4$ )	Impacto ambiental ( $a_5$ )
Medina	7320.02	41067.68	9893480.00	1202080.00	6511.66
Dueñas	8283.18	31127.00	4389160.00	1246832.00	41066.40
Venta	7897.92	34421.60	7718920.00	1577730.00	24929.30
Aranda	7705.28	33252.40	7429680.00	1826600.00	11381.10
Villamuriel	7011.80	45744.20	5974620.00	1246832.00	2350.90
Laguna	7375.03	29813.20	14705760.00	2443060.00	17529.30
Valor 0	8500.00	46000.00	16000000.00	2600000.00	42000.00
Valor 10	7000.00	28000.00	4000000.00	1200000.00	2000.00

Tabla 2.6 Tabla “2” para el ejemplo de Análisis de Utilidad Multiatributo

Hecho esto para cada criterio, ya podemos asignar el valor correspondiente para cada proyecto o localidad. Haremos un cálculo para ver el procedimiento y notar como tiene sentido. Los valores extremos para el criterio Costes fijos nos dan una recta cuya ecuación es  $y = -\frac{1}{150}x + \frac{170}{3}$ . Cogemos ahora el valor para la localización de Venta de Baños y calculamos su imagen en la ecuación de la recta arriba escrita, obteniendo el valor  $4.01 \in [0,10]$ . Vemos como tiene sentido que sea un valor próximo a 5 ya que está prácticamente en el punto medio del intervalo (8500,7000). Eso haremos con todos los valores de la tabla, esto es un proceso tedioso si lo hacemos de esta manera pero con la utilización de una hoja de cálculo el tiempo empleado es asumible. Realizando los cálculos pertinentes obtenemos:

$p_i / a_j$	Costes fijos ( $a_1$ )	Rechazo ( $a_2$ )	Riesgo ( $a_3$ )	Costes de Explotación ( $a_4$ )	Impacto ambiental ( $a_5$ )	Utilidad Total $U(p_i)$
Medina ( $p_1$ )	7.87	2.74	5.09	9.99	8.87	6.91
Dueñas ( $p_2$ )	1.45	8.26	9.68	9.67	0.23	5.86
Venta ( $p_3$ )	4.01	6.43	6.90	7.30	4.27	5.78
Aranda ( $p_4$ )	5.30	7.08	7.14	5.52	7.65	6.54
Villamuriel ( $p_5$ )	9.92	0.14	8.35	9.67	9.91	7.60
Laguna ( $p_6$ )	7.50	8.99	1.08	1.12	6.12	4.96
Pesos ( $w_j$ )	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	

Tabla 2.7 Tabla “3” para el ejemplo de Análisis de Utilidad Multiatributo

De esta manera notamos como la ordenación quedaría de la siguiente manera:

Villamuriel > Medina > Aranda > Dueñas > Venta > Laguna

( $p_5$ ) > ( $p_1$ ) > ( $p_4$ ) > ( $p_2$ ) > ( $p_3$ ) > ( $p_6$ )

Tabla 2.8 Tabla “4” para el ejemplo de Análisis de Utilidad Multiatributo



Como ya hemos dicho el principal punto a favor es que frente a los anteriores métodos expuestos, se considera la satisfacción global en función de las utilidades que le otorgue al agente decisor, bajo los criterios con sus pesos determinados.

En cuanto al inconveniente de mayor magnitud es que solo resulta operativo para pocos proyectos o alternativas y cuando sea posible un contacto con el agente o centro de decisión.

#### D) AHP (Proceso Analítico Jerárquico)

Se trata de la metodología que trataremos más en profundidad en capítulos posteriores, sobre todo en el 4.1 donde se verá de manera exhaustiva cómo funciona, así como un pequeño ejemplo. A pesar de eso hablaremos aquí de esta metodología de manera general.

Se trata de una técnica desarrollada por Saaty en el año 1980 y que resumidamente trata de comparar un conjunto de alternativas siguiendo tres principios fundamentales. Como son: evaluación, selección y jerarquización.

El artículo de Cho y Kwon (2004) presenta tres pasos básicos bien definidos para abordar el problema. Primeramente llevar a cabo una estructuración del problema en sí, de tal manera que en la parte baja estarían las alternativas o proyectos en nuestro caso, en el nivel intermedio los criterios y subcriterios y en la parte alta los objetivos que se quieren conseguir.

A continuación en cada nivel de la estructura se establecen comparaciones por pares con respecto al elemento inmediatamente superior. Obteniendo una serie de pesos locales para la comparación entre criterios y una serie de preferencias para las comparaciones entre alternativas. El cálculo de estos valores se hace mediante un procedimiento algebraico que obtiene el autovector asociado al mayor autovalor dentro de esas matrices de comparación.

Seguidamente se tendría que sintetizar toda la información obtenida y calculada, realizando una suma ponderada entre los pesos locales y las preferencias dando lugar a los pesos globales que permitirán jerarquizar todas nuestras alternativas.

En cuanto a las ventajas y desventajas así como muchos otros aspectos referentes a esta metodología, remito a los capítulos 4.1, 4.2 y 4.3 que versan de una manera u otra sobre esta técnica tan recurrida en la actualidad.



➤ Técnicas de programación matemática

Entramos en la tercera categoría de técnicas, totalmente distintas a las anteriores vistas, ya que nos permite fijar un horizonte temporal, crear restricciones que no necesariamente sean de carácter económico-financiero como por ejemplo interrelaciones o relaciones de precedencia entre proyectos considerados. De tal manera que obtengamos una o varias soluciones que optimicen la función objetivo y cumplan las restricciones pertinentes.

○ Programación monobjetivo

Se empezaron a utilizar de manera más generalizada en los años 80 y 90 del pasado siglo con el fin de poder abordar cada vez más características que tienen que ver con esta problemática. Por tanto se puede decir que intenta salvar las deficiencias de las anteriores metodologías.

En primer lugar se llevaron a cabo estudios de Programación Lineal Monobjetivo Discreta, para hacer óptima alguna medida del valor de los proyectos a incluir en la cartera, incluido en una función lineal. Todo esto sin que sean superadas las limitaciones de recursos y el resto de restricciones (de carácter lineal también) no se vean superadas.

Es lógico pensar que los proyectos no sean divisibles, es decir, las variables de decisión son de tipo binario  $x_i \in \{0,1\}$ , de tal manera que si  $x_i = 0$  el proyecto  $p_i$  no entra en la cartera y si  $x_i = 1$  entonces el proyecto si entraría. Así conseguimos que los proyectos no sean fraccionables.

Dicho esto pasamos a plantear las principales ecuaciones y así ver la estructura matemática de este modelo

$$\text{Max}(\text{Min}) f(x) = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_I x_I$$

*sujeto a:*

$$x \in B$$

$$x_i \in \{0,1\}, i = 1, 2, \dots, I$$

Ecuación 2.8 Programación Lineal Monobjetivo

donde:

$a = (a_1, a_2, \dots, a_I)$  son los coeficientes de la función objetivo

$x$  es el vector de las variables que deciden si entra o no un proyecto en la cartera

$B$  es el conjunto de oportunidades

### Ejemplo

La empresa Chipe SA, tiene la intención de fabricar CPU's para aparatos de uso convencional, para lo cual, se plantea a las diferentes departamentos tecnológicos que presenten sus ideas en cuanto a microprocesadores se refiere. En total se logran recabar 16 propuestas  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{16}\}$  que se corresponden con las variables  $x = (x_1, x_2, \dots, x_{16})$  de tal manera que la empresa determina que serán escogidos aquellos que mayores ingresos proporcionen cumpliendo las siguientes restricciones:

- El presupuesto es de 500 €
- Limitación de horas de horas de fábrica de 1300 horas
- Limitación de horas de ordenador de 390 horas
- Limitación impuesta por la dirección: de los cinco primeros proyectos no se seleccionan más de dos y el proyecto  $p_{10}$  solo se selecciona si ha sido escogido el proyecto  $p_{12}$ .

	Costes (100 €)	Ingresos (Mill €)	Horas de fábrica	Horas de ordenador
$(p_1)$	48	47	60	29
$(p_2)$	38	41	159	48
$(p_3)$	40	18	105	51
$(p_4)$	43	38	174	23
$(p_5)$	35	342	191	20
$(p_6)$	25	375	55	51
$(p_7)$	26	122	196	47
$(p_8)$	41	152	120	34
$(p_9)$	53	81	208	51
$(p_{10})$	81	67	59	33
$(p_{11})$	97	71	224	28
$(p_{12})$	51	153	82	40
$(p_{13})$	89	74	66	52
$(p_{14})$	78	29	176	24
$(p_{15})$	97	62	109	28
$(p_{16})$	90	90	235	50

Tabla 2.9 Tabla de información de proyectos para el ejemplo de Chipe SA

Y las funciones matemáticas ya materializadas para este ejemplo serían:



$$\text{Max } \sum_{i=1}^{16} I_i \cdot x_i$$

$$\text{s.a } \sum_{i=1}^{16} c_i \cdot x_i \leq 500$$

$$\sum_{i=1}^{16} Hf_i \cdot x_i \leq 1300$$

$$\sum_{i=1}^{16} Ho_i \cdot x_i \leq 390$$

$$\sum_{i=1}^5 x_i \leq 2$$

$$x_{10} \leq x_{12}$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad i = 1, 2, \dots, 16$$

Siendo:

$I_i \rightarrow$  Variable asociada al ingreso del proyecto

$p_i$

$c_i \rightarrow$  Variable asociada al coste del proyecto  $p_i$

$Hf_i \rightarrow$  Variable asociada a las horas de fábrica del proyecto  $p_i$

$Ho_i \rightarrow$  Variable asociada a las horas de ordenador del proyecto  $p_i$

$x_i \rightarrow$  Variable asociada al proyecto  $p_i$

Haciendo los pertinentes cálculos, el resultado obtenido es el siguiente conjunto de proyectos o chips en este caso:

$$S = \{p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{12}, p_{13}, p_{16}\}.$$

Vemos como este tipo de metodología presenta una ventaja bastante clara que es su sencillez. Aunque veremos que si el problema inicial presenta una gran dificultad con un elevado número de restricciones que cumplir, el algoritmo no será del todo eficiente en su capacidad de resolución.

- Programación multiobjetivo

A finales de los años 90, la programación monoobjetivo empieza a mostrar sus debilidades, ya que las empresas desean tener en mente no solo un único objetivo, sino varios para poder asemejarse en mayor medida a la realidad. Es así como nace la programación multiobjetivo, cuyas ecuaciones pasamos a presentar:

$$\text{Opt } F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_I(x))$$

*sujeto a:*

$$x \in B$$

$$x_i \in \{0,1\}, i = 1, 2, \dots, I$$

Ecuación 2.9 Programación multiobjetivo



donde:

$f_1(x), f_2(x), \dots, f_l(x)$  son las funciones objetivo

$x$  es el vector de las variables que deciden si entra o no un proyecto en la cartera

$B$  es el conjunto de oportunidades

Es importante notar que la optimización de todos los criterios es imposible ya que casi seguro que uno va a entrar en conflicto con otro, por lo tanto lo que pretende esta metodología es dotar a la dirección de un conjunto de soluciones “Pareto-óptimas”. Esto es, aquellas soluciones que existentes para las que mejorar en algún criterio implica empeorar en otro necesariamente (no dominadas).

### Ejemplo

Partiremos del mismo ejemplo que para la programación monobjetivo (Chipe SA), con la peculiaridad que ahora tendremos dos funciones objetivo a optimizar, quedando de la siguiente manera:

$$F.O \left\{ \begin{array}{l} Max \sum_{i=1}^{16} I_i \cdot x_i \\ Min \sum_{i=1}^{16} c_i \cdot x_i \end{array} \right.$$

Siendo:

$I_i \rightarrow$  Variable asociada al ingreso del proyecto  $p_i$

$c_i \rightarrow$  Variable asociada al coste del proyecto  $p_i$

$Hf_i \rightarrow$  Variable asociada a las horas de fábrica del proyecto  $p_i$

$Ho_i \rightarrow$  Variable asociada a las horas de ordenador del proyecto  $p_i$

$x_i \rightarrow$  Variable asociada al proyecto  $p_i$

s.a  $\sum_{i=1}^{16} c_i \cdot x_i \leq 500$

$$\sum_{i=1}^{16} Hf_i \cdot x_i \leq 1300$$

$$\sum_{i=1}^{16} Ho_i \cdot x_i \leq 390$$

$$\sum_{i=1}^5 x_i \leq 2$$

$$x_{10} \leq x_{12}$$

$$x_i = \{0,1\} \quad i = 1, 2, \dots, 16$$



Dos del conjunto de soluciones “Pareto-óptimas” asociadas al supuesto Chipe SA son las siguientes:

$$[S_1 = \{p_5, p_6, p_7, p_8, p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{15}, p_{16}\}; S_2\{p_1, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{12}, p_{15}, p_{16}\}; \dots ]$$

Por dar algunos ejemplos de aplicaciones de esta metodología en la vida real podemos citar los estudios de Czajkowski y Jones (1986) o los de Ringuest y Graves (1989, 1990).

El problema o virtud que plantea esta técnica es que se pueden dar un elevado número de soluciones eficientes, ahora bien como he dicho también puede ser considerada una virtud o fortaleza ya que así podemos dar una posibilidad de elección al centro de decisión, una vez se he hecho una división previa entre subconjuntos eficientes y no eficientes.

Por otro lado la dificultad que comentábamos para los modelos de programación monobjetivo en cuanto a su posible complicación en algunos casos, puede también extrapolarse a la metodología multiobjetivo con mayor motivo si cabe. Es por eso que han empezado a aparecer algunos algoritmos heurísticos que lo que nos dan son soluciones aproximadas a esa problemática compleja que resultaría demasiado engorrosa o incluso imposible resolverla de manera exacta. Algún ejemplo puede ser el heurístico SS-PPS o Scatter Search for Project Porfolio Selection, cuya explicación en Carazo (2008)

- Programación por metas

En esta metodología es necesario observar un cambio en la manera de afrontar el problema, ya que ahora se va a buscar satisfacer una serie de determinados niveles impuestos para la satisfacción del agente decisor.

El establecimiento de estos niveles genera las correspondientes metas y así el objetivo será en encontrar, si existe, alguna solución que verifique los niveles de los que hablamos y por consiguiente sus metas.

Como veremos de una manera más detallada en el ejemplo, pueden darse dos situaciones o soluciones en esta técnica:

- Función objetivo igual a 0; entendiéndose por tanto que se alcanzan todos los niveles de aspiración.
- Función objetivo distinto de 0; no verificándose alguno de los niveles establecidos, dándonos la solución más aproximada a esas metas.



### Ejemplo

Seguiremos con el mismo supuesto (Chipe SA).

Ahora, a mayores de los datos que teníamos para este supuesto es necesario incluir los niveles que el decisor considere. En este caso serán:

- Obtener un mínimo de ingresos de 1250 €
- El coste no supere los 500 €

Y sus metas asociadas serán las siguientes:

- $\sum_{i=1}^{16} I_i \cdot x_i + n_1 - p_1 = 1250$
- $\sum_{i=1}^{16} c_i \cdot x_i + n_2 - p_2 = 500$

Siendo:

$n_1$  y  $n_2$  → Desviaciones negativas del objetivo

$p_1$  y  $p_2$  → Desviaciones positivas del objetivo

Para nuestro caso es lógico pensar que lo deseable sería que  $n_1$  y  $p_2$  fueran 0 para que así el ingreso sea superior a 1250 € y el coste inferior a 500 €. Quedando nuestras ecuaciones de la siguiente manera:

$$\text{Min } \frac{n_1}{1250} + \frac{p_2}{500}$$

s.a

$$\sum_{i=1}^{16} I_i \cdot x_i + n_1 - p_1 = 1250$$

$$\sum_{i=1}^{16} c_i \cdot x_i + n_2 - p_2 = 500$$

$$\sum_{i=1}^{16} c_i \cdot x_i \leq 500$$

$$\sum_{i=1}^{16} Hf_i \cdot x_i \leq 1300$$

$$\sum_{i=1}^{16} Ho_i \cdot x_i \leq 390$$

$$\sum_{i=1}^5 x_i \leq 2$$

$$x_{10} \leq x_{12}$$

$$x_i = \{0,1\} \quad i = 1, 2, \dots, 16$$

Así, si la F.O conseguimos que sea cero, cumpliendo el resto de restricciones, habremos obtenido una solución factible por metas.

Siendo:

$I_i$  → Variable asociada al ingreso del proyecto

$p_i$

$c_i$  → Variable asociada al coste del proyecto  $p_i$

$Hf_i$  → Variable asociada a las horas de fábrica del proyecto  $p_i$

$Ho_i$  → Variable asociada a las horas de ordenador del proyecto  $p_i$

$x_i$  → Variable asociada al proyecto  $p_i$

Después de hacer los cálculos correspondientes obtenemos el siguiente conjunto de proyectos, que cumplen los niveles de aspiración deseados:

$$S = \{p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{12}, p_{11}, p_{13}, p_{16}\}$$



Este enfoque es bastante pragmático debido a su versatilidad en distintas situaciones decisionales. Algunos trabajos de esta metodología son los de Schniederjans y Wilson (1991), Santhanam y Kyparisis (1995) y Lee y Kim (2001). Su principal punto negativo es que los decisores necesitan conocer qué nivel de aspiración están dispuestos a asumir desde un principio y eso en ocasiones puede ser complicado ya que suele haber incertidumbre en estos contextos.

➤ Otras técnicas

En este apartado del análisis cluster que aunque no es una técnica exclusiva de selección de proyectos, sí que se ha utilizado para este fin cuando había que seleccionarlos en bloque, por ejemplo.

○ Análisis clúster

O también llamado análisis de conglomerados, de manera resumida esta metodología consiste en agrupar a proyectos candidatos en base a una serie de atributos independientes, de tal manera que esos grupos sean lo más homogéneos o parecidos posibles.

Ahora bien ¿cómo medimos esta similitud entre proyectos?. Lo haremos según las leyes de la estadística, midiendo la distancia que hay entre proyectos e intentando maximizar la distancia entre grupo y minimizando la distancia intragrupo (dentro de cada uno de los grupos).

Se distinguen 3 pasos en esta técnica:

- Elección de los criterios para la discriminación de los proyectos
- Elección de la medida de lejanía entre los candidatos para poder realizar una matriz de distancias entre cada par de proyectos
- Cuando tengamos la matriz de distancias, agruparemos a los proyectos. Una manera de asignar los proyectos a los grupos es la suma de las distancias euclídeas al cuadrado, entre los elementos de un grupo y su centroide (punto conformado por los valores medios de los criterios considerados para los candidatos que pertenecen a ese grupo). De tal manera que un proyecto pertenecerá a un grupo u otro en función de la menor pequeña a los centroides de esos grupos.



Donde:

$$Medida (H) = \sum_{r \in H} \sum_{j=1}^n (a_{rj} - \bar{a}_j(H))^2$$

Ecuación 2.10 Análisis Cluster

→  $r \in H$ : muestra la agrupación de elementos que forman parte del grupo H

→  $n$  es el número de variables o criterios

→  $a_{rj}$  el valor de la variable  $j$  para cada uno de los candidatos del grupo H

→  $\bar{a}_j(H)$  es la media de esa variable  $j$  para los proyectos candidatos del grupo H.

Podemos darnos cuenta entonces de que lo que estamos haciendo es encontrar los  $d$  grupos que minimizan la suma de esa medida (fórmula) para cada conglomerado (el número de grupos los decide previamente el decisor). Matemáticamente sería *Minimizar*  $\sum_{h=1}^d Medida (H)$ .

### Ejemplo

Para entender mejor esta técnica enfocada en la selección de proyectos, vamos a ver un ejemplo con los datos de Chipe SA (apartado anterior – técnicas de programación matemática) Se evaluarán los mejores proyectos de un conjunto de 16 candidatos,  $P_i = \{p_1, p_2, \dots, p_{16}\}$ , dados los siguientes criterios: coste de desarrollar cada proyecto ( $a_1$ ), ingresos proporcionados por cada proyecto ( $a_2$ ), cuota de mercado ( $a_3$ ).

	Costes (100 €)	Ingresos (Mill €)	Cuota de mercado (Mill €)
$(p_1)$	48	47	430
$(p_2)$	38	41	340
$(p_3)$	40	18	180
$(p_4)$	43	38	290
$(p_5)$	35	342	1220
$(p_6)$	25	375	1340
$(p_7)$	26	122	610
$(p_8)$	41	152	1010
$(p_9)$	53	81	810
$(p_{10})$	81	67	560
$(p_{11})$	97	71	710
$(p_{12})$	51	153	1180
$(p_{13})$	89	74	460



$(p_{14})$	78	29	180
$(p_{15})$	97	62	270
$(p_{16})$	90	90	430

Tabla 2.10 Tabla de datos para el ejemplo de Chipe SA para la técnica de Cluster

Tal y como hemos visto y sin entrar en las operaciones matemáticas en sí, se realizaría un análisis cluster para diferentes grupos. Para nuestro ejemplo el número de grupos será  $d = 2$ . Si se quisiera ver otros ejemplos remito a consultar Carazo (2007).

Una vez tengamos los dos grupos resultantes de proyectos y conozcamos el presupuesto de la compañía, elegiremos el grupo que mejor convenga en función de las variables o criterios establecidos.

Para nuestro supuesto de Chipe SA los dos grupos que se han formado son:

- Grupo formado por 5 proyectos  $\{p_5, p_6, p_8, p_9, p_{12}\}$ , aglutina a aquellos proyectos de menor coste, mayores ingresos, y mayor cuota de mercado. Es por eso que en principio no es descabellado pensar que será el grupo seleccionado por la dirección.
- Grupo formado por los 11 proyectos que no se encuentran en el primero. Sus características son que cuestan más, dan menos ingresos, y proporcionan menor cuota de mercado.

Una buena manera de verlo es con la siguiente tabla, la cual muestra los centroides de cada grupo y criterio.

	Grupo 1	Grupo 2
Coste en 100 € ( $a_1$ )	41	66.1
Ingresos en Mill € ( $a_2$ )	220.6	59.9
Cuota de Mercado en Mill € ( $a_3$ )	1112	405

Tabla 2.11 Tabla para los centroides del ejemplo de Chipe SA para la técnica de Cluster

Una vez visto esto, como hemos dicho lo más lógico sería escoger al Grupo 1, aunque una buena y posible medida podría ser realizar el análisis para  $d=3$ , con el objetivo de ver alguna pauta de comportamiento a tener en cuenta.

Como puntos débiles esta metodología por ejemplo muestra que no permite establecer restricciones, como por ejemplo en las técnicas de programación



matemática, sino que solo agrupa a aquellos proyectos con características similares. También esta técnica se encuentra con que sus resultados son poco precisos cuando la cantidad de criterios es grande, lo que muestra una gran limitación por su parte. Resumiendo podemos decir que esta técnica nos permite agrupar proyectos en conglomerados lo más homogéneos posible en base a unas variables pero no a seleccionar proyectos dentro de cada uno de los grupos, es decir, no jerarquiza.

Como puntos fuertes, aunque no es muy fiable con muchas variables como hemos dicho en el párrafo anterior, sí que permite que haya muchos proyectos candidatos y con criterios cualitativos y cuantitativos. Por otro lado como homogeniza en grupos la totalidad de proyectos candidatos, puede ser útil para la compañía si encuentra un grupo que siga los objetivos y sus metas estratégicos, es decir un grupo alineado con la visión de la empresa.

## CONCLUSIÓN

Hay que señalar el hecho de que varios estudios recomiendan el uso de más de una técnica, para ver si las distintas metodologías arrojan resultados parecidos.

También hay que decir que en la actualidad se está trabajando no solo en seleccionar la cartera de proyectos, con los recursos disponibles, sino en determinar o fijar qué momento deben empezar a llevarse a cabo los proyectos. Podemos estar hablando de problemas multiobjetivo con limitaciones de diferente naturaleza como por ejemplo las interacciones entre proyectos (sinergias) en un horizonte de planificación determinado.

Lo que se ha pretendido con este apartado ha sido realizar un recorrido cronológico por las diferentes técnicas en selección de proyectos, dando un ejemplo en la medida de lo posible de cada una de ellas. Además se ha intentado presentar puntos fuertes y débiles de la mayoría de las técnicas para que de esa manera, las posteriores metodologías traten de solventarlo.

### - Revisión bibliográfica de selección de proyectos

Hay que notar que en la cantidad de artículos que han sido revisados en materia de metodologías para la selección de proyectos, la metodología más aplicada en dichos reports ha sido la que tiene que ver con los criterios financieros/económicos, que como ya hemos manifestado en páginas anteriores trata de analizar el retorno de la inversión (VAN, TIR entre otros). Buena muestra de esto son las aplicaciones de los siguientes autores: Chiu-Chi & Chie-Bein, (1999); Lee & Kim, (2000); Archer & Ghasemzadeh, (2000); Masood & Donald, (2001); Coldrick, S., & Lawson, (2002); Tian, Ma & Liang, (2005); Brown, (2006); Gabriel &



Kumar, (2006); Lawson & Longhurst, (2006); Carlsson & Fullér, (2007); Dikmen & Birgonul, (2007); Medaglia & Graves, (2007); Aragonés Beltrán, P., & Chaparro González, F. (2008); Mahmoodzadeh & Shahrabi, (2008); Lee & Kang, (2008); Mahdi & Hossein, (2008); Tolga & Kahraman, (2008); Deng & Wibowo, (2009); Palcic & Lalic, (2009); Dodangeh, Mojahed & Yusuff, (2009); Kim & Shangmun, (2009); Wang & Xu, (2009); Ghorbani & Rabbani, (2009); Modarres & Hassanzadeh, (2009); Rabbani & Aramoon Bajestani, (2010), entre otros.

