

# Análisis de valor en la toma de decisiones aplicado a carreteras

Tesis doctoral realizada por:  
**Noé Villegas Flores**

dirigida por:  
**Antonio Aguado de Cea**

Barcelona, **Enero de 2009**

Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament d'Enginyeria de la Construcció

**TESIS DOCTORAL**

## RESUMEN

Con frecuencia los modelos de evaluación aplicados a carreteras consideran aspectos relativos a la funcionalidad, seguridad, comodidad del usuario, medioambiente, etc. Sin embargo, dichos aspectos pocas veces son evaluados de forma integrada o asociada.

Para evitar esta carencia, se hace necesario relacionar otras variables de igual importancia a través de un índice de valor. El cual, es definido como una medida de solución respecto al beneficio obtenido de la alternativa estudiada.

El **objetivo** de esta tesis se centra en la aplicación de una metodología de toma de decisión en el ámbito de carreteras, evaluando su sostenibilidad a través de un “índice de valor”.

Para conseguir este objetivo, se parte de un modelo estructurado en tres ejes: requerimientos, componentes y el ciclo de vida. El eje de requerimientos comprende los objetivos, metas y necesidades que debe cumplir la carretera. En el eje de componentes se han de definir los diferentes elementos que la conforman (capa rodadura, estructura, etc.). Y en el eje de ciclo de vida se atiende la vertiente temporal del proyecto, y a partir de la intersección de estos ejes se realiza la valoración.

Para llevar a cabo esta valoración, la metodología establece varias etapas: la construcción del árbol de requerimientos (análisis previo), calificación de la respuesta de la alternativa con respecto a un indicador, construcción de la función de valor, ponderación (pesos) en cada nivel jerárquico, cálculo del valor de la alternativa y el análisis de sensibilidad. Aportando rigurosidad al método con la aplicación de distintas herramientas matemáticas como el Analytical Hierarchy Process (A.H.P.).

Para potencializar la propuesta primeramente se examina un caso práctico para la construcción de una carretera. Además, con el objeto de verificar la versatilidad de la herramienta metodológica en otros ámbitos, se ha desarrollado un caso práctico en el entorno universitario.



*“Las decisiones han de seguir un proceso de reflexión, y aunque tengan en cuenta la intuición, nunca han de depender de la emoción del momento”*

*Shakespeare*

*A mis padres:  
Luz María y Noé por sus múltiples consejos y sobre todo por compartir y  
perseguir junto a mí mis sueños*

*A mi hermano  
Cesar Alberto por su cariño y comprensión*

*A Ana Carolina:  
por su dedicación y apoyo*



## AGRADECIMIENTOS

La realización de una tesis doctoral es una tarea ardua y compleja y, sin duda, imposible de ser desarrollada por una única persona. A lo largo de este tiempo de trabajo he contado con el apoyo y colaboración de muchas personas, seguramente muchas más de las que podré nombrar en este texto. A todas ellas, quiero dejar registrada mi gratitud. Muchas gracias por haberme enseñado, compartido, apoyado o simplemente por haber estado a mi lado durante este tiempo.

En primer lugar quiero agradecer a mi director de tesis al Dr. Antonio Aguado (“profesor”) por su orientación y su sabiduría que logró orientar este trabajo de investigación; y sobre todo gracias por estar siempre pendiente de nosotros, sus doctorandos.

En segundo lugar, quiero agradecer a mis padres y hermano, por compartir y perseguir junto a mí mis sueños, en esta etapa tan importante de mi vida personal y profesional. Sobre todo a Ana Carolina que con su apoyo y dedicación me ayudaron en gran medida, a lo largo de esta etapa.

De la misma forma quiero agradecer al Ingeniero Ruy Núñez Pawlosky quien con sus aportes al proyecto y sobre todo con su infinita paciencia se logró el éxito de ésta tesis doctoral.

También un especial agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACyT) por la beca otorgada para desarrollar mis estudios en esta prestigiosa universidad española.

Con ello, quiero agradecer a las empresas ICA y UNILAND, en especial a Ignaci Lecumberri y Jordi Artigas por el enorme apoyo otorgado durante esta etapa del proyecto de investigación.

De la misma manera quisiera agradecer al grupo de trabajo MIVES de Barcelona (Alejandro Josa, Bernat, Ferran, Amalia y Albert), y de la Universidad del País Vasco, por la oportunidad de compartir mi trabajo en este grupo, durante mi estancia.

Finalmente quisiera recordar y agradecer a todos aquellos compañeros de Ingeniería de la construcción que con su apoyo y solidaridad hicieron de este tiempo lejos de casa de un momento indescriptible.



## CONTENIDO DE LA TESIS

Resumen.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Contenido.....	iv
Listado de figuras.....	ix
Listado de tablas.....	xiv

### Capítulo 1. **Introducción**

1.1. Contexto de la investigación.....	1
1.2. Objetivo general de la tesis.....	5
1.3. Objetivos específicos de la tesis.....	6
1.4. Límites de la tesis.....	6
1.5. Método científico y estructura de la tesis.....	7

### Capítulo 2. **Estado del conocimiento**

2.1. Introducción.....	9
2.2. Clasificación de los métodos multicriterio.....	12
2.3. La función de valor.....	18
2.3.1. Función de valor con certidumbre.....	19
2.3.2. Función de valor con incertidumbre.....	22
2.4.- Metodologías de evaluación en carreteras.....	24
2.4.1. Según la línea de actuación.....	24
2.4.2. Según el país de aplicación.....	29
2.5. Experiencias en carreteras que incorporan AHP.....	30
2.5.1. Experiencia 1 “Aplicación de AHP para redes de carreteras en áreas rurales de montaña”.....	31
2.5.2. Experiencia 2”Multicriterio aplicado a carreteras”.....	32
2.5.3. Experiencia 3 “Índice de calidad para mantenimiento de carreteras”.....	34
2.5.4. Experiencia 4 “Modelo para mantenimiento de pavimentos”.....	37

2.5.5. Experiencia 5 “Multi-atributos con AHP”.....	39
2.6. Síntesis del estado del conocimiento.....	40

### Capítulo 3. Avances en la metodología MIVES

3.1. Introducción.....	43
3.2. Propuesta metodológica.....	44
3.2.1. Bases teóricas.....	44
3.2.2. Planteamiento MIVES.....	45
3.2.3. Concepción de la metodología.....	46
3.3. Evaluación.....	52
3.3.1. Ponderación de las variables.....	54
3.3.2. Construcción de la función de valor.....	58
3.3.3. Cálculo de las alternativas.....	61
3.4. Fortalezas de la metodología.....	63
3.5. Recomendaciones respecto a la propuesta.....	63

### Capítulo 4. Árbol de decisión y funciones de valor

4.1. Introducción.....	69
4.2. Caracterización del problema.....	70
4.2.1. Problema general.....	70
4.2.2. Características específicas de la calzada (el caso analizado).....	70
4.3. Definición de las alternativas.....	71
4.3.1. Alternativa “A”: Solución prefabricada.....	71
4.3.2. Alternativa “B”: Solución tradicional.....	73
4.3.3.- Listado de chequeo.....	73
4.4. Límites del sistema.....	75
4.4.1. Árbol de decisión.....	77
4.5. Definición de las funciones de valor.....	78
4.5.1. Tiempo de construcción.....	79
4.5.2. Tiempo entre cada actuación de mantenimiento.....	80
4.5.3. Influencia de condiciones climatológicas.....	82
4.5.4. Incidencia de condiciones orográficas en el plazo de ejecución.....	85
4.5.5. Incidencia por la conflictividad laboral en el plazo de ejecución...	88

4.5.6. Coste inicial de construcción.....	91
4.5.7. Coste de mantenimiento.....	92
4.5.8. Coste por implementación del Sistema integrado de servicios....	93
4.5.9. Desviación del coste por factores externos.....	95
4.5.10. Material reciclado a utilizar en la estructura.....	96
4.5.11. Cantidad de energía consumida .....	97
4.5.12. Materias primas utilizadas.....	98
4.5.13. Agua utilizada.....	99
4.5.14. Emisiones de CO <sub>2</sub> .....	100
4.5.15. Flexibilidad de adaptar la estructura en galería de servicios.....	101
4.5.16. Adaptabilidad de la estructura para colocar elementos prefabricados.....	104

## Capítulo 5. **Aplicación de la metodología al caso de la carretera**

5.1. Introducción.....	109
5.2. Evaluación de las alternativas.....	110
5.2.1.- Ponderación de requerimientos, criterios e indicadores.....	110
5.2.2. Construcción de la función de valor.....	111
5.3. Respuesta de las alternativas.....	112
5.3.1. Tiempo de construcción.....	114
5.3.2.- Tiempo entre cada actuación de mantenimiento.....	115
5.3.3.- Influencia de condiciones climatológicas.....	115
5.3.4.- Influencia de condiciones orográficas.....	117
5.3.5.- Influencia de condiciones laborales.....	119
5.3.6.- Coste inicial de construcción.....	120
5.3.7.- Coste de mantenimiento.....	121
5.3.8.- Coste asociado al sistema integrado de servicios.....	121
5.3.9.- Desviación del coste de construcción.....	122
5.3.10.- Material reciclado a utilizar en la estructura.....	122
5.3.11.- Cantidad de energía consumida.....	122
5.3.12.- Materias primas utilizadas.....	123
5.3.13.- Agua utilizada.....	125
5.3.14.- Cantidad de CO <sub>2</sub> emitido.....	126
5.3.15.- Facilidad de la estructura de adaptar en galería de servicios...	127
5.3.16.- Adaptabilidad de la estructura para soportar elementos	128

prefabricados.....	
5.4. Cálculo del valor de la alternativa.....	131

## Capítulo 6. Jerarquización y evaluación de departamentos universitarios

6.1. Antecedentes.....	135
6.2. Situación actual del sistema de evaluación.....	136
6.3. Los modelos multicriterio en la evaluación universitaria.....	138
6.4. Jerarquización y evaluación de departamentos universitarios.....	139
6.4.1. Límites del sistema.....	139
6.4.2. Árbol de decisión.....	140
6.5. Funciones de valor.....	143
6.5.1. Proyectos de investigación con financiación pública.....	144
6.5.2. Importe de proyectos con financiación pública.....	146
6.5.3. Proyectos de investigación con financiación privada.....	148
6.5.4. Importe de proyectos con financiación privada.....	150
6.5.5. Número de artículos publicados en revistas indexadas + patentes registradas.....	152
6.5.6. Preocupación por la mejora docente.....	153
6.5.6.1. Proyectos de innovación concedida por fondos externos.....	154
6.5.6.2. Publicaciones docentes editadas.....	156
6.5.7. Profesores del departamento que pasan de nota media / Total de profesores.....	158
6.5.8. Programas de especialización organizados por departamento o fundación UPC.....	160
6.5.9. Media de las tesis leídas / media del numero de alumnos que han entrado en el programa.....	161
6.5.10. Doctores de la unidad que imparten doctorado en programas de calidad / total de profesores doctores de la unidad.....	163
6.5.11. Indicadores de entorno. (Percepción externa).....	164
6.5.11.1. Tesis leídas con doctorados europeos / Número de tesis doctorales leídas en los tres últimos años.....	165
6.5.11.2 Media de doctorandos de otros países / media total de doctorandos en el departamento.....	166
6.5.11.3. Media de tesis doctorales ligadas a proyectos de investigación en convocatorias públicas / media total de tesis doctorales leídas.....	167

6.5.11.4. Media de tesis doctorales ligadas a proyectos de investigación financiadas por el propio departamento-empresas privadas (FPI-FPU) / media total de tesis doctorales leídas.....	168
6.5.12. Participación del departamento en agencias nacionales o autonómicas de evaluación.....	169
6.5.13. Cargos reconocidos pertenecientes a órganos de Gobierno de la universidad.....	172
6.5.14. Cargos reconocidos en el centro de asignación.....	173
6.5.15. Plan de actuación en Plan Estratégico: Lista de chequeo.....	175
6.5.16. Cargos en corporaciones profesionales.....	177
6.5.17. Premios y reconocimientos ámbito profesional.....	178
6.5.18. Cargos en corporaciones públicas (externas UPC).....	180
6.5.19. Publicaciones con firma UPC en medios de comunicación diarios o semanales.....	182
6.6. Evaluación de las alternativas.....	184
6.6.1. Ponderación de atributos.....	184
6.7.- Resultados obtenidos.....	186
<b>Capítulo 7. Conclusiones y futuras líneas de investigación</b>	
7.1. Conclusiones principales.....	191
7.2. Conclusiones específicas.....	193
7.2.1. Relativas al estado del conocimiento.....	193
7.2.2. Conclusiones acerca de la propuesta metodológica.....	193
7.2.3. Relativas a la definición del árbol de decisión y las funciones de valor.....	194
7.2.4. Relativas al estudio para la construcción de una carretera.....	194
7.2.5. Relativas a la evaluación de departamentos universitarios.....	195
7.3. Futuras líneas de investigación.....	195
<b>Bibliografía y Referencias</b> .....	197
<b>Anexo 1</b> .....	219



## Lista de figuras

- Figura 2.1. Jerarquización del modelo de evaluación
- Figura 2.2. Diagrama de flujo de la metodología
- Figura 2.3. Obtención del “valor” para cada alternativa
- Figura 2.4. Descomposición de los atributos
- Figura 2.5. Función de la respuesta
- Figura 3.1. Algoritmo de la metodología MIVES
- Figura 3.2. Definición de los límites del sistema.
- Figura 3.3. Requerimientos generales de un proyecto.
- Figura 3.4. Esquema inicial de un árbol de requerimientos
- Figura 3.5. Despliegue de los requerimientos en criterios e indicadores
- Figura 3.6. Eje de Componentes del sistema
- Figura 3.7. Alcance del problema
- Figura 3.8. Evaluación de alternativa a nivel de indicadores, criterios y requerimientos.
- Figura 3.9. Diagrama del proceso de evaluación para cada alternativa
- Figura 3.10. Tendencias crecientes y decrecientes de una función de valor
- Figura 3.11. Ejemplificación de “Indicadores intercambiables”
- Figura 4.1. Sección transversal de la calzada a estudiar
- Figura 4.2. Componentes de la alternativa
- Figura 4.3. Dimensiones de las losas
- Figura 4.4. Capas sucesivas del pavimento flexible
- Figura 4.5. Tiempo de construcción (días/km.)
- Figura 4.6. Frecuencia de mantenimiento (meses/km.)
- Figura 4.7. Función de valor por la Influencia de condiciones climatológicas
- Figura 4.8. Función de valor para la Influencia de condiciones orográficas
- Figura 4.9. Función de valor de la influencia por condiciones de conflictividad laboral
- Figura 4.10. Coste inicial de construcción (Millón de €/ km.)
- Figura 4.11. Coste de mantenimiento (€/ km.)
- Figura 4.12. Coste de implementación del Sistema Integrado de Servicios (Millones € / Km)

Figura 4.13. Desviación del coste inicial por factores externos (%/Km.)