Por otro lado otros trabajos han manifestado su aprecio por criterios más estratégicos que tenían en cuenta más que los objetivos y metas se llevaran a cabo debido a esa selección de proyectos. Es el caso de autores como: Eben Chaime, (2000); Sefair & Medaglia, (2005); Westland, (2006); Rafiei & Rabbani, (2009); Dia, (2009). Además dentro de este ámbito destacan los siguientes trabajos por haber sido la llave para lograr el éxito organizacional tanto en gestión interna como en externa Huang & Yang, (2008); Yong Hong, Ma & Zhi Ping, (2008); Jung, (2009); Chen & Askin, (2009); Carazo & Gómez, (2010); Alinezhad, Zohrebandian & Dehdar, (2010).

Dando un paso más a este enfoque estratégico, otros autores se centraron en tratar de contar con herramientas que identificaran los objetivos estratégicos para que en función de estos, se crearan múltiples escenarios con la finalidad de seleccionar la cartera adecuada a esas metas estratégicas. La novedad es que todo esto se tenía que lograr bajo un perfil de riesgo moderado. Algunos autores de este campo son: Lawson & Longhurst, (2006); Kim & Shangmun, (2009).

Con todo lo visto es fácil notar que tratar de aunar todos estos puntos de vista (criterio financiero con factores estratégicos y de riesgo) puede que sea el siguiente paso en cuanto a los artículos referentes a metodologías de selección de proyectos. Claro ejemplo de esto que estamos diciendo pueden ser autores como: Mahmoodzadeh & Shahrabi, (2008); Carazo, et al, (2008); Mojahed & Dodangeh, (2009).

La mayoría de los artículos o estudios a los que hemos hecho referencia están basados en dos puntos de vista bastante marcados: enfoque monocriterio que como su propio nombre indica se trata de evaluar a cada proyecto de manera individual bajo un criterio ya sea cuantitativo o cualitativo. El enfoque multicriterio sin embargo trata de tener en cuenta varios criterios cualitativos, cuantitativos o mezcla de ambos y siempre bajo la mirada del conjunto de proyectos.

En la siguiente tabla vamos a intentar mostrar una relación entre: enfoque (monocriterio o multicriterio), la tipología de los criterios (cualitativo y cuantitativo),



la técnica/herramienta/metodología (árboles de decisión, VAN, TIR ...), la relación de autores que han trabajado en esas materias.

Enfoque	Criterio	Técnica/Metodología	Autores
Monocriterio	Cuantitativo	Árboles de decisión, técnicas de medida de beneficio-económico (VAN, TIR, etc. Algoritmos heurísticos (*))	Ahmed & Gupta, (1987); Graves & Ringuest, (1992); Bordley, (1998); Archer & Ghasemzadeh, (1999); Aloysius & Rosenthal, (1999); Meredith & Mantle, (2000); Farrukh, (2000); Loch, Pich & Terwiesch, (2001); Coldrick, S., & Lawson, (2002); Apperson, (2005); Jin, Zhao & Chen, (2007); Rosacker & Olson (2008); Chen & Cheng (2009).
	Cualitativo	Hoshin Planning (**)	Gels, (2005)
	Cuantitativo	Técnicas de optimización y programación matemática (Programación por metas y Programación lineal entera).	Lee & Kim, (2000); Archer & Ghasemzadeh, (2000); Machacha & Bhattacharya, (2000); Masood & Donald, (2001); Chen Tung, (2002); Deng & Wilbowo, (2004); Tian, Ma & Liang, (2005); Gabriel & Kumar, (2006); Lawson & Longhurst, (2006); Eilat, Golany & Shtub, (2006); Dikmen & Birgonul, (2007); Huang, (2007); Chen Tung & Hui Lin, (2008); Changsheng, (2008); Changsheng & Yufu Ning,



		(2008); Tolga & Kahraman, (2008); Lee & Kang, (2008); Tolga, (2008); Tolga, (2009); Wang & Xu, (2009); Ghorbani & Rabbani, (2009); Modarres & Hassanzadeh, (2009); Rabbani & Aramoon Bajestani, (2010).
<b>Multicriterio</b>		
	Mixto	Técnicas de medida de beneficio-basado en pesos, Análisis Jerárquico (AHP), Análisis de utilidad multiatributo (MAUT), Método Delphi con Proceso Analítico en Red (ANP)(***)
		Costello, (1983); Liberatore, (1988); Hall & Nauda, (1990); Saaty, (1990); Mohanty, (1992); Schmidt & Freeland, (1992); Cabral Cardoso & Payne,(1996); Eben Chaime, (2000); Lee & Kim (2001); Tian, Ma, & Liu, (2002); Larry, (2002); Powers & Ruwanpura, (2002); Sefair & Medaglia, (2005); Brown, (2006); Carlsson & Fullér,(2007); Medaglia & Graves, (2007); Carazo, et al, (2007); Aragonés Beltrán & Chaparro González, (2008); Mahmoodzadeh & Shahrabi, (2008); Mahdi & Hossein, (2008); Deng & Wibowo, (2009); Palcic & Lalic, (2009); Dodangeh, Mojahed & Yusuff, (2009); Kim & Shangmun, (2009); Mojahed & Dodangeh, (2009); Rafiei & Rabbani, (2009); Dia, (2009); Antonelli, (2010).
<b>Multicriterio</b>		
		Método de Scoring,
		Kyparisis & Gupta, (1996); Mikkola, (2001); Deng & Wilbowo, (2008); Huang & Yang, (2008); Yong Hong, Ma &

	Cualitativo	Delphi, etc.	Zhi Ping, (2008); Jung, (2009); Chen & Askin, (2009); Carazo & Gómez, (2010); Alinezhad, Zohrebandian & Dehdar, (2010).
--	-------------	--------------	---

Tabla 2.12 Revisión bibliográfica para selección de proyectos

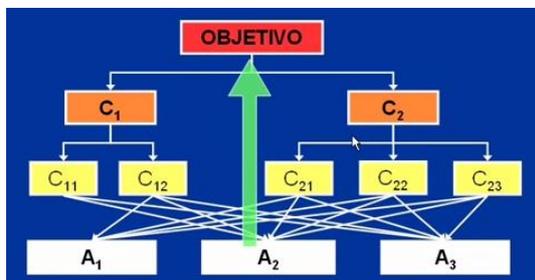
Aclaración de algunas metodologías que aparecen en la tabla pero no se han visto en este capítulo:

(\*) Algoritmos Heurísticos: Partiendo de una serie de criterios, se generan posibles candidatos, los cuales después de someterlos a un proceso, dan lugar a una serie de proyectos óptimos.

(\*\*) Hoshin Planning: Trata de seleccionar los proyectos que otorguen que, proporcionando los recursos necesarios produzcan un mayor beneficio. (Metología Kaizen)

(\*\*\*) Proceso Analítico en Red: Se trata de una generalización del Proceso Analítico Jerárquico y permite al contrario de este último, incluir relaciones de interdependencia y de realimentación entre los proyectos.

AHP – Influencia Unidireccional



ANP – Interdependencia

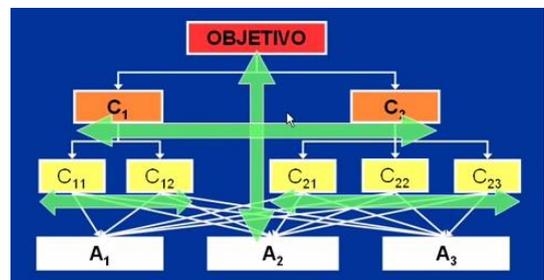


Figura 2.4 Comparativa de AHP frente a ANP



# CAPÍTULO 3:

## Gestión de Portfolios - Más allá de la Gestión de Proyectos

(The Standard for Portfolio Management)

## Gestión de Portfolios - Más allá de la Gestión de Proyectos

### (The Standard for Portfolio Management)

#### - Introducción

Una cartera de proyectos o portfolio es un conjunto de proyectos o programas que, llevados a cabo en un determinado período de tiempo, comparten recursos y que lógicamente van a tener fuertes interrelaciones en cuanto a complementariedad, incompatibilidad y sinergias simple y llanamente por el hecho de compartir costes y beneficios de cada uno de los proyectos.

Con todo esto no es descabellado pensar que lo que las organizaciones se ven obligadas a hacer es una comparativa de grupos de proyectos, buscando la mejor cartera adaptada a las necesidades de la organización.

La gestión de portfolios por tanto es el manejo centralizado de uno o más portfolios y que conlleva la identificación, priorización. Autorización, gestión y control de proyectos, programas y todo lo que envuelva el alcanzar las metas estratégicas de la compañía. Debe proveer claridad en las variables y métricas que se utilizarán para la evaluación y su monitoreo.

Pensar que la gestión de proyectos y la gestión de portfolios es lo mismo sería incurrir en un grave error. Primero porque sus respectivas utilidades son distintas, es decir la gestión de proyectos no llega donde llega la gestión de portfolios y viceversa. No es por tanto que una excluya a la otra y no puedan ir juntas sino todo lo contrario, una buena gestión implica la connivencia de las dos partes.

La gestión de portfolios habilita a la organización a identificar y seleccionar los proyectos o inversiones que maximizarán el valor de la compañía. Por otro lado la gestión de proyectos habilita a la organización para poder llevar a cabo de manera satisfactoria la realización de esas oportunidades de negocio seleccionada.

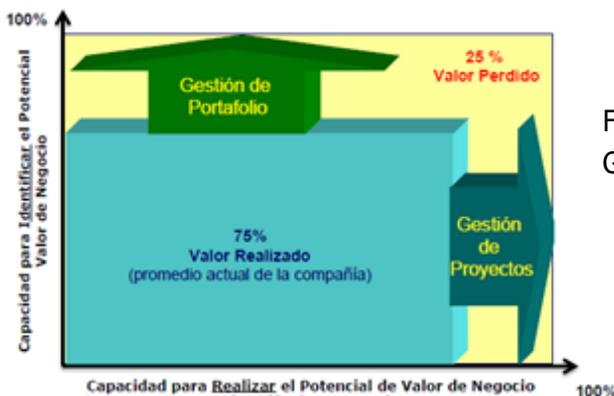


Figura 3.1 Gestión de Portfolio vs  
Gestión de Proyectos

- **La relación entre la Gestión de Portfolios y el Gobierno de la compañía**

Los niveles más altos en la empresa suelen establecer reglas o procedimientos sobre los protocolos de trabajo, las conductas de los trabajadores y que se deben seguir si se quieren conseguir los objetivos estratégicos marcados, entre los que se encuentra por supuesto alcanzar los beneficios económicos propuestos.

Los gestores de la organización, utilizan controles como métricas, sesiones de monitoreo, hitos o fases a alcanzar que son absolutamente aplicables a la gestión de portfolios, programas y proyectos.

- **Los proyectos y la estrategia de la organización**

Desde el punto de vista estratégico las empresas tienen cada vez más claro cómo establecer su misión, visión y valores corporativos para poder cumplir con los objetivos marcados en medio/largo plazo. Y esto no es otra cosa que hacer de los proyectos los medios idóneos para alcanzar las metas y objetivos que hayamos especificado en la planificación. De tal manera que la manera de proceder en estos proyectos determinará el éxito o fracaso del plan estratégico en sí.

Es necesario por ello marcar prioridades o jerarquías entre los distintos proyectos a gestionar de la cartera o portfolio, convirtiendo al plan estratégico en el principal factor que marcará las inversiones y los tiempos de ejecución de este grupo de proyectos, entre otras cosas.

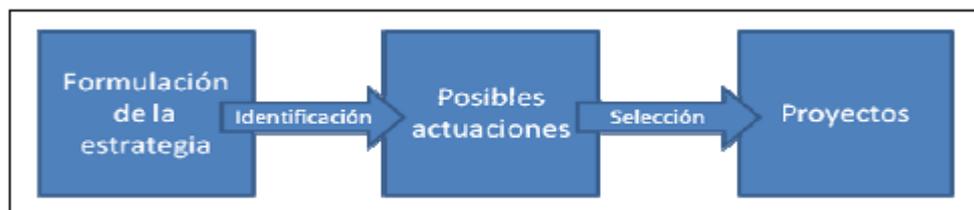


Figura 3.2 Esquema de la alineación estratégica con la selección de proyectos de nuestro portfolio.

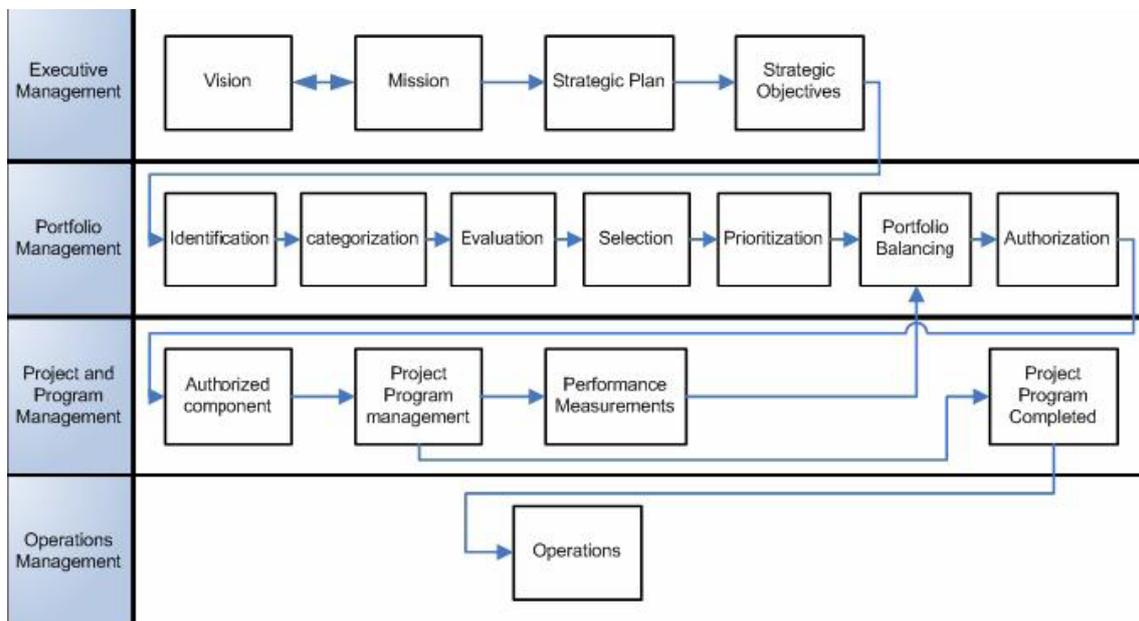
Vemos como la gestión de portfolios permite por tanto relacionar objetivos estratégicos con los proyectos en sí. Esto se consigue básicamente de acuerdo a 4 principios:

1. El fin estratégico determina la asignación de dinero para el portfolio en cuestión.
2. Los componentes del portfolio (programas y proyectos) se llevan a cabo de acuerdo siempre al fin estratégico marcado por sus objetivos y metas.

3. Cada uno de estos componentes llevará asignado una serie de recursos correspondientes.
4. Cada proyecto que compone el portfolio estará delimitado y definido por su contribución al fin estratégico y se puede gestionar de acuerdo a las reglas de la administración de proyectos.

- **La gestión de portfolios y el proceso empresarial**

Cómo integramos la gestión de portfolios dentro del proceso de la compañía es algo que tiene requiere de especial interés ya que no puede ser de cualquier manera. A continuación vemos una imagen que da buena muestra de ello.



*The Standard for Portfolio Management, PMI. 2006*

Figura 3.3 Gestión de Portfolios en el proceso empresarial

Tal y como vemos en la imagen la gestión de portfolios se encuentra entre la gestión estratégica de la alta dirección y la gestión de programas y proyectos, intentando como hemos dicho alinear la actividad de la empresa con la misión y visión de la misma.

Algunas de las principales actividades que están asociadas a la gestión de portfolios son las siguientes:

- Viabilidad de los componentes basada en indicadores y métodos de decisión (por ejemplo AHP).
- Alineamiento de los proyectos y programas con la estrategia de la corporación.



- Valor y relación con los componentes de otro portfolio.
- Recursos y prioridades del portfolio.
- Entrada o salida de componentes del portfolio.
- Definición de qué fin estratégico apoya ese componente.
- Definir criterios de riesgo y de valor para el monitoreo de los componentes.
- Conocimiento de la capacidad de la organización, optimizándola, para hacer frente a los componentes y así llevar a cabo su priorización (re-ordenamiento o postergación).
- Establecer los protocolos de actuación del portfolio.
- Gestión de restricciones y análisis de riesgos y de escenarios.
- Balanceo del portfolio para conseguir una buena mezcla de componentes.
- Elaborar reporting de estado y de futuras predicciones.
- Control de la consecución de beneficios.

Estas funciones suelen ser responsabilidad del equipo de gestión seleccionado comandado por Portfolio Manager. Típicamente esta persona suele ser un alto ejecutivo con experiencia en la materia con sobresalientes dotes de liderazgo.

- **Papeles y responsabilidades de las partes interesadas (stakeholders) del portfolio**

Definamos en primer lugar qué son los stakeholders, son aquellos individuos, grupos o instituciones cuyos intereses son afectados o inquietados por los componentes del portfolio ya sea de manera positiva o negativa. De la misma manera los stakeholders a su vez pueden influenciar a los componentes. Su nivel de influencia tanto en una dirección como en la otra puede variar en función del portfolio, de la compañía, etc.



Es por tanto lógico el identificar a los stakeholders de acuerdo a las metas o situaciones de riesgo que se pudieran presentar en el desarrollo del portfolio.

Los roles y responsabilidades de los stakeholders serían:

- Comité de revisión ejecutiva

Este órgano se encarga de evaluar, seleccionar, priorizar, y controlar la actividad del portfolio. También tienen funciones en cuanto a determinar

el alcance del control del comité de gestión de portafolios, para determinar las operaciones de la gestión de portafolios.

En organizaciones pequeñas, la gerencia ejecutiva puede reunir una gran parte de las compromisos de la gestión de portafolios.

- Grupo de procesos de portafolios

De la administración del portfolio se va a ocupar el grupo de procesos de portafolios. Y más detalladamente su misión es diseñar, implementar y validar una serie de buenas prácticas además de dar apoyo al trabajo de cada uno de los procesos del portfolio (detallados en páginas sucesivas de este capítulo).

- Comité de gestión de portafolios

Se va a ocupar de tomar las decisiones puramente de gestión tales como inversiones o aquellas que tienen que ver con el orden de ejecución de cada uno de los componentes. Es por eso que este órgano tiene que estar formado por aquellas personas que tengan extensos conocimientos y la suficiente experiencia para poder cumplir con el alineamiento estratégico de la organización. Este organismo tiene facultad para llevar a cabo la asignación y reasignación pertinente de recursos materiales, humanos y de inversión necesarios en la ejecución del portfolio. Se encargan también de incluir o excluir nuevos y antiguos componentes en el portfolio respectivamente, si se diera el caso.

- Portfolio managers

Dentro de este grupo se encuentran aquellas personas encargadas y responsables de la ejecución del proceso de gestión en sí del portfolio. Para entender mejor cuál es su rol digamos que son los intermediarios entre el comité de gestión de portafolios y los gestores de los componentes del portfolio (proyectos, programas, etc.) y como tal actúan como conducto principal entre las dos partes. El proceso



que siguen es recibir información del desempeño de los componentes de cada uno de los gestores y acto seguido se transmite al comité de gestión de portfolios, dando sus recomendaciones pertinentes. Además tienen la misión de cerciorar que se está cumpliendo y actualizando el cronograma de los procesos de gestión.

- Sponsors o patrocinadores

Tratan de ayudar económicamente, proporcionando una oportunidad de negocio de garantías para el comité de gestión de portfolios u otro organismo. De tal manera que una vez que ese componente ha sido aprobado para que entre en el portfolio, el sponsor se involucrará ayudando para que el componente se realice de acuerdo a los objetivos estratégicos.

- Program managers

Como su propio nombre indica son los responsables de los programas que se encuentran dentro del portfolio y tienen que asegurar la estructura de los programas y que su gestión permita a los gerentes de los componentes realizar con éxito su trabajo.

También se tienen que cerciorar de que los proyectos se organicen y se ejecuten de acuerdo a los procedimientos establecidos. La PMO (de la que luego hablaremos porque también es un stakeholder) aportará información a este grupo para que tomen decisiones de cara a guiar los programas tanto en tareas de administración, de elaboración de cronogramas o presupuestos como en la gestión de riesgos de programas.

- Project managers

Este stakeholder tiene la misión de llevar a cabo una planificación, ejecución, control y entrega de los proyectos de acuerdo a sus especificaciones. Proporcionarán datos e información para poder decidir, junto con otros criterios, qué proyectos van a continuar y cuáles van a ser excluidos.

Los Project managers suelen suministrar planes de recuperación para aquellos proyectos que se encuentren en una situación comprometida de cara a continuar en el portfolio, ya que son los que mejor los conocen. Hay que decir también en cuanto a las relaciones y redes (mejora de la comunicación) entre los diferentes Project managers dentro de la organización, que tanto los Portfolio managers



como los procesos de gestión se verán beneficiados de éstas para por ejemplo hacer una buena distribución equilibrada (balanceo) de los recursos gracias a esta transmisión de buenas prácticas entre proyectos.

- Project/Programs Management Office

Como vimos en el capítulo anterior es aquella parte de la compañía que se va a encargar de la coordinación de los componentes del portfolio que entren en su dominio, entendiendo como dominio un área específica de la organización o una determinada rama de proyectos o programas (por ejemplo IT Projects). Las funciones de las que este organismo es responsable están listadas en la página 15 de este TFG. Además podemos encontrar las actividades más y mejor desarrolladas en los artículos del PMI dedicados a tal efecto: *Fundamentos para la Gestión de Proyectos (Guía del PMBOK®)* – Cuarta Edición, y en *The Standard for Program Management – Second Edition*.

A mayores de lo que ya expusimos sobre la PMO, podemos decir que este stakeholder puede ayudar a la compañía de cara a cambiar la cultura de la misma. Ya que por ejemplo la existencia de una PMO necesita de la existencia de un gobierno formal por encima de la misma, de tal manera que si antes no existía ahora se hace indispensable, aportando disciplina y entendimiento dentro de la empresa.

- Equipo de proyecto

Ya dentro de un proyecto particular, son los encargados de ejecutar las actividades que se han planificado para poder garantizar su continuidad y su éxito final. Debe de proporcionar también las métricas correspondientes del proyecto.

- Dirección de marketing

Esta área suele realizar procesos de benchmarking e investigación para conocer la posición relativa de la empresa con respecto al mercado y la competencia. Así se pueden tomar decisiones sobre qué componentes incluir en el portfolio o sobre qué precios y productos son los adecuados en nuestra compañía o también posibilita la identificación de distintas oportunidades de negocio, así como ventajas competitivas con respecto a tu competencia.



- Dirección de operaciones e ingeniería

Este stakeholder es responsable de las operaciones ligadas a los proyectos que se están ejecutando, tales como: manufactura, servicio al cliente o distribución logística. Se encargan también de facilitar los medios para los que, durante el ciclo de vida del proyecto, la producción esté garantizada y nunca se ponga en peligro.

- Dirección legal

La parte de la organización encargada de asegurar que el marco regulatorio sea satisfecho durante el desarrollo de los proyectos del portfolio. Este marco regulatorio hay que tener en cuenta que variará de manera sustancial dependiendo de si nos encontramos en una industria o en otra, en un país o en otro.

- Dirección de RR.HH

Parte involucrada que tiene la responsabilidad de mantener un balance entre los trabajadores de la compañía y la presión de la consecución de los objetivos de la propia empresa. Tienen también que elegir la forma de estructura organizacional que mejor conviene a la empresa (funcional, basada en proyectos, centralizada...).

- Jefes funcionales

Estos stakeholders garantizan que los recursos correspondientes lleguen a los componentes del portfolio según convenga. Es normal que estos jefes funcionales se ocupen de las actividades que se encuentran en curso, si es así, se responsabilizan de los recursos que dan apoyo a estas operaciones y por consiguiente tienen que garantizar que tales recursos se encuentren disponibles para los proyectos o programas en los que en ese momento se encuentre inmerso.

En ocasiones pueden aportar apoyo técnico y un papel docente a los trabajadores que se encuentran a su cargo, según sea necesario.

- Jefes financieros

Este grupo trata de ejecutar el análisis económico-financiero de los componentes, el control sobre los presupuestos del portfolio y aconsejan o asesoran al órgano de supervisión que corresponda. También aportan información que los Program y Project managers necesitan para poder realizar sus informes de estado.



- Clientes

Ya sean internos o externos, son el grupo que al final se beneficiará del éxito de la ejecución de cada uno de los componentes. Su satisfacción puede ser uno de los objetivos estratégicos que puede determinar el orden de ejecución (prioridad) de los componentes.

- Proveedores/Socios de la compañía

Estos dos grupos son dos stakeholders a tener en especial atención, ya que hacer que ellos se involucren en la gestión del portfolio, en la medida que convenga en cada caso, hace que su posible descontento quede mitigado. La sensación que estos dos grupos perciben si hacemos eso es que son una parte importante y que su opinión se tiene en cuenta.

- **Procesos de la gestión de portafolios (Portfolio Management Processes)**

Los equipos de gestión que tienen que desempeñar los procesos deben ser capaces de:

- Entender la totalidad del plan estratégico de la compañía.
- Consideración de los programas y proyectos de la organización que convengan así como otros componentes del portafolio.
- Los acuerdos como base para los procesos.

Además, han de cumplirse ciertas premisas:

- Desde la dirección de la compañía se contempla la teoría de gestión de portafolios.
- Es necesario que haya programas y proyectos en la empresa y se esté llevando una buena gestión sobre ellos, previo a la gestión de portafolios.
- Los empleados cuentan con las habilidades para la gestión del portafolio.
- La teoría ha sido expuesta a lo largo de toda la estructura de la compañía.

Cumplíndose estas condiciones, se asumen los grupos de procesos de gestión de portafolios, que son dos grupos relevantes: los relacionados con el alineamiento y los de monitoreo y control.

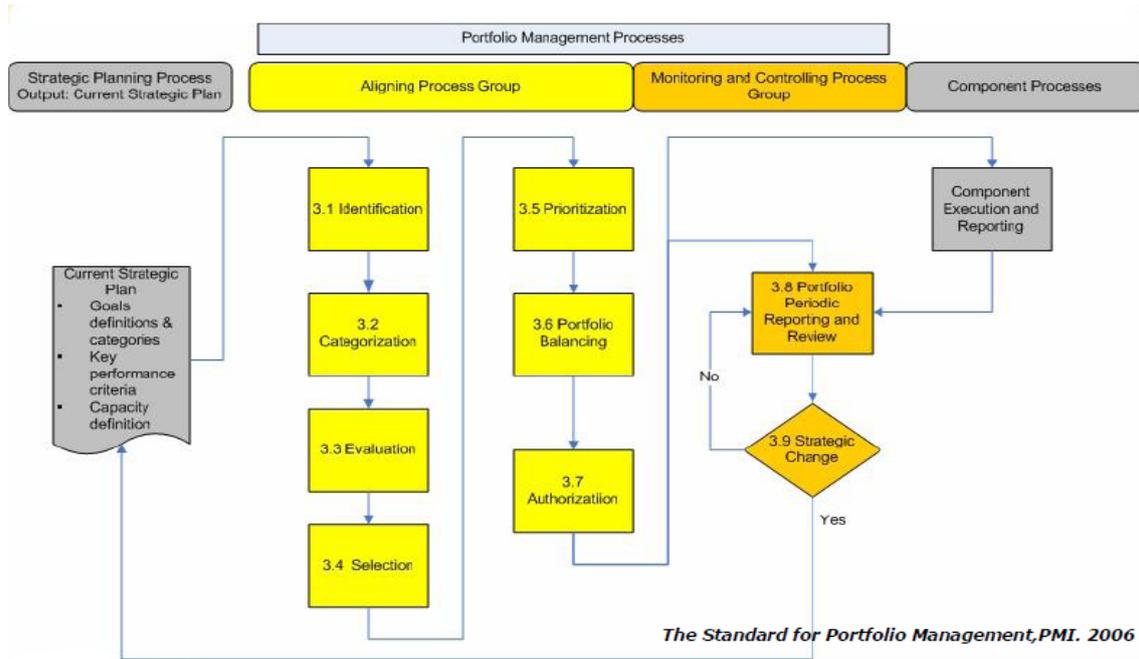


Figura 3.4 Procesos de la Gestión de Portfolios

A continuación se va a hacer un recorrido por los procesos del diagrama de flujo que tenemos arriba. En todos seguiremos la misma estructura que es:

- Definir en qué consiste el proceso
  - Lista de entradas
  - Técnicas para llevar a cabo el proceso
  - Lista de productos o salidas
- Grupos de procesos que tienen que ver con el alineamiento → Determina el cómo los componentes serán evaluados, seleccionados y en definitiva categorizados para su inclusión en el portffolio.
    - Identificación → Se basa en la creación de una lista actualizada de los componentes que se deberán gestionar en el portfolio.

Entradas	Técnicas	Productos o salidas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Plan estratégico</li> <li>Plantillas de componentes</li> <li>Inventario de todos los componentes existentes y propuestos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Documentación de todos los componentes inventariados</li> <li>Comparación de todos los componentes</li> <li>Juicio de expertos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lista de componentes que se calificaron</li> <li>Elementos clave de cada componente</li> <li>Lista de componentes rechazados</li> </ul>

Tabla 3.1 Proceso de identificación

- Categorización → La misión de este proceso es ubicar en categorías a los componentes que hemos identificado previamente. Se aplican una serie de filtros y criterios de decisión para seleccionar, evaluar, priorizar y equilibrar en definitiva el porfolio. Las tareas claves serán:
  - Establecer categorías basadas en el plan estratégico de la compañía
  - Comparar los componentes identificados por medio de los criterios establecidos
  - Ubicación de cada componente dentro de una categoría

Entradas	Técnicas	Productos o salidas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Lista de componentes que se calificaron</li> <li>Elementos clave de cada componente</li> <li>Categorías establecidas a partir del plan estratégico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Categorización de los componentes</li> <li>Juicio de expertos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lista de componentes categorizados</li> </ul>

Tabla 3.2 Proceso de categorización

- Evaluación → Se trata de reunir toda la información (cualitativa y/o cuantitativa) para la evaluación propiamente de cada componente y así facilitar el siguiente proceso (selección). Por poner algunos ejemplos, la información puede ser documental, gráficos, tablas, etc. Y las tareas claves en este caso serían:



- Evaluar los componentes con un modelo de calificación de criterios, pesos y puntuaciones.
- Graficar para la toma de decisiones
- Recomendaciones para el proceso de selección (proceso siguiente)

Entradas	Técnicas	Productos o salidas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de componentes categorizados</li> <li>• Elementos clave de cada componente</li> <li>• Plan estratégico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo de ponderación de criterios clave</li> <li>• Gráficos</li> <li>• Juicio de expertos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de componentes evaluados</li> <li>• Valores dados a cada componente</li> <li>• Gráficos</li> <li>• Recomendaciones del proceso de evaluación al de selección</li> </ul>

Tabla 3.3 Proceso de evaluación

- Selección → Se hará una lista de dimensiones no muy grandes con los componentes elegidos basada en las recomendaciones del proceso aguas arriba y los criterios de selección de la empresa. Para que sea más fácil el proceso siguiente (priorización) se incluirá el valor de cada componente. Las tareas claves serán en este caso:
  - Comparación de los componentes con los criterios de selección
  - Lista de componentes recomendados para la priorización

Entradas	Técnicas	Productos o salidas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de componentes evaluados</li> <li>• Valores dados a cada componente</li> <li>• Plan estratégico</li> <li>• Recursos de la organización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de la capacidad de RR.HH</li> <li>• Análisis de la capacidad financiera</li> <li>• Análisis de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de los componentes seleccionados</li> <li>• Recomendaciones para la priorización</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>Recomendaciones del proceso de evaluación al de selección</li> </ul>	<p>capacidad de los activos de la empresa</p>	
---	---	--

Tabla 3.4 Proceso de selección

- Priorización → Se trata de establecer una jerarquización o ranking de todos los componentes en el marco temporal que corresponda (Corto Plazo, Medio Plazo, Largo Plazo) y teniendo en cuenta la dicotomía riesgo vs retorno. Las tareas claves serían:
  - Visto bueno por parte de la organización de la clasificación de los componentes en sus categorías
  - Ranking de los componentes y su determinación de prioridad alta o menos alta dentro del portfolio en cuestión

Entradas	Técnicas	Productos o salidas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Lista de los componentes seleccionados</li> <li>Recomendaciones del proceso de evaluación al de selección</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ranquear los componentes (ponderaciones)</li> <li>Técnicas de calificación</li> <li>Juicio de expertos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lista de los componentes priorizados por categoría estratégica y con su correspondiente información (documentación de apoyo)</li> </ul>

Tabla 3.5 Proceso de priorización

- Equilibrio del portfolio → Básicamente tiene la finalidad de encontrar una mezcla de componentes en el portfolio para poder así la consecución de los objetivos estratégico de la compañía. Es así como conseguimos por otro lado llevar a cabo una buena asignación de recursos (financieros, materiales y humanos) siempre teniendo en cuenta la estrategia de la empresa, los retornos de las inversiones de los componentes siempre dentro del VaR (Value at Risk) que nos hayamos marcado. Las tareas más importantes serían:



- Revisión de la lista de elementos priorizados
- Aseguración de que el portfolio quede equilibrado apoyado con métricas para saber de su desempeño
- Nuevos elementos para su autorización posterior si fuera necesario
- Eliminar componentes en base al proceso de revisión

Entradas	Técnicas	Productos o salidas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de los componentes priorizados</li> <li>• Criterios de gestión del portfolio (métricas de desempeño)</li> <li>• Restricciones de capacidad</li> <li>• Recomendaciones para futuras reequilibraciones del portfolio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de coste-beneficio</li> <li>• Análisis de escenarios</li> <li>• Análisis de probabilidad</li> <li>• Análisis gráfico</li> <li>• Juicio de expertos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de componentes para ser aprobada</li> <li>• Portfolio aprobado con sus asignaciones pertinentes</li> </ul>

Tabla 3.6 Proceso de equilibrio del portfolio

- Autorización → La finalidad de este proceso es la de comunicar la asignación de los distintos recursos para cada uno de los componentes del portfolio equilibrado previamente. Las actividades principales son:
  - Comunicación a los stakeholders o partes interesadas de las decisiones tomadas, lo más importante sería que componentes están incluidos y cuales no en el portfolio.
  - Autorización de los componentes del portfolio, tanto los seleccionados como los que no.
  - Asignación y reasignación (cuando convenga) de recursos



- Comunicar cómo se va a evaluar el desempeño del portfolio para cada uno de los componentes implicados (métricas, productos entregables, etc.)

Entradas	Técnicas	Productos o salidas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de componentes para ser aprobada</li> <li>• Portfolio aprobado con sus asignaciones pertinentes de recursos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Documento de responsabilidades y papeles de cada uno de los participantes en el portfolio</li> <li>• Plan de comunicación del portfolio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expectativas o previsiones de desempeño</li> <li>• Presupuesto y previsiones de cada componente</li> <li>• Recursos (materiales y humanos) y previsiones de cada componente</li> <li>• Componentes excluidos</li> </ul>

Tabla 3.7 Proceso de autorización

- Grupos de procesos que tienen que ver con el monitoreo y control → Estos procesos tienen la misión de revisar los indicadores de alineamiento con los objetivos de la compañía y obtienen los beneficios del portfolio por cada uno de los componentes.
  - Reportes y revisión del portfolio → Se basa en la comprobación de los indicadores, realizar informes a partir de los mismos y llevar a cabo revisiones del portfolio si fuera necesario, siempre considerando el espacio temporal en el que los componentes se tienen que desarrollar. Las tareas más importantes son:
    - Revisar el orden de ejecución de cada componente. Implica contraponer los criterios de desempeño, riesgo, retorno, etc, con respecto a los criterios de control del portfolio.
    - Revisar el impacto en los recursos o capacidades si se diera algún cambio
    - Decidir si se mete algún componente más en el portfolio, si por el contrario no, y se continúa tal y como está.
    - Recomendar a la alta dirección sobre la gestión de algún componente problemático.
    - Propuestas de cambios futuros en el portfolio



Entradas	Técnicas	Productos o salidas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos de los componentes</li> <li>• Datos de recursos y capacidad</li> <li>• Datos sobre restricciones medioambientales</li> <li>• Restricciones estándares</li> <li>• Criterios de selección</li> <li>• Indicadores de desempeño</li> <li>• Lista de metas estratégicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedimiento de gestión de proyectos y portfolios</li> <li>• Plan de informes financieros</li> <li>• Herramientas de medida de desempeño</li> <li>• Gráficos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propuestas para la gestión de los componentes</li> <li>• Propuestas para reequilibrar el portfolio</li> <li>• Criterios de selección más depurados</li> <li>• Informe del logro de los objetivos estratégicos</li> </ul>

Tabla 3.8 Proceso de reportes y revisión del portfolio

- Cambios estratégicos → Se trata en definitiva de hacer corresponder los procesos de gestión del portfolio con los cambios estratégicos si los hubiere. De tal manera que eso pudiera llevar a cabo una redefinición en cuanto al orden de ejecución de los diferentes componentes del portfolio y su posterior reequilibración.

Entradas	Técnicas	Productos o salidas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de los informes del portfolio</li> <li>• Plan estratégico puesto al día</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Juicio de expertos</li> <li>• Criterios nuevos de ponderación</li> <li>• Gráficos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nuevos criterios para valorar</li> </ul>

Tabla 3.9 Proceso de cambios estratégicos

- **Resumen de la metodología de la gestión de portfolios**

Podemos decir de manera sintética que la gestión de portfolios es un conjunto de técnicas que ayudan a las empresas que se organizan de esa manera a obtener el valor máximo de la globalidad de los proyectos en los que está inmersa. Todo esto gracias a un proceso de evaluación, selección y priorización continuo y de una serie de indicadores de desempeño (KPIs) que tratan de medir el rendimiento del portfolio teniendo en cuenta siempre las metas estratégicas del negocio en sí.

La siguiente figura engloba de manera breve esta metodología:



Figura 3.5 Imagen de referencia sacada de Chamberlain, Makleff & Iovino. 2006

- **¿Se puede ir más allá de la gestión de portfolios?**

En las líneas y apartados anteriores tal y como dice el título del capítulo se está tratando de desarrollar el estándar bajo el cual se gestionan los portfolios según el PMI, pero es importante decir que se puede ir un paso más allá a la hora de ayudar a alinear los proyectos con la estrategia desde el punto de vista de la organización. Es el caso del modelo OPM3 (Organizational Project Management Maturity Model) también de PMI.

Este estándar no solo se aplica a portfolios sino que también se puede aplicar a programas e incluso a proyectos individuales. Es decir se aplica de manera global a la compañía pero lo que hace especial y distinto a este estándar de otros es básicamente que aporta un medio para que las organizaciones comprendan lo que implica la gestión organizacional de proyectos y se pueda medir su madurez por medio de una serie de buenas prácticas.

Dicho en otras palabras se trata de que nuestra organización se gestione por completo por proyectos y que si éstos, como están alineados con la estrategia, se realizan con éxito, nuestra organización inevitablemente estará abocada al éxito de la misma manera.



Figura 3.6 Comparativa de la gestión de proyectos, de programas, de portafolios y OPM3

Ahora bien, esta maduración de la que hablamos ¿qué es? Se trata de lograr desarrollar un estado de completo desarrollo en cuanto a proyectos se refiere por medio de métodos para hacer más fáciles las mediciones, para identificar las deficiencias y para descubrir vías para lograr mejoras.

De tal manera que a medida que incrementemos esa maduración podremos llevar a cabo una buena gestión organizacional de los proyectos en los que estemos o vayamos a estar inmersos.

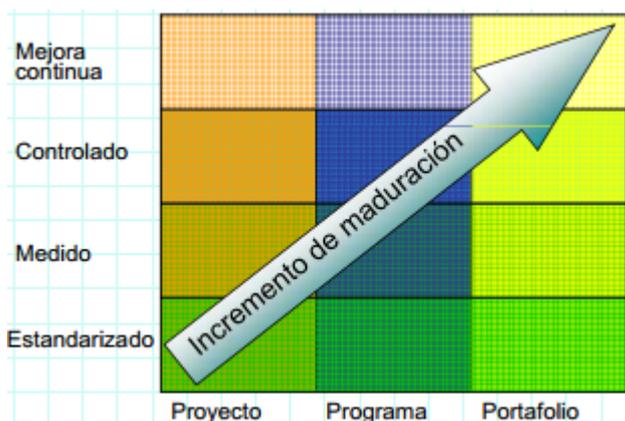


Figura 3.7 Relación maduración – PPP

OPM3 nos ayuda a lograr que nuestra estrategia organizacional se traduzca en proyectos exitosos. Además este estándar se puede aplicar en organizaciones de distintos:

- Sectores
- Tamaños
- Situaciones geográficas
- Actividad empresarial
- Situación jurídica

OPM3 está ideado para tratar de poner en consenso las capacidades en dirección de proyectos organizacional y sus resultados (conocimiento), los métodos para medir esas capacidades (medición) y el desarrollo de esas capacidades (mejora). Esas capacidades, si obtienen buenos resultados generan lo que se conocen como buenas prácticas y se convierte por lo tanto en un camino óptimo reconocido por la industria para lograr un objetivo.

Para que las capacidades puedan formar una buena práctica, es necesario que el resultado de la mismas genere un resultado (outcome) tangible o intangible que demuestre su aplicación. Por tanto hay que establecer unos KPI's para lograr medir según qué resultados (outcome).



Figura 3.8 Estructura de una buena práctica para lograr un objetivo según OPM3



Figura 3.9 Zoom de la figura 3.8 y explicación

Las capacidades de las que hablamos se pueden clasificar o categorizar en función de los grupos de procesos clásicos propuesto por el PMI (Iniciación, Planificación, Ejecución, Control y Cierre).

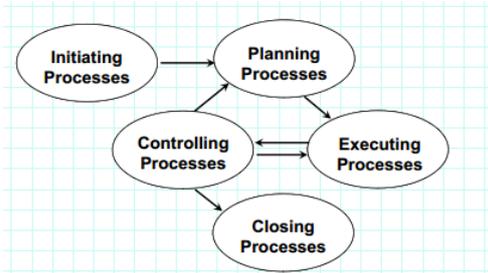


Figura 3.10 Grupos de proceso

Por otro lado el directorio de buenas prácticas se pueden clasificar en función de dos categorías. La primera es acorde a si se trata de un proyecto, un programa de proyectos o un portfolio de proyectos (PPP) y la segunda es en función de la maduración de los procesos ya sean estandarizados, medidos, controlados o mejorados continuamente (SMCI)

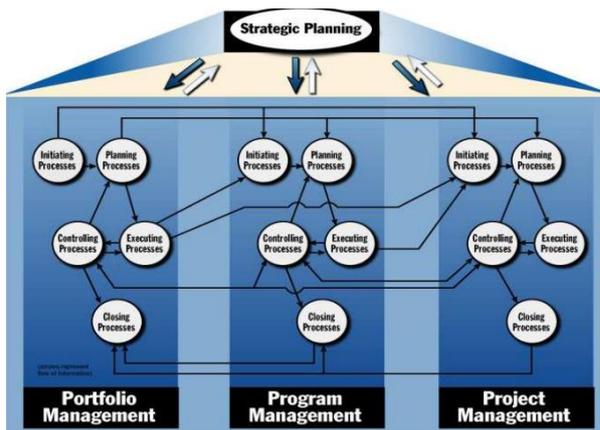
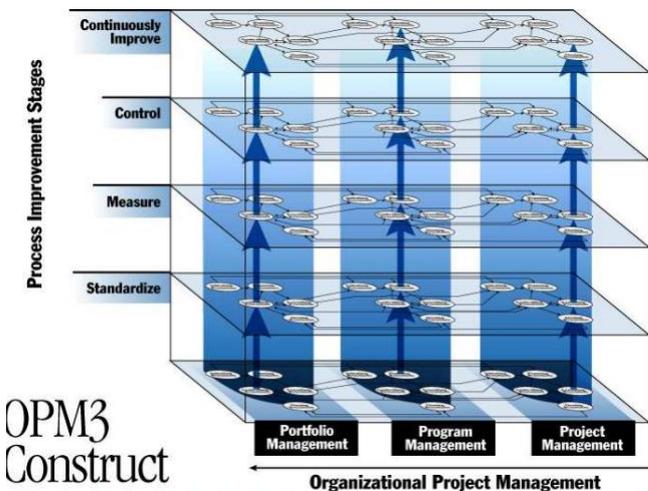


Figura 3.11 Clasificación de las buenas prácticas en función de PPP



OPM3  
Construct

Figura 3.12 Clasificación de las buenas prácticas en función de la maduración y PPP

Como resumen sobre este estándar podemos decir que es una magnífica manera para que una empresa que se quiera gestionar por proyectos pueda seleccionar aquellos proyectos que mejor se ajusten a su estrategia a medio/largo plazo o dicho de otra manera trasladar las estrategias en proyectos exitosos.



Figura 3.13 Ejemplo ilustrativo de lo que supone el estándar OPM3



# CAPÍTULO 4:

## METODOLOGÍA AHP - ¿En qué consiste?



## Metodología AHP - ¿En qué consiste?

### - Introducción

Se trata de una metodología que se puede encuadrar tal y como vimos en el segundo capítulo, dentro de los “métodos basados en pesos y ordenación (ranking)” y dentro de estos a su vez dentro de los “modelos de scoring o de jerarquía”.

Es importante destacar que se trata de un método compensatorio y que es uno de los más utilizados por las altas direcciones en materia de toma de decisiones.

### - Fundamento del método

Se trata de conseguir una puntuación de una expresión algebraica, que toma valores cuantitativos pero que se identifican con valores cualitativos, de tal manera que se trata de ver la importancia relativa entre criterios y por extensión entre las distintas alternativas de cada proyecto.

Podemos decir que se basa en la comparación de alternativas (en este caso proyectos) teniendo en cuenta diversos aspectos, tanto intangibles como tangibles. De tal manera que podemos decir que los principios en los que se basa son estos 3:

- Descomposición o desagregación
- Juicios de comparación
- Resumen de prioridades

Es necesario poner unas premisas de partida que resultan útiles antes de pasar a explicar el método propio en sí.

- Los criterios se descomponen de manera jerárquica
- No son necesarios datos cuantitativos sobre cada alternativa o proyecto bajo cada criterio, basta con valoraciones de carácter cualitativo que pueda emitir el decisor y que después, eso sí, tendrán una correlación de carácter cuantitativo.

### - Explicación del método

Se establece una jerarquización o una estructura en varios niveles de la siguiente manera por ejemplo:

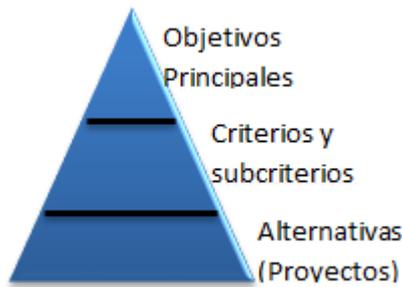


Figura 4.1 Jerarquía de AHP (1)

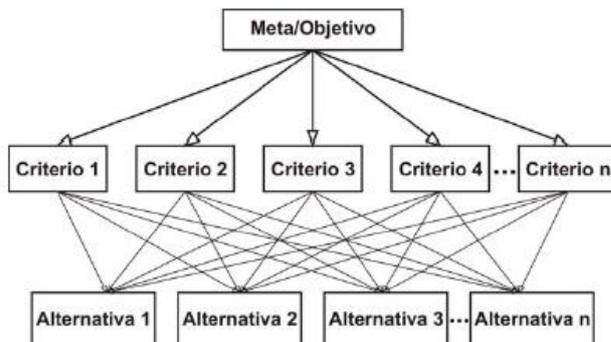


Figura 4.2 Jerarquía de AHP (2)

Gracias a esta estructura podemos ver los elementos o partes básicas del problema de tal manera que queden definidos notoriamente.

Objetivos principales	Nivel 3	Objetivos definidos en cada problema
Criterios y subcriterios	Nivel 2	Criterios que el decisor tiene que tener en cuenta
Alternativas (Proyectos)	Nivel 1	Alternativas concretos que entran en el proceso

Tabla 4.1 Niveles de la estructura AHP

Después de tener claro esto, se van a hacer comparaciones por parejas de los elementos correspondientes con respecto a los inmediatamente superiores en la estructura o jerarquía que hemos citado antes. Por ejemplo se compararían proyectos o alternativas respecto a cada criterio de decisión, con la finalidad de obtener pesos locales y así aplicarlos al nivel jerárquico que corresponda.

Obtendremos matrices recíprocas, cuyo vector propio asociado al mayor valor propio nos dará el vector de pesos que estamos buscando. Tanto para los criterios como para las alternativas sujetas a cada criterio.



Para poder establecer esta comparación y poder reflejar esos juicios cualitativos y transformarlos en cuantitativos, Saaty (1978) utiliza la siguiente escala entre 1 y 9, aunque para cada problema podemos establecer nuestra propia escala:

$b_{ij}$	i frente a j es
1	Igualmente importante
3	Ligeramente más importante
5	Notablemente más importante
7	Demostablemente más importante
9	Absolutamente más importante

Tabla 4.2 Escala para establecer las estimaciones

Pudiéndose utilizar valores intermedios para aquellas comparaciones que se queden a caballo entre dos.

El grueso del método podemos resumirlo en ocho estaciones bien diferenciadas:

- Establecer la estructura jerárquica del problema en sí
- Hacer juicios de valor entre parejas para conseguir preferencias
- Para el nivel 2 (criterios o subcriterios) el decisor compara los criterios teniendo en mente siempre el objetivo principal o más importante
- A partir de esa comparación obtenemos los pesos locales para cada criterio. Son los pesos del nivel 2
- A continuación se establecen las prioridades desde el nivel 2 hacia abajo o dicho de otra manera se busca la relación de cada alternativa con respecto al resto de alternativas para cada criterio. Esto consiste simplemente en sacar los vectores propios asociados al mayor valor propio de la matriz que corresponda, por ejemplo matriz 1 se recogerán las estimaciones de las diferentes alternativas para el criterio 1 y así sucesivamente con el resto (tantas matrices como criterios haya). Después todos los vectores propios se recogerán en una única matriz de agregación y habremos evaluado el nivel jerárquico 3.