Figura 4.14. Material reciclado a utilizar en la estructura (% / Km)

Figura 4.15. Consumo de energía (Gjoules / Km)

Figura 4.16. Materias primas utilizadas (Tn/km)

Figura 4.17. Agua utilizada (en miles litros / km)

Figura 4.18. Emisión de CO<sub>2</sub>

Figura 4.19. Puntos por la facilidad de la estructura para adaptarla en galería de servicios

Figura 4.20. Adaptabilidad de la estructura para colocar elementos prefabricados

Figura 5.1. Índices de valor por cada requerimiento

Figura 6.1. Puntos de proyectos de investigación con financiación pública / PDI

Figura 6.2. Puntuación del Importe de proyectos de investigación financiación pública / PDI

Figura 6.3. Puntuación de proyectos de investigación con financiación privada / PDI

Figura 6.4. Puntuación del Importe de proyectos de investigación financiación privada / PDI.

Figura 6.5. Número artículos en revistas indexadas + patentes / PDI

Figura 6.6. Proyectos de innovación concedidos por fondos externos

Figura 6.7. Publicaciones docentes editadas / PDI

Figura 6.8. Profesores del departamento que pasan de nota media / total de profesores

Figura 6.9. Programas especialización organizados por departamento o fundación UPC / PDI

Figura 6.10. Media de las tesis leídas / media de alumnos que han entrado en el programa

Figura 6.11. Doctores de la unidad en programas de calidad / total de profesores doctores

Figura 6.12. Tesis leídas con doctorados europeos / Número de tesis doctorales leídas

Figura 6.13. Media doctorandos otros países / media total doctorandos departamento.

Figura 6.14. Media tesis doctorales ligadas a proyectos de investigación en convocatorias públicas / media total tesis doctorales leídas

Figura 6.15. Media de tesis doctorales ligadas a proyectos de investigación financiadas por el propio departamento-empresas privadas (FPI-FPU) / media total de tesis doctorales leídas

Figura 6.16. Puntuación de la participación del departamento en agencias nacionales o autonómicas de evaluación / PDI

Figura 6.17. Puntos para cargos reconocidos en órganos de Gobierno de la Universidad / PDI

Figura 6.18. Puntos para cargos reconocidos en Centro de asignación / PDI

Figura 6.19. Puntuación por tipo de actividad / PDI, del Plan actuación estratégico

Figura 6.20. Puntuación para cargos en corporaciones profesionales / PDI

Figura 6.21. Premios y reconocimientos ámbito profesional / PDI

Figura 6.22. Cargos en corporaciones públicas (externas UPC) / PDI

Figura 6.23. Puntuación publicaciones firma UPC en medios comunicación / PDI

Figura 6.24. Índice de valor total para cada uno de los departamentos

Figura 6.25. Distribución de índices de valor de los departamentos de la Universidad Politécnica de Cataluña (global)

Figura 6.26. Jerarquización de los departamentos de la Universidad Politécnica de Cataluña



## Lista de tablas

- Tabla 2.1. Métodos empleados en el análisis multicriterio
- Tabla 2.2. Métodos de asignación de pesos.
- Tabla 2.3. Metodologías para construir una función de valor
- Tabla 2.4. Modelos de evaluación de carreteras según el país de aplicación
- Tabla 2.5. Experiencias en modelos de evaluación usando AHP.
- Tabla 2.6. Matriz de valoración de atributos por intensidad de colores
- Tabla 3.1. Comparación por pares para el cálculo de la matriz de decisión
- Tabla 3.2. Matriz de decisión "A" ( $n \times n$ )
- Tabla 3.3. Índices de consistencia aleatoria de las matrices de decisión según su orden
- Tabla 3.4. Valores relativos para el indicador "materia prima utilizada
- Tabla 3.5. Puntuación del Indicador "Influencia del plazo de ejecución por la orografía
- Tabla 4.1. Requerimientos de obligado cumplimiento en calzada de 2+2
- Tabla 4.2. Árbol de requerimientos
- Tabla 4.3. Puntuación riesgo de desviación del tiempo ejecución frente condiciones climáticas
- Tabla 4.4. Puntuación por diversas condiciones orográficas.
- Tabla 4.5. Puntuación por condiciones laborales conflictivas
- Tabla 4.6. Puntuación de las estrategias para adaptar en galería de servicios a la estructura
- Tabla 4.7. Puntuación de las estrategias para adaptar elementos prefabricados a la carretera
- Tabla 5.1. Ponderación para el árbol de requerimientos
- Tabla 5.2. Parámetros físicos de los indicadores para la validación de la metodología
- Tabla 5.3. Índice de valor de cada indicador
- Tabla 5.4. Listado de proyectos con los tiempos de construcción (Fuente: elaboración propia)
- Tabla 5.5. Puntuación frente a las condiciones climatológicas
- Tabla 5.6. Puntuación frente a las condiciones orográficas.
- Tabla 5.7. Puntuación frente a condiciones laborales conflictivas.

- Tabla 5.8. Coste de los componentes por alternativa (Fuente: elaboración propia)
- Tabla 5.9. Coste de mantenimiento
- Tabla 5.10. Resumen de datos de inventario para el ciclo de vida (sin consumo de tráfico) de los pavimentos analizados
- Tabla 5.11. Cantidad de materia prima utilizada para la alternativa A
- Tabla 5.12. Cantidad de materias primas consumidas para la alternativa B (1 kilómetro)
- Tabla 5.13. Dosificación del HA-30
- Tabla 5.14. Cantidad de emisiones para el ciclo de vida (sin consumo de tráfico) de los pavimentos analizados
- Tabla 5.15. Puntuación frente a la facilidad para adaptar la estructura en galería de servicios.
- Tabla 5.16. Puntuación frente a la adaptabilidad de la estructura para soportar elementos prefabricados
- Tabla 5.17. Cálculo del índice de valor para la alternativa "A"
- Tabla 5.18. Cálculo del índice de valor para la alternativa "B"
- Tabla 6.1. Árbol de decisiones para el caso universitario
- Tabla 6.2. Puntos por tipo de proyecto e implicación
- Tabla 6.3. Puntos por importe de proyecto
- Tabla 6.4. Puntos por tipo de contrato
- Tabla 6.5. Puntos por tipo de actividad y participación
- Tabla 6.6. Puntos por tipo de actividad y participación
- Tabla 6.7. Puntos por tipo de curso
- Tabla 6.8. Puntuación asociada a la implicación con el sistema universitario fuera de la propia universidad
- Tabla 6.9. Puntos por tipo de actividad y cargo órgano de Gobierno de la Universidad / PDI
- Tabla 6.10. Puntos por tipo de actividad y cargo en Centro de asignación
- Tabla 6.11. Puntuación para el Plan de actuación del departamento
- Tabla 6.12. Puntuación para el Plan de actuación del departamento
- Tabla 6.13. Puntuación premios y reconocimientos / PDI
- Tabla 6.14. Puntuación para cargos en corporaciones públicas
- Tabla 6.15. Puntuación para publicaciones con firma UPC

Tabla 6.16. Ponderación para el árbol de requerimientos para todos los departamentos

Tabla 6.17. Obtención del índice de valor por requerimiento del departamento 1

Tabla 6.18. Índices de valor para cada departamento por requerimiento

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

La Comisión Mundial para el medio ambiente en el año de 1987 adoptó el término de “Desarrollo sostenible” para definir el desarrollo de las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de que las generaciones futuras resuelvan sus propias necesidades (Brundtland, 1987).

De una forma simplificada se puede decir que el objetivo esencial del desarrollo sostenible es optimizar la utilización de todo tipo de recursos en cualquier decisión o actividad, evitando en un sentido general, cualquier gasto superfluo o injustificado.

En este marco, la sostenibilidad esta relacionada principalmente con aquellos factores que afectan al medioambiente, durante todo el ciclo de vida del proyecto; pero también tiene en cuenta otras perspectivas como son los aspectos económicos, y sociales. Esto da lugar a que el estudio pueda fundamentarse a partir de estos pilares principales de sostenibilidad.

El pilar medioambiental incluye aspectos como el uso de recursos, la generación de residuos, el ahorro energético, la minimización del impacto ambiental, etc. En el social se consideran aspectos tales como bienestar social, protección a la salud, integración social, servicio a las personas, etc. El desarrollo económico contempla la innovación ya sea en el desarrollo de una nueva tecnología o por el nuevo uso de una tecnología contrastada, además de la eficiencia en la gestión energética, recursos y movilidad.

Asimismo el aspecto funcional se ha considerado en este estudio como un tema de obligado cumplimiento, añadiendo sólo aspectos que presenten nuevas funcionalidades para la alternativa.

Desde su formalización, tanto el “desarrollo sostenible” como la “sostenibilidad” han sido conceptos que han recibido una amplia aceptación (Ortiz et al, 2007), si bien aún se observa una cierta dispersión en la acepción del término y, una cierta saturación basada en la ambigüedad y falta de concreción o de métodos de valoración de la sostenibilidad (Manoj, 2003).

No obstante, en la actualidad, parece existir un acuerdo general en que el desarrollo sostenible debe gobernar las pautas de crecimiento y se apela a la sostenibilidad de cualquier actividad como reclamo para favorecer su implantación o como un calificativo positivo.

De esta tendencia no es ajeno el sector de la construcción, en el cual se ha hecho un esfuerzo para concebir los proyectos bajo estos nuevos planteamientos (Pacios & Martos, 2008). La definición e implantación de nuevos modelos de sostenibilidad pretenden que dichos proyectos se adopten con menor incidencia y adecuen su fisonomía al entorno, compatibilizando su funcionalidad con la conservación de otros valores (seguridad, estéticos, confort).

En el ámbito de carreteras, campo de actuación principal en esta tesis doctoral, a pesar de que existen relevantes mejoras en este sector (nuevos modelos multicriterio para mantenimiento, Cafiso et al, 2001; estudios de impacto ambiental, Arena et al, 2001; diseño de criterios para construcción de carreteras Chan, 2002), siguen existiendo problemas en las etapas de planificación, diseño, construcción y de gestión, motivados por la falta de estudios fiables y completos (Díaz, 2000). Ello puede ser fruto, en general, de un peso excesivo de los aspectos económicos en la decisión, lo que puede afectar al correcto desempeño de la vía.

Por otro lado, la medición de estos aspectos en las obras viarias es una tarea ardua y técnicamente compleja, aunque abordable con criterios científicamente rigurosos.

No obstante, la cuestión crucial, en todos los casos, es la asociación de todos esos impactos en cualquiera de los procesos vinculados a la carretera.

En Europa, en el contexto de las carreteras, ha existido una tradición de analizar y evaluar las vías por medio del coste respecto a su beneficio para tomar una decisión (APAS, 1996). La razón principal de utilizar en mayor medida este mecanismo se debe a la facilidad para identificar los beneficios (económicos o sociales) que aportan las soluciones. Sin embargo, las Administraciones en carreteras de la Comunidad Europea han ido sistemáticamente marginando este planteamiento (Ortiz et al, 2007), expresando con mayor insistencia y rigor el desarrollo de nuevos métodos de análisis de los proyectos, siendo decisivo para configurar otras nuevas formas de evaluación en el sector, por ejemplo por mencionar algunos, el Modelo de incertidumbre (Amekudzi & McNeil, 2000) ó el desarrollo de un análisis multicriterio (Gaspa, 2006).

Para el desarrollo de esta tesis doctoral se hace uso de una nueva configuración para evaluar la sostenibilidad de un proyecto a través de análisis de valor. Dicha herramienta de evaluación mantiene un planteamiento organizado, creativo y efectivo, tal y como lo concibe L.D. Miles (1956) "*Value analysis is a system for use when better than normal results are needed*" y con frecuencia se utiliza para atacar problemas de toma de decisión en las etapas de gestión y planificación cuyo objetivo fundamental es incrementar el valor de un objeto, producto, servicio o proceso (Caldwell, 2006).

En el contexto descrito, el valor habría que considerarlo desde el punto de vista integrado de sostenibilidad, tomando en consideración aspectos económicos, sociales y medioambientales y, apartándose de las concepciones más estándar (primacía del económico y visión no agregada). El mismo, en consecuencia, debe articularse a través de un método multicriterio mediante un árbol de decisiones.

Las experiencias de análisis de valor en España son variadas y han sido aplicadas en distintos ámbitos. Por ejemplo, proyectos como "CONVALOR" promovido por la Dirección General de la Pequeña y mediana empresa en España (PyMe), que consiste en una herramienta de gestión de la innovación que mejora el valor de todas y cada una de las áreas empresariales, incrementando la competitividad de las PyMe del sector de la Construcción Ha sido desarrollado por el Instituto Tecnológico de Galicia (ITG)<sup>1</sup>, en colaboración con el Instituto Andaluz de Tecnología (IAT) y el Instituto tecnológico de la Construcción (AIDICO).

---

<sup>1</sup> [www.itg.es](http://www.itg.es) (Instituto Tecnológico de Galicia)

En el ámbito académico también puede mencionarse una experiencia en la aplicación de análisis de valor (Caballero et al, 2000) que tiene como objetivo perfeccionar la asignación de recursos económicos en el sistema universitario.

Asimismo, desde el punto de vista profesional, cabe señalar la existencia de algunas asociaciones en España. En los años 70 en Aragón nació la inquietud del concepto de “valor” con la creación del proyecto “Evaluación de los precios de la compra” surgido en el ámbito industrial.

Si bien no es hasta el año de 1989 que se crea la Asociación Española de Análisis del Valor (ANAVA) y posteriormente la Federación Española de Gestión del Valor (FEGEVA). Asimismo, hay que señalar la existencia de diversos grupos universitarios formados en este ámbito tales como la AMEVA (Análisis of Methodology of Evaluation) constituido en el año 2001 y liderado por el proyecto de ingeniería del Departamento de la Universidad Politécnica de Valencia<sup>2</sup>.

El grupo MIVES (Modelo integrado de Cuantificación de valor de una edificación sostenible) creado en el año de 2002 a través de un proyecto de investigación del Ministerio de Ciencia y Tecnología Español y liderado por la Universidad Politécnica de Cataluña, la Universidad del País Vasco y Labein-Tecnalia<sup>3</sup>

Otras experiencias a señalar es la Asociación Catalana de Análisis de Valor (ACAV), con el objetivo de utilizar los procedimientos y métodos de valor para mejorar la competitividad de las empresas. Posteriormente, en el año 2004 se creó el Centro para la Gestión del Valor (CGV) a través del Instituto Andaluz de Tecnología que, junto con otras asociaciones, entidades y profesionales independientes de ámbito nacional, con el tienen el objetivo de promover la gestión del valor mediante la realización de actividades de difusión, transferencia, formación y certificación de personas en gestión del valor.

Como punto de encuentro científico técnico, hay que citar los congresos internacionales organizados por la Asociación Española de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO), en cuyas comunicaciones se incluyen numerosas referencias de este ámbito.

Por otro lado, desde 1992 AENOR asume funciones de normalización en el ámbito del Análisis del Valor, actividad que se viene desarrollando en el seno del Comité Técnico de Normalización AEN/CTN 144, Existe además un “Programa Oficial de Formación Reglada de la Asociación Española de Análisis del Valor”, que ha permitido que actualmente sean ya numerosos los profesionales certificados en España.