- Después el siguiente paso es conseguir los pesos globales por medio de una suma ponderada entre los pesos locales (resultantes de la comparación entre criterios) y las prioridades de los niveles inferiores
- Finalmente se lleva a cabo una jerarquización de los proyectos según la valoración que hayan obtenido
- La alternativa que obtenga el mayor peso global será la elegida entre todas

A todo esto hay que añadir que las matrices que van resultando tienen que ser consistentes y esto es que las estimaciones en las comparaciones sean congruentes. Dicho de una manera más técnica, se tienen que dar relaciones de transitividad y proporcionalidad. La primera quiere decir que se tiene que respetar el orden entre los elementos, es decir si 'x' es mayor que 'z' y 'z' mayor que 'y', entonces 'x' por lógica es mayor que 'y'. La segunda quiere decir que las proporciones entre las comparaciones que se hagan (estimaciones), deben cumplirse con el menor error posible, por ejemplo si 'x' es 3 veces mayor que 'z' y 'z' es 2 veces mayor que 'y', por consiguiente 'x' será 6 veces mayor que 'y'.

Pero ahora bien todo esto ¿cómo lo podemos poner de manifiesto en el método AHP? Este método mide la inconsistencia de sus matrices por medio de la Proporción de Consistencia, que es lo que conocemos como la relación entre el Índice de Consistencia y el Índice Aleatorio. El primero de ellos es una medida de la inconsistencia de la matriz recíproca y el segundo es una medida de cuán consistente es una matriz de este tipo pero además aleatoria. Hay que añadir que la relación de la que hablamos no tiene que superar el 10% para que la matriz se considere consistente.

Para que esta cuestión quede lo más aclarada posible vamos a poner el siguiente ejemplo:

Ejemplo

Tenemos esta matriz con las siguientes comparaciones:

	Ambiental	Social	Económicos
Ambiental	1	1/2	1/4
Social	2	1	1/2
Económicos	4	2	1

Tabla 4.3 Ejemplo de matriz de comparaciones

Una vez tenemos nuestra matriz, es necesario sacar los vectores propios y para ello vamos a ver 4 aproximaciones (de la peor a la mejor o más ajustada):



- Aproximación 1: Se suman los elementos de cada fila y se normalizan dividiendo cada una de las sumas entre la suma de todas las filas.
- Aproximación 2: Se suman los elementos de cada columna y se hace el inverso de cada suma. La normalización se lleva a cabo dividiendo esos inversos por la suma de los inversos antes calculados.
- Aproximación 3: Se dividen los elementos de cada columna por la suma de la columna correspondiente, así normalizamos las columnas. A continuación se realiza la suma de los elementos de cada fila (ya normalizados) y se dividen por el número de elementos de cada fila (se hace la media) y se normalizan dividiendo cada uno de estos resultados por la suma de todas las filas (como en aproximaciones anteriores).
- Aproximación 4: Se multiplican los elementos de cada fila y se hace la raíz n-ésima (dependiendo del número de elementos por fila). La normalización se lleva a cabo dividiendo cada resultado por la suma de cada fila (como en aproximaciones anteriores).

Nosotros en nuestro ejemplo vamos a utilizar la aproximación 1 para obtener el vector propio aunque se podría utilizar cualquier otra

Sumamos por tanto los elementos de cada fila:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0.5 & 0.25 \\ 2 & 1 & 0.5 \\ 4 & 2 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1.75 \\ 3.5 \\ 7 \end{pmatrix}$$

La suma de los elementos es la siguiente:  $(1.75+3.5+7=12.25)$ . Una vez tenemos esto es necesario normalizar y para ello dividimos cada suma por la suma total de las filas, obteniendo el vector propio aproximado:

$$\begin{pmatrix} 1.75/12.25 \\ 3.5/12.25 \\ 7/12.25 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0.1428 \\ 0.2857 \\ 0.5714 \end{pmatrix}$$

Después de obtener el vector propio, gracias a una relación que nos proporciona Saaty, es posible conocer el autovalor de mayor valor asociado:

$$\delta_{max} = V * B$$

Ecuación 4.1 AHP – Ecuación de Saaty para conocer el autovalor

Donde:

$\delta_{max}$ : es el autovalor máximo de la matriz que estamos evaluando.



$V$ : vector propio de la matriz evaluada.

$B$ : es una matriz que se corresponde con la suma de los elementos de cada columna de la matriz que estamos estudiando.

Así nos quedará lo siguiente:

$$\delta_{max} = (7 \quad 3.5 \quad 1.75) * \begin{pmatrix} 0.1428 \\ 0.2857 \\ 0.5714 \end{pmatrix}$$

$$\delta_{max} = 3$$

Una vez tenemos el valor propio máximo calculamos el Índice de Consistencia de acuerdo a la siguiente ecuación, siendo  $n$  el tamaño de la matriz que estamos estudiando, en este caso sería 3:

$$CI = \frac{\delta_{max} - n}{n - 1} = \frac{3 - 3}{2} = 0$$

Ecuación 4.2 Índice de consistencia

Llegados a este punto solo nos faltaría conocer el Índice Aleatorio y así obtener la Relación de Consistencia. Saaty propone una tabla que muestra los Índices Aleatorios en función del tamaño de la matriz:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IA	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

Tabla 4.4 Tabla para el Índice Aleatorio

Para una matriz de tamaño  $m=3$  la Relación de Consistencia quedará:

$$RC = \frac{CI}{IA} = \frac{0}{0.58} = 0$$

Ecuación 4.3 Relación de consistencia

Obtenemos un RC por tanto de menos de 0.1, así que no sería necesario volver a establecer los juicios expresados en la matriz de comparaciones. De no haber sido así habría que reevaluar y volver a consultar a los expertos.

Una vez hecho el recorrido por los pasos o etapas que son necesarias para este método podemos saber cómo quedaría todo esto resumido en un diagrama de flujo:

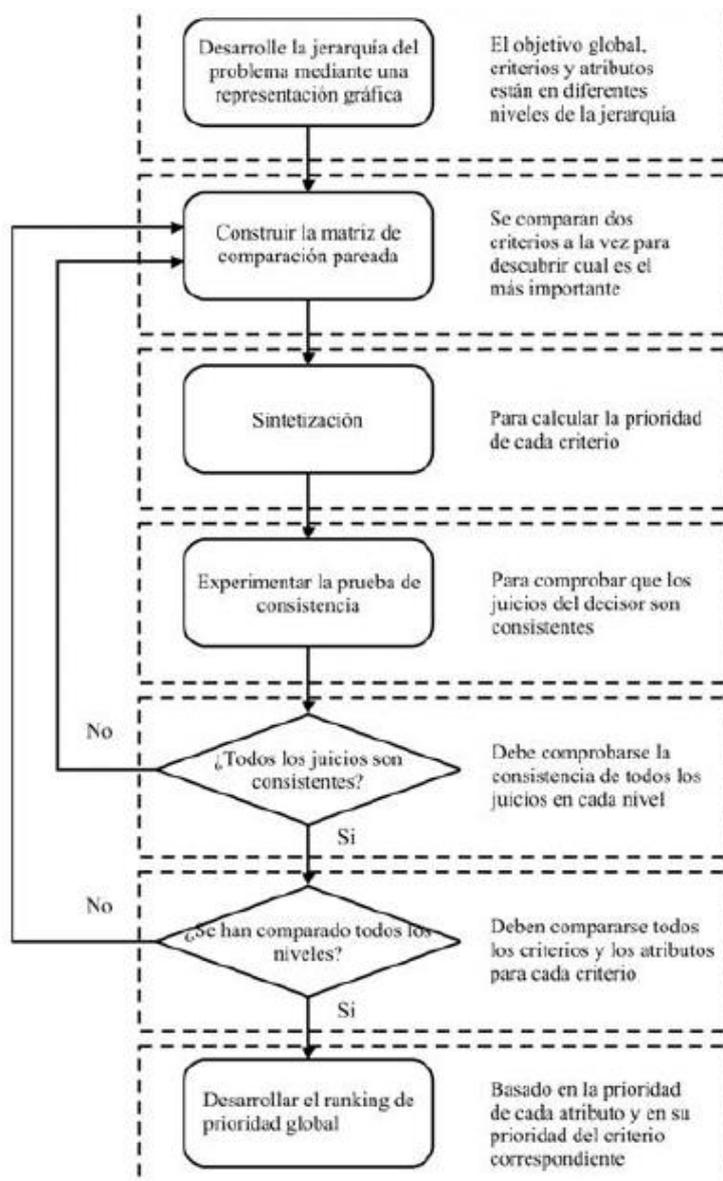


Figura 4.3 Diagrama de flujo de AHP sacada de W. Ho, P. K. Dey, and H. Higson, "Multiple criteria decision-making techniques in higher education," International Journal of Educational Management, vol. 20, no. 5, pp. 319-337, 2006.

Es necesario realizar una revisión de las ventajas y desventajas de este método para conocerlo por completo.

- Ventajas:
  - Teoría: la metodología AHP es de las pocas técnicas multicriterio que tiene una evidente e indiscutible teoría, podemos decir que es axiomática.



- Práctica: Esta técnica es una de las que mejor comportamiento práctico tiene.
- Unidad: El AHP da lugar a modelos fácilmente comprensibles, robustos y flexibles para diversas tipologías de problemas (por ejemplo selección de proyectos).
- Complejidad: AHP tiene capacidad para resolver problemas de cierta complejidad.
- Estructura jerárquica: Esta metodología muestra una tendencia humana a lo que se puede llamar como estratificación en diferentes niveles y a la agrupación de elementos parecidos en niveles similares.
- Medida: La técnica AHP aporta una medición para establecer prioridades
- Compensatoriedad: Esta herramienta considera las prioridades relativas de los elementos del sistema y da opción a seleccionar la alternativa que mejor convenga en virtud de los objetivos marcados.
- Juicio: El AHP resume diversas opiniones o juicios en un resultado representativo
- Repetición del proceso: El método AHP da lugar a que los actores implicados en la decisión afinen su definición del problema y mejoren su juicio haciéndole más preciso, mediante la repetición del proceso en sí.

Estas múltiples ventajas han hecho que esta metodología haya sido ampliamente utilizada, buena prueba de ello son artículos como los de Lockett et al. (1986), Liberatore (1987) y Schniederjans y Wilson (1991), que presentan esta técnica para la selección de proyectos en el sector industrial principalmente.

▪ Desventajas:

- El uso de una escala fundamental para emitir los juicios relativos para las comparaciones
- Procedimiento un tanto engorroso a la hora de evaluar la consistencia de las matrices

- Si se da el caso de que hay muchos subcriterios, criterios y alternativas como hay que ir realizando comparaciones dos a dos, puede llegar un punto en el que el decisor considere que está realizando una tarea un tanto tediosa.
- Que se introduzca una nueva alternativa hace variar las preferencias del decisor o que uno o varios juicios que a priori eran consistentes, ya no lo sean.
- Los criterios de decisión deber ser totalmente independientes, esto es que no tienen que depender de las actividades y/o resultados de otras alternativas.
- No permite considerar la problemática al completo, ya que no da lugar a que haya restricciones de ningún tipo

A modo de resumen y para que todo lo expuesto en las líneas superiores quede totalmente afianzado vamos a ver un ejemplo sencillo:

### Ejemplo

Se trata de una decisión que tiene que tomar una importante promotora, sobre 3 posibles proyectos de construcción hotelera.

Por tanto sabemos que tenemos 3 alternativas que pondremos con la siguiente notación  $P_i = \{p_1, p_2, p_3\}$  y además los valoraremos de acuerdo a tres criterios: coste de construcción, impacto ambiental que pudieran causar y tiempo de ejecución.

Con este enunciado la estructura jerárquica quedaría de la siguiente manera:

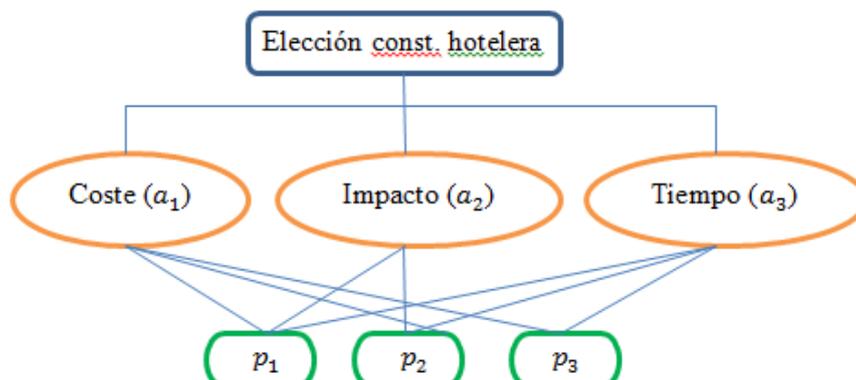


Figura 4.4 Estructura jerárquica para el ejemplo hotelero de AHP

Una vez tenemos clara cuál es la estructura de la problemática en sí, es necesario establecer las preferencias o juicios de valor ya sea por expertos o por el propio decisor, conocedor de la cuestión sobre la que se está dirimiendo.

En nuestro ejemplo, la comparación entre criterios o lo que es lo mismo, la obtención de los pesos locales quedaría de la siguiente manera:

Criterios \ Criterios	Coste ( $a_1$ )	Impacto ( $a_2$ )	Tiempo ( $a_3$ )	Pesos (*) locales ( $w$ )
Coste ( $a_1$ )	1	2	5	<b>0.58</b>
Impacto ( $a_2$ )	1/2	1	3	<b>0.30</b>
Tiempo ( $a_3$ )	1/5	1/3	1	<b>0.109</b>

Tabla 4.5 Matriz de comparaciones entre criterios para el ejemplo

(\*) El cálculo de los pesos locales o autovectores de las matrices se ha llevado a cabo mediante la aproximación 4, ya que es la más precisa y a nivel de cálculo es de las menos engorrosas.

De la tabla anterior, se puede ver que el coste es el 2 veces más importante que el impacto ambiental y 5 más que el tiempo. Además estos pesos locales nos ayudarán a calcular los pesos globales una vez tengamos las preferencias de los niveles inferiores que ahora pasaremos a calcular.

Los expertos o el centro decisor volverá a emitir sus juicios relativos pero esta vez para los niveles inferiores y así se calcularán los autovectores asociados al mayor valor propio (preferencias). Se realizarán comparaciones entre proyectos (alternativas) para cada uno de los tres criterios (coste, impacto y tiempo)

- Tabla para el tercer nivel de la estructura jerárquica (Criterio-Coste de construcción)

	$p_1$	$p_2$	$p_3$	Preferencias (*)
$p_1$	1	6	3	<b>0.66</b>
$p_2$	1/6	1	1/2	<b>0.11</b>
$p_3$	1/3	2	1	<b>0.222</b>

Tabla 4.6 Matriz de comparaciones del ejemplo de AHP Criterio-Coste

- Tabla para el tercer nivel de la estructura jerárquica (Criterio-Impacto ambiental)

	$p_1$	$p_2$	$p_3$	Preferencias (*)
$p_1$	1	1/9	1/5	0.066
$p_2$	9	1	2	0.6152
$p_3$	5	1/2	1	0.317

Tabla 4.7 Matriz de comparaciones del ejemplo de AHP Criterio-Impacto Ambiental

- Tabla para el tercer nivel de la estructura jerárquica (Criterio-Tiempo de ejecución)

	$p_1$	$p_2$	$p_3$	Preferencias (*)
$p_1$	1	1/2	1/4	0.1428
$p_2$	2	1	1/2	0.2857
$p_3$	4	2	1	0.5714

Tabla 4.8 Matriz de comparaciones del ejemplo de AHP Criterio-Tiempo de ejecución

(\*) El cálculo de los pesos locales o autovectores de las matrices se ha llevado a cabo mediante la aproximación 4, ya que es la más precisa y a nivel de cálculo es de las menos engorrosas.

Una vez hemos calculado los pesos locales y preferencias, vamos a ver si estas matrices que hemos construido son o no consistentes. Para ello utilizaremos las fórmulas de líneas arriba (Ecuación 4.2 y 4.3):

$$CI = \frac{\delta_{max} - n}{n - 1} \quad y \quad RC = \frac{CI}{IA}$$

- Consistencia de la matriz de pesos locales

Necesitamos obtener el autovalor máximo asociado al autovector antes calculado. De álgebra sabemos que siendo  $v$  un autovector de la matriz  $A$  se cumple que:

$$Av = \delta_{max} * v$$

Ecuación 4.4 AHP – Ecuación para obtener autovalor de mayor valor

De esta manera el cálculo de  $\delta_{max}$  se convierte en algo trivial ya que conocemos tanto la matriz  $A$  como su autovector asociado.

$A$  y  $v$  tienen los siguientes valores:



$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 5 \\ 1/2 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \text{ y } v = \begin{pmatrix} 0.58 \\ 0.30 \\ 0.109 \end{pmatrix}$$

De aquí ya podríamos sacar el valor de  $\delta_{max}$  de la siguiente manera:

Multiplicamos la primera fila de la matriz A por el autovector y obtenemos un valor que en este caso es 1.725. Formamos una ecuación cuya única incógnita es  $\delta_{max}$  y simplemente tendríamos que despejarla.

$$1.725 = \delta_{max} * 0.58$$

Y nos queda lo siguiente:

$$\delta_{max} = 3$$

Una vez tenemos el valor propio máximo calculamos el Índice de Consistencia:

$$CI = \frac{\delta_{max} - n}{n - 1} = \frac{3 - 3}{2} = 0$$

Llegados a este punto solo nos faltaría conocer el Índice Aleatorio y así obtener la Relación de Consistencia.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.A	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

Tabla 4.9 Tabla para el Índice Aleatorio del ejemplo de AHP

Para una matriz de tamaño m=3 la Relación de Consistencia quedará:

$$RC = \frac{CI}{IA} = \frac{0}{0.58} = 0$$

- Consistencia de la matriz de preferencias (Criterio-Coste)

Operamos de la misma manera que para la matriz de pesos locales, según la ecuación:

$$Av = \delta_{max} * v$$

A y v tienen los siguientes valores:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 6 & 3 \\ 1/6 & 1 & 1/2 \\ 1/3 & 2 & 1 \end{pmatrix} \text{ y } v = \begin{pmatrix} 0.66 \\ 0.11 \\ 0.222 \end{pmatrix}$$

Así llegamos a la siguiente ecuación:



$$1.986 = \delta_{max} * 0.66$$

Y nos queda lo siguiente:

$$\delta_{max} = 3$$

Una vez tenemos el valor propio máximo calculamos el Índice de Consistencia:

$$CI = \frac{\delta_{max} - n}{n - 1} = \frac{3 - 3}{2} = 0$$

Llegados a este punto solo nos faltaría conocer el Índice Aleatorio y así obtener la Relación de Consistencia.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.A	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

Tabla 4.10 Tabla para el Índice Aleatorio del ejemplo de AHP

Para una matriz de tamaño m=3 la Relación de Consistencia quedará:

$$RC = \frac{CI}{IA} = \frac{0}{0.58} = 0$$

- Consistencia de la matriz de preferencias (Criterio-Impacto)

Seguimos operando igual, según la ecuación:

$$Av = \delta_{max} * v$$

A y v ahora tienen los siguientes valores:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1/9 & 1/5 \\ 9 & 1 & 2 \\ 5 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \text{ y } v = \begin{pmatrix} 0.066 \\ 0.6152 \\ 0.317 \end{pmatrix}$$

Así llegamos a la siguiente ecuación:

$$0.1977 = \delta_{max} * 0.066$$

Y nos queda lo siguiente:

$$\delta_{max} = 3$$

Una vez tenemos el valor propio máximo calculamos el Índice de Consistencia:



$$CI = \frac{\delta_{max} - n}{n - 1} = \frac{3 - 3}{2} = 0$$

Llegados a este punto solo nos faltaría conocer el Índice Aleatorio y así obtener la Relación de Consistencia.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.A	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

Tabla 4.11 Tabla para el Índice Aleatorio del ejemplo de AHP

Para una matriz de tamaño m=3 la Relación de Consistencia quedará:

$$RC = \frac{CI}{IA} = \frac{0}{0.58} = 0$$

- Consistencia de la matriz de preferencias (Criterio-Tiempo)

Seguimos los mismos pasos para evaluar su consistencia, según la ecuación:

$$Av = \delta_{max} * v$$

A y v ahora tienen los siguientes valores:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 1/4 \\ 2 & 1 & 1/2 \\ 4 & 2 & 1 \end{pmatrix} \text{ y } v = \begin{pmatrix} 0.1428 \\ 0.2857 \\ 0.57142 \end{pmatrix}$$

Así llegamos a la siguiente ecuación:

$$0.4285 = \delta_{max} * 0.1428$$

Y nos queda lo siguiente:

$$\delta_{max} = 3$$

Una vez tenemos el valor propio máximo calculamos el Índice de Consistencia:

$$CI = \frac{\delta_{max} - n}{n - 1} = \frac{3 - 3}{2} = 0$$

Llegados a este punto solo nos faltaría conocer el Índice Aleatorio y así obtener la Relación de Consistencia.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.A	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

Tabla 4.12 Tabla para el Índice Aleatorio del ejemplo de AHP



Para una matriz de tamaño  $m=3$  la Relación de Consistencia quedará:

$$RC = \frac{CI}{IA} = \frac{0}{0.58} = 0$$

La conclusión del Análisis de Consistencia una vez evaluadas todas las matrices que se han conformado es que todas son consistentes ya que ninguna supera un  $RC = 0.1$ .

Una vez hecha esta comprobación podemos conformar la matriz de pesos globales para cada proyecto hotelero (alternativas) y así proceder a su ordenación.

Esta matriz recordemos que la conformarán las preferencias o dicho de otra manera los autovectores calculados para cada criterio. De tal manera que los pesos globales se calcularán mediante una suma ponderada de las preferencias con los pesos locales calculados en la primera matriz.

La matriz de pesos globales quedaría así:

	Coste ( $a_1$ )	Impacto ( $a_2$ )	Tiempo ( $a_3$ )	Pesos globales (W)
$p_1$	0.66	0.066	0.1428	<b>0.41</b>
$p_2$	0.11	0.6152	0.2857	<b>0.279</b>
$p_3$	0.222	0.317	0.5714	<b>0.286</b>

Tabla 4.13 Matriz de pesos globales para el ejemplo de AHP.

Como ejemplo, el peso global del proyecto hotelero ( $p_1$ ) sería:

$$0.41 = 0.66 \cdot 0.58 + 0.066 \cdot 0.30 + 0.1428 \cdot 0.109$$

CONCLUSIÓN: Con los resultados obtenidos es lógico pensar que el proyecto hotelero que se debería ejecutar fuera el número 1, le seguiría el número 3 y por último el número 2.

- Revisión bibliográfica de la metodología AHP (en materia de Selección de Proyectos)

Dentro de este capítulo es necesario hacer un recorrido por lo que se ha hecho en AHP y más concretamente dentro de esta metodología, en la materia de selección de proyectos de la que este TFG versa.

En términos generales podemos decir que esta técnica ha sido utilizada en casi todos los campos que tienen que ver con la MCDM (toma de decisiones multicriterio). Buena prueba de ello es la revisión que hace de esta metodología Vargas (1990) en su artículo y Kumar y Vaidya (2008) los cuales presentaron en un



cómputo de 150 artículos desde 1998 hasta 2008, que daban una visión de en qué ámbitos el AHP se había aplicado; algunos de ellos eran: ámbito social, el de la fabricación, política, ingeniería, educación industria, gobierno etc. Proporcionando soluciones en temas de selección y evaluación, de análisis de coste-beneficio, de asignación, de ranking, de predicción entre otro muchos.

Como hemos dicho uno de los temas en los que esta metodología ha tenido gran éxito es el de la gestión de proyectos, por ejemplo K. M. A. Al Harbi, (2001) y la razón de este éxito es que los managers de las compañías y los directores de proyectos entienden que es una técnica de fácil empleo, flexible para distintos tipos de problemas y de fácil comprensión. Otro ejemplo de AHP utilizado en el campo de la gestión de proyectos es el trabajo de Bertolini. M, Braglia M., and Carmignani G. (2006)

Dicho esto a continuación vamos a presentar un recorrido de los principales artículos que han llevado a cabo una selección y/o evaluación de proyectos usando la metodología AHP en distintos ámbitos.