---

<sup>2</sup> <http://www.inescc.pt/~ewgmcda/GrAMEVA.html>

<sup>3</sup> <http://www.mives.upc.edu/home.php#>

Ello permite hacer una reflexión sobre la razón de ser de estas diferencias entre el sector industrial y el sector de la construcción, pudiéndose encontrar la respuesta en la propia idiosincrasia de este sector con la existencia de numerosos agentes, con desequilibrios de peso entre ellos, obras como prototipo, adversas condiciones climáticas de trabajo, sistemas de contratación, etc. A pesar de estas diferencias y de la propia idiosincrasia, se entiende que este camino es de futuro ante la tendencia de industrializar la construcción y la potenciación del producto frente a los materiales como demuestra la instrucción del anejo 13, del índice de Contribución de las estructuras en la sostenibilidad (ICES) en la recientemente aprobada Instrucción para el Hormigón Estructural (EHE)<sup>4</sup>.

Esa propia idiosincrasia hace que la innovación no sea un aspecto fundamental, por lo que el sector se sitúa entre los sectores menos activos en este sentido, tal como lo señala el Libro Blanco de COTEC (2007).

En el campo de carreteras, no se han encontrado experiencias que apliquen análisis de valor, con lo cual este trabajo aporta gran valor agregado en la configuración de un nuevo método de evaluación.

En esta tesis como alternativas de estudio se plantea, por un lado, la sección transversal clásica para un determinado firme flexible, mientras que por otro lado, se incorpora una sección transversal de elementos prefabricados de hormigón armado, propuesta en la tesis doctoral de Betty de los Ríos (2007 y 2008).

La elección de este tema se entiende que es una forma de integrar dos tesis doctorales en un mismo objetivo global, con una fuerte componente de innovación en ambos casos, potenciando el resultado conjunto de las mismas.

## 1.2. OBJETIVO GENERAL DE LA TESIS

La presente tesis doctoral tiene como **objetivo general** ahondar en la metodología de toma de decisión MIVES, basada en análisis de valor, a través de dos casos de estudio.

En ese sentido, el objetivo principal consiste por un lado, aplicar dicha metodología a un caso de estudio de una sección transversal de una carretera y por otro, verificar la versatilidad de la misma mediante un caso de estudio en el entorno universitario, clasificando y evaluando los departamentos universitarios.

---

<sup>4</sup> Aprobada en el Consejo de Ministros del día 18 de Julio de 2008.

### 1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA TESIS

Como objetivos específicos que dan apoyo a los objetivos principales de la tesis se encuentran:

- Identificar las distintas herramientas metodológicas utilizadas a nivel internacional para valorar una carretera tanto en trazado como para una sección transversal. Además, identificar las distintas experiencias que utilizan jerarquía analítica (A.H.P.) en sus modelos de evaluación.
- Definir, analizar y caracterizar cada uno de los aspectos cuantitativos y cualitativos que influyen directamente en la evaluación de una sección transversal de una carretera. En dicho análisis se proponen estrategias como listas de chequeo (check list) y el uso de variables relativas con el propósito de mantener la evaluación bajo un marco objetivo y razonado.
- Validar la metodología propuesta a través de casos prácticos, obteniendo un índice de valor que permita elegir la mejor alternativa que solucione el problema.

### 1.4. LIMITES DE LA TESIS

Tal y como se ha dicho de la presente tesis doctoral se centra en la evaluación de dos casos de estudio: una sección transversal de una carretera y departamentos universitarios.

Para el caso de la evaluación de la sección transversal se han tomado dos soluciones constructivas: un sistema constructivo para carreteras basado en una serie de capas sucesivas colocadas directamente sobre el terreno (solución tradicional en España) y un nuevo sistema constructivo para carreteras basado en la colocación de losas sobre vigas (ambas de hormigón) y éstas sobre el terreno.

En dicho caso de estudio se toman solo en cuenta la fase de construcción y de mantenimiento de la carretera debido a que se ha considerado que son las etapas principales que discriminan entre las soluciones.

Para el caso de estudio de evaluación y clasificación de departamentos universitarios se han considerado 40 unidades departamentales de la Universitat

Politécnica de Catalunya en el año 2002<sup>5</sup>. En lo que respecta al tiempo y al alcance de las variables se toman los 3 últimos años. Con ello se pretende evitar cambios importantes de un año respecto a otro, esto es, laminar puntas que determinen comportamientos, máximo cuando algunos de los indicadores se les asocia al tiempo por ejemplo, período de un proyecto de I+D.

## 1.5. MÉTODO CIENTÍFICO Y ESTRUCTURA DE LA TESIS

Los apartados anteriores, han servido de introducción y descripción del problema que se pretende abordar en la tesis, la cual se estructura de la siguiente manera:

En el **capítulo 1**, se expresa en cierta medida, la justificación de la realización de la investigación, la descripción de los objetivos generales y específicos; y finalmente se define la estructura de la tesis donde se define el contexto global del trabajo.

En el **capítulo 2** se identifican las metodologías de evaluación para trazados y secciones transversales de una carretera según el país de aplicación y según su línea de actuación. En la segunda parte de este capítulo se muestran las distintas experiencias que emplean “jerarquía analítica”, debido que la metodología propuesta para esta tesis doctoral contiene dicha herramienta jerárquica.

En este capítulo no se ha descrito el estado del conocimiento para la evaluación de departamentos debido a que en principio la tesis estaría centrada, en su momento, en el tema de carreteras. En ese sentido, se ha hecho una revisión de literatura en el capítulo 6, correspondiente a la evaluación en el entorno universitario.

En el **capítulo 3**, se define la herramienta de toma de decisión a aplicar en ambos casos de estudio (carreteras y entorno universitario). Dicho capítulo, explica el desarrollo conceptual y matemático de la propuesta, identificando sus etapas, y la caracterización de sus elementos.

Dado que este es un planteamiento anteriormente expuesto (Manga, 2005; Alarcón, 2006; Azuola, 2008) en este capítulo además, de hacer una breve revisión de la propuesta metodológica, se presentan las mejoras introducidas respecto a tesis similares anteriores. Por ejemplo, se ha incorporado la posibilidad de que el árbol de requerimientos pueda tener indicadores intercambiables, es decir en base a las

---

<sup>5</sup> Universitat Politècnica de Catalunya. Dades estadístiques i de gestió. Maig 2002.

condiciones de entorno elegir entre varios posibles indicadores. Se ha propuesto obtener la respuesta de la alternativa por medio de lista de puntuación con el objetivo de medir a los indicadores que por su propia naturaleza son subjetivos. Además. Se ha añadido la propiedad de medir los indicadores en relativo con el fin de obtener resultados objetivos.

En el **capítulo 4**, se analizan y caracterizan cada una de los indicadores adoptados para el caso de carreteras. En la primera parte del capítulo, se muestra la justificación y necesidad de adoptar cada indicador para el proyecto, en cada solución. En esta etapa, se desarrolla el árbol de requerimientos con la finalidad de ordenar el problema. En la segunda parte del capítulo, se desarrollan cada una de las funciones de valor de los indicadores que permitirán homogeneizar las unidades de cada indicador.

En el **capítulo 5**, se valida la metodología propuesta a través de las dos soluciones expuestas en el apartado 1.4. y se obtiene el índice de valor para cada de estas.

En el **capítulo 6**, se desarrolla el **análisis de valor en el ámbito universitario**, enfocado concretamente a la evaluación de departamentos de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Este capítulo ha sido introducido con el objetivo de verificar la versatilidad de la metodología en otro ámbito totalmente distinto al de la construcción, como es el entorno universitario.

En el estudio se clasifica y jerarquiza cada uno de los departamentos a través del índice de valor obtenido por la metodología, con la finalidad de verificar su versatilidad en cualquier ámbito de aplicación. En consecuencia de este estudio, la UPC ha adoptado el modelo como un mecanismo de evaluación de sus departamentos universitario.

En el **capítulo 7**, se presentan las **conclusiones y futuras líneas de investigación**, resumiendo la visión general del desarrollo de la tesis. Se realizan algunas recomendaciones sobre las fortalezas y debilidades del trabajo examinado. En la última parte se identifican los futuros trabajos que se deben de seguir, relacionados con el tema tratado de la presente tesis doctoral.

Por último, se presentan las **referencias y la bibliografía** de apoyo para el desarrollo de esta tesis doctoral.

En el **anexo 1** se presentan cada uno de los departamentos de la Universidad Politècnica de Catalunya con su respectivo índice de valor. En cada tabla se muestra el índice de valor para cada nivel jerárquico.

## Capítulo 2

# Estado del Conocimiento

*“La carretera más económica, no es la que cuesta menos, sino la que proporciona mayores beneficios en razón del dinero que se invirtió para hacerla”*

*W.M. Gillespie*

### 2.1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, el objetivo fundamental de las Administraciones de carreteras a nivel mundial, ha sido desarrollar una red viaria que conecte dos puntos de un territorio, con suficiente capacidad para servir la demanda de transporte manteniendo un adecuado estado de conservación (Bull, 1986; Águeda, 2000).

En los últimos años se está produciendo un importante cambio en este planteamiento en países desarrollados (Tochtermann, 2001) debido a que los usuarios, y en definitiva la sociedad, está comenzando a demandar que las carreteras, además de proporcionar una vía de conexión entre los destinos, proporcionen un alto nivel de calidad de servicio (Pardillo, 2005). Estos planteamientos también son percibidos en países en vías de desarrollo, sin embargo el grado de cumplimiento de dichas exigencias se ve afectado por la capacidad económica de cada región o cada país.

En este contexto, las carreteras no constituyen un fin en sí mismas, como se podría considerar en un enfoque puramente técnico, sino que debe ser considerado como un medio para satisfacer las necesidades de todos los usuarios (Benzrekri, 2000; Cafiso, 2001). En ese sentido, el sector de la construcción en carreteras consciente de las implicaciones sociales, económicas, ambientales y sobre todo en seguridad, hacen un esfuerzo notable para adaptarse a las nuevas situaciones, y están incorporando estas nuevas condicionantes en sus rutinas (Chan, 2002),.

Dichas condicionantes, diversos autores las han adoptado para desarrollar sus estudios en carreteras por ejemplo, Douglas (2002) adopta la teoría de que en la actualidad, la planificación y el diseño de los elementos de una carretera tienen una directa relación con el desempeño en su ciclo de vida. En cambio, Chao (2005) observa que la asignación adecuada de criterios y la relación entre ellos, constituyen el correcto funcionamiento de la vía.

En la actualidad, se siguen desarrollando mejoras en los distintos modelos de gestión y planificación para carreteras mediante la incorporación de criterios económicos, sociales y funcionales con el simple propósito de cumplir con los requisitos de sostenibilidad (Cafiso et al, 2001; Chan, 2002).

En este sentido, las administraciones incorporan con frecuencia en sus modelos de evaluación temas relativos a la seguridad del usuario, afectaciones al entorno, impactos al medio, reducción de tiempos de ejecución, etc. (Herbsman et al, 1995; Choocharukul, 2004; Delgado et al, 2007;). No obstante, a pesar de estas mejoras, siguen existiendo problemas en las etapas de planificación, de diseño y de gestión, motivados por la falta de estudios fiables y completos (Battikha, 2003). Estas carencias, reflejan las disfunciones de la vía durante su etapa operativa. (El-Rayes, 2005; Del Val Melus, 2007).

En Europa, en el ámbito de carreteras, ha existido una cierta tradición de analizar las vías por medio de los costes respecto a su beneficio, generalmente utilizado en la toma de decisión (APAS, 1996). La razón de utilizar en mayor medida este mecanismo (coste-beneficio) se debe a su facilidad para identificar los beneficios que aportan las alternativas (Llamazares, 1986). Este ímpetu de análisis de coste beneficio para la toma de decisión ha sido sistemáticamente marginado por las Administraciones dentro de la Unión Europea (APAS, 1996), expresando con mayor insistencia y rigor el desarrollo de nuevos métodos de análisis para los proyectos, siendo decisivo para configurar otras formas de evaluación en el sector.

En definitiva, el presente capítulo tiene como objetivo definir aquellas metodologías de apoyo a la decisión mediante el análisis multicriterio así como, las metodologías de evaluación, concretamente en el ámbito de carreteras, en base a su línea de actuación y de acuerdo al país donde se hayan aplicado.

Para ello, en primer lugar en aras de situar el tema, se hace un breve repaso sobre la clasificación de las metodologías de análisis multicriterio debido a que el modelo que se propone para la evaluación tiene un perfil similar.

Para la comprensión de este capítulo, se estructura en los siguientes apartados;

- Clasificación de los métodos multicriterio
- Metodologías de evaluación para carreteras
- Experiencias de aplicación de AHP en modelos de evaluación específicamente para carreteras

En primer lugar se exponen los modelos que se han desarrollado para tomar una decisión, cuando los aspectos considerados se encuentran en conflicto, es decir con un análisis multicriterio. Se muestran las características y las metodologías de aplicación en este contexto general.

Con posterioridad se hace un análisis detallado de los modelos que son utilizados para evaluar una carretera según su línea de actuación y según el país donde se han aplicado. En la primera, se analizan por un lado las técnicas utilizadas para obtener el coste y el beneficio de un proyecto viario, examinando brevemente sus ventajas y desventajas. Por otro lado, se define las características del análisis multicriterio mostrando sus ventajas y los aspectos diferenciales del planteamiento de coste y beneficio. En un apartado final se describen las metodologías de evaluación para carreteras según el país donde se han aplicado.

Por último, para terminar el estado del conocimiento se muestran algunas experiencias de evaluación en el sector de carreteras que incorporan el modelo de A.H.P. (Analytical Hierarchy Process).

## 2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS MULTICRITERIO

Las técnicas de decisión multicriterio consisten en un grupo de herramientas que resuelven problemas de decisión complejos de una forma más realista que los enfoques tradicionales, permitiendo la incorporación de diferentes criterios y visiones de la realidad (Moreno-Jiménez, 1996). Con ello, existen diversas formas de clasificar las técnicas de decisión multicriterio, Korhonen et al (1992) propone tres grandes grupos de técnicas de decisión multicriterio en función de las siguientes situaciones:

- 1) Se dispone de información completa sobre las preferencias del decisor.

Este es el enfoque clásico adoptado por la teoría de utilidad multiatributo (MAUT). Es decir, se tiene la información completa sobre las preferencias del decisor sobre un conjunto de alternativas y, entonces se asume la existencia de una función de valor global que agrega las funciones de valor de cada uno de los criterios.

En el caso de que el conjunto de alternativas sea discreto, el problema consiste en construir la función de valor que refleje las preferencias del decisor y que integre los criterios. Si existe incertidumbre, hay que construir una función de utilidad, previa asignación de las funciones de probabilidad correspondientes.

En el caso de que el conjunto de alternativas sea continuo, existen varios algoritmos que resuelven el problema de optimización, y se reduce a un problema de programación matemática.

- 2) Se dispone de información nula sobre las preferencias del decisor

Este es el enfoque clásico adoptado por la programación matemática y se utiliza cuando no se tiene la información suficiente sobre las preferencias del decisor para construir una función de valor.

Bajo este planteamiento surgen diversos tipos de problemas y distintos enfoques para solucionarlos, no obstante el propósito final es ayudar al decisor a encontrar la mejor solución. La resolución de este problema implica obtener un punto óptimo que sea máximo respecto a cada uno de los criterios, que se define como punto ideal. Debido al conflicto de objetivos y la limitación de recursos, la existencia de dicho punto es muy rara en los problemas reales, por lo que se introduce el concepto de solución eficiente o Pareto óptima.

### 3) Se dispone de información parcial sobre las preferencias del decisor

Este es el enfoque adoptado por los métodos interactivos (método STEM; método de ZIONTS y Wallenius, Método de Geoffrion, método Surrogate, Tradeoff, etc.) y se utiliza cuando no se tiene la información completa de las preferencias del decisor. Se tienen dos enfoques, el primero se basa en una función de valor implícita. El decisor responde a unas cuestiones específicas que se emplean como guía en el proceso hacia una solución que es la óptima o la más deseada. El segundo enfoque se basa en la no existencia de una función de valor. En este caso, los niveles de aspiración del decisor son proyectados respecto a los objetivos sobre la región factible.

Las técnicas de decisión multicriterio presentan diferencias tanto en las características de los modelos desarrollados como en las características del proceso de desarrollo de dichos modelos (Doumos & Zopounidis, 2002). Considerando ambos aspectos, Alarcón (2006) propone otra clasificación de las técnicas de decisión multicriterio en dos corrientes metodológicas: continuas y discretas

En la tabla 2.1 se muestran las corrientes de clasificación de las metodologías. Si el conjunto de alternativas es **infinito**, se suelen aplicar aproximaciones basadas en optimización, en la que supone que los distintos objetivos pueden ser expresados en un denominador común mediante intercambios. Dentro de esta clasificación se encuentran los métodos de programación por metas y programación por compromiso.

Para un **número finito discreto** pequeño de alternativas y varios criterios, se suelen denominar técnicas de decisiones con multiatributos. El punto de partida es una matriz en la que un elemento  $i$  representa una cierta valoración de la decisión.

Estos métodos se diferencian sobre la base de si las ventajas de un determinado atributo o criterio pueden ser intercambiadas por las desventajas de otro atributo o, si no es posible este intercambio. Dentro de estas técnicas se encuentran los métodos de agregación y los métodos basados en relación de orden.

TÉCNICA	METODOLOGÍAS
Infinito Continuo	Programación por metas y programación por compromiso
Infinito Discreto	Métodos de agregación: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Directos</li> </ul> Teoría Utilidad multiatributo (MAUT) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jerárquicos</li> </ul> A.H.P. / A.N.P.
	Métodos basados en relaciones de orden como métodos de superación: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ELECTRE</li> <li>• PROMETHEE</li> <li>• TODIM</li> <li>• TOPSIS</li> </ul>
Finito Discreto	Métodos de la decisión Multiobjetivo

**Tabla 2.1.** Métodos empleados en el análisis multicriterio

Los **métodos de agregación** consisten básicamente en la aplicación de procedimientos matemáticos para sintetizar los valores obtenidos por cada alternativa respecto a todos los criterios considerados en el análisis. Los valores obtenidos pueden referirse tanto a las puntuaciones de las alternativas respecto de algún criterio, como a la utilidad que reporta el puntaje obtenido en dicho criterio. (Flamet, 1999). Dentro de estos métodos de agregación existe otra clasificación.

- Métodos directos dentro del cual se incluyen metodologías como la Teoría de Utilidad Multiatributo (MAUT).
- Métodos Jerárquicos: Dentro de estos se encuentra el A.H.P. (Analytical Hierarchy Process) y el A.N.P. (Analytical Network Process).

Estas metodologías fueron desarrolladas por Saaty (1985) donde involucra a través de A.H.P. todos los aspectos concernientes a la toma de decisión: Modela el problema a través de una estructura jerárquica, utiliza escala de prioridades basada en la preferencia de un elemento sobre otro, sintetiza los juicios emitidos y entrega un ranking u ordenamiento de las alternativas de acuerdo a los pesos obtenidos. (Arancibia et al 2003).

Esta metodología propone una manera de ordenar el pensamiento analítico, de la cual se destacan tres principios básicos: el principio de la construcción de jerarquías, el principio de establecimiento de prioridades y el principio de la consistencia lógica (Alarcón, 2006).

El A.N.P. por su parte, aporta un esquema para entrar juicios. Estos juicios se derivan de una escala de prioridades previamente establecida. Adicionalmente se hacen unas comparaciones por pares para obtener prioridades.

Este método está dividido en dos partes. La primera es un control de jerarquía o de red de objetivos y criterios que controlan las interacciones del sistema bajo estudio. La segunda corresponde a muchas sub-redes que pertenecen a cada criterio. El A.N.P. ha sido aplicado a una gran variedad de decisiones: construcción, industria, sector empresarial, marketing, medicina, social, medioambiental entre otros.

**Los métodos basados en relación de orden**, se refieren a la comparación de dos alternativas respecto a todos los criterios mediante el uso de relaciones binarias. Las metodologías encontradas son: ELECTRE, PROMETHEE, TODIM, TOPSIS (Flament, 1999).

El método **PROMETHEE** (Preferente Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) fue desarrollado por Brans & Vincke (1985) y consiste en la construcción de relaciones de superación valorizadas así como en la incorporación de conceptos y parámetros que poseen alguna interpretación física o económica fácilmente comprensibles por el decisor.

**PROMETHEE** utiliza el concepto de pseudo criterio, ya que construye entre cada par de acciones ordenadas  $a$  y  $b$ ,  $\pi(a, b)$ , tomando en cuenta la diferencia de puntuación que esas acciones poseen respecto a cada atributo. La valuación de esas diferencias, puede realizarse mediante seis funciones de valor posibles y que son utilizadas de acuerdo a las preferencias del decisor, quien además debe proporcionar los umbrales de indiferencia y de preferencia asociados a estos pseudo criterios.

El método **ELECTRE** pertenece a la familia de métodos basados en relaciones de superación y consiste en determinar una solución, que sin ser óptima puede considerarse satisfactoria o bien se determina una jerarquización, alternativas bajo análisis. Este método fue desarrollado por la escuela francófona (Francia, Bélgica, Suiza).

El método **TODIM** (Tomada de Decisión Interactiva Multicriterio) fue desarrollado por Gomes & Lima (1992) y tiene en cuenta la toma de decisión bajo riesgo. El método consiste en prescribir una acción a través de una priorización de todas las alternativas. El riesgo asociado a cada alternativa será un valor adimensional, en la medida en que no se prefiera un objetivo sobre los restantes, es decir que se respeta la multidimensionalidad del problema de decisión. Los riesgos parciales asociados a una alternativa determinada, pueden obtenerse fácilmente a partir de las preferencias de los expertos en el caso de criterio cualitativo o mediante los cálculos obtenidos con los criterios cuantitativos.

El método **TOPSIS** (Technique for Order Preference by similarity to Ideal Solution) es la denominada metodología de programación por compromisos y con frecuencia es utilizada para identificar soluciones que se encuentran lo más cerca posible a una solución ideal aplicando para ello alguna medida de distancia. Las soluciones así identificadas se denominan soluciones compromiso y constituyen el conjunto de compromiso.

Además de las corrientes metodologías multicriterio anteriores, que persiguen la evaluación de un conjunto numerable o no de alternativas, existe un conjunto de métodos cuyo objetivo es básicamente la ponderación de variables o asignación de pesos. Estos métodos normalmente se emplean en combinación con otras herramientas de decisión, en determinadas etapas de su metodología. Los métodos de ponderación de variables se pueden clasificar en métodos de asignación directa y métodos de asignación indirecta

La asignación directa de pesos se puede realizar directamente mediante un grupo de trabajo o un individuo. Para ello se establece una escala que determina el grado de importancia de los criterios, en la que cada experto asigna un peso a cada criterio según su apreciación y, posteriormente, se calcula el peso definitivo de cada criterio calculando el valor medio de los valores asignados por los expertos a cada uno de los criterios.

La asignación de pesos en una jerarquía de objetivos se realiza cuando se ha establecido una jerarquía de objetivos. La misma se inicia por el nivel de mayor complejidad descendiendo progresivamente hacia los niveles de menor complejidad. El objetivo del nivel más alto tiene un valor de 1, los siguientes niveles se les asignan dos pesos: el peso relativo dentro del nivel correspondiente y el real que se obtiene de multiplicar dicho peso por el nivel inmediatamente superior.

En la tabla 2.2 se muestran las características de algunas aplicaciones de AHP. Bana & Costa (1986) expresan que el objetivo del decisor es seleccionar la acción que genera menos conflicto entre varios actores que expresan diferentes niveles de

aceptación de la importancia relativa de los criterios de evaluación (pesos) y que el decisor quiere tener en cuenta. Solomy y Zombi (1986) proponen un método interactivo para la determinación de pesos. Únicamente requiere comparaciones ordinales por parte del decisor. Los juicios se pueden formular en forma de desigualdades lineales que restringen el conjunto de pesos factibles y valores umbrales.

Por otra parte, Golany y Kres (1993) expone dos métodos para determinar las preferencias: métodos basados en el vector propio: Análisis jerárquico de procesos (AHP) y los métodos extremos, por ejemplo: mínimos cuadrados directos, mínimos cuadrados ponderados, mínimos cuadrados logarítmicos, y valores absolutos mínimos.

Finalmente, Sen y Yang (1994) describen un método de determinación de pesos mediante un proceso iterativo que utiliza información preferencial mínima. Se plantea una comparación binaria entre criterios y se utiliza un procedimiento sistemático para adquirir y representar la información de las preferencias, de manera que los atributos se pueden asignar inicialmente sobre las bases de un conjunto de comparaciones. Este método se denomina Minimal Pairwise Comparison (MIPAC).

Autores	Descripción determinación pesos
Bana e Costa (1986)	El decisor selecciona la acción que genera menos conflicto entre varios actores
Solomy y Dombi (1986)	Método interactivo para la determinación de pesos. Únicamente requiere comparaciones ordinales por parte del decisor.
Golany y Kres (1993)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Métodos basados en el vector propio</li> <li>• Métodos extremos</li> </ul>
Sen y Yang (1994)	Describen un método de determinación de pesos mediante un proceso iterativo que utiliza información preferencial mínima. Se plantea una comparación binaria entre criterios y se utiliza un procedimiento sistemático para adquirir y representar la información de las preferencias, de manera que los atributos se pueden asignar inicialmente sobre las bases de un conjunto de comparaciones. Este método se denomina Minimal Pairwise Comparison (MIPAC).

**Tabla 2.2.** Métodos de asignación de pesos.

De la asignación de pesos se puede concluir que hay gran variedad de metodologías, entre las cuales se encuentra el AHP (Analytical Hierarchy Process) y que también además de asignar pesos se puede considerar como una metodología estructurada de toma de decisión. Dado que en este planteamiento no se precisa una asignación de pesos a priori, sino que esta es una consecuencia y, que por otro lado, la

definición de prioridades se hace a través de una evaluación por pares, planteamiento este admitido en el ámbito científico, a lo largo del desarrollo de esta tesis se utiliza el AHP como herramienta de evaluación.

### 2.3. LA FUNCIÓN DE VALOR

La primer parte de este apartado ha considerado una gran variedad de metodologías aplicables a los problemas de toma de decisión multicriterio. Algunos de estos métodos se basan en la construcción de la función de valor en la cual se realizan suposiciones más o menos consistentes con las preferencias del decisor. Ya que los problemas más conocidos se fundamentan en dicha teoría, a continuación se pasa a explicar sus generalidades y sus mecanismos de funcionamiento.

Existe gran diversidad para definir una función de valor. Ríos et al (1989) la define como la traducción del sistema de preferencias del decisor dentro de una escala con valores en (reales). León (1993) la define como un incremento de beneficio en magnitud de un atributo con respecto a otro y Aragonés et al (1997) establece por su parte que la función de valor refleja las preferencias del decisor a partir de un valor.

Al reflexionar sobre las diferentes concepciones que se tienen sobre la función de valor, se puede concluir que su objetivo básico es transformar la unidad de los aspectos o variables (reflejada en un número) a una escala común entre ellos.

Este sistema de preferencias puede enmarcarse bajo dos situaciones: una en el cual se conocen los valores de cada variable asociado a su alternativa. En este caso la función se denomina "Función de Valor" y otra en el cual los criterios se modelizan mediante variables aleatorias asociadas a cada alternativa. Para este caso la función se denomina "Función de Utilidad" (Aragonés et al, 1997).

Construir una función de valor no es trabajo fácil y especialmente en el caso de que haya interdependencia entre las variables. Sin embargo, se han creado un sin número de metodologías que reflejan las preferencias del decisor tal y como se muestra en la tabla 2.3 donde se hace un resumen de las metodologías existentes. Se incluyen métodos para el caso de la función de valor con certidumbre y para el caso de incertidumbre.

<b>FUNCIÓN DE VALOR CON CERTIDUMBRE</b>	Método de las diferencias iguales
	Método de Ríos y YU <ul style="list-style-type: none"> <li>• Método de función de valor general</li> <li>• Método de funciones de valor aditivas</li> </ul>
	Método de la Bisección
	Total Implied Value Method (NCIC)
<b>FUNCIÓN DE VALOR CON INCERTIDUMBRE</b>	BRLT (Basic Referente Lotery Tickets)
	Método convencional
	A fuzzy logic Stochastic Technique for projects selection

**Tabla 2.3.** Metodologías para construir una función de valor

### 2.3.1. Función de valor con certidumbre

El método de diferencias iguales (León, 1993) consiste en valorar la indiferencia entre magnitudes lo que supone un grado más en la capacidad del decisor para discriminar los beneficios asociados a los cambios de magnitud de la variable en estudio.

Este consiste en determinar la diferencia de cantidades más pequeña con significado, a partir del valor más bajo ( $X_0$ ) de la variable ( $X_1 - X_0$ ). El siguiente paso consiste en establecer otra diferencia por encima de la anterior ( $X_2 - X_1$ ) cuyo beneficio sea similar al producido en la primera diferencia. Estas diferencias se repiten sucesivamente hasta que se alcance la cantidad máxima de la variable en estudio. A partir de estos valores, se construye la función de valor deseada.

La ventaja de este método es que siempre se define un mínimo y un máximo, y es más confiable por la precisión de los datos proporcionados por el decisor. No obstante, el inconveniente que se presenta es que el decisor no siempre tiene claros los valores ni la precisión que se necesita para este caso.

La **Metodología de RIOS y YU** (Ríos et al 1989 & Yu 1985) propone cuatro modelos para construir la función de valor dependiendo de la estructura preferencial revelada por el decisor.

- Modelo de función de valor general. Este modelo se basa en dos premisas: la construcción de superficies de isovalor o indiferencia y la construcción, propiamente dicha, de la función de valor a partir de las superficies de isovalor.