Ámbito en el se usa AHP	Artículos
<b>Personal</b>	Byun D.H (2001), Tam M. C. Y. y Tummala M. R (2001), Schniederjans M. J. y Garvin T (1997)
<b>Social</b>	Ahire S.L (1995), Khalil (2002), Korpela J. (1996), Ngai E.W.T y Chan C. (2005), Weiwu W. (1994)
<b>Fabricación</b>	Jen. S (1995), Mohanty R. P y Deshmukh S. G (1998), Kleindorfer P. R (1990), Weck. M. Klocke F. Schell H. Renauver E. (1997), Akgunduz (2002), Wang G. y Huang H. (2005).
<b>Ingeniería</b>	Lai V.S. Trueblood R.P y Wong B.K (1999), Lai V.S. Wong B.K y Cheung W. (2002), Muralidhar K. Santhanam R. y Wilson R.L (1990), Malladi S. y Min K.J (2005)
<b>Educación</b>	Kim C.S. y Yoon Y. (1992), Bryson N. (1997), Forgionne G.A (2002)
<b>Industria</b>	Ngai E.W.T (2003), Garcia-Cascales M.S. y Lamata M.T. (2006), Fogliatto F.S. y Albin S.L. (2001), Tavana M. (2003), Ferrari P. (2003)
	Raju K.S y Pillai C.R.S (1999), Cheng



<b>Gobierno</b>	C.H, Yang K.L. y Hwang C.L (1999), Poh K.L (1999), Takamura Y. y Tone K (2003), Li Q. y Sherali H.D (2003), Caliskan N. (2006)
<b>Logística</b>	Korpela J. Tuominen M. y Valoaho M (1998), Ceha R. y Ohta H (1994)
<b>Medioambiente</b>	Kurttila M. Pesonen M. Kangas J. y Kajanus M (2000), Masozera M.K. Alavalapati J. R.R. Jacobson S.K. y Shrestha R.K (2006)
<b>Defensa</b>	Cheng C.H (1997), Crary M (2002)
<b>Medicina</b>	Rossetti M.D (2001), Sloane E.B. Liberatore M.J. Nydick R.L. Luo W. Chung Q.B (2003)

Tabla 4.14 Recopilación de distintos ámbitos en los que ha sido utilizado AHP y algunos de sus artículos

Con esta revisión unida a las líneas superiores en las que podemos encontrar el fundamento del método AHP, damos por finalizado este capítulo. En los capítulos posteriores (los cuales guardan relación con lo visto aquí) se encuentra el contenido más puramente práctico de este TFG.



# CAPÍTULO 5:

## Implementación en Excel (1) – Programación Monobjetivo + AHP (Cartera de 10 proyectos)



## Implementación en Excel – AHP + Programación Monobjetivo

### - Introducción

En este capítulo y el siguiente se va a tratar de explicar las implementaciones o los modelos que se han desarrollado en el software informático Excel.

Se trata de la parte más práctica del TFG y con la cual conseguimos aunar en este TFG la parte más pura de investigación con una sección eminentemente práctica.

En el modelo que hemos implementado, se ha intentado ir más lejos en la metodología AHP ya que como hemos visto en los capítulos anteriores, todas las técnicas tienen sus ventajas y sus limitaciones.

En el caso del AHP a pesar de ser una de las más completas, también tiene desventajas. Como hemos dicho en la Introducción del TFG, AHP no nos permite tener en cuenta las posibles restricciones operativas que cualquier empresa presenta.

Es por eso que se llegó a la conclusión de que en vez de realizar una implementación puramente basada en la metodología central de este TFG (AHP) y debido a que había desarrollado un trabajo de investigación conociendo la gran mayoría de las técnicas utilizadas para la selección y evaluación de carteras de proyectos, se podrían integrar dos de estas técnicas para alcanzar una implementación mucho más completa y robusta.

La metodología AHP es una buena metodología para todos los aspectos estratégicos que una empresa quiera tener en cuenta pero a la hora de tratar las restricciones operativas que un problema de selección de proyectos dentro de una cartera puede presentar, este método no dice nada al respecto.

Las técnicas de programación matemática (Programación Monobjetivo) albergan en su modelo la posibilidad de maximizar una función objetivo respetando unas restricciones que en nuestro caso serán todas las limitaciones operativas que tengamos en nuestro supuesto “COMESAD”

### - Implementación y supuesto a resolver

Una vez hemos llegado a la conclusión de cuál va a ser nuestro modelo para realizar la implementación, es interesante presentar a qué problema nos hemos enfrentado.

Se trata un grupo empresarial del sector alimenticio "COMESAD" que se encuentra en expansión, está tratando de configurar su cartera de proyectos a medio plazo. Se encuentra localizada por toda la geografía española.

Todos los proyectos candidatos son ampliaciones de las líneas de negocio del grupo empresarial (Bebidas, Alimentación Infantil, Alimentación Preparada, Alimentación Animal, Chocolate, Agua, Cereales, Helados). En total el departamento de selección de proyectos ha presentado 10 proyectos, los cuales han sido debidamente analizados según 11 criterios distintos (Ingresos, Costes Técnicos, Montaje/Taller, I+D, Marketing, Costes Generales, Calidad, Localización, Impacto Ambiental, Formación, Empleo).

Nuestra tarea consiste en conformar la cartera definitiva de proyectos mediante el uso de dos técnicas. Una de ellas será un modelo de programación matemática (Programación Monobjetivo) y la otra será una metodología de medida de beneficio basada en pesos y ordenación (AHP - MÉTODO ANALÍTICO JERÁRQUICO).

La manera de proceder será realizando un primer filtrado de los 10 primeros proyectos mediante la Programación Monobjetivo para reducirlos a 5, y a partir de ahí aplicar AHP para evaluar, jerarquizar y seleccionar la cartera definitiva de proyectos.

#### Esquema explicativo



Figura 5.1 Esquema que se ha llevado a cabo en la implementación



Pero no nos quedaremos ahí ya que actuando de acuerdo a la figura anterior podrían surgir varias preguntas como: ¿Y por qué primero programación matemática y después AHP? ¿Qué pasaría si primero fuera AHP y después la programación monobjetivo?

Por tanto trataremos de resolver estas preguntas aplicando AHP y después la programación monobjetivo de tal manera que primero veremos qué ocurre si el filtro lo ponen las restricciones operativas y después qué es lo que sucede si el filtro lo ponen los criterios estratégicos de AHP.

#### - Datos de la compañía

Se va a organizar a los proyectos candidatos según los 11 criterios que pensamos más nos van a ayudar para seleccionar de la cartera.

Vamos a explicar cada uno de ellos para saber que miden cada uno de ellos y no haya lugar a confusiones:

- Ingresos: Medidos en €, dan una idea de los ingresos que supondría la ejecución con éxito de ese proyecto
- Costes Técnicos: Medidos en €, dan una aproximación de los costes técnicos (dentro de la partida de costes generales) que supondría ese proyecto.
- Montaje/Taller: Medido en horas, son las horas necesarias de mano de obra de taller para ese proyecto
- I+D: Medido en horas, es el tiempo necesario de mano de obra del departamento de I+D para ese proyecto
- Marketing: medido en €, es el dinero de inversión en marketing que acarrearía la ampliación de esa nueva línea
- Costes generales: Medidos en €, es la partida correspondiente a lo que costaría ejecutar ese proyecto en su totalidad (Dentro de esta partida estarían también los costes técnicos)
- Calidad: Medido de 0 - 100, donde 0 sería una calidad nefasta y 100 óptima

- Localización: Medido en kilómetros, entendiéndose por este criterio como la distancia al núcleo urbano más cercano mayor de 100000 habitantes
- Impacto Ambiental: Medido de 0 - 100, donde 0 sería para aquel proyecto que no produce impacto ambiental de ningún tipo y 100 correspondería a aquel que tiene un impacto ambiental extremo
- Formación: Medido en €, se corresponde con la inversión en formación de trabajadores que supondría ese proyecto, entendiéndose que cuanto mejor estén formados los trabajadores, en mejor situación se encontrará la empresa
- Empleo: Medido en puestos de trabajo que se crearían para ese proyecto en cuestión

Proyecto	Ingresos (I)	Costes Técnicos (I)	Montaje/Taller (h)	Invst. y Desarrollo (h)	Marketing (I)	
Bebidas	1	50000	12050	1020	500	1200
Cereales	2	33000	6523	726	275	975
Alim. Infan	3	12000	1125	390	110	550
Agua	4	71000	23260	2407	450	1450
Chocolate	5	45500	17520	1300	305	760
Alim. Prep	6	18250	8200	550	190	610
Bebidas	7	21000	7500	630	210	630
Helados	8	31750	18000	990	215	790
Alim. Anim	9	9500	990	260	56	450
Chocolate	10	47125	13000	1100	187	755

Costes generales (I)	Calidad (0-100)	Localización (km)	Imp. Ambiental (0-100)	Formación (I)	Empleo (Nº m)
21250	75	120	20	600	7
8250	73	50	10	310	2
2750	65	31	10	250	2
31200	89	210	70	550	5
20101	53	23	50	175	1
9053	65	25	25	100	1
12220	69	35	30	150	4
25400	80	65	60	310	6
4302	55	20	15	100	3
15060	87	20	55	360	1

Tabla 5.1 Datos de la cartera de proyectos inicial de la que partimos

Es necesario decir que no todos los criterios serán utilizados para las dos técnicas sino que algunos de ellos serán utilizados para la programación monobjetivo (los eminentemente operativos) y otros para el AHP (los eminentemente estratégicos) y otros serán utilizados en las dos técnicas (como el criterio Ingresos).

Lógicamente la mayoría de los criterios que presenten restricciones operativas, además de las directrices impuestas por la dirección o por alguno de los departamentos implicados serán utilizados en la programación matemática monobjetivo.



### - Programación Monobjetivo

Como ya hemos dicho en primer lugar filtraremos los proyectos dando prioridad a las restricciones operativas es decir, la primera técnica será la Programación Monobjetivo. Trataremos de maximizar una función objetivo cuyos coeficientes serán los valores del criterio Ingresos y sus variables cada uno de los 10 proyectos candidatos. Todo esto sujeto a una serie de restricciones.

En este caso los datos de los criterios que serán utilizados serán:

- Ingresos: para la función objetivo
- Costes técnicos: debido a una limitación, supondrá una restricción
- Montaje/Taller: debido a una limitación, supondrá otra restricción
- I+D: debido a una limitación, dará lugar a otra restricción
- Marketing: debido a una limitación, supondrá una restricción

Es necesario decir que el criterio Costes Generales también tiene una limitación pero no será utilizado en este apartado sino que será utilizado al final de la metodología AHP de una manera especial que posteriormente explicaremos.

También utilizaré un ratio creado por mí “Ratio Coste-Ingreso” que supone saber qué % de los ingresos ocupan los costes técnicos. Esto nos da una idea atendiendo solo al punto de vista económico de lo “caro” que es el proyecto.

Aparte de las 4 restricciones que tenemos de cada uno de los criterios, vamos a tener otras restricciones de otros tipos pero que son importantes de la misma manera. A continuación vemos la totalidad de las restricciones que hemos incluido:

- Restricción 1: Tiene que ver con que tenemos un límite en cuanto a los costes técnicos
- Restricción 2: Tiene que ver con que hay un límite también en cuanto a horas de taller se refiere
- Restricción 3: Tiene que ver con el límite que nos aporta el departamento de I+D
- Restricción 4: Tiene que ver con un tope en cuanto a la inversión de marketing que podemos hacer
- Restricción 5: Ponemos como límite que al final de la simulación obtengamos como máximo 5 proyectos de los 10 primeros

candidatos (en nuestro caso han sido 4 los que han superado el filtro)

- Restricción 6: La dirección nos impone que de las líneas de negocio de Alimentación Preparada, Animal e Infantil no pase el filtro ningún proyecto asociado, ya que la organización está tratando de abandonar estas líneas
- Restricción 7: La alta dirección también nos impone que de los 5 proyectos con un ratio “coste - ingreso” mayor de 30, solo pasen el filtro como mucho dos de ellos.
- Restricción 8: Esta restricción no se ha escrito como tal, pero es VITAL incluirla cuando metemos las ecuaciones en el Solver de Excel. Se trata de definir a las variables de decisión como binarias, es decir, que devuelvan un 1 si el proyecto es escogido y un 0 si no.

Como he escrito en este último guión, la herramienta que nos va a ayudar resolver este primer filtrado es el Solver de Excel que recordemos es necesario añadirlo de los complementos adicionales del software.

Una vez tenemos los 4 proyectos resultantes pasamos a ver el apartado de AHP

#### - AHP

Del primer filtrado hemos obtenido 4 proyectos que mediante AHP tenemos que ser capaces de evaluarlos, jerarquizarlos y seleccionarlos para elaborar la cartera de proyectos definitiva de COMESAD. Se establecerán los pesos de los criterios en consenso con los directivos de la compañía dependiendo de las preferencias estratégicas de la misma. La estructura del problema sería algo parecido a esto:

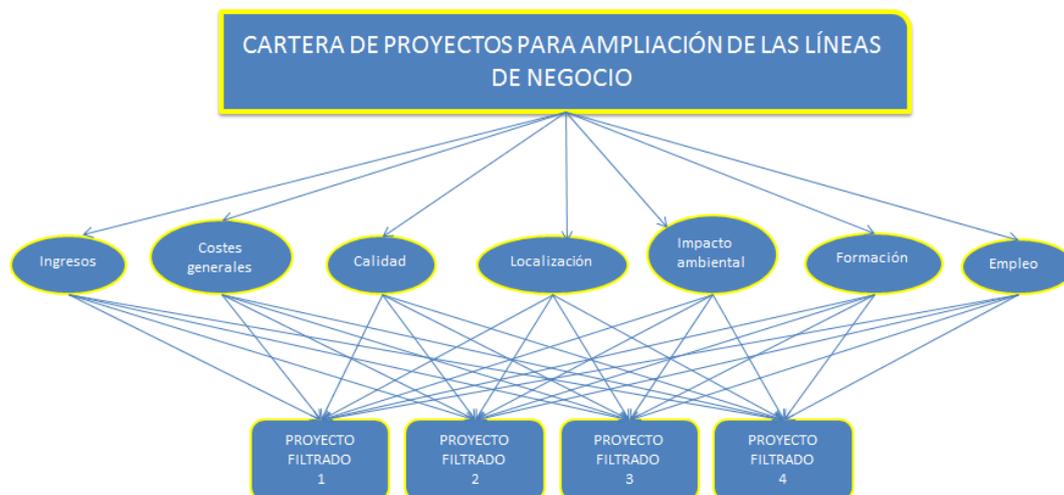


Figura 5.2 Estructura jerárquica del problema de la empresa COMESAD



Los criterios ahora implicados por tanto son los siguientes y además indicaremos su peso y si se trata de un criterio creciente o decreciente:

- Ingresos: Creciente y peso 7
- Costes Generales: Decreciente y peso 8
- Calidad: Creciente y peso 3
- Localización: Decreciente y peso 5
- Impacto Ambiental. Decreciente y peso 4
- Formación: Creciente y peso 6
- Empleo: Creciente y peso 9

El porqué de dar unos pesos a los criterios es porque la metodología lo exige como vimos en el Capítulo 4. de este TFG y la razón de definir si se trata de un criterio creciente o decreciente es debido a que así podemos transformar todos en crecientes o decrecientes y así trabajar de manera más uniforme y clara. En nuestro caso transformaremos todos en criterios crecientes realizando el inverso de aquellos valores que se correspondan con un criterio decreciente.

Otro problema que podemos observar a la hora de empezar a trabajar con la matriz Proyectos-Criterios es la desigualdad en cuanto a ordenes de unidades se refiere por ejemplo Ingresos está en decenas de mil y Empleo en unidades. La manera con la que hemos solucionado esto ha sido normalizando la matriz por medio del método de “% del total” que básicamente lo que hace es dividir cada valor de la matriz por la suma de la columna correspondiente en formato de %.

Una vez hecho esto estamos en condiciones de empezar a trabajar siguiendo con los pasos vistos en el capítulo anterior (Capítulo 4: Metodología AHP).

Tanto para la obtención de los pesos locales (comparación entre criterios) así como para la obtención de las preferencias (comparación entre proyectos candidatos) se ha realizado a posteriori un análisis de consistencia para comprobar que las estimaciones eran correctas siguiendo las premisas de transitividad y proporcionalidad.

Es necesario decir que para el cálculo de los autovectores de las matrices se ha utilizado la cuarta aproximación, de la cual hablamos en el capítulo anterior, por ser la mejor aproximación de las 4 que se vieron.

En cuanto al criterio de Costes Generales, hemos dicho que es un poco especial debido a que le hemos incluido en AHP pese a tener una restricción. La razón de

esta decisión es que además de ser uno de los criterios más importantes (Peso = 8), va a ser “el criterio de parada”.

Con esto queremos decir que una vez hemos hecho la jerarquización de los 4 proyectos, es necesario conocer hasta qué proyecto podemos incluir en la cartera de proyectos final. Esto lo hemos conseguido con una limitación que la dirección nos ha dado para la partida de costes generales (presupuesto), de tal manera que incluiremos proyectos en el orden que la jerarquización nos marque hasta que el presupuesto se agote.

Una vez llegamos al final de primera parte de la implementación en cuanto a cálculos se refiere es necesario sacar conclusiones.

		Ingresos (€)	Costes Técnicos (€)	Montaje/Taller (h)	Invst. y Desarrollo (h)	
PROYECTO 1	Bebidas	50000	12050	1020	500	
PROYECTO 2	Cereales	33000	6523	726	275	
PROYECTO 10	Chocolate	47125	13000	1100	187	
PESOS		0,156				
Marketing (€)	Costes generales (€)	Calidad (0-100)	Localización (km)	Imp. Ambiental (0-100)	Formación (€)	Empleo (puestos de trabajo)
1200	21250	75	120	20	600	7
975	8250	73	50	10	310	2
755	15060	87	20	55	360	1
0,244646294		0,01903	0,05838535	0,035729774	0,1093817	0,3768321

Tabla 5.2 Selección de proyectos al final de la primera parte de la implementación (Programación Monobjetivo + AHP)

Vemos que los proyectos seleccionados al final han sido 3 y hay que recordar que los criterios con mayores pesos eran “ingresos”, “costes generales” y “empleo” con 7, 8 y 9 respectivamente.

Lo primero que podemos decir es que los 3 proyectos, de ejecutarse, producirían bastantes ingresos y supondrían unos costes generales medios (no son de los más altos de los 10 proyectos candidatos).

Además de los cuatro proyectos que superaron el filtro de las restricciones operativas se conservan los dos que más empleo generarían.

Es por eso que podemos decir que los 3 últimos proyectos cumplen con los requerimientos que se propusieron.

Por otro lado al utilizarse la programación monobjetivo como filtro, los proyectos que superan ese filtro van a tener valores relativamente no muy altos en los criterios relacionados con esa metodología como “horas de montaje/taller” o “horas de I+D”. Es lógico debido a las restricciones impuestas.

Como conclusión final de esta primera parte se puede decir que utilizando la programación monobjetivo y después el Proceso Analítico Jerárquico obtenemos una selección de proyectos de la cartera inicial bastante equilibrada tanto en la parte de operaciones como en la parte estratégica de la compañía “COMESAD”.

#### - AHP + Programación Monobjetivo

Como hemos dicho en apartados anteriores de este mismo capítulo, es lógico pensar llegados a este punto qué pasaría si diéramos prioridad a los aspectos estratégicos, es decir el primer filtrado se hiciera con AHP y después se tuvieran en cuenta las restricciones operativas.

El proceso ahora sería el siguiente:

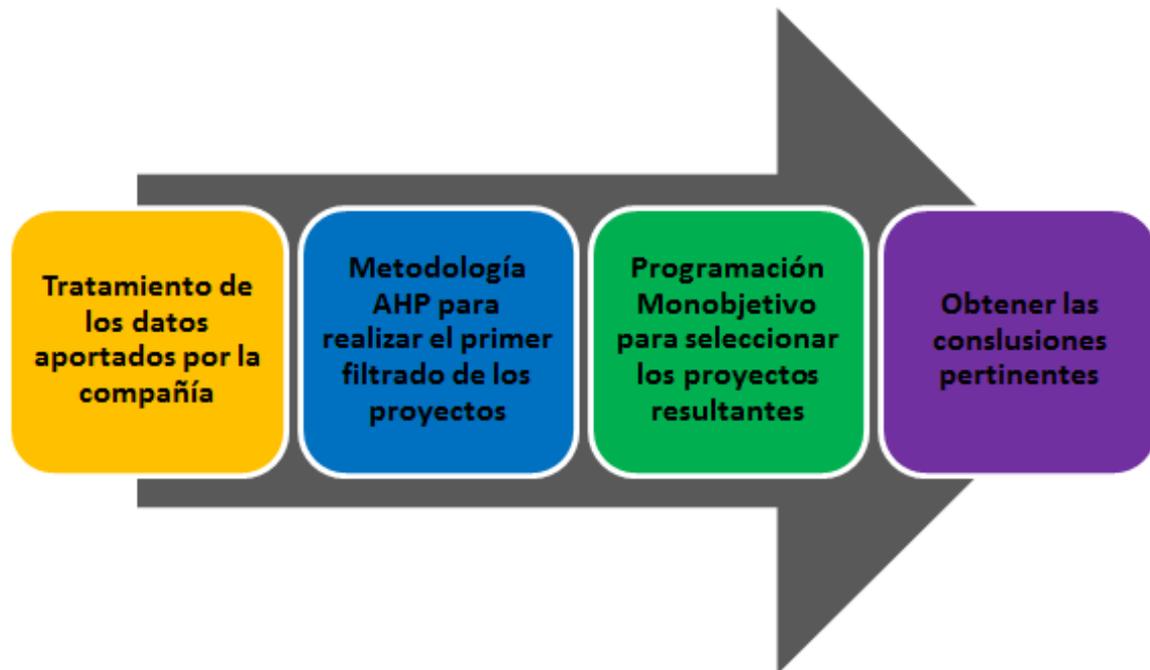


Figura 5.3 Proceso de la segunda parte de la implementación (AHP + Programación Monobjetivo)

La manera de proceder sería la misma con la salvedad de intercambiar las posiciones entre la metodología AHP y la Programación Monobjetivo.

Partiremos de los mismos 10 proyectos que teníamos inicialmente en cartera con los mismos datos y criterios.

Realizamos el Proceso Analítico Jerárquico con los 10 proyectos y los mismos pesos que en la primera parte de la implementación y al final obtenemos una ordenación de los mismos. Pero no olvidemos que vamos a utilizar este método para filtrar y no para ordenar los proyectos y esto lo vamos a hacer mediante lo que líneas arriba hemos denominado “criterio de parada”.

En este caso hemos puesto un “criterio de parada” más permisivo para que pasaran el filtro un total de 6 proyectos, los 6 mejores proyectos según la técnica AHP.

O dicho de otra manera son los 6 proyectos que resultarían de realizar este problema si solo hubiéramos utilizado la metodología AHP

A continuación vamos a ver qué resultados nos arroja y qué podemos decir sobre ellos.

		Ingresos (€)	Costes Técnicos (€)	Montaje/Taller (h)	Invst. y Desarrollo (h)
PROYECTO 1	Bebidas	50000	12050	1020	500
PROYECTO 4	Agua	71000	23260	2407	450
PROYECTO 3	Alim.Infan	12000	1125	390	110
PROYECTO 8	Helados	31750	18000	990	215
PROYECTO 9	Alim.Anim	9500	990	260	56
PROYECTO 7	Bebidas	21000	7500	630	210

Marketing (€)	Costes generales (€)	Calidad (0-100)	Localización (km)	Imp. Ambiental (0-100)	Formación (€)	Empleo (puestos trabajo)
1200	21250	75	120	20	600	7
1450	31200	89	210	70	550	5
550	2750	65	31	10	250	2
790	25400	80	65	60	310	6
450	4302	55	20	15	100	3
630	12220	69	35	30	150	4

Tabla 5.3 Resultado de utilizar solo AHP sobre la cartera de proyectos inicial

Podemos ver como de los proyectos que resultaron de la primera parte de la implementación (Programación Monobjetivo + AHP) solo el proyecto 1 se encuentra entre estos 6 proyectos que han pasado el filtro AHP. Además en la misma posición, la primera. Esto puede ser un indicio de que nos encontramos ante un buen proyecto.

De esta tabla es fácil notar como los proyectos seleccionados son proyectos en su mayoría con grandes ingresos y que producirían bastantes puestos de trabajo tal y como los pesos podían hacer presagiar.

Pero por el contrario también son proyectos con elevadas cantidades en cuanto a costes técnicos, horas de taller, horas de I+D e inversión en marketing.

Esto es lógico debido a que solo utilizando AHP solo hemos atendido a los criterios puramente estratégicos y no a los operacionales.

Vamos por tanto a seguir con nuestra segunda parte de la implementación y ver qué sucede cuando a estos 6 proyectos resultantes les sometamos a la Programación Monobjetivo

		Ingresos	Costes Técnicos	Montaje/Taller	Invst. y Desarrollo	Marketing
PROYECTO 1	Bebidas	50000	12050	1020	500	1200
PROYECTO 4	Agua	71000	23260	2407	450	1450
PROYECTO 8	Helados	31750	18000	990	215	790

		Costes generales	Calidad	Localización	Imp. Ambiental	Formación	Empleo
PROYECTO 1	Bebidas	21250	75	120	20	600	7
PROYECTO 4	Agua	31200	89	210	70	550	5
PROYECTO 8	Helados	25400	80	65	60	310	6

Tabla 5.4 Selección de proyectos al final de la segunda parte de la implementación (AHP + Programación Monobjetivo)

Vemos como solo han quedado 3 proyectos. El proyecto 1 ha pasado la Programación Monobjetivo y todo hace pensar que como predecíamos líneas arriba nos encontramos ante un buen proyecto en la mayoría de los criterios que hemos estudiado, un proyecto equilibrado.

Hay que notar una apreciación que si no la mencionamos pueda dar lugar a posibles confusiones. Las restricciones que se aplicaron en la primera parte de la implementación (Programación Monobjetivo + AHP) son exactamente las mismas que para la segunda parte de la implementación para que al establecer comparaciones fuera lo más parejo posible. Pero hay que distinguir que para la primera parte había 10 proyectos y para la segunda 6, esto hace que las restricciones operativas para la segunda parte de implementación fueran más relajadas que para la primera solo por el hecho de tener que evaluar menos cantidad de proyectos.