La idea básica de la superficie de isovalor es que se parte de un punto  $(z_1, z_2)$  y se da un incremento  $h_1$  a  $z_1$  y se obtiene, por consulta al decisor, el incremento negativo  $-h_2$  de la otra variable  $z_2$ , de modo que sea

$$(z_1, z_2) \sim (z_1+h_1, z_2-h_2)$$

Este cociente  $h_2/h_1$  se llama tasa de intercambio o sustitución entre  $z_1$  y  $z_2$ . Por pasos sucesivos se va obteniendo la curva de isovalor y mediante un ajuste a un tipo de curva fijado, obtenemos la curva buscada. La principal ventaja es que se va comprobando la consistencia de las preferencias expresadas por el decisor variando los puntos iniciales y los incrementos.

- Modelo de funciones de valor aditivas contiene tres métodos para las funciones de valor aditivas (Rios et al 1989, Keeney et al 1976; Yu, 1985).

- *Método (1) de la sucesión estándar (de Luce-Tukey)*

El método consiste en asignar a  $x_0, y_0$  los mínimos de  $x, y$  poniendo  $v_x(x_0)=0, v_y(y_0)=0$ , luego elegir un nivel  $x_1$  tal que  $v_x(x_1)=1$  (es decir, elegimos una unidad para la escala de  $x$ ). Posteriormente se debe pedir al decisor que fije  $y_1$  tal que  $(x_1, y_0) \sim (x_0, y_1)$ .

Con esto se tiene:  $v_x(x_1) + v_y(y_0) = v_x(x_0) + v_y(y_1)$ , o sea  $1=v_y(y_1)$  (es decir,  $y_1$  es la unidad para  $y$ ). Se sigue con el mismo procedimiento para  $x_2$  hasta obtener la escala de  $x$  por la función  $v_x(x)$ . Análogamente se construye la  $v_y(y)$  y, en consecuencia, la  $v(x,y) = v_x(x) + v_y(y)$ . La construcción de puntos intermedios en la escala es inmediata y permite hacer nuevas comprobaciones.

- *Método (2) de la graduación directa*

El decisor asigna directamente un valor numérico a  $v(z_i)$  para cada valor particular de la variable  $z_i$ . Esto es más fácil de realizar si  $z_i$  es discreta y tiene sólo unos cuantos estados distintos. En caso de que  $z_i$  sea continua se debe considerar un intervalo mínimo y máximo al cual se le asigne un valor de 0 y 1 respectivamente. Posteriormente, mediante interpolación lineal obtener  $v(z_i)$  o también mediante estimación subjetiva directa de algunos valores para  $v(z_i)$ . Aporta el inconveniente de ser un método subjetivo.

- *Método (3) del punto medio*

Considera el intervalo  $[z_a, z_b]$  limitado por el mínimo y el máximo de  $z$ . Si se tiene que  $z_1$  es el punto medio entre  $z_a$  y  $z_b$  y la preferencia del decisor es la misma entre  $z_a - z_1$  y  $z_1 - z_b$  obtenemos :

$$V(z_1) - v(z_a) = v(z_b) - v(z_1)$$

$$v(z_1) = \frac{1}{2}(v(z_a) + v(z_b))$$

Ahora si se supone que  $v(z_a) = 0$  y  $v(z_b) = 1$  de la ecuación anterior, resulta  $v(z_1) = 0.5$ . Análogamente, se obtienen a partir de  $z_a$  y  $z_1$  el punto  $z_{0.25}$  tal que  $v(z_{0.25}) = 0.25$ . Una vez determinadas las escalas individuales y validado el modelo aditivo  $V(z) = \sum \lambda_i v_i(z_i)$  ( $\sum \lambda_i = 1$ ). Se trata de determinar las constantes  $\lambda_i$  ( $i=1, \dots, N$ ).

Para esto basta considerar  $N-1$  pares de puntos indiferentes y establecer las correspondientes ecuaciones. Esta idea de obtener las constantes mediante un número suficiente de ecuaciones obtenidas igualando el valor en pares de puntos indiferentes se extiende a otros modelos.

El **método de la Bisección** fue creado por Pfanzagl (1968) y consisten en identificar la peor y la mejor magnitud de cada variable (para ello se puede elegir entre dos de nuestras propias alternativas o establecer dos anclajes externos, aunque siempre conviene que se siga el mismo criterio en todos los aspectos o variables). Posteriormente se debe asignar el valor de 0 a la menor y 100 a la mayor de las alternativas en el atributo en estudio. En seguida se debe definir qué magnitud del aspecto produce un valor medio en la función de valor.

Ese valor puede ser cualquier valor entre el máximo y el mínimo. Se le asigna un valor de 50. Una vez establecidos estos valores se debe repetir el proceso para encontrar los cuartiles, esto es, los  $X_i$  cuyos valores son intermedios entre 0 y 50 y entre 50 y 100. Con estos valores, se deben representar las magnitudes del atributo (abscisas) y sus correspondencias según la función de valor. Después se traza la curva suavizada que une todos los puntos de la función.

El método es relativamente simple y rápido, pero exige al decisor un mayor compromiso con la obtención de los valores para la variable. Es un método sin probabilidades y sin incertidumbres.

El **método Total Implied Value**": **NCIC** (Nontraditional capital Investment Criteria) fue creado por Norris et al 1995 y consiste en construir la función de valor en términos monetarios. Tiene en cuenta beneficios y costos respecto a una alternativa

base. Para construir la función se comparan los incrementos de valor para cada una de las alternativas en un aspecto específico con respecto a una alternativa base. Los incrementos de valor estimados se grafican respecto al valor de los actuales niveles de funcionamiento de tal manera que se obtenga una función de valor implícita "implied value function (IVF)". El eje de las abscisas corresponde con valores cuantitativos en caso de ser aspectos medibles con sus respectivas unidades.

La función se utiliza para ordenar las alternativas, identificar una selección de las más preferidas, seleccionar la más preferida, y para corroborar la consistencia de los juicios del emisor.

### 2.3.2. Función de valor con incertidumbre

El **método BRLT** (Basic Referente Lottery Tickets) fue desarrollado por Raiffa (1968) y consiste en definir la mayor ( $X^*$ ) y la peor ( $X^*$ ) de las alternativas disponibles en el aspecto en estudio. Construir la lotería: ( $X^*$ ,  $P$ ;  $X^*$ ,  $1-P$ ); es decir: puede ocurrir  $X^*$  con una probabilidad de  $P$ , o en caso contrario ocurrirá  $X^*$  con una probabilidad de  $1-p$ . En seguida se elige un  $X_i$  magnitud de la variable que deseamos conocer su utilidad, pudiendo ser directamente una magnitud correspondiente a una de las alternativas. Mediante sucesivas preguntas y respuestas con el decisor, cambiando los valores de  $p$ , debe establecerse la siguiente relación:

$$X_i > (X^*, P_{\max}; X^*, 1-P_{\max})$$

donde  $P_{\max}$  es el máximo valor de  $p$  para el cual el decisor sigue prefiriendo ( $>$ ) la magnitud  $X_i$  segura. Con similar procedimiento determinar

$$X_i < (X^*, P_{\min}; X^*, 1-P_{\min})$$

donde  $P_{\min}$  es el mínimo valor de  $p$  para el cual el decisor sigue prefiriendo ( $<$ ) la lotería de la cantidad segura  $X_i$ . Determinado el intervalo ( $P_{\min}$ ,  $P_{\max}$ ) preguntar directamente al decisor por el valor  $P_i$  incluido en el intervalo para el cual su preferencia entre la cantidad segura y la lotería se hace indiferente. Finalmente se debe calcular la utilidad de  $X_i$  estableciendo como extremos que  $U(X^*)=0$  y que  $U(X^*)=100$ .

$$U(X_i, 1) = P_i(X^*) + (1-P) U(X^*)$$

La ventaja de estos métodos es que presenta de manera formal una situación incierta. No obstante es difícil saber la probabilidad de ocurrencia del fenómeno.

El **método Convencional** (configuración simple de la función de utilidad) se usa para construir las funciones de valor y en este caso particular de utilidad, las “loterías”. Una lotería es un suceso probabilístico. En la función de utilidad se plasma la actitud del decisor con respecto al riesgo. Algunos autores (Keeny et al 1976) expresan que esta técnica es la mejor ya que reflejan la valoración de beneficios por parte del decisor.

La construcción de esta función a partir del método convencional se inicia estableciendo un rango de valores de utilidad. Posteriormente se determina la utilidad cuya “utilidad” es 0.5. Se hace la siguiente suposición de forma general:

$$\text{Si } U(X_i, 1) = U(X_{\text{sup}}, P_j) \text{ entonces } U(X_i) = P_j$$

Otra forma construir la función de utilidad es:

- Definir  $X^*$  que es la mejor alternativa posible en rango
- Definir  $X^*$  que es la peor alternativa posible en rango
- Asignar valores convenientes  $U(x^*)=1$ ;  $U(x^*)=0$
- Conducir a la recolección de datos para encontrar  $X_i$  y  $p$  Nota=  $U(x_i) = P$  generalmente  $p=0.5$
- Repetir, substituyendo nuevo  $X_i$  en lotería, cuantas veces se desee  
 $X_2=(X_1, 0.5; X)$

El **método Fuzzy stochastic technique for projects selection** fue desarrollado por Wong et al 2000. Los pasos que sigue este método son:

- Especificar variables para la evaluación: hacer un listado de variables
- Obtener estimaciones de expertos para las variables: Para variables inciertas, se considera subjetivamente el valor optimista y el más pesimista. Estos valores proveen un intervalo de probabilidades en números reales, esto es, ( $P_x < a$  o  $P_x > b$ ). Para variables cualitativos se escalan de acuerdo a las preferencias del decisor.
- Determinación empírica de las funciones de utilidad: Se han desarrollado significativas teorías para el uso de modelos de utilidad y se resumen básicamente en el que la utilidad o la función puede ser aditiva o multiplicativa.
- Un método en el que se especifica la utilidad de la función es “certainty equivalent method” en donde la decisiones se obtienen preguntando al decisor sobre loterías

y más específicamente sobre probabilidades. Se otorga al mejor valor una utilidad de uno y al peor un valor esperado 0. Una vez se asignan estos valores y después de más preguntas el decisor admite un valor indiferente entre recibir una cantidad determinada o la lotería. A partir de este número se puede obtener una utilidad igual al valor esperado para este número: (0.5).

Con el mismo procedimiento, se obtiene la utilidad entre el peor valor y el que ahora resulta indiferente. Igualmente el mejor valor y el indiferente. Con estos valores se siguen creando hipotéticas loterías entre los nuevos valores que se obtienen. Al final, la forma de la función de utilidad depende de los juicios de subjetividad.

Como conclusión de este apartado, la metodología que se propone se basa en funciones de valor de aditivo pues además de verificar las condiciones de independencia preferencial mutua entre variables, implica menos esfuerzo y gran rigor científico.

## **2.4. METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN EN CARRETERAS**

A la hora de medir los cambios en el capital social, medioambiental y el económico, las complejidades son enormes y los modelos de medición para valorar esos cambios son variados. En la literatura técnica se han identificado que las metodologías de evaluación aplicada a carreteras se definen bajo dos premisas: según su línea de actuación y según el país de origen. A continuación se definen y describen las características de cada una de estas dos categorías.

### **2.4.1. Según la línea de actuación**

La EURET (2005), en su apartado [1.1] presenta las dos formas de concebir una evaluación para carreteras. Estas líneas de actuación están definidas en 2 tipos: “Análisis Coste – Beneficio” (CBA) y “Análisis Multi-criterio” (MCA), por sus siglas en inglés).

El objetivo específico de este subapartado es mostrar las dos líneas de actuación para evaluar carreteras, por lo que se comienza haciendo un breve resumen de la concepción del “análisis coste beneficio”, mostrando su finalidad, parámetros que considera, así como las diversas técnicas que sirven de apoyo para su aplicación. Con posterioridad, se define el “análisis multicriterio”, mostrando las diversas aplicaciones identificadas bajo este contexto.

### **Análisis Coste - beneficio (CBA)**

Un análisis de coste-beneficio consiste en obtener los mayores y mejores resultados al menor esfuerzo invertido. Se aplica frecuentemente para determinar cuál de las distintas opciones ofrece mejor rendimiento sobre la inversión. Esta herramienta es especialmente útil en proyectos de mejora de la calidad, y cuando un equipo está evaluando las alternativas de solución a una situación determinada (Fernández et al, 1996).

Para el cálculo de la relación Coste - Beneficio (c - b) también se requiere de la existencia de una tasa de descuento para su cálculo. Para determinar el coste - beneficio, primero se establecen por separado los valores actuales de los ingresos y los egresos, luego se divide la suma de los valores actuales de los costos e ingresos. En la ecuación 1.1 se muestra la forma de calcular este coste respecto a su beneficio:

$$B/C = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{Vi}{(1+i)^b}}{\sum_{i=0}^n \frac{Ci}{(1+i)^c}} \quad [1.1]$$

dónde: **C-B** = Relación Beneficio / Costo

**Vi** = Valor de la producción (beneficio bruto)

**Ci** = Egresos (i = 0, 2, 3,4...n)

**i** = Tasa de descuento

En definitiva, se pueden dar presentar situaciones en la relación Beneficio Costo:

- Relación B/C >0

Índice que por cada euro de costes se obtiene más de un euro de beneficio. En consecuencia, si el índice es positivo o cero, el proyecto debe aceptarse.

- Relación B/C < 0

Índice que por cada euro de costes se obtiene menos de un euro de beneficio. Entonces, si el índice es negativo, el proyecto debe rechazarse.

Finalmente, el valor de la relación coste-beneficio cambiará según la tasa de descuento seleccionada, o sea, que cuanto mas elevada sea dicha tasa, menor será la relación en el índice resultante.

En España, existe cierta tradición de desarrollar análisis de coste-beneficio en los proyectos, sin embargo, esta tradición no ha sido muy extensa, comparado con otros países de la propia Comunidad Europea (Riera & Nájera, 2002). En la actualidad, existen cuatro (4) técnicas para obtener este análisis: punto de equilibrio, período de retorno ó de devolución, valor de presente neto (el más común) y la tasa interna de retorno y a continuación se definen cada una de ellas.

**El punto de equilibrio** Se define como el tiempo necesario que tomaría el total de incremento de ingresos y la reducción de gastos sea igual al coste total. Es una herramienta financiera que permite determinar el momento en el cual las ventas cubrirán exactamente los costos, expresándose en euros ó porcentaje. Observar el punto de equilibrio para realizar una mejora del beneficio en un proyecto, es una de las formas más sencillas de hacer el análisis de coste-beneficio (Borrachero, 1999).

Para la determinación del punto de equilibrio debemos en primer lugar conocer los costos fijos y variables de la empresa; entendiendo por costos variables aquellos que cambian en proporción directa con los volúmenes de producción y ventas, por ejemplo: materias primas, mano de obra a destajo, comisiones. Por costos fijos, aquellos que no cambian en proporción directa con las ventas y cuyo importe y recurrencia son prácticamente constantes, como son la renta del local, los salarios, las depreciaciones, amortizaciones. En lo que sigue se muestra la ecuación 1.2 que representa lo anterior.

$$\text{Punto de equilibrio} = (\text{Costes fijos totales}) / (1 - \text{costes variables/ventas}) \quad [1.2]$$

**El Período de devolución** (Payback Period) es el tiempo necesario para recuperar el monto inicial de una inversión de capital de un proyecto. Calcula la cantidad de tiempo que se tomaría para lograr el flujo de caja positivo igual a la inversión total.

Toma en cuenta los beneficios, tales como el valor asegurado, indicando esencialmente la liquidez del esfuerzo por mejorar el proceso, en vez de su rentabilidad. En la ecuación 1.3 se muestra la forma de calcular el período de devolución.

$$\text{PP} = (\text{Coste proyecto/inversión}) / \text{Efectivo total anual} \quad [1.3]$$

El período de reembolso es el método más sencillo para analizar estudios de inversión, centrándose esencialmente en la recuperación de costes de inversión.

El **valor presente** procede de la expresión inglesa Net present value. El acrónimo es NPV en inglés y VAN en español. Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los cash-flows futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto. La fórmula que nos permite calcular el Valor Actual Neto es

$$VAN = -A + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+i)^n} \quad [1.4]$$

La **tasa Interna de retorno**, La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. El VAN o VPN es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente.

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+TIR)^n} = 0 \quad [1.5]$$

donde:  $Q_i$  = es el Flujo de Caja en el periodo  $i$ .

TIR = es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para comparar la factibilidad de diferentes opciones de inversión. Generalmente, la opción de inversión con la TIR más alta es la preferida.

Aunque es deseable que los beneficios sean más grandes que los costes, no existe una respuesta única de cual es la relación ideal de beneficio a coste. Existe en ciertas ocasiones ganancias que no necesariamente son económicas, sino pudieran ser de naturaleza social, por ejemplo motivación de los empleados, responsabilidades legales y seguridad en el trabajo (Bofill, 1995), etc., y pueden ser beneficios escondidos que no son evidentes en el análisis original. Es aquí donde se presenta una de las mayores desventajas con respecto al análisis multicriterio.

### **Análisis Multicriterio (MCA)**

El análisis multicriterio es un método que permite orientar la toma de decisiones a partir de varios criterios comunes. Este método se destina esencialmente a la comprensión y a la resolución de problemas de decisión. Se utiliza para emitir un juicio comparativo entre proyectos o medidas heterogéneas, por lo que puede emplearse en evaluación.

De esta forma, tomando como base diversos criterios, los decisores pueden integrar, en un contexto prospectivo o retrospectivo, la diversidad de las opiniones relativas a los proyectos para emitir un juicio (Voogd, 1983).

Este método implica la participación de los distintos actores (decisores, técnicos, beneficiarios) y conduce a la obtención de consejos operativos y recomendaciones. Su objetivo es alcanzar una solución mediante la simplificación del problema, respetando en todo momento las preferencias de los actores (Gaspa, 2006).

El análisis multicriterio es ante todo una herramienta vinculada a la toma de decisiones, por lo que se emplea a menudo como apoyo en el proceso de planificación y en las posibles evaluaciones que pueden realizarse en este contexto. Sirve sobre todo, para comparar diferentes alternativas (trazados de carreteras, opciones de ordenación territorial, ofertas de empleo público, etc.) o diversas medidas de un programa.

Finalmente, la principal ventaja del análisis multicriterio es su utilidad para simplificar situaciones complejas. Efectivamente, se ha comprobado que, más allá de determinados criterios, la mayoría de los decisores no son capaces de integrar la totalidad de la información en su valoración. Descomponiendo y estructurando el estudio, el análisis multicriterio permite avanzar paso a paso hacia la búsqueda de una solución objetiva y razonada.

Ya definidas las dos líneas en que se puede valorar un proyecto constructivo de una carretera se muestran las técnicas utilizadas en base al país de aplicación.

### 2.4.2. Según el país de aplicación

Como se ha podido observar a través del marco conceptual comentado anteriormente, existen dos formas o líneas de evaluar carreteras: [CBA] y [MCA]. Ahora en lo que sigue, se presentan las distintas metodologías empleadas para evaluar una carretera según el país donde se han aplicado y se representan en la tabla 2.4. Dicha tabla ha sido expuesto por el Comité de carreteras internacional (Road Safety Committee of the World Road Association) en el congreso de la PIARC 2005 a través de la Asociación Mundial de carreteras (AEC).

En su gran mayoría estas metodologías adoptan el análisis coste-beneficio, por el hecho de ser, en cierto modo, más simples y fáciles de aplicar.

El **Porcentaje (%) de carretera en buen estado respecto clase de vía** consiste en medir cualitativamente el nivel de servicio de la calzada mediante la apreciación visual del decisor. Esta valoración se lleva a cabo en países como Canadá, República Checa, Suecia o Suiza donde el nivel de servicio se encuentra definido.

**Análisis Multicriterio** es utilizado cuando un grupo de personas debe tomar una decisión importante en la que concurren distintos aspectos, complejos o controvertidos, fundamentalmente en las etapas de selección y evaluación de alternativas.

La **Percepción del usuario** consiste en medir el confort del usuario de la carretera. Este tipo de valoraciones es la técnica más sencilla, pero también la que aporta menos fiabilidad debido a que pueden existir diferencias entre la valoración de un usuario u otro. Con frecuencia se realizan estudios con esta técnica cuando se pretende tener una valoración rápida.

**Análisis de coste-beneficio** consiste en determinar si los beneficios de un proceso o procedimiento dado están en proporción con los costes. Se aplica frecuentemente para determinar cuál de las distintas opciones ofrece mejor rendimiento sobre la inversión. Esta herramienta es especialmente útil en proyectos de mejora de la calidad, cuando un equipo está evaluando las alternativas de solución a una situación determinada.

**Menos coste en su ciclo de vida** consiste en valorar el beneficio económico durante el ciclo de vida. Con frecuencia se utilizan otras técnicas de apoyo como el

SIMAPRO<sup>6</sup>. Países en desarrollo tales como EE.UU. o el reino Unido emplean este tipo de planteamientos para otorgar un carácter de sostenibilidad a sus proyectos.

País	% de carretera en buen estado respecto clase de vía	Análisis Multicriterio	Percepción del usuario	Análisis de Coste-beneficio	Menos coste en su ciclo de vida
Australia					X
Canadá	X				
Rep. Checa	X				
Dinamarca				X	
Hungría		X			
México		X		X	
Nw Zelanda			X	X	X
Sud-África					X
Suecia	X			X	
Suiza	X				
Reino Unido		X		X	X
USA				X	X
Italia		X			
España		X	X	X	

**Tabla 2.4.** Modelos de evaluación de carreteras según el país de aplicación

(Fuente: PIARC, Road Safety Committee of the World Road Association)

Existen distintas aplicaciones para estos modelos de evaluación para carreteras, sin embargo, para esta tesis doctoral no se presentan cada una de ellas por no ser objetivo esencial de este trabajo doctoral.

## 2.5. EXPERIENCIAS EN CARRETERAS QUE INCORPORAN A.H.P.

Para este capítulo se hace necesario señalar algunas experiencias en evaluación de carreteras que relacionan AHP (Analytical Hierarchy Process) debido a que es el modelo utilizado en uno de los procesos de la propuesta metodológica para esta tesis doctoral. En la tabla 2.5 se representan 5 experiencias encontradas en la literatura que emplean dicho modelo. Se muestran los criterios adoptados en cada caso de estudio, su articulación matemática, así como las ventajas y desventajas de los mismos modelos.

<sup>6</sup> <http://www.pre.nl/simapro/default.htm>

La primera experiencia mostrada en la tabla 2.5 (Shiba, 1995) consiste en utilizar jerarquía analítica para identificar la mejor red viaria en condiciones de montaña. En ella, se incorporan criterios específicos que con frecuencia se encuentran en conflicto con el medioambiente (protección de los recursos, mejora de la estructura, etc.).

Una segunda experiencia es la desarrollada por la Administración de la ciudad de Santiago de Chile, la cual utiliza este modelo para evaluar sus estudios de preinversión en carreteras y es considerado como un complemento para los estudios sociales y económicos. La tercera experiencia fue desarrollada por el grupo de trabajo de Cafiso en Italia, la cual obtiene un parámetro de calidad de una vía y finalmente la cuarta es la que principalmente se ha usado para planificación de vías aplicando multicriterios.

Autor	Ámbito de aplicación
Shiba, 1995	Valorar redes de carreteras en áreas rurales en montaña.
Zrari, 2000	Es considerado como un complemento para los estudios previos sociales y económicos.
Cafiso et al, 2001	Se realiza para obtener un “parámetro de calidad” de una carretera, aproximándola a un entorno sustentable
Bofil, 2002	Se aplica para verificar inversiones en carreteras y utiliza el modelo de programación HDM como apoyo informático.
Piantanakulchai & Saengkhaio, 2003	Aplica análisis multicriterio

**Tabla 2.5.** Experiencias en modelos de evaluación usando AHP.

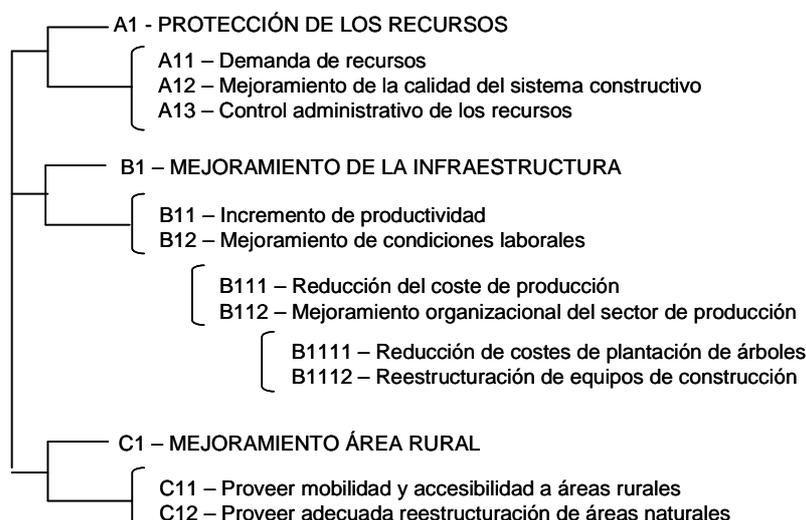
En lo que sigue, se define cada una de las experiencias que emplean AHP, mostrando el ámbito de aplicación, los criterios adoptados por el modelo y las estrategias de valoración de cada experiencia.

### **2.5.1. Experiencia 1 “Aplicación de AHP para redes de carreteras en áreas rurales de montaña”**

Este modelo consiste en comparar las distintas redes viarias a través de la asignación de aspectos que tienen directa influencia en la construcción de una carretera en condiciones de montaña, y que generalmente se encuentran en conflicto con el

medioambiente (Shiba, 1995). Este modelo ha sido aplicado por la Administración de carreteras en Japón y para su aplicación considera 4 aspectos principales (administrativos, ecológicos, económicos y sociales).

El modelo consiste esencialmente en descomponer las metas y necesidades en diversos niveles jerárquicos, con un número no mayor a 5 niveles tal y como lo muestra la figura 2.3 se muestra la descomposición jerárquica del modelo de evaluación. Esta formado por 4 niveles; para el primer nivel esta representado por el objetivo global del proyecto. El segundo nivel representa los 3 objetivos particulares que agrupan los criterios a medir (A1, B1, C1), el un tercer nivel representa los aspectos que miden cualitativamente la carretera (A11, B11, C11, etc.) y a partir del cuarto nivel se puede medir cada una de las variables (B111, C112, etc.).



**Figura 2.1.** Jerarquización del modelo de evaluación

Una de las fortalezas de esta metodología es que permite a cualquier ente administrativo priorizar aspectos que por su naturaleza pudieran estar en conflicto, permitiendo clasificar las necesidades esenciales de un problema. No obstante, uno de los inconvenientes de este modelo es la incorporación de un número excesivo de variables (más de 4) en un mismo grupo puede causar confusión.

### 2.5.2. Experiencia 2”Multicriterio aplicado a carreteras”

Éste método consiste en la aplicación de jerarquía analítica para valorar la factibilidad de un proyecto viario y tiene como objetivo priorizar las inversiones de proyectos viarios por medio de A.H.P. Inicialmente fue considerado como un estudio de

preinversión por la Administración de Santiago de Chile, y actualmente es considerado un complemento de la evaluación socio – económica.

Esta aplicación es conocida en Chile como el proceso anual “exploratorio” y puede ser aplicada a cualquier proyecto viario (sin restricciones). Facilita la comunicación de la decisión tomada, tanto a la sociedad civil como a órganos superiores y los criterios utilizados para evaluar cada una de las alternativas son prioritariamente de orden económico, social y medioambientales, (Zrari, 2000).

La herramienta considera un número finito de alternativas, y la decisión se basa cuatro (4) etapas principales, y su proceso se muestra a continuación:

- 1) Validación de criterios (a nivel técnico). En esta etapa se justifica la incorporación (o no) de los criterios mediante discusiones entre especialistas, eliminando aquellos que no tengan influencia en el proyecto.
- 2) Se elabora una matriz de comparación entre alternativas (a nivel técnico). Se desarrolla la matriz cuadrada de cada uno de los criterios definidos.
- 3) Ponderación de criterios de evaluación y elección de alternativas por medio de A.H.P. (a nivel decisor)
- 4) Comunicación de la alternativa seleccionada a la sociedad civil y los órganos correspondientes.

En la Tabla 2.6 se muestran en un primer plano de jerarquía las necesidades definidas por el decisor como son infraestructura, territorio, tránsito, seguridad vial, económica y social. En un segundo nivel se muestran los criterios para valorar cada alternativa, por ejemplo para el tema de Infraestructura se integran: longitud del tramo, movimientos de tierra, cambios de servicios, expropiaciones, etc.

Los resultados de este modelo son representados mediante intensidad de colores. Es decir, el decisor asigna 1 para aspectos de poca importancia y es identificado con un color claro. En cambio para aspectos con importancia relevante se le asigna un valor de 5 con un color de mayor intensidad. El proceso es análogo para cada criterio y cada alternativa.

TEMA	CRITERIOS	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS				
		A	B	C	D	E
INFRAESTRUCTURA	Longitud	[5]	[4]	[3]	[1]	[2]
	Movimientos de tierra					
	Cambios de servicios					
	Expropiaciones					
TERRITORIO	Reforzamiento turismo					
	Potenciación zonas desarrollo					
	Accesibilidad	[2]	[1]	[3]	[5]	[4]
	Recursos protegidos					
	Impacto sobre paisaje					
	Presencia riesgo natural					
TRÁNSITO	Tiempo de viaje	[4]	[2]	[1]	[5]	[3]
	Variación de la demanda					
SEGURIDAD VIAL	Geometría					
	Zonas de riesgo de accidentes					
ECONÓMICO Y SOCIAL	Coste total	[1]	[3]	[1]	[4]	[5]
	Beneficios actuales					
	Tasas de rentabilidad					
	Año inversión					

**Tabla 2.6.** Matriz de valoración de atributos por intensidad de colores

Una de las fortalezas de este modelo es que la incorporación y justificación de los aspectos y criterios se lleva a cabo mediante consensos entre especialistas del sector. En cambio, una de las debilidades identificadas en este modelo, es que la asignación simple de 1 a 5, y la representación de resultados por medio de intensidad de colores puede generar pérdida de fiabilidad en los resultados o perder la objetividad de la valoración.