Esto lo podemos notar en que los proyectos que pasan por la Programación Monobjetivo en esta última parte de la implementación tienen valores



significativamente más altos por lo general que los proyectos de la primera parte de la implementación.

Vemos también como ya no hay ningún proyecto de las líneas de negocio Alimentación Infantil y Alimentación Animal ya que dentro de los 6 proyectos que nos había filtrado AHP, se encontraban 2 pero lógicamente al pasar por la Programación Monobjetivo y tener que cumplir con la restricción que les atañía, no han sido seleccionados.

Aparte de esto nos encontramos con proyectos con buen índice de ingresos y de empleo ya que al realizar el filtrado con AHP, les hemos dado prioridad.

### - Conclusiones

Llegados a este punto en nuestro supuesto “COMESAD” y habiendo implementado:

- Programación Monobjetivo + AHP
- AHP únicamente
- AHP + Programación Monobjetivo

Estamos en condiciones de decir que para nuestro supuesto es mejor utilizar la integración de las dos técnicas que solo AHP, debido a que por las características y especificaciones de “COMESAD” hay restricciones operativas que no podemos abordar utilizando solo AHP.

Ahora bien ¿en qué orden es mejor integrar estas dos técnicas? Pues bien no hay una respuesta fija ya que dependerá de a qué se le quiere dar más relevancia o importancia, si a los criterios operativos o a los meramente estratégicos.

Bien es cierto que por la cómo las metodologías operan y los resultados que ofrecen es más lógico pensar que para cumplir con las restricciones operativas se utilice la Programación Monobjetivo ya que en su modelo se incluyen restricciones. Así como es más lógico pensar a su vez que para establecer un ranking o un orden entre los proyectos filtrados se utilice la metodología AHP.

Pero como digo y hemos visto en nuestro supuesto “COMESAD”, las dos maneras de proceder han arrojado resultados válidos y posibles.

En ambos casos hemos logrado dar con 3 proyectos que cumplían con lo que la dirección de la empresa nos había pedido.



Universidad de Valladolid

“Desarrollo de un modelo para la selección estratégica de proyectos  
basado en el  
Proceso Analítico Jerárquico (AHP)”



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



# CAPÍTULO 6:

## Implementación en Excel (2) – Programación Monobjetivo + AHP (Cartera de 25 proyectos)



## Implementación en Excel – AHP + Programación Monobjetivo

### - Introducción

Ya vimos en el capítulo anterior qué era lo que sucedía al cambiar de orden las dos metodologías que estamos empleando para seleccionar proyectos de una cartera.

Lo hicimos con una cartera inicial de 10 proyectos y no fueron más porque al utilizar AHP en la segunda parte de la implementación como filtro, si hubiéramos puesto una cartera más amplia AHP se hubiera vuelto inestable a la hora de elaborar los juicios comparativos tal y como dice Saaty en 1983.

Es por eso que en esta segunda implementación se va a abordar un ejemplo con mayor cantidad de proyectos y por tanto más real. Por la razón del párrafo anterior en cuanto a la inestabilidad de AHP con grandes volúmenes de datos al utilizarlo como filtro, vamos a utilizar el procedimiento de “Programación Monobjetivo + AHP” dando prioridad a las restricciones operacionales de la compañía.

No solo se ha implementado por la razón de abordar un ejemplo más real sino que hay otras motivaciones que han dado lugar a la elaboración de esta implementación partiendo de 25 proyectos en la cartera inicial.

Algunas de estas motivaciones son por ejemplo la posibilidad de realizar 2 estudios de sensibilidad con los pesos en AHP y ver qué consecuencias tiene. Realizar estudios de sensibilidad con los pesos es algo relevante tal y que arroja a priori bastantes conclusiones.

Además al final de la implementación se ha intentado llegar un paso más lejos y aportar más realismo al supuesto poniendo un escalón más en la jerarquía de AHP de tal manera que en la parte final veremos qué sucede si en vez de tener criterios solo, tenemos criterios y subcriterios.

Con todo esto veremos si somos capaces de cumplir con las especificaciones del supuesto.

### - Implementación y supuesto a resolver

Una vez hemos llegado al punto de ver cuál ha sido la motivación y qué aspectos queremos analizar con esta segunda implementación podemos pasar a hablar de la implementación en sí y del supuesto

Se nos ha contratado de nuevo debido a que el mismo grupo empresarial del sector alimenticio "COMESAD" que recordemos se encuentra en expansión, está tratando de configurar su cartera de proyectos a medio plazo.



Todos los proyectos candidatos (25) son ampliaciones de las líneas de negocio del grupo empresarial (Bebidas, Lácteos, Alimentación Infantil, Alimentación Preparada, Alimentación Animal, Chocolate, Agua, Cereales, Helados). En total el departamento de selección de proyectos ha presentado 25 proyectos, los cuales han sido debidamente analizados según 11 criterios distintos (Ingresos, Costes Técnicos, Montaje/Taller, I+D, Marketing, Costes Generales, Calidad, Localización, Impacto Ambiental, Formación, Empleo)

La tarea principal que debemos desarrollar con nuestro modelo o implementación es conformar la cartera definitiva de proyectos mediante la integración de dos técnicas, como hemos anticipado antes será primero la Programación Monobjetivo y después el Proceso Analítico Jerárquico.

La manera de proceder será como en la primera parte de la implementación del capítulo anterior realizando un primer filtrado de los 25 primeros proyectos mediante la Programación Monobjetivo para reducirlos a 10, y a partir de ahí aplicar AHP para evaluar, jerarquizar y seleccionar la cartera definitiva de proyectos.

Recordemos el porqué de utilizar estas dos técnicas. Y es que integrando ambas metodologías podemos llegar a donde la otra no llega y viceversa. En definidas cuentas realizar un análisis mucho más completo y pormenorizado.

#### - Datos de la compañía

Los criterios de los 25 proyectos van a ser los mismos que en el capítulo anterior. Aun así vamos recordarlos porque es una parte importante el saber qué implica cada uno de ellos y así que no haya lugar a confusiones.

- Ingresos: Medidos en €, dan una idea de los ingresos que supondría la ejecución con éxito de ese proyecto
- Costes Técnicos: Medidos en €, dan una aproximación de los costes técnicos (dentro de la partida de costes generales) que supondría ese proyecto.
- Montaje/Taller: Medido en horas, son las horas necesarias de mano de obra de taller para ese proyecto
- I+D: Medido en horas, es el tiempo necesario de mano de obra del departamento de I+D para ese proyecto
- Marketing: medido en €, es el dinero de inversión en marketing que acarrearía la ampliación de esa nueva línea



- Costes generales: Medidos en €, es la partida correspondiente a lo que costaría ejecutar ese proyecto en su totalidad (Dentro de esta partida estarían también los costes técnicos)
- Calidad: Medido de 0-100, donde 0 sería una calidad nefasta y 100 óptima
- Localización: Medido en kilómetros, entendiéndose por este criterio como la distancia al núcleo urbano más cercano mayor de 100000 habitantes
- Impacto Ambiental: Medido de 0-100, donde 0 sería para aquel proyecto que no produce impacto ambiental de ningún tipo y 100 correspondería a aquel que tiene un impacto ambiental extremo
- Formación: Medido en €, se corresponde con la inversión en formación de trabajadores que supondría ese proyecto, entendiéndose que cuanto mejor estén formados los trabajadores, en mejor situación se encontrará la empresa
- Empleo: Medido en puestos de trabajo que se crearían para ese proyecto en cuestión

#### - Programación Monobjetivo

El procedimiento va a ser el mismo que para la cartera de 10 proyectos del capítulo anterior.

Los datos de los criterios que serán utilizados serán:

- Ingresos: para la función objetivo
- Costes técnicos: debido a una limitación, formará una restricción
- Montaje/Taller: debido a una limitación, formará una restricción
- I+D: debido a una limitación, formará una restricción
- Marketing: debido a una limitación, formará una restricción

Como en el capítulo anterior el criterio Costes Generales también tiene una limitación pero no será utilizado en este apartado sino que como vimos ejercerá de “criterio de parada” en la metodología AHP.



El “Ratio Coste-Ingreso” que recordemos supone saber qué % de los ingresos ocupan los costes técnicos también en esta implementación estará presente.

Además de las 4 restricciones que tenemos de cada uno de los criterios ya marcadas por cada uno de los departamentos implicados, vamos a tener otras restricciones de otros tipos pero que son importantes de la misma manera. Algunas de las restricciones serán iguales que las del capítulo anterior y otras serán nuevas para tener un supuesto mucho más completo y aportar mayor realismo.

A continuación vemos la totalidad de las restricciones que hemos incluido:

- Restricción 1: Tiene que ver con que tenemos un límite en cuanto a los costes técnicos
- Tiene que ver con que hay un límite también en cuanto a horas de taller se refiere
- Tiene que ver con el límite que nos aporta el departamento de I+D
- Tiene que ver con un tope en cuanto a la inversión de marketing que podemos hacer
- Ponemos como límite que al final de la simulación obtengamos como máximo 10 proyectos de los 25 primeros candidatos
- De la totalidad de proyectos de las líneas de negocio de Alimentación Infantil, Alimentación Preparada y Alimentación Animal solo 2 van a poder pasar el filtro debido a que “COMESAD” está tratando de abandonar progresivamente estas líneas de negocio
- De la línea de negocio de Bebidas solo pueden pasar el filtro un total de 2, debido al alto ratio coste-ingreso que acarrearán
- Por decisión explícita de las líneas de negocio implicadas, solo se podrá incluir el proyecto 8, si previamente se han incluido los proyectos 20 y 23
- De la línea de negocio de Lácteos, es necesario que pasen el filtro los 3 proyectos candidatos que se han presentado debido a que por estrategia de la compañía, COMESAD quiere desarrollarse en este sector en un medio plazo
- Esta restricción no se ha escrito como tal, pero es VITAL incluirla cuando metemos las ecuaciones en el Solver de Excel. Se trata de

definir a las variables de decisión como binarias, es decir, que devuelvan un 1 si el proyecto es escogido y un 0 si no.

Al igual que en el capítulo anterior la herramienta que nos va a ayudar resolver este primer filtrado es el Solver de Excel que recordemos es necesario añadirlo de los complementos adicionales del software.

Una vez tenemos los 10 proyectos resultantes pasamos a ver el apartado de AHP

#### - AHP

Recordemos que AHP nos va a ayudar a evaluar, jerarquizar y seleccionar los proyectos filtrados para elaborar la cartera de proyectos definitiva de COMESAD y que ésta esté lo más alineada posible con su estrategia a medio/largo plazo. Se establecerán los pesos de los criterios en consenso con los directivos de la compañía dependiendo de las preferencias estratégicas de la misma.

La estructura del problema sería algo parecido a esto:

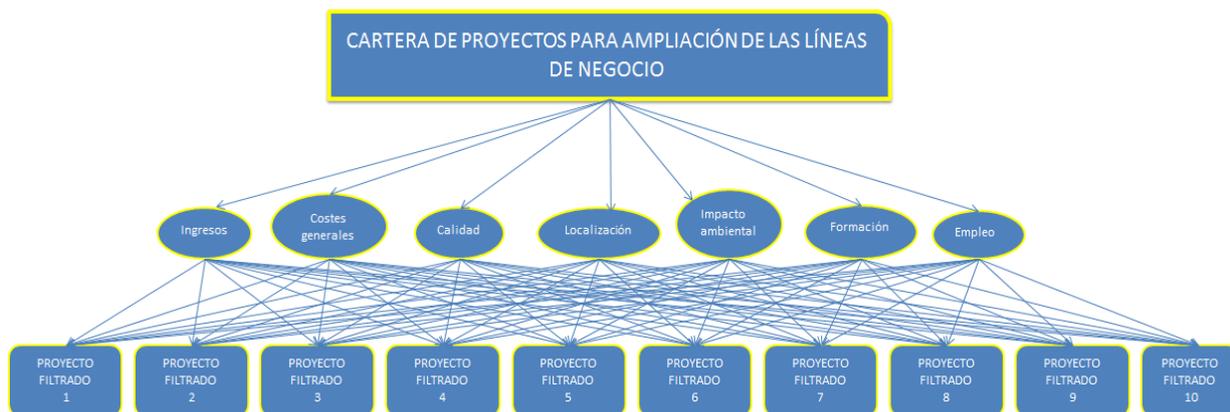


Figura 6.1 Estructura jerárquica del problema de la empresa COMESAD

Los criterios implicados y los pesos serán los mismos que para la cartera de 10 proyectos del capítulo anterior. Además indicaremos su peso y si se trata de un criterio creciente o decreciente:

- Ingresos: Creciente y peso 7
- Costes Generales: Decreciente y peso 8
- Calidad: Creciente y peso 3
- Localización: Decreciente y peso 5



- Impacto Ambiental. Decreciente y peso 4
- Formación: Creciente y peso 6
- Empleo: Creciente y peso 9

Será necesario también transformar los criterios todos en crecientes e igualar en lo posible los órdenes de magnitud de los datos de los proyectos implicados. Recordemos que esto nos aportará una mayor facilidad en el cálculo matricial del Proceso Analítico Jerárquico. Para no ser repetitivo si se tuviera alguna duda en cuanto al procedimiento para la transformación de los criterios en crecientes y la normalización de la matriz, remito a mirar a la página 112 de este TFG.

Una vez hecho esto estamos en condiciones de empezar a trabajar siguiendo con los pasos vistos en el capítulo 4 de explicación de la metodología en cuestión.

Para cada matriz también se ha realizado un análisis de consistencia para comprobar que las estimaciones eran correctas siguiendo las premisas de transitividad y proporcionalidad.

La aproximación utilizada para el cálculo de los autovectores ha sido la cuarta al igual que en el capítulo anterior por la razón de que es la que mejor se ajusta.

En cuanto al criterio de Costes Generales, hemos dicho que va a ser “el criterio de parada”. Importante recordar que gracias a ello se puede saber hasta qué proyecto podemos incluir en la cartera de proyectos final. Esto lo hemos conseguido con una limitación que la dirección nos ha dado para la partida de costes generales (presupuesto), de tal manera que incluiremos proyectos en el orden que la jerarquización nos marque hasta que el presupuesto se agote.

Una vez llegamos al final de nuestra implementación con 25 proyectos iniciales y utilizando la integración de “Programación Monobjetivo + AHP” estamos en condiciones de sacar las conclusiones pertinentes y ver si hemos cumplido con lo que la empresa “COMESAD” nos pedía.

#### - Conclusiones

Para ello vamos a presentar la cartera final de proyectos obtenida para el grupo COMESAD:

		Ingresos	Costes Técnicos	Montaje/Taller	Invst. y Desarrollo	Marketing
PROYECTO 15	Bebidas	61700	18950	1408	623	1325
PROYECTO 13	Agua	49000	9075	1105	510	1100
PROYECTO 24	Cereales	24530	1425	500	175	643
PROYECTO 20	Lácteos	8500	300	265	35	400
PROYECTO 12	Lácteos	52500	10100	930	457	1180
PROYECTO 23	Lácteos	38100	1850	511	224	799

		Costes generales	Calidad	Localización	Imp. Ambiental	Formación	Empleo
PROYECTO 15	Bebidas	29700	95	43	75	700	8
PROYECTO 13	Agua	23217	93	140	40	620	9
PROYECTO 24	Cereales	12310	74	52	53	300	8
PROYECTO 20	Lácteos	3760	70	58	9	100	3
PROYECTO 12	Lácteos	19950	85	42	45	615	6
PROYECTO 23	Lácteos	9620	68	100	60	325	7

Tabla 6.1 Cartera final de proyectos después de la implementación para la empresa COMESAD con 25 proyectos en la cartera inicial

Algunas de las conclusiones que se podrían obtener son:

- CONCLUSIÓN 1: Se han elegido proyectos con buenos ingresos (Proyecto 15, 12, 13) tal y como se debía conseguir (Peso = 7 en AHP)
- CONCLUSIÓN 2: Con proyectos que supondrían una buena generación de empleo (criterio que recordemos era el que mayor peso tenía en el Proceso Analítico Jerárquico)
- CONCLUSIÓN 3: Se cuenta con la totalidad de los proyectos de la línea de negocio de los Lácteos y no han sido seleccionados ninguno de los de las líneas de Alimentación Animal, Alimentación Infantil y Alimentación Preparada (tal y como dictaba la dirección de la empresa)

CONCLUSIÓN FINAL: En definitiva podemos decir que gracias a la integración de estas dos técnicas podemos abordar mucho mejor la problemática existente (Conflicto entre la vertiente operacional de la empresa y la estrategia de la misma).

Si solo hubiéramos utilizado AHP, no hubiéramos podido incluir restricciones operativas de ningún tipo ni las directrices que la dirección de “COMESAD” ha impuesto en algunos casos, haciendo mucho más pobre la implementación.

- **Análisis de sensibilidad 1 y 2**

Como hemos dicho no solo nos vamos a quedar en una mera ampliación de cartera de 10 a 25 proyectos, sino que se van a realizar entre otra cosas estudios o análisis de sensibilidad con los pesos al llegar a la parte de AHP dentro de la integración.

Dentro de la misma hoja de Excel se han desarrollado dos pestañas habilitadas e implementadas para ver qué sucede cuando cambiamos los pesos, como muestra de ello hemos puesto como ejemplo dos análisis de sensibilidad (1 y 2) y podemos extraer conclusiones de si nuestro modelo funciona al cambiar los pesos.

Para un mejor estudio y ver qué conclusiones podemos sacar se va a tratar de poner en paralelo los pesos en los dos estudios de sensibilidad realizados con los proyectos resultantes y obtenidos.

Proyecto	Ingresos (€)	Costes generales	Calidad (0-100)	Localización (k)	Imp. Ambiental	Formación	Empleo (Nº nuev	
Bebidas	1	50000	21250	75	120	20	600	7
Cereales	2	33000	8250	73	50	10	310	2
Agua	4	71000	31200	89	210	70	550	5
Lácteos	12	52500	19950	85	42	45	615	6
Agua	13	49000	23217	93	140	40	620	9
Bebidas	15	61700	29700	95	43	75	700	8
Lácteos	20	8500	3760	70	58	9	100	3
Alim.Anim	21	55050	26800	81	90	37	590	5
Lácteos	23	38100	9620	68	100	60	325	7
Cereales	24	24530	12310	74	52	53	300	8
Tipo		Creciente	Decreciente	Creciente	Decreciente	Decreciente	Creciente	Creciente
Pesos		1	9	3	5	7	8	4

Tabla 6.2 Matriz con los proyectos y pesos para realizar el primer estudio de sensibilidad

En el análisis de sensibilidad 1 los pesos más relevantes fueron “Costes generales”, “Formación” e “Impacto Ambiental”. Mientras que los menos relevantes fueron “Ingresos”, “Calidad” y “Empleo”

Y la cartera que ha dado lugar esa distribución de pesos ha sido la siguiente:

	Ingresos	Costes	Técnicos	Montaje/Taller	Invst. y Desarrollo	Marketing
PROYECTO 20	Lácteos	8500	300	265	35	400
PROYECTO 2	Cereales	33000	6523	726	275	975
PROYECTO 15	Bebidas	61700	18950	1408	623	1325
PROYECTO 13	Agua	49000	9075	1105	510	1100
PROYECTO 1	Bebidas	50000	12050	1020	500	1200
PROYECTO 24	Cereales	24530	1425	500	175	643
	PESOS	0,0129				

		Costes generales	Calidad	Localización	Imp. Ambiental	Formación	Empleo
PROYECTO 20	Lácteos	3760	70	58	9	100	3
PROYECTO 2	Cereales	8250	73	50	10	310	2
PROYECTO 15	Bebidas	29700	95	43	75	700	8
PROYECTO 13	Agua	23217	93	140	40	620	9
PROYECTO 1	Bebidas	21250	75	120	20	600	7
PROYECTO 24	Cereales	12310	74	52	53	300	8
		0,365708342	0,0306	0,0773272	0,197139935	0,260317	0,3768

Tabla 6.3 Selección final de proyectos una vez llevado a cabo el primer estudio de sensibilidad

Vemos cómo los dos primeros proyectos son proyectos claramente menores que el resto de los seleccionados pero debido a que el criterio de mayor peso ha sido el de “Costes generales”, ha dado lugar a que sean los dos mejores proyectos aquellos con menores costes generales.

Se ve también como en el criterio de “Impacto Ambiental” los dos primeros proyectos (PROYECTO 20 y 2) son proyectos con buenas calificaciones ambientales tal y como el peso del criterio hacía presagiar.

Además estos dos proyectos no van a generar mucho empleo si lo comparamos con otros proyectos de la cartera inicial debido al peso bajo que tenía ese criterio en este estudio de sensibilidad.

En cuanto al análisis de sensibilidad 2 se han puesto los siguientes pesos a los criterios de AHP.

	Proyecto	Ingresos (€)	Costes generales	Calidad (0-100)	Localización (k)	Imp. Ambiental	Formación	Empleo (Nº nuev
Bebidas	1	50000	21250	75	120	20	600	7
Cereales	2	33000	8250	73	50	10	310	2
Agua	4	71000	31200	89	210	70	550	5
Lácteos	12	52500	19950	85	42	45	615	6
Agua	13	49000	23217	93	140	40	620	9
Bebidas	15	61700	29700	95	43	75	700	8
Lácteos	20	8500	3760	70	58	9	100	3
Alim.Anim	21	55050	26800	81	90	37	590	5
Lácteos	23	38100	9620	68	100	60	325	7
Cereales	24	24530	12310	74	52	53	300	8
	Tipo	Creciente	Decreciente	Creciente	Decreciente	Decreciente	Creciente	Creciente
	Pesos	7	1	9	1	5	3	4

Tabla 6.4 Matriz con los proyectos y pesos para realizar el segundo estudio de sensibilidad

Los pesos con mayor puntuación han sido “Calidad”, “Ingresos” e “Impacto ambiental”. Y los que menos “Costes generales”, “Localización” y “Formación”

Veamos qué proyectos se verían seleccionados de la cartera inicial con los pesos establecidos como dictan las dos figuras anteriores.

		Ingresos	Costes Técnicos	Montaje/Taller	Invst. y Desarrollo	Marketing
PROYECTO 15	Bebidas	61700	18950	1408	623	1325
PROYECTO 13	Agua	49000	9075	1105	510	1100
PROYECTO 4	Agua	71000	23260	2407	450	1450
PESOS		0,2469				

		Costes generales	Calidad	Localización	Imp. Ambiental	Formación	Empleo (
PROYECTO 15	Bebidas	29700	95	43	75	700	8
PROYECTO 13	Agua	23217	93	140	40	620	9
PROYECTO 4	Agua	31200	89	210	70	550	5
		0,016438916	0,4387	0,0164389	0,136582787	0,051005	0,3768

Tabla 6.5 Selección final de proyectos una vez llevado a cabo el segundo estudio de sensibilidad

La principal conclusión es que los proyectos seleccionados son bastantes menos y tal y como dictan los dos pesos con mayor puntuación se trata de proyectos con elevados ingresos y con un elevado índice de calidad, comparados con el resto de proyectos. De hecho entre estos tres proyectos se encuentran los dos que más ingresos generarían de toda la cartera inicial de 25 proyectos y los dos con mayor índice de calidad también.

Es importante señalar que tanto para el Análisis de sensibilidad 1 como para el 2, se ha hecho después de haber realizado el primer filtrado con la Programación Monobjetivo en los dos casos, como es lógico.

**CONCLUSIÓN:** Podemos decir a la vista de los resultados que arrojan estos estudios de sensibilidad que nuestra implementación funciona perfectamente en el caso de que se cambien los pesos dentro de alguna de las dos pestañas habilitadas para tal caso.

Se ha visto como en función de la elección de los pesos, la selección de los proyectos ha cambiado radicalmente. Es por eso que una de las partes más importantes a la hora de realizar un estudio utilizando la metodología de AHP, es que la dirección de la empresa en cuestión otorgue los pesos como ella considere para así que la selección de proyectos se corresponda en gran medida con las expectativas de la empresa.

- **Implementación con varios niveles (criterios y subcriterios)**

Tal y como avanzábamos en la introducción de este capítulo al final de la resolución del supuesto “COMESAD” se ha creído oportuno ver en qué medida cambiarían los resultados con respecto a la implementación inicial, si incluyéramos un nuevo nivel en la jerarquía del problema, es decir si tuviéramos criterios y subcriterios.

Básicamente el problema en sus líneas generales es el mismo. Se parten de 25 proyectos, los criterios de estudio son los mismos (ahora pasarán a ser subcriterios), se realizará primero como filtro la Programación Monobjetivo y después AHP, etc. La única peculiaridad es que vamos a incluir 3 criterios por encima de los 11 que había, en un nivel o escalón superior.

La estructura del problema tiene ahora un aspecto así:

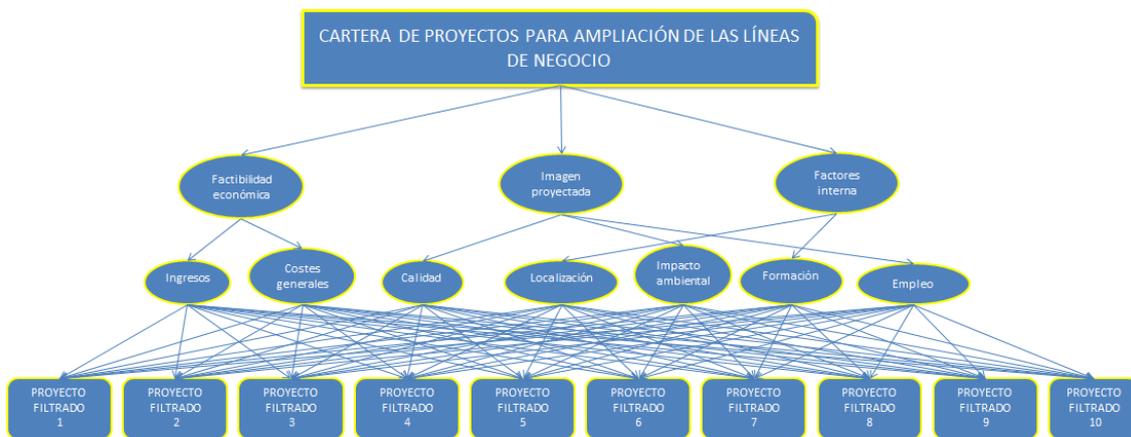


Figura 6.2 Estructura del supuesto “COMESAD” con un nivel nuevo en la estructura jerárquica más (Criterios y Subcriterios)

Tal y como vemos en la estructura jerárquica del objetivo principal sales 3 criterios que son:

- Factibilidad económica: Se trata del criterio más puramente económico y que guardaría relación con los siguientes subcriterios:
  - Ingresos
  - Costes generales
- Imagen proyectada: Se trata del criterio que englobaría a todo aquello que en definitiva redundarían en la imagen de la empresa “COMESAD”. Los subcriterios asociados a este criterio serían:



- Calidad
- Impacto Ambiental
- Empleo
- Factores internos: Se trata del criterio que resume a todos los subcriterios que afectan al funcionamiento interno de la empresa y serían:
  - Localización
  - Formación

Al añadir estos criterios la realidad del supuesto se hace más tangible si cabe, ya que podemos dar pesos también a estos criterios que hemos situado en un nivel superior haciendo que el análisis sea más completo y pormenorizado.

Los pesos de los criterios y subcriterios se han establecido de la siguiente manera:

- Factibilidad Económica: 9
  - Ingresos: 6
  - Costes generales: 5
- Imagen externa o proyectada: 7
  - Calidad: 4
  - Empleo. 9
  - Impacto Ambiental: 8
- Factores Internos: 4
  - Formación: 8
  - Localización: 5

La manera de proceder una vez tenemos establecidos los pesos por la dirección de la empresa “COMESAD” y habiendo realizado el filtro mediante Programación Monobjetivo es la misma de siempre con una peculiaridad.



Tal y como vimos en el capítulo 4, donde explicamos por completo toda la metodología AHP, cuando se tienen criterios y subcriterios hay que realizar comparaciones de los criterios primero dos a dos. Y después una vez sabemos el autovector asociado de establecer esas comparativas, pasamos al nivel de los subcriterios realizando comparaciones entre los subcriterios que estén vinculados a según qué criterio.

Por ejemplo para el criterio Factibilidad Económica, se establecerán comparativas entre los pesos de Ingresos y Costes generales y así sucesivamente con el resto de criterios y subcriterios. De tal manera que al final se obtiene una ponderación para cada subcriterio y una ponderación del criterio que contiene al subcriterio.

Multiplicando ambos se obtiene el peso local del subcriterio que junto con las prioridades de las comparativas entre proyectos, darán al final los pesos globales asociados a cada alternativa o proyecto.

Criterio	Subcriterio	Ponderación del subcriterio	Ponderación del criterio que lo contiene	Peso local del subcriterio
Factb. Econo	Ingresos	0,666666667	0,652663516	0,435109011
Factb. Econo	Costes generales	0,333333333	0,652663516	0,21754505
Imag. Externa	Calidad	0,060792658	0,285077049	0,017330592
Fact. Internos	Localización	0,166666667	0,062259435	0,010376573
Imag. Externa	Imp. Ambiental	0,353131524	0,285077049	0,100669693
Fact. Internos	Formación	0,833333333	0,062259435	0,051882863
Imag. Externa	Empleo	0,586075818	0,285077049	0,167076764

Tabla 6.6 Matriz que muestra los pesos de los subcriterios una vez calculados

La figura muestra como los subcriterios con mayores pesos son “Ingresos”, “Costes generales” y “Empleo”

Una vez se ha explicado en que diferiría este apartado con todo lo que hemos implementado hasta el momento vamos a ver qué proyectos han sido seleccionados y que conclusiones podemos sacar de ello

		Ingresos	Costes Técnicos	Montaje/Taller	Invst. y Desarrollo	Marketing
PROYECTO 4	Agua	71000	23260	2407	450	1450
PROYECTO 15	Bebidas	61700	18950	1408	623	1325
PROYECTO 20	Lácteos	8500	300	265	35	400
PROYECTO 2	Cereales	33000	6523	726	275	975
PROYECTO 1	Bebidas	50000	12050	1020	500	1200
	PESOS	0,4351				



		Costes generales	Calidad	Localización	Imp. Ambiental	Formación	Empleo (
PROYECTO 4	Agua	31200	89	210	70	550	5
PROYECTO 15	Bebidas	29700	95	43	75	700	8
PROYECTO 20	Lácteos	3760	70	58	9	100	3
PROYECTO 2	Cereales	8250	73	50	10	310	2
PROYECTO 1	Bebidas	21250	75	120	20	600	7
		0,217554505	0,0173	0,0103766	0,100669693	0,051883	0,1671

Tabla 6.7 Selección de proyectos final del supuesto “COMESAD” con un nivel nuevo en la estructura jerárquica más (Criterios y Subcriterios)

Como vemos los proyectos seleccionados se ajustan a los pesos marcados para los criterios y subcriterios. Vemos que se trata de proyectos con buenos ingresos y costes generales en su mayoría y aportando un buen número de puestos de trabajo si se llegaran a ejecutar.

Además se cuenta con un proyecto de la línea de negocio Lácteos en la que la empresa “COMESAD” se quiere desarrollar

Con estos proyectos seleccionados estamos en condiciones de decir que se trata de una cartera de proyectos final acorde a las pretensiones que la empresa tiene en un medio plazo.



Universidad de Valladolid

“Desarrollo de un modelo para la selección estratégica de proyectos  
basado en el  
Proceso Analítico Jerárquico (AHP)”



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



# CAPÍTULO 7:

Estudio económico de lo que podría suponer  
a una compañía la evaluación, selección y  
jerarquización de posibles proyectos – AHP +  
Programación Monobjetivo



## **Estudio económico de lo que podría suponer a una compañía la evaluación, selección y jerarquización de posibles proyectos – AHP + Programación Monobjetivo**

### **- Introducción**

En este capítulo como bien dice su encabezado, se va a tratar de estimar y analizar lo que podría costar a una empresa una evaluación, selección y jerarquización de aquellos proyectos que mejor convengan a medio/largo plazo.

En el caso de la implementación que hemos hecho, como hemos explicado en el apartado anterior se trata de la integración de técnicas de programación monobjetivo (primer filtrado – 1ª evaluación y selección) con técnicas analíticas jerárquicas, AHP (2ª evaluación – jerarquización - selección).

Bajo mi punto de vista este capítulo, aparte de los conocimientos técnicos que hayamos podido transmitir con este TFG, sería de los más importantes porque si se diera el caso de que una empresa se sintiera interesada en llevar a cabo la implementación de lo que aquí se expone, el saber cuánto le costaría aproximadamente, sería una de las principales variables en su decisión de hacerse con nuestro know-how o no. De todas las implementaciones que hemos desarrollado, estaríamos hablando de la implementación de Programación Monobjetivo + AHP.

En definidas cuentas en este apartado veremos una estimación de lo que a la empresa “COMESAD” le supondría la evaluación, selección y jerarquización de proyectos candidatos.

Se va a tratar de ordenar la información de tipo económico para saber por cuánto saldría esto a la empresa. Se va a suponer que la empresa tiene el personal suficiente para la realización de las tareas a realizar y no es necesario ningún asesor o consultor subcontratado.

En las páginas siguientes se desarrolla el estudio como tal, teniendo en mente si se trata de costes directos o indirectos, para así poder notar la repercusión de cada una de las actividades sobre el coste total.

### **- Desarrollo**

#### **➤ Costes directos**

Aquí se van a imputar todos aquellos costes que se pueden asociar directamente con la actividad a realizar, por ejemplo los costes de personal, de ejecución y materiales utilizados.



- Costes de personal

Como es lógico aquí se imputarán aquellos costes salariales del personal directamente implicado.

- Jefe de proyectos:

Es el principal decisor. Ingeniero industrial con experiencia en el sector pertinente y con confianza por parte de la dirección para elaborar el estudio de evaluación, selección y jerarquización de los proyectos candidatos.

- Ayudante del jefe de proyecto:

Ingeniero industrial sin ninguna experiencia, desarrollando su período de prácticas en la compañía. Su principal función es la de dar apoyo al jefe de proyectos en varias tareas como por ejemplo la de recabar información por los diferentes departamentos y así poder llevar a cabo la evaluación con la mayor recopilación posible de datos.

- Director de Operaciones y Producción

Ingeniero industrial con experiencia que colaborará con el jefe de proyectos, asesorándole en cuanto a los proyectos candidatos de su área (Montaje/Taller - Producción)

- Director del departamento de I+D

Ingeniero industrial con experiencia que colaborará con el jefe de proyectos, asesorándole en cuanto a los proyectos relacionados con su departamento (I+D)

- Director del departamento de Marketing

Ingeniero industrial preferentemente con formación complementaria en marketing que colaborará en la medida que se le pida, aportando la información y/o asesorando en los asuntos que le competen



- Director del departamento de RR.HH

Graduado en Psicología con máster en Dirección de RR.HH que dará apoyo al jefe de proyectos en los asuntos relacionados con su departamento

- Director del departamento de Calidad

Ingeniero Industrial con especialización en calidad y que al igual que el resto de directores de departamento, aportará los datos necesarios para llevar a cabo la evaluación, selección y jerarquización

- Secretario de la PMO (Project Management Office)

Administrativo con Grado Superior en Administración como estudios mínimos. Su función será la de elaborar informes concernientes a la actividad a la que estamos haciendo referencia para su posible presentación a la dirección

A continuación se presenta una tabla con una aproximación de las horas que cada persona de los arriba expuestas invierte en esta tarea.

Personal	Horas	Coste salarial (€/h)
Jefe de proyectos	120	50
Ayudante del jefe de proyectos	580	15
Director de Operación y Producción	25	35
Director del dpto. de I+D	45	40
Director del dpto. de Marketing	25	25
Director del dpto. de RR.HH	15	25
Director del dpto. de Calidad	30	27
Secretario de la PMO	80	20

Tabla 7.1 Tabla de horas de personal (Capítulo 7)

De la siguiente manera podemos calcular el coste asociado a cada personada implicada en el proyecto de la selección de proyectos candidatos.



Personal	Coste salarial (€)
Jefe de proyectos	6000
Ayudante del jefe de proyectos	8700
Director de Operación y Producción	875
Director del dpto. de I+D	1800
Director del dpto. de Marketing	625
Director del dpto. de RR.HH	375
Director del dpto. de Calidad	810
Secretario de la PMO	1600
<b>Total</b>	<b>20785</b>

Tabla 7.2 Tabla de costes de personal (Capítulo 7)

- Costes de Ejecución

Estos costes vamos a dividirlos en dos apartados distintos:

- Costes asociados al equipo científico-técnico, material bibliográfico y de oficina

Material	Coste (€)
Software específico de gestión de proyectos	600
Software de oficina	300
Impresora	400
Ordenadores portátiles	3500
Bibliográfico	900
Papelería y material de oficina	500
Consumibles informática	300
<b>Total</b>	<b>6500</b>

Tabla 7.3 Tabla de costes de ejecución 1 (Capítulo 7)

- Costes asociados a la asistencia a congresos, viajes y dietas

Concepto	Coste (€)
Desplazamientos	1000
Dietas	500
Asistencia a congresos de temática relacionada	1500
<b>Total</b>	<b>3000</b>

Tabla 7.4 Tabla de costes de ejecución 2 (Capítulo 7)

Esta última partida se podría omitir si se diera el caso. Básicamente serviría como formación adicional al personal implicado en el desarrollo de la implementación.



➤ Costes indirectos

Son todos aquellos costes que no se pueden imputar en el apartado anterior debido a que no están directamente relacionados con el proyecto de selección en sí. Por ejemplo: consumo de teléfono, internet, electricidad, calefacción, etc.

Concepto	Coste (€)
Consumo telefónico	700
Consumo energético	505
Internet	650
Otros costes	300
<b>Total</b>	<b>2155</b>

Tabla 7.5 Tabla de costes indirectos (Capítulo 7)

- Resumen

Por último presentamos la tabla final que proporciona lo que nos proponíamos desde el principio, realizar una estimación de lo que a la empresa le costaría llevar a cabo un proyecto de esta tipología.

Concepto	Coste (€)
<b>Costes directos</b>	
Costes de personal	20785
Costes de ejecución	9500
<b>Costes indirectos</b>	<b>2155</b>
<b>Total</b>	<b>32440</b>

Tabla 7.6 Tabla resumen de costes (Capítulo 7)



# CAPÍTULO 8:

## Estudio Económico del TFG



## Estudio Económico del TFG

### - Introducción

A continuación se va a tratar de aproximar un estudio económico lo más ajustado posible de lo que supondría realizar este Trabajo Fin de Grado. Es importante notar que este apartado no se tiene que confundir con el estudio económico previo que recordemos que de lo que trataba era de lo que a una empresa podría costar realizar una evaluación, jerarquización y selección de los proyectos que mejor convengan.

Tendremos en cuenta se tratan de costes directos o indirectos, para así poder ver el peso de cada una de las actividades y poder hacer una imputación del coste de las mismas de forma correcta.

### - Desarrollo

#### ➤ Costes directos

Trataremos de incluir en este apartado todo lo concerniente a la propia actividad de realizar el Trabajo de Fin de Grado, por ejemplo coste de personal o el de desarrollo el mismo etc.

#### ○ Costes de personal

Se tratará de poner de manifiesto en esta partida el salario que las personas implicadas podrían recibir.

#### - Ingeniero de Organización Industrial

Persona responsable del desarrollo del Trabajo de Fin de Grado y autor del mismo. Tiene que coordinarse con el resto del equipo que forma parte del proyecto. Además el también tiene el papel de administrativo, es decir, escribe todos los informes y reports propios de la elaboración del proyecto.

#### - Asesor de proyecto

Se trata de un profesor titulado de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales que se encuentra inmerso en la realización también del Trabajo de Fin de Grado como tutor. Su rol es el de supervisar que el proyecto sea adecuado en cuanto a contenidos y forma. Además orienta al responsable de todas las dudas que pudieran surgirle durante el desarrollo



del Trabajo de Fin de Grado. Es importante decir que esta persona no cobra como tal por estos servicios sino que así puede justificar las horas de investigación que el profesor titulado debe cubrir.

En la siguiente tabla aparece desglosado toda la partida de costes de personal en su totalidad:

Personal	Horas	Coste salarial (€/h)	Coste (€)
Ingeniero de Organización Industrial	1380	10	13800
Asesor de proyecto	130	0	0
<b>Total</b>			<b>13800</b>

Tabla 8.1 Tabla de costes de personal (Capítulo 8)

- Costes de ejecución

Aquí reflejaremos todo lo que tiene que ver con material de equipos científico-técnicos, como material bibliográfico, como material de oficina.

Material	Coste (€)
Software ofimático	300
Impresora láser	400
Ordenadores portátiles	2500
Bibliográfico	300
Papelería y material de oficina	100
Consumibles informática	50
<b>Total</b>	<b>3650</b>

Tabla 8.2 Tabla de costes de ejecución (Capítulo 8)

- Costes indirectos

En esta partida se encuentran todos aquellos costes que no se pueden incluir en el apartado anterior debido a que no están relacionados de manera directa con la actividad de realizar el Trabajo de Fin de Grado en sí. En la siguiente tabla se muestran aquellos que hemos considerado de mayor relevancia:

Concepto	Coste (€)
Consumo telefónico	100
Consumo energético	350
Internet	500
Otros costes	150
<b>Total</b>	<b>1100</b>

Tabla 8.3 Tabla de costes indirectos (Capítulo 8)



- **Resumen**

Para ponerlo todo de manera más resumida y tener una visión más general del coste de elaboración del Trabajo de Fin de Grado, se presenta la siguiente tabla con todas las partidas arriba desarrolladas:

Concepto	Coste (€)
<b>Costes directos</b>	
Costes de personal	13800
Costes de ejecución	3650
<b>Costes indirectos</b>	1100
<b>Total</b>	<b>18550</b>

Tabla 8.4 Tabla resumen de costes (Capítulo 8)



# CONCLUSIONES



## Conclusiones del TFG

### - Resumen de lo realizado

Con este TFG se ha tratado de cumplir con los objetivos que nos marcamos en la Introducción e incluso en algún capítulo se ha intentado llegar más lejos.

El objetivo principal fue desde un primero momento desarrollar una herramienta que ayudara a la selección estratégica de proyectos siguiendo la metodología AHP. Como hemos visto en los capítulos 5 y 6 esto se ha conseguido.

Pero además debido al estudio del arte de las distintas metodologías empleadas para tal efecto, se ha podido presentar una implementación más completa mediante la integración de AHP y de otra metodología como es la Programación Monobjetivo, todo ello empleado para nuestro supuesto de la empresa “COMESAD”.

Para poder llegar hasta ese punto primeramente se ha contextualizado e introducido la problemática en sí, realizando como hemos dicho líneas arriba un recorrido exhaustivo por las diferentes técnicas y metodologías en el campo de la selección y evaluación de proyectos incluyendo una revisión bibliográfica sobre este tema al final de este capítulo.

Más adelante, en el capítulo 3 concretamente se ha tratado de ir más allá de la gestión de proyectos convencional y se ha hablado de la gestión de portfolios y organizacional como dos de los estándares más conocidos en las empresa en materia de selección estratégica de proyectos.

En el último de los capítulos teóricos (4) se desarrolla la metodología que más nos importa en este TFG (AHP). Se ha investigado acerca de la metodología de manera amplia aportando ejemplos en los puntos que más aclaraciones requerían (por ejemplo en los análisis de consistencia). Al final se completó este capítulo con una revisión bibliográfica sobre lo que se ha hecho en AHP y más concretamente en materia de selección de proyectos que es de lo que realmente nos hemos ocupado en este TFG.

En los capítulos 5 y 6, como hemos dicho se ha intentado explicar el supuesto “COMESAD” y la innovación generada para su resolución y que es el objeto principal de este TFG.

En el quinto capítulo contando con una cartera inicial de 10 proyectos con el objetivo de introducir la innovación y poder estudiar qué pasaría si cambiáramos el orden de las metodologías implicadas, algo que solo podemos hacer con una cartera relativamente pequeña debido a la inestabilidad de AHP con grandes volúmenes de datos.



En el sexto capítulo sin embargo se realizó el mismo supuesto con 25 proyectos con el fin de hacer el ejemplo más real. Además en este capítulo se han desarrollado estudios de sensibilidad con los pesos y demostrar que la implementación funciona. Por último en este capítulo se ha intentado complicar un poco más el supuesto añadiendo un nivel más y viendo que supondría esto para nuestro problema.

En el siguiente apartado se estimó lo que a una empresa le podría suponer realizar la misma implementación que hemos realizado nosotros en Excel, dándonos una idea de la inversión necesaria para llevar a cabo una evaluación, selección y jerarquización de posibles proyectos para una compañía. Algo desde mi punto de vista vital e importante porque al fin al cabo no solo importa que la innovación funcione sino qué le costaría a una empresa implantarlo.

Por último en el último capítulo se ha tratado de realizar una estimación de lo que supondría realizar este TFG en términos económicos.

#### - **Conclusión final**

Una vez hecho este recorrido y echando la vista atrás creo que el resultado del TFG es positivo y satisfactorio ya que he profundizado en el campo de la gestión estratégica de proyectos gracias a una investigación exhaustiva por los principales artículos en esta materia. Dando lugar a la posibilidad de desarrollar una implementación en Excel (supuesto COMESAD) basada en el método AHP con la innovación de integrar esta técnica como la Programación Monobjetivo para hacerla mucho más completa.



Universidad de Valladolid

“Desarrollo de un modelo para la selección estratégica de proyectos  
basado en el  
Proceso Analítico Jerárquico (AHP)”



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



# BIBLIOGRAFÍA



## Bibliografía del TFG

La bibliografía utilizada para este TFG ha sido:

- Ahire S. L. (1995). "Selection of TQM pilot projects using an MCDM approach," The International journal of quality & reliability management, vol. 12, no.1.
- Akgunduz. (2002). "Evaluation of sub-component alternatives in product design processes" Robotics and computer-integrated manufacturing, vol. 18, no. 1, pp. 69-81.
- Al Harbi. K. M. A. (2008). "Application of the AHP in project management" International Journal of Project Management, vol. 19, no. 1, pp. 19-27.
- Alinezhad, A. Zohrebandian, M & Dehdar, F. (2010). "Portfolio Selection using Data Envelopment Analysis with common weights". Iranian Journal of Optimization. pp 323-333.
- Aloysius, J. A., & Rosenthal, E. C. (1999). "The Selection of Joint Projects by a Consortium: Cost Sharing Mechanisms". The Journal of the Operational Research Society. 50(12), pp. 1244- 1251
- Aragonés Beltrán, P., & Chaparro González, F. (2008). "Selection of photovoltaic solar power plant investment projects. An ANP approach". Proceedings of World Academy of Science: Engineering & Technology. 34, pp 603-613.
- Archer N.P., & Ghasemzadeh, F. (1999). "An integrated framework for project portfolio selection". International Journal of Project Management. 17 (4), pp. 207-216.
- Archer, N.P., & Ghasemzadeh, F. (2000). "Project portfolio selection through decision support". Decision Support Systems. 29 (1), pp. 73-88.



- Baker, N. R., & Freeland, J.(1975). “Recent advances in R&D benefit measurement and project selection: Where we stand?”. IEEE Transactions on Engineering Management, EM-11, 124-134.
- Baker, N. R., & Pound, W.H. (1964). “R&D project selection: Where we stand?”. IEEE Transactions on Engineering Management, EM-21, 4,124-134.
- Baker, N.R. (1974). “R&D project selection models: An assessment.” IEEE Transactions on Engineering Management, EM-21, 4,165-171.
- Barba-Romero, S. y Pomerol, J-C. (1997). “Decisiones Multicriterio. Fundamentos Teóricos y utilización Práctica”. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá. Madrid.
- Bertolini. M, Braglia M., and Carmignani G. (2006). "Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract" International Journal of Project Management, vol. 24, no. 5, pp. 422-430.
- Bordley, R.F. (1998). “R&D project selection versus R&D project generation”. Engineering Management, IEEE Transactions. 45(4), pp 407 - 413.
- Brown, R.E. (2006). “Project selection with multiple performance objectives”. Transmission and Distribution Conference and Exhibition.
- Bryson N. (1997). "Action learning evaluation procedure for multiple criteria decision making problems," European Journal of Operational Research, vol. 96, no. 2, pp. 379-386.
- Byun D. H. (2001). "The AHP approach for selecting an automobile purchase model," Information & Management, vol. 38, no. 5, pp. 289-297.



- Cabral Cardoso, C., & Payne, R.L. (1996). “*Instrumental and supportive use of formal selection methods in R&D project selection*”. Engineering Management, IEEE. 43(4), pp 402 – 410.
- Caliskan N. (2006). "A decision support approach for the evaluation of transport investment alternatives," European Journal of Operational Research, vol. 175, no. 3, pp. 1696-1704.
- Carazo A.F Gómez Núñez T. Guerrero Casas Flor M. Caballero Fernández R. (2008). “*Evaluación y clasificación de las técnicas utilizadas por las organizaciones, en las últimas décadas para seleccionar proyectos*”.
- Carazo, A.F (2008). “*Un estudio holístico de la selección y planificación temporal de carteras de proyectos*”, Rect@: Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA, ISSN-e 1575-605X, N°. 9.
- Carazo, A.F. (2007). “*Selección y planificación temporal de una cartera de proyectos bajo un enfoque multicriterio*”, Tesis Doctoral, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla.
- Carazo, A.F., & Gómez, T. (2010). “*Solving a comprehensive model for multiobjective project portfolio selection*”. Computers & Operations Research 37(4), pp 630-639.
- Carazo, A.F., Gómez T., Molina, J., Hernández-Díaz, A, Caballero, R. y Guerrero, F. (2007). “*Selección y planificación de cartera de proyectos: formalización de un modelo genérico*”, RECT@: Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA.
- Carlsson, C., & Fullér, R. (2007). “*A fuzzy approach to R&D project portfolio selection. International Journal of Approximate Reasoning*”. 44 (2), pp 93-105.