En definitiva, el planteamiento de este método se puede acotar en un nivel experimental, y su generalización requiere de la adhesión de los principales actores (gobierno, sociedad, etc.), pues implica un cambio profundo en la manera de enfrentar un estudio de preinversión tanto del punto de vista del análisis como de transparencia de decisión.

### 2.5.3. Experiencia 3 “Índice de calidad para mantenimiento de carreteras”

Este modelo fue desarrollado en Italia al inicio de los años 80’s, y su principal objetivo es obtener un “índice de calidad” a través del desempeño de las características técnicas como de la operatividad de una carretera en servicio. (Cafiso et al, 2002).

Este modelo valora el índice de calidad a través de 5 criterios que son: seguridad, confort, servicio, medioambiente, utilidad. Para obtener este índice de calidad se plantea un procedimiento de multicriterio (MCA) con la finalidad de combinar esos 5 criterios y

obtener así, un valor único de calidad, el cual será capaz de medir y evaluar el nivel de servicio de la propia carretera.

Este modelo presenta 6 etapas principales para determinar el índice de calidad y se definen a continuación:

- 1) Definición de una lista de atributos para cada criterio
- 2) Asignación de pesos para los atributos
- 3) Obtención del desempeño del indicador de un criterio  $PI = z * w$  : *Medida normalizada*  $0 < z < 1$ ; *w*: *Peso del atributo*
- 4) Obtención del desempeño del criterio en un segmento específico de la carretera
- 5) Definición y aplicación del factor de utilización (con diversas carreteras)
- 6) Obtención del Índice de calidad para todos los segmentos de la carretera.

En la figura 2.2 que se muestra a continuación se puede mostrar la metodología que emplea ésta aplicación para obtener el índice de calidad a mayor detalle. En ella, se muestra el proceso para la obtención del índice. El proceso se presenta en dos partes esenciales: “el área del decisor” donde se definen los atributos y los pesos y en la otra, los datos de entrada de la carretera. Ambos datos de las dos áreas sirven como dato de entrada para la evaluación.

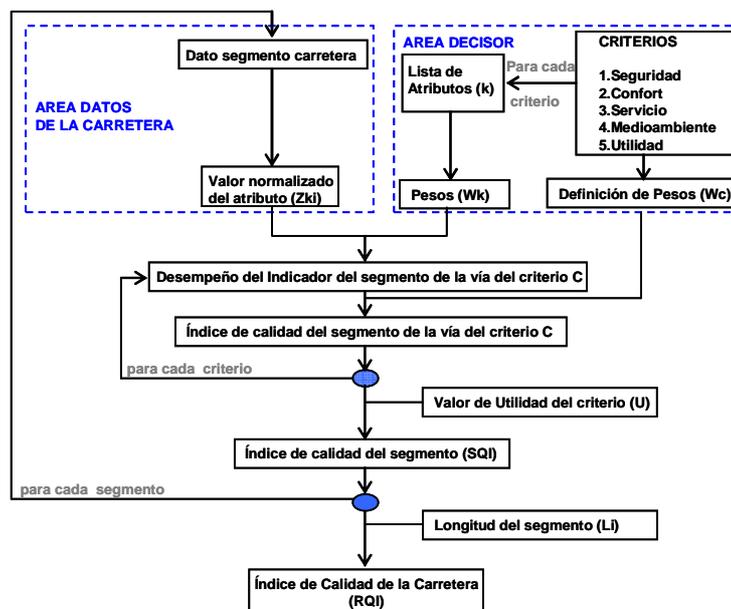


Figura 2.2. Diagrama de flujo de la metodología

A continuación se muestra en la fórmula 1.6 como se valora el desempeño del indicador por cada criterio (de cada segmento de la carretera):

$$PI_{Ci} = \sum_{k=1}^p Z_{Ck} \cdot W_k \quad [1.6]$$

donde:  $W_k$ : Peso asociado con el n-atributo del respectivo criterio C ( $\sum w_k=1$ )

$Z_{Cki}$ : Medida normalizada del atributo del respectivo segmento de la vía ( $0 < Z_{Cki} < 1$ )

PI: Desempeño del Indicador del respectivo criterio de cada segmento "i"  
( $0 < PI_{Ci} > 1$ )

Para obtener el índice de calidad del segmento de la carretera (SQI), asociado al desempeño del indicador del propio criterio ( $PI_{Ci}$ ) (ecuación 1.7) y el respectivo peso y se obtiene como sigue:

$$SQI_i = \sum_{C=1}^s PI_{Ci} \cdot W_c \quad [1.7]$$

Cuando se realiza un análisis de diversas carreteras, se puede introducir otro criterio relacionado a la utilidad de ésta carretera. Éste criterio de utilidad (U) ésta valorado para todos los atributos y los pesos relativos como se calcula con ecuación 1.8:

$$SQI_i = U \cdot \sum_{C=1}^s PI_{Ci} \cdot W_c \quad [1.8]$$

donde: SQI: es el desempeño del indicador de ese criterio en el tramo de carretera específico.

De ahí que, todos los factores mencionados anteriormente servirán para obtener el índice de calidad de la carretera y se calcula en la ecuación 1.9:

$$RQI = \frac{\sum_{i=1}^n SQI_i \cdot L_i}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad [1.9]$$

$L_i$ : Longitud del "n" segmento de la carretera.

Una de las ventajas que expone el modelo es el uso de AHP ya que facilita que cualquier usuario especializado en el tema (o no) entienda la metodología por su fácil proceso matemático. Un valor añadido de ésta metodología es que al subdividir la

carretera en varios tramos, permite al usuario identificar y valorar las deficiencias de cada uno de estos.

#### **2.5.4. Experiencia 4 “Modelo para mantenimiento de pavimentos”**

Esta metodología esta diseñada para evaluar un número finito de alternativas con criterios que con frecuencia están en “conflicto”. Este modelo se aplica generalmente en inversiones para carreteras, específicamente para el tema de mantenimiento.

Los factores que afectan el mantenimiento de la carretera están definidos por 5 criterios fundamentales: confort, medioambiente, seguridad, costes administrativos, costes de usuario.

Siguiendo el modelo de evaluación se tiene un procedimiento como sigue:

- 1) Se definen todos los datos de entrada, incluyendo las alternativas, con sub-etapas como son:
  - Definición de los criterios y objetivos del proyecto
  - Definición de las preferencias del decisor (pesos)
  - Medición de los atributos y,
  - Matriz de jerarquía de los criterios.
- 2) Como segunda etapa, se genera el vector de prioridades (TPV) como una función de la importancia de los criterios usando pesos asignados en la matriz de preferencias. En términos matemáticos, el vector principal n-vector es normalizado y así llega a formarse el vector de prioridades.
- 3) Para la etapa 3, es necesario ejecutar el programa HDM-4 (herramienta informática), el cual producirá los datos de salida para ser usados como las variables en la sección de la carretera.
- 4) Para cada sección de la vía, y cada criterio de evaluación se genera una matriz de comparaciones, respetando el valor del atributo, comparando cada alternativa contra todas las demás.

Estas comparaciones son transformadas en pesos, los cuales son normalizados en un valor cercano a 1. El objetivo de este proceso es promediar todas las

inconsistencias de las respuestas de la comparación por pares. El final resultado asignado a cada alternativa es entonces calculada como la suma para cada alternativa de los productos del peso a lo largo de la línea de jerarquía. Estas expresiones se pueden ver en la figura 2.3.

Y las 4 alternativas exhibidas en el caso de estudio de esta metodología son denominadas en la literatura como: “Alternativa Básica”, “mínima”, “deseable” y la “ideal” para niveles de mantenimiento. El número de criterios y alternativas puede ser incrementado de acuerdo a las circunstancias del proyecto, pero la metodología expresa no ser mayor este número a 7 o 8.

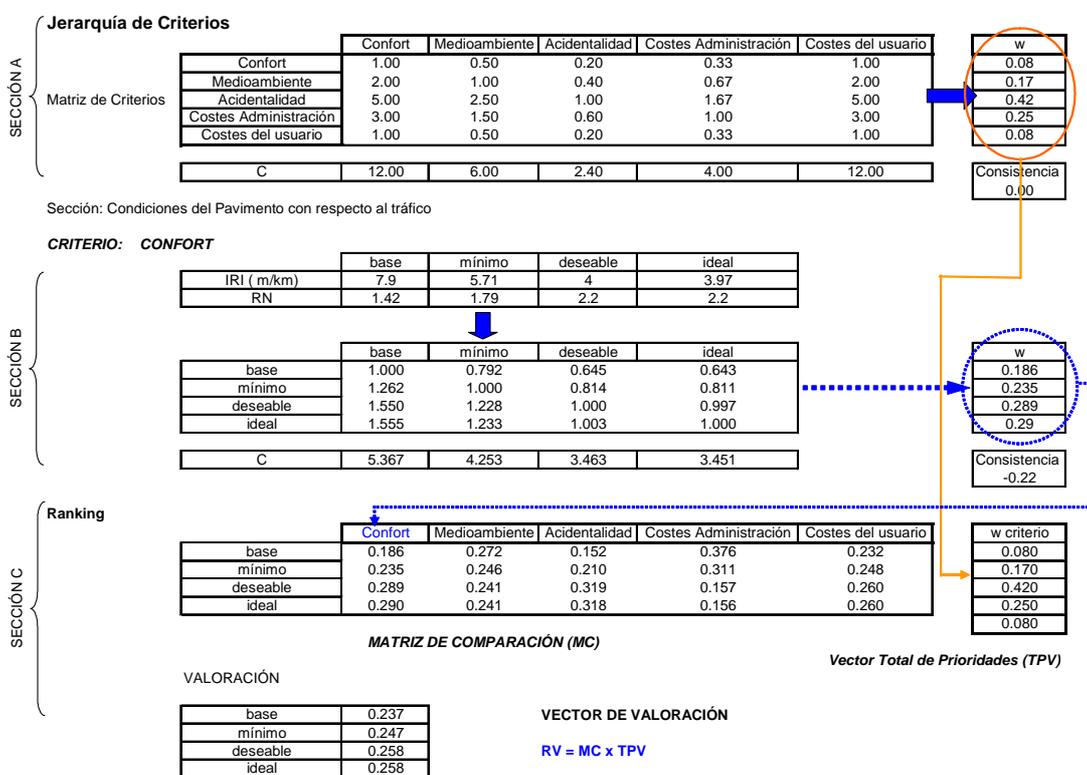


Figura 2.3. Obtención del “valor” para cada alternativa

La principal ventaja de este modelo es que permite realizar la jerarquización de atributos por medio de AHP aportando rigurosidad a la evaluación. Además de ello, la generación de las matrices es simple y de fácil entendimiento. Sin embargo, el inconveniente del modelo es que se puede llegar a incluir aspectos que no tienen una

influencia directa al proyecto, o no ser relevantes en la valoración y no reflejen realmente el comportamiento real de la alternativa.

### 2.5.5. Experiencia 5 “Multi-atributos con AHP”

El objetivo fundamental de este modelo es clasificar ciertos aspectos que influyen en el diseño de una carretera, incorporando “funciones respuesta” como herramienta de apoyo en la evaluación (Piantanakulchai & Saengkhao, 2003).

Este modelo esta basado en 3 principales etapas: descomposición del problema, priorización y utilización de la función respuesta

El **problema es descompuesto** primeramente en niveles, es decir, se definen algunos elementos distribuidos en niveles jerárquicos. En la figura 2.4, se muestra como se asigna en la parte superior de la descomposición el objetivo principal. Los niveles inferiores, serán los aspectos que tienen influencia directa en el problema para cada una de las alternativas planteadas.

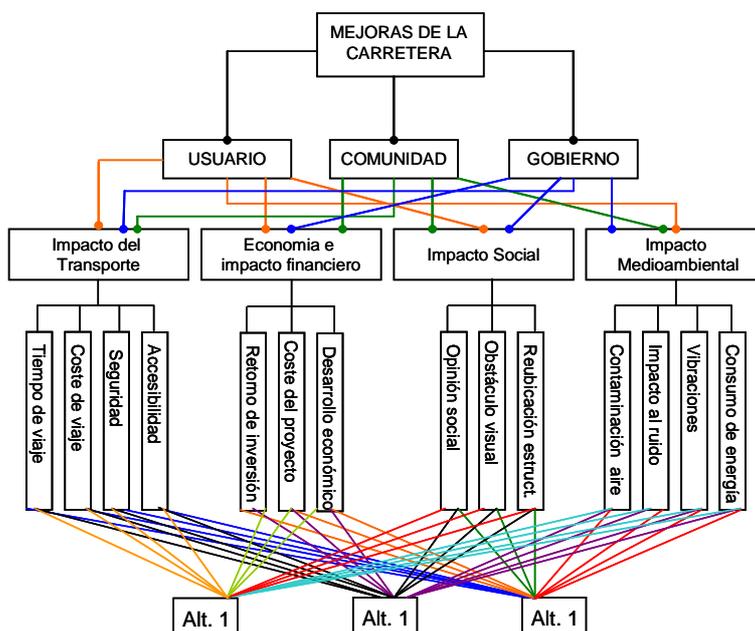
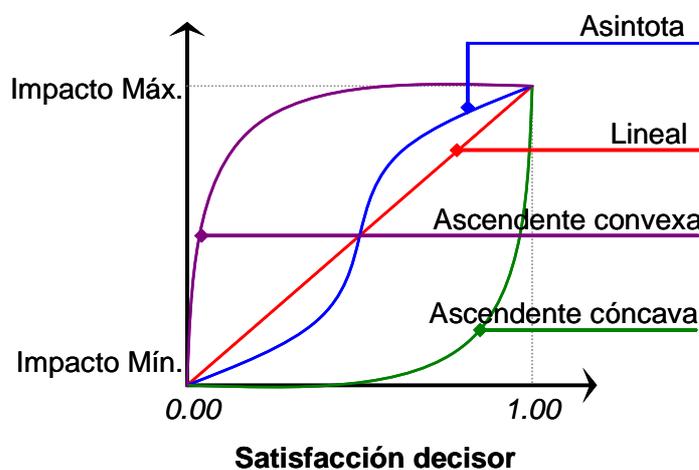


Figura 2.4. Descomposición de los atributos

Después de realizar la “descomposición” de niveles, se realiza la **comparación por pares a través de A.H.P.** Recordando que solo se podrán comparar elementos homogéneos y con juicios de comparación (Saaty, 1980). De la misma manera se fijan preferencias de cada uno de los elementos determinados para conformar la matriz.

Se **construye la función respuesta**. Es un modelo matemático que relaciona cantidades físicas con respecto al impacto o influencia observada (por ejemplo, concentración de emisiones o nivel de ruido). Para sumar los impactos de los elementos es necesario normalizar las respuestas de estos. Este valor será adimensional, para poder sumar cada uno de los aspectos del proyecto.