- Ceha R. and Ohta H. (1994). "The evaluation of air transportation network based on multiple criteria," Computers & industrial engineering, vol. 27, no. 1-4, pp. 249-252.
- Chen J., & Askin, R.G. (2009). "Project selection, scheduling and resource allocation with time dependent returns". European Journal of Operational Research. 193 (1), pp. 23-34.
- Cheng C. H. (1997). "Evaluating naval tactical missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function," European Journal of Operational Research, vol. 96, no. 2, pp. 343-350.
- Cheng C. H., Yang K. L and Hwang C. L. (1999). "Evaluating attack helicopters by AHP based on linguistic variable weight," European Journal of Operational Research, vol. 116, no. 2, pp. 423-435.
- Chiu-Chi, W., & Chie-Bein, Ch.(1999). "An efficient approach to prioritization projects under budget constraints". The Engineering Economist. 44(3), pp 261 - 275. art 9
- Cho, K.T. y Kwon, C.S. (2004). "Hierarchies with dependence of technological alternatives: a cross-impact hierarchy process", European Journal of Operational Research, 156, 2, 420-432.
- Coldrick, S., & Lawson, C.P. (2002). "A decision framework for R&D project selection". Engineering Management Conference, IEEE. 1.
- Crary M. (2002). "Sizing the US destroyer fleet," European Journal of Operational Research, vol. 136, no. 3, pp. 680-695, 2002.
- Czajkowski, A.F. y Jones, S. (1986). "Selecting interrelated R&D projects in space technology planning", IEEE Transactions on Engineering Management, EM-33, 1, 17-24.



- De Cos, M. (1997). *“Teoría general del proyecto (vol. I). Dirección de Proyectos/Project Management”*. Editorial Síntesis.
- Deng, H. & Wibowo, S. (2009). *“A decision support system for evaluating and selecting information systems projects”*. AIP Conference Proceedings. 1089 (1), pp 212-223.
- Dikmen, I.; & Birgonul, M. T. (2007). *“Project appraisal and selection using the analytic network process”*. Canadian Journal of Civil Engineering. 34(7), pp. 786-792
- Dodangeh, J.; Mojahed, M.; & Yusuff, R. (2009). *“Best Project Selection by Using of Group TOPSIS Method”*. International Association of Computer Science and Information Technology. pp.50-53.
- Eben Chaime, M. (2000). *“A parametric weighing approach for project selection under risk”*. Engineering Economist. 45(1), pp. 56-73
- Eben Chaime, M. (2000). *“A parametric weighing approach for project selection under risk. Engineering Economist”*. 45(1), pp. 56-73
- Ellis, L.W. (1984). *“Viewing R&D project financially”*, Research Management, 7, 2, 29-34.
- Fernández E. Edy López y Navarro J. *“Optimización Evolutiva Multiobjetivode Cartera de Proyectos Públicos”*
- Fernández, E. Navarro J. (2001). *“Modelo y Sistema de Apoyo a la Decisión para Problemas de Cartera de Proyectos con Relevancia Social”*, Gestión y Política Pública, vol. 10, no. 1.



- Ferrari P. (2003). "A method for choosing from among alternative transportation projects," *European Journal of Operational Research*, vol. 150, no. 1, pp. 194-203.
- Ferrari P. (2003). "A method for choosing from among alternative transportation projects," *European Journal of Operational Research*, vol. 150, no. 1, pp. 194-203.
- Fogliatto F. S. and Albin S. L.. (2001). "A hierarchical method for evaluating products with quantitative and sensory characteristics," *IIE transactions*, vol. 33, no. 12, pp. 1081-1092.
- Forgionne G. A.. (2002). "An AHP analysis of quality in AI (Artificial Intelligence) and DSS (Decision Support System) journals," *Omega*, vol. 30, no. 3, p. 171.
- Freeman, C. (1982). "The Economics of industrial Innovation". Frances Printer, London.
- Gabriel, S.A., & Kumar, S. (2006). "A multiobjective optimization model for project selection with probabilistic considerations". *Socio-Economic Planning Sciences*, 40 (4), pp. 297-313.
- García Cascales M.S. (2009). "Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión." Cartagena.
- Garcia-Cascales M. S. and Lamata M. T. (2006). "Un problema de mantenimiento basado en el proceso analítico jerárquico," X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos.
- Gear, A.E. (1974). "A review of some recent developments in portfolio modelling in applied research and development", *IEEE Transactions on Engineering Management*, 21, 3, 119-125.



- Ghorbani,S., & Rabbani, M. (2009). “A new multiobjective algorithm for a project selection problem”. *Advances in Engineering Software*. 40(1), pp 9-14.
- Gomez de Leon Hijes F. and Cartagena J. J. R.. (2006). "Maintenance strategy based on a multicriterion classification of equipments," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 91, no. 4, pp. 444-451.
- Graves, S.B. y Ringuest, J.L. (1991). “Evaluating competing R&D investments”, *Research Technology Management*, 34, 4, 32-35.
- Hartmann, M. y Hassan, A. (2006). “Application of real options analysis for pharmaceutical R&D project valuation-empirical results from a survey”, *Research Policy*, 35, 343-354.
- Heidenberger K., Stummer C. (1999) “Research and development project selection and resource allocation: A review of quantitative modelling approaches”. *International Journal of Management Reviews*, 1 (2), 197-224.
- Huang, C.L., & Yang, C.L. (2008). “Modeling a combination of projects selection system- using the Mahalanobis Taguchi system”. *Industrial Engineering and Engineering Management*, IEEE. Pp 1539-1541.
- Jen S. (1995). "A unified framework for the selection of a Flexible Manufacturing System," *European Journal of Operational Research*, vol. 85, no. 2, p. 297.
- JS Pennypacker y LD Dye, (1999) “Project portfolio management and managing multiple projects: two sides of the same coin”
- Jung,J.Y.,(2009). “Operational improvement project management: categorization and selection”. *Journal of the International Academy for Case Studies*. 15(3).



- Kim C. S. and Yoon Y. (1992). "*Selection of a good expert system shell for instructional purposes in business,*" Information & Management, vol. 23, no. 5, pp. 249-262.
- Kim, I., & Shangmun, S.(2009). "*Development of a project selection method on information system using ANP and Fuzzy logic*". Proceedings of World Academy of Science: Engineering & Technology. 41, pp 411-416.
- Kleindorfer P. R. (1990). "*Integrating manufacturing strategy and technology choice,*" European Journal of Operational Research, vol. 47, no. 2, pp. 214-224.
- Korpela J. Tuominen M. and Valoaho M. (1998). "*An analytic hierarchy process-based approach to the strategic management of logistic service: An empirical study in the mechanical forest industry,*" International Journal of Production Economics, vol. 56-57, pp. 303-318.
- Lai V. S. Trueblood R. P. and Wong B. K. (1999). "*Software selection: a case study of the application of the analytical hierarchical process to the selection of a multimedia authoring system,*" Information & Management, vol. 36, no. 4, pp. 221-232.
- Lai V. S. Wong B. K. and Cheung W. (2002). "*Group decision making in a multiple criteria environment: A case using the AHP in software selection,*" European Journal of Operational Research, vol. 137, no. 1, pp. 134-144.
- Lawson, C. P., & Longhurst, P.J. (2006). "*The application of a new research and development project selection model in SMEs*". Technovation. 26(2), pp 242-250.
- Lee J.W., & Kim, S.H. (2000). "*Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection*". Computers and Operations Research. 27 (4), pp. 367-382.



- Lee, J.W. y Kim, S.H. (2001). “*An integrated approach for interdependent information system project selection*”, International Journal of Project Management, 19, 2, 111-118.
- Lee, S., & Kang, S. (2008). “*Applying technology roadmaps in project selection and planning*”. Journal of Quality & Reliability Management. 25(1), pp 39 - 51.
- Li Q. and Sherali H. D. (2003). “*An approach for analyzing foreign direct investment projects with application to China's Tumen River Area development,*” Computers & Operations Research, vol. 30, no. 10, pp. 1467-1485.
- Liberatore, M.J. & Titus, G.J. (1983). “*The practice management science in R&D project management*”. Management Science, 29(8), 962-975.
- Lockett, G., Hetherington, B. y Yallup, P. (1986). “*Modeling a research portfolio using AHP: a group decision process*”, R&D Management, 16, 2, 151-160.
- M. Kurttila, M. Pesonen, J. Kangas, and M. Kajanus. (2000). “*Utilizing the analytic hierarchy process (AHP) in SWOT analysis – a hybrid method and its application to a forest-certification case,*” Forest Policy and Economics, vol. 1, no. 1, pp. 41-52.
- Mahdi, B., & Hossein, B. (2008). “*Project selection with outsourcing view using Fuzzy TOPSIS linear assignment programming*”. Management of Innovation and Technology. pp 327 – 332
- Mahmoodzadeh, S., & Shahrabi, J. (2008). “*Project selection by using fuzzy AHP and TOPSIS technique*”. Proceedings of World Academy of Science: Engineering & Technology. 30, pp 85-90.



- Malladi S. and Min K. J. (2005). "*Decision support models for the selection of internet access technologies in rural communities*" Telematics and Informatics, vol. 22, no. 3, pp. 201-219.
- Martino, J.P. (1995). "*Research and development project selection*". Wiley Series in Engineering & Technology Management, New York.
- Masood A. B., & Donald D. (2001). "*A comprehensive 0-1 goal programming model for project selection*". International Journal of Project Management. 19(4), pp 243.
- Masozera M. K. Alavalapati J. R. R. Jacobson S. K. and Shrestha R. K. (2006). "*Assessing the suitability of community-based management for the Nyungwe Forest Reserve, Rwanda,*" Forest Policy and Economics, vol. 8, no. 2, pp. 206-216.
- Medaglia A.L., & Graves S.B.(2007). "*A multiobjective evolutionary approach for linearly constrained project selection under uncertainty*". European Journal of Operational Research. 179 (3), pp. 869- 894.
- Meredith, J., & Mantle, S. (2000). "*Project Management: A Managerial Approach*". (4 ed). New York: Wiley.
- Meredith, J.R. y Mantel, S.J. (1999). "*Project Selection*", En: Dye, L.D. y Pennypacker, J.S., editores. Project Portfolio Management: selecting and prioritizing projects for competitive advantage, West Chester, PA, USA: Center for Business Practices, 135-167.
- Modarres, M., & Hassanzadeh, F. (2009). "*A robust optimization approach to R&D project selection*". World Applied Sciences Journal 7 (5), pp 582-592.



- Mohanty R. (1992). “*Project selection by a multiplecriteria decision-making method: an example from a developing country*”. International Journal of Project Management. 10 (1), pp. 31-38.
- Mohanty R. P. and Deshmukh S. G. (1998). “*Advanced manufacturing technology selection:A strategic model for learning and evaluation,*” International Journal of Production Economics, vol. 55, no. 3, pp. 295-307.
- Mojahed, M., & Dodangeh, J. (2009). “*Using engineering Economy techniques with group topsis method for best project selection*”. IEEE International Conference on Computer Science.
- Muralidhar K. Santhanam R. and Wilson R. L. (1990). “*Using the analytic hierarchy process for information system project selection,*” Information & Management, vol. 18, no. 2, pp. 87-95.
- Ngai E. W. T. (2003). “*Selection of web sites for online advertising using the AHP,*” Information & Management, vol. 40, no. 4, pp. 233-242.
- Ngai E. W. T. and Chan E. W. C.. (2005). “*Evaluation of knowledge management tools using AHP,*” Expert Systems with Applications, vol. 29, no. 4, pp. 889-899.
- Oviedo J, Almeida J.E. Lizbeth S. “*Jerarquización de proyectos de vivienda del Instituto Regional de la Vivienda del Estado Portuguesa con el Método Proceso Analítico Jerárquico*”
- Pacheco J.F. Contreras E. (2008). “*Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos*”. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social. Santiago de Chile.



- Palcic, I., & Lalic, B. (2009). “*Analytical hierarchy process as a tool for selecting and evaluating projects*”. International Journal of Simulation Modelling. 8(1), pp 16-26.
- Piñeiro Sánchez C. (2000). “*Valoración y Selección de Inversiones en Tecnologías de la Información. La gestión de la cartera de proyectos.*” Universidad de A Coruña.7
- Poh K. L. (1999). "Transportation fuels and policy for Singapore: An AHP planning approach," Computers & industrial engineering, vol. 37, no. 3, pp. 507-525.
- Powers, J.Y., & Ruwanpura, G. (2002). “*Simulation based project selection decision analysis tool*”. Winter Simulation Conference. 2, pp.1778-1785.
- Rabbani, M., & Aramoon Bajestani, M. (2010). “*A multi-objective particle swarm optimization for project selection problem*”. Expert Systems with Applications: An International Journal. 37(1).
- Rafiei, H., & Rabbani, M. (2009). “*Project Selection Using Fuzzy Group Analytic Network Process*”. World Academy of Science, Engineering and Technology. 58.
- Raju K. S. and Pillai C. R. S. (1999). "Multicriterion decision making in river basin planning and development," European Journal of Operational Research, vol. 112, no. 2, pp. 249-257.
- Ringuest, J.L. y Graves, S.B. (1989). “*The linear multi-objetive R&D project selection problem*” IEEE Transactions on Engineering Management, 36, 1, 54-57.



- Ringuest, J.L. y Graves, S.B. (1990). *“The linear R&D project selection problem. An alternative to net present value”*, IEEE Transactions on Engineering Management, 37, 2, 143- 146.
- Rossetti M. D. (2001). *“Multi-objective analysis of hospital delivery systems,”* Computers & industrial engineering, vol. 41, no. 3, pp. 309-333, 2001.
- Saaty, T. (1997). *“Decision Making for Leaders”*
- Saaty, T. (2000). *“Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process”* RWS Publications.
- Saborío R. Quesada O. (2006). *“Gestión de Portfolio de Proyectos, alineando el negocio.”* San José.
- Santhanam, R. y Kyparisis, J. (1995). *“A multiple criteria decision model for information system project selection”*, Computers Operations Research, 22, 8, 807-818.
- Sapag, N., Sapag, R.(2000): *Preparación y Evaluación de proyectos*, Mc. Graw Hill.
- Schniederjans M. J. and Garvin T. (1997). *“Using the analytic hierarchy process and multi-objective programming for the selection of cost drivers in activity-based costing,”* European Journal of Operational Research, vol. 100, no. 1, pp. 72-80.
- Schniederjans, M.J. y Wilson, R.L. (1991). *“Using the analytic hierarchy process and goal programming for information system project selection”*, Information & Management, 20, 5, 333-342.



- Sefair, J.A., & Medaglia, A.L. (2005). *“Towards a model for selection and scheduling of risky projects”*. IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium.
- Sloane E. B., Liberatore M. J., Nydick R. L., Luo W. and Chung Q. B. (2003). *“Using the analytic hierarchy process as a clinical engineering tool to facilitate an iterative, multidisciplinary, microeconomic health technology assessment,”* Computers & Operations Research, vol. 30, no. 10, pp. 1447-1465.
- Takamura Y. and Tone K. (2003). *“A comparative site evaluation study for relocating Japanese government agencies out of Tokyo”* Socio-economic planning sciences, vol. 37, no. 2, pp. 85-102.
- Tam M. C. Y. and Tummala V. M. R. (2001). *“An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system,”* Omega, vol. 29, no. 2, pp. 171-182.
- Tavana M. (2003). *“CROSS: A multicriteria group-decision-making model for evaluating and prioritizing advanced-technology projects at NASA,”* Interfaces, vol. 33, no. 3, p. 40.
- Tian Q., Ma J., & Liang J. (2005). *“An organizational decision support system for effective R&D project selection”*. Decision Support Systems, 39 (3), pp. 403-413
- Tolga, A.C. & Kahraman, C. (2008). *“Fuzzy multicriteria evaluation of R&D projects and a fuzzy trinomial lattice approach for real options”*. Intelligent System and Knowledge Engineering. 1, pp 418-423.
- Tzeng G. H., Lin C. W. and Opricovic S. *“Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation,”* Energy Policy, vol. In Press, Corrected Proof.



- Vaidya. O. S. and Kumar. S. (2008). "*Analytic hierarchy process: An overview of applications*" European Journal of Operational Research, vol. 169, no. 1, pp. 1-29.
- Vargas. G. (1990). "*An overview of the Analytic Hierachy Process and its Applications*" European Journal of Operational Research, vol. 48, pp. 2-8.
- Wang G.and Huang S. H. (2005). "*Manufacturing supply chain design and evaluation,*" International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 25, no. 1-2, pp. 93-100.
- Wang, J., & Xu,Y. (2009). "*Research on project selection system of pre-evaluation of engineering design project bidding*". International Journal of Project Management. 27 (6), pp 584-599.
- Weck M. Klocke F. Schell H. and Renauver E. (1997). "*Evaluating alternative production cycles using the extended AHP method,*" European Journal of Operational Research, vol. 100, no. 2, pp. 351-366.
- Weiwu W.. (1994). "*Highway transportation comprehensive evaluation*" Computers & industrial engineering, vol. 27, no. 1-4, pp. 257-260.
- Westland, J. (2006). "*El ciclo de vida de Gestión de Proyectos*". Kogan Page Limited.
- Yong Hong, S., Ma, J., & Zhi Ping, F. (2008). "*A Group Decision Support Approach to Evaluate Experts for R&D Project Selection*". Engineering Management, IEEE Transactions. 55(1), pp 158-170.



# ANEXOS



## Lista de Tablas

Tabla 2.1 Teoría de la Decisión. Tabla genérica.....	40
Tabla 2.2 Ejemplo para la técnica de dominancia.....	43
Tabla 2.3 Tabla para ejemplo de Checklist.....	45
Tabla 2.4 Tabla para ejemplo de scoring tradicional.....	47
Tabla 2.5 Tabla “1” para el ejemplo de Análisis de Utilidad Multiatributo.....	48
Tabla 2.6 Tabla “2” para el ejemplo de Análisis de Utilidad Multiatributo.....	49
Tabla 2.7 Tabla “3” para el ejemplo de Análisis de Utilidad Multiatributo.....	49
Tabla 2.8 Tabla “4” para el ejemplo de Análisis de Utilidad Multiatributo.....	49
Tabla 2.9 Tabla de información de proyectos para el ejemplo de Chipe SA.....	52
Tabla 2.10 Tabla de datos para el ejemplo de Chipe SA de la técnica de Cluster.....	59
Tabla 2.11 Tabla para los centroides del ejemplo de Chipe SA para la técnica de Cluster.....	59
Tabla 2.12 Revisión bibliográfica para selección de proyectos.....	64
Tabla 3.1 Proceso de identificación.....	76
Tabla 3.2 Proceso de categorización.....	76
Tabla 3.3 Proceso de evaluación.....	77
Tabla 3.4 Proceso de selección.....	78
Tabla 3.5 Proceso de priorización.....	78
Tabla 3.6 Proceso de equilibrio del portfolio.....	79
Tabla 3.7 Proceso de autorización.....	80
Tabla 3.8 Proceso de reportes y revisión del portfolio.....	81
Tabla 3.9 Proceso de cambios estratégicos.....	82
Tabla 4.1 Niveles de la estructura AHP.....	89
Tabla 4.2 Escala para establecer las estimaciones.....	90
Tabla 4.3 Ejemplo de matriz de comparaciones.....	91



Tabla 4.4 Tabla para el Índice Aleatorio.....93

Tabla 4.5 Matriz de comparaciones entre criterios para el ejemplo.....97

Tabla 4.6 Matriz de comparaciones del ejemplo de AHP Criterio-Coste.....97

Tabla 4.7 Matriz de comparaciones del ejemplo de AHP Criterio-Impacto Ambiental.....98

Tabla 4.8 Matriz de comparaciones del ejemplo de AHP Criterio-Tiempo de ejecución.....98

Tabla 4.9 Tabla para el Índice Aleatorio del ejemplo de AHP.....99

Tabla 4.10 Tabla para el Índice Aleatorio del ejemplo de AHP.....100

Tabla 4.11 Tabla para el Índice Aleatorio del ejemplo de AHP.....101

Tabla 4.12 Tabla para el Índice Aleatorio del ejemplo de AHP.....101

Tabla 4.13 Matriz de pesos globales para el ejemplo de AHP.....102

Tabla 4.14 Recopilación de distintos ámbitos en los que ha sido utilizado AHP y algunos de sus artículos.....104

Tabla 5.1 Datos de la cartera de proyectos inicial de la que partimos.....109

Tabla 5.2 Selección de proyectos al final de la primera parte de la implementación (Programación Monobjetivo + AHP).....113

Tabla 5.3 Resultado de utilizar solo AHP sobre la cartera de proyectos inicial....115

Tabla 5.4 Selección de proyectos al final de la segunda parte de la implementación (AHP + Programación Monobjetivo).....116

Tabla 6.1 Cartera final de proyectos después de la implementación para la empresa COMESAD con 25 proyectos en la cartera inicial.....126

Tabla 6.2 Matriz con los proyectos y pesos para realizar el primer estudio de sensibilidad.....127

Tabla 6.3 Selección final de proyectos una vez llevado a cabo el primer estudio de sensibilidad.....128



Tabla 6.4 Matriz con los proyectos y pesos para realizar el segundo estudio de sensibilidad.....	128
Tabla 6.5 Selección final de proyectos una vez llevado a cabo el segundo estudio de sensibilidad.....	129
Tabla 6.6 Matriz que muestra los pesos de los subcriterios una vez calculados.	132
Tabla 6.7 Selección de proyectos final del supuesto “COMESAD” con un nivel nuevo en la estructura jerárquica más (Criterios y Subcriterios).....	133
Tabla 7.1 Tabla de horas de personal (Capítulo 7).....	138
Tabla 7.2 Tabla de costes de personal (Capítulo 7).....	139
Tabla 7.3 Tabla de costes de ejecución 1 (Capítulo 7).....	139
Tabla 7.4 Tabla de costes de ejecución 2 (Capítulo 7).....	139
Tabla 7.5 Tabla de costes indirectos (Capítulo 7).....	140
Tabla 7.6 Tabla resumen de costes (Capítulo 7).....	140
Tabla 8.1 Tabla de costes de personal (Capítulo 8).....	143
Tabla 8.2 Tabla de costes de ejecución (Capítulo 8).....	143
Tabla 8.3 Tabla de costes indirectos (Capítulo 8).....	143
Tabla 8.4 Tabla resumen de costes (Capítulo 8).....	144



## Lista de Figuras

Figura 1 Estrategia y operativa.....	14
Figura 1.1 Contexto que da lugar a la gestión por proyectos.....	11
Figura 1.2 Certificaciones de IPMA.....	22
Figura 1.3 Modelos de procesos de PRINCE2.....	23
Figura 1.4 Las llaves y procesos de APM.....	25
Figura 1.5 La PMO en la empresa.....	26
Figura 1.6 Selección clásica de proyectos.....	28
Figura 2.1 Esquema del VAN de TornilleSA.....	35
Figura 2.2 Ejemplo de un árbol de decisión.....	41
Figura 2.3 Gráfico de dominación para el ejemplo descrito.....	44
Figura 2.4 Comparativa de AHP frente a ANP.....	64
Figura 3.1 Gestión de Portfolio vs Gestión de Proyectos.....	66
Figura 10. Esquema de la alineación estratégica con la selección de proyectos de nuestro portfolio.....	67
Figura 3.2 Gestión de Portfolios en el proceso empresarial.....	68
Figura 3.3 Procesos de la Gestión de Portfolios.....	75
Figura 3.4 Imagen de referencia sacada de <i>Chamberlain, Makleff &amp; Iovino. 2006</i> .....	82
Figura 3.6 Comparativa de la gestión de proyectos, de programas, de portfolios y OPM3.....	83
Figura 3.7 Relación maduración - PPP.....	83
Figura 3.8 Estructura de una buena práctica para lograr un objetivo	



según OPM3.....84

Figura 3.9 Zoom de la figura 3.8 y explicación.....84

Figura 3.10 Grupos de proceso.....85

Figura 3.11 Clasificación de las buenas prácticas en función de PPP.....85

Figura 3.12 Clasificación de las buenas prácticas en función de la maduración y PPP.....85

Figura 3.13 Ejemplo ilustrativo de lo que supone el estándar OPM3.....86

Figura 4.1 Jerarquía de AHP (1).....89

Figura 4.2 Jerarquía de AHP (2).....89

Figura 4.3 Diagrama de flujo de AHP sacada de W. Ho, P. K. Dey, and H. Higson, "Mutiple criteria decision-making techniques in higher education," International Journal of Educational Management, vol. 20, no. 5, pp. 319-337, 2006.....94

Figura 4.4 Estructura jerárquica para el ejemplo hotelero de AHP.....96

Figura 5.1 Esquema que se ha llevado a cabo en la implementación.....107

Figura 5.2 Estructura jerárquica del problema de la empresa COMESAD.....111

Figura 5.3 Proceso de la segunda parte de la implementación (AHP + Programación Monobjetivo).....114

Figura 6.1 Estructura jerárquica del problema de la empresa COMESAD.....124

Figura 6.2 Estructura del supuesto “COMESAD” con un nivel nuevo en la estructura jerárquica más (Criterios y Subcriterios).....130



## Lista de Ecuaciones

Ecuación 2.1 VAN.....	34
Ecuación 2.2 TIR.....	35
Ecuación 2.3 BCR.....	37
Ecuación 2.4 Teorema de Bayes.....	39
Ecuación 2.5 Tablas de decisión.....	40
Ecuación 2.6 Scoring tradicional.....	46
Ecuación 2.7 Función de utilidad, análisis multiatributo.....	47
Ecuación 2.8 Programación Lineal Monobjetivo.....	51
Ecuación 2.9 Programación multiobjetivo.....	53
Ecuación 2.10 Análisis Cluster.....	58
Ecuación 4.1 AHP – Ecuación de Saaty para conocer el autovalor.....	92
Ecuación 4.2 Índice de consistencia.....	93
Ecuación 4.3 Relación de consistencia.....	93