En la figura 2.5 se muestra una hipotética respuesta de la función de normalizar estos aspectos. El modelo manifiesta una función lineal, ascendente convexa, ascendente cóncava y una asintota. En el eje de las abscisas esta representada la satisfacción del decisor y en las ordenadas se expresa el impacto que implica aplicar la variable de estudio.



**Figura 2.5.** Función de la respuesta

El caso de estudio de esta metodología fue para seleccionar el mejor trazado de una carretera en Tailandia, apoyados siempre con GIS (Geographical Information System). El cual al final de la evaluación, fue propuesta para llevarse a cabo la alternativa con menor coste que socialmente era preferido o prioritario.

Una de las fortalezas de ésta metodología es que además de estudiar los efectos medioambientales, también implica las variables económicas, financieras e incluso aspectos relativos a la sociedad.

## 2.6. SÍNTESIS DEL ESTADO DEL CONOCIMIENTO

De acuerdo al estado del conocimiento expuesto a lo largo del capítulo, se identifican los puntos que pretenden constituir la aportación de esta tesis. Estos puntos

hacen referencia a la aplicación de una nueva metodología de evaluación para el sector de las carreteras.

Esta metodología se ha fundamentado en la toma de decisión y en el análisis de valor, buscando no sólo definir un modo de evaluar diversas alternativas sino de estructurar un procedimiento de tal manera que se guíe al decisor en el análisis y solución de problemas en el entorno sostenible para una infraestructura viaria. Respecto a la metodología son dos las aportaciones importantes que hay que destacar:

- La estimación de los pesos a través de los distintos niveles de jerarquía, de tal manera que ascendiendo en cada uno de ellos, se llega a obtener el valor final de los objetivos a evaluar. Durante el desarrollo de la metodología se hace uso de la metodología de decisión A.H.P. (Analytical Hierarchy Process).
- La función de valor se describe con una ecuación lo que facilita el proceso de evaluación y sus parámetros que dependen de dicha ecuación son dados por el usuario reflejando las preferencias del decisor.

Por otra parte, del análisis de las herramientas desarrolladas hasta la fecha se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- No hay una herramienta específica dirigida específicamente al estudio de la sostenibilidad de una carretera
- Las herramientas analizadas manejan distintos aspectos en sus valoraciones (sociales, económicos, temporales, etc.) sin embargo, existe una disociación entre las variables consideradas.
- Las herramientas citadas se centran, fundamentalmente, en la vertiente medioambiental y económica.



## Capítulo 3

# Avances en la metodología MIVES

### 3.1. INTRODUCCIÓN

Durante el desarrollo del capítulo 2 se han revisado cada una de las metodologías que utilizan análisis multicriterio, los distintos modelos de evaluación para carreteras asociado al país donde se aplican, y las diversas experiencias relacionadas a AHP en este ámbito. Cada una de esas metodologías, valoran las carreteras con un número suficiente de requerimientos, otorgando al usuario de la carretera el máximo beneficio posible (Del Val Melus, 2007). Sin embargo, se ha observado que siguen existiendo “lagunas” o deficiencias en algunos aspectos durante su evaluación, como por ejemplo: el análisis previo a la evaluación en ciertas experiencias, es mínimo, ó algunos modelos aportan poca rigurosidad matemática.

En ese sentido, ciertas metodologías de evaluación se encuentran con bajo rigor científico y la asignación de los aspectos utilizados con frecuencia se define “a priori” (por intensidades de colores, opiniones políticas, cultura, etc.).

En cualquiera de los casos, es notorio que la principal dificultad identificada en los modelos de evaluación, es la elección de los indicadores más significativos, los cuales también han de valorarse con el mejor método matemático posible.

De este modo, el **objetivo** fundamental de este capítulo, es proponer las bases de la herramienta matemática propuesta, para llevar a cabo el análisis de las decisiones que se presenten cara a la evaluación, tanto de la sección transversal de la carretera como de los departamentos universitarios.

Esta metodología sigue el planteamiento realizado del proyecto de investigación MIVES<sup>7</sup>. (Aguado et al, 2006). Como valor añadido a la metodología, se han incorporado nuevas estrategias de medición de cada uno de los aspectos que tienen un carácter subjetivo como son listas de chequeo, de puntuación y valoración por medio de variables relativas.

## 3.2. PROPUESTA METODOLÓGICA

### 3.2.1. Bases Teóricas

La metodología de valor es un estudio multidisciplinar estructurado en varias fases (generalmente: preparación de la información, análisis de las bases de datos, creatividad en el proceso de diseño, evaluación de la toma de decisión, desarrollo de las alternativas, presentación de resultados, implementación y seguimiento de la alternativa seleccionada). Dicha metodología, tiene una mayor repercusión si es desarrollada en las primeras etapas del proyecto con el objetivo de reducir costes innecesarios y aumentar la satisfacción del cliente.

El origen de la metodología de valor se sitúa en EE.UU, durante la Segunda Guerra Mundial, en el seno de la empresa General Electric, Lawrence Miles (Miles, 1961) en la que se propuso una metodología de trabajo en equipo orientada principalmente a la reducción de costes mediante un análisis sistemático de los productos basado en

---

<sup>7</sup> MIVES. **M**odelo Integrado de cuantificación del **V**alor de un proyecto constructivo orientado a la **E**valuación de su **S**ostenibilidad. Aplicación a la edificación industrial. MAT2002-04310-C03. UPC. UPV. LABEIN.

conseguir una “función” del producto al menor coste posible. El valor entonces, quedaba definido como una relación entre ese concepto de “función” (aquello para lo que sirve o debe cumplir el producto) y su coste.

En el sector de la construcción, a lo largo de los años, la metodología de valor ha demostrado su gran aplicabilidad, esencialmente porque implica una inversión de tiempo y esfuerzo en las primeras etapas del proyecto, donde el coste de los cambios es considerablemente menor y las posibilidades de mejora del proyecto son máximas. Por ejemplo la ASTM (2000) publicó recientemente la norma E 1699-95: 2000 en donde se estableció la guía de regulación para este sector.

La ventaja de esta metodología de valor ha sido puesta de manifiesto en otros países (Estados Unidos de Norteamérica, Reino Unido, Australia, Hong Kong, Japón). Por ejemplo, el Ministerio de Defensa de los EEUU. establece la obligatoriedad de realizar un estudio de ingeniería de valor a sus proyectos. Por otro lado, The National Highway System, (HA, 1995) estableció desde ese año la obligatoriedad de realizar un análisis de valor en todos sus proyectos cuyo presupuesto alcance o sobrepase los 25 millones de dólares. En ese sentido, la Federal Highway Administration (FHWA, 2003) estableció en 1998 una guía para el seguimiento y regulación de ésta técnica (Regulation FHWA 23 CFR Part 627-Value Engineering).

### 3.2.2. Planteamiento MIVES

La metodología MIVES, en su proyecto inicial, es el acrónimo del “**M**odelo Integrado de cuantificación del **V**alor de un proyecto constructivo orientado a la **E**valuación de su **S**ostenibilidad. Aplicación a la edificación industrial”. MIVES ha nacido en el seno de la comunidad universitaria, mediante un proyecto de investigación entre la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) y Labein-Tecnalia.

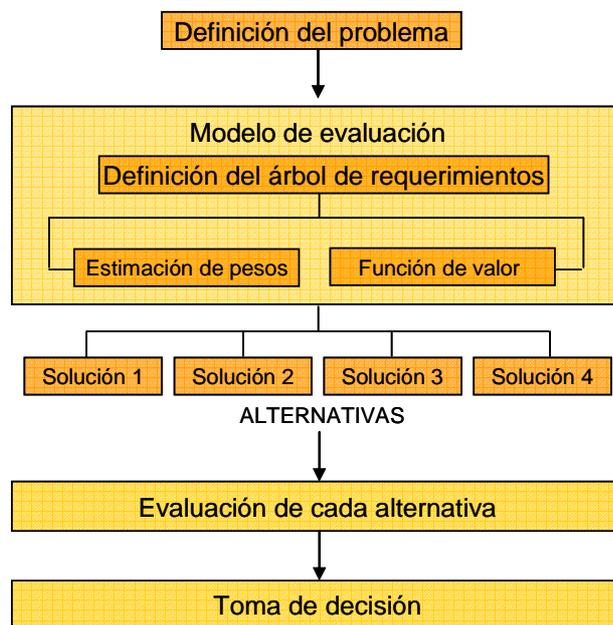
El objetivo fundamental de ésta metodología consiste en evaluar alternativas para una toma de decisión específica en diferentes escenarios. La metodología considera estudios de valor, aplicación de modelos matemáticos y el análisis de ciclo de vida para llegar a la elección de la mejor alternativa propuesta.

El planteamiento MIVES, originalmente se ha utilizado para la evaluación de alternativas en el área de edificación. En la figura 3.1, se resume el algoritmo base de la metodología. En el mismo, inicialmente se define la decisión (que hay que tomar), en esta etapa se identifica y define el problema a resolver, por ejemplo construir una casa,

comprar un coche, construir una carretera, etc. En seguida se define y desarrolla el árbol de requerimientos, eligiendo los criterios (subcriterios) e indicadores de acuerdo a la tipología y condiciones del proyecto. A partir de ahí, se lleva a cabo la asignación de los pesos de cada aspecto definido anteriormente a través de “Analytical Hierarchy Process” (Saaty, 1980.).

A continuación, se definen las posibles soluciones que resolverán el problema planteado, siendo el número definido por la propia naturaleza del problema (sistemas constructivos, candidatos, departamentos, coches, etc.). Es de gran importancia señalar que, a diferencia de otras herramientas que valoran o priorizan alternativas (por ejemplo AHP), la asignación de éstas, puede desarrollarse antes ó después de la definición del modelo (árbol de requerimientos), siendo un factor diferencial respecto a otros planteamientos de evaluación.

Finalmente, con los aspectos y los pesos ya definidos se obtienen las respuestas de cada uno de estos en cada alternativa, para llevar a cabo la evaluación de cada alternativa y tomar la mejor decisión. La valoración se realiza en tres niveles: indicadores, criterios y requerimientos y tomar la mejor decisión.



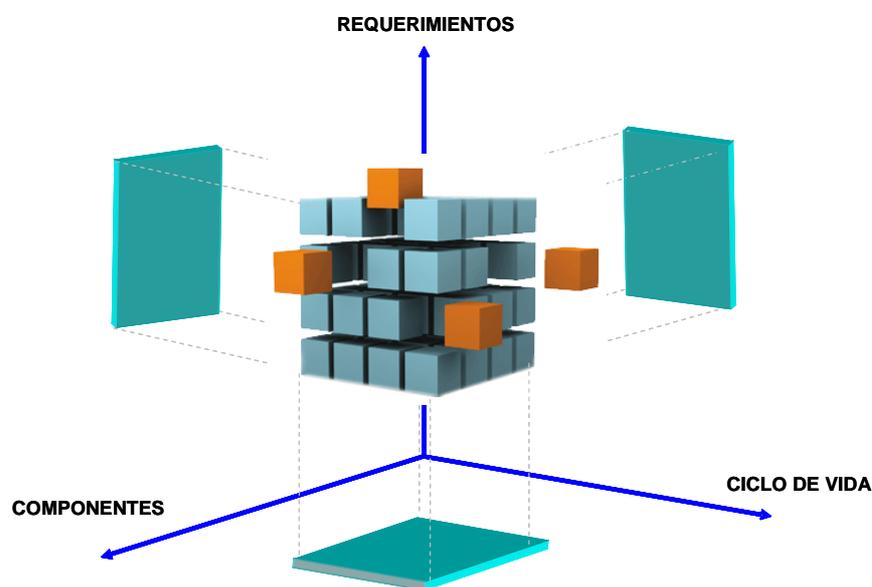
**Figura 3.1.** Algoritmo de la metodología MIVES

### 3.2.3. Concepción de la metodología

En la presente tesis doctoral, siguiendo el planteamiento MIVES, se presenta un modelo con una estructura tridimensional, y que responde a 3 ejes de fácil aplicación y

visualización. Estos ejes se definen como: **requerimientos**, **componentes**, y **el ciclo de vida** (Aguado et al, 2006).

En la figura 3.2 se muestran los tres ejes propuestos por la metodología. Por un lado se tienen las necesidades del proyecto, los distintos elementos del proyecto y las etapas en que se valorará y cada uno de los cubos menores conforma integralmente el proyecto. La combinación espacial de dos de los ejes, con sus respectivos intervalos generan un plano de referencia, y cada combinación de tres ejes, generan una intersección denominada “dominio”, siempre seleccionado por el decisor. (Alarcón, 2006).



**Figura 3.2.** Definición de los límites del sistema.

La ventaja de éste planteamiento metodológico es que se tiene el enfoque general del problema a partir del planteamiento de los tres ejes, así como, la perspectiva en cada eje, lo que supone los distintos puntos de vista en la toma de decisión.

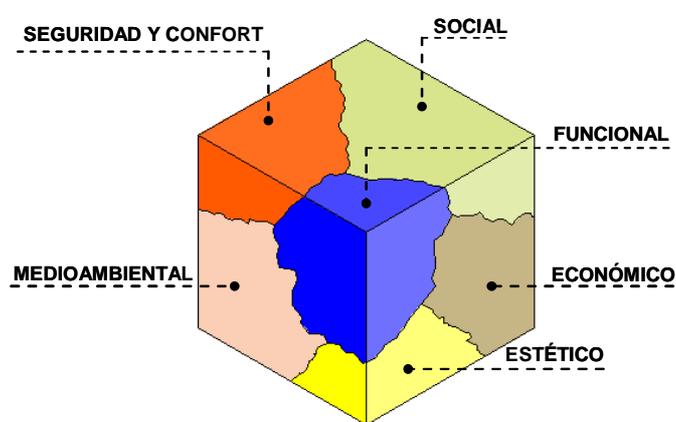
En ese sentido, la valoración global del proyecto no es necesariamente la misma que la suma de las valoraciones de los cubos mostrados en la figura 3.2, ya que las condiciones de cada uno de estos cubos (o partes), pueden ser diferentes. Los conceptos generales de esta metodología en cada uno de los ejes son:

### **Eje de requerimientos**

Los requerimientos son los aspectos del primer nivel del árbol que se consideran en la decisión. Estos aspectos pueden ser cualquiera que el decisor defina, por ejemplo

estabilidad, funcionalidad, estética, aspectos sociales, económicos y temas medioambientales. En el caso de un estudio de sostenibilidad deberán ser los aspectos: económicos, sociales y medioambientales que configuren el ámbito.

Los requerimientos mostrados en la figura 3.3 han de servir como punto de partida para el análisis, sin embargo, la definición de estos estará gobernada por las propias necesidades del proyecto. El cubo representado en la figura 3.3, muestra como el proyecto incorpora esas necesidades con un carácter integral y no disociado entre ellas, es decir, dicha asociación expresa como una unidad todo el proyecto (100%).



**Figura 3.3.** Requerimientos generales de un proyecto.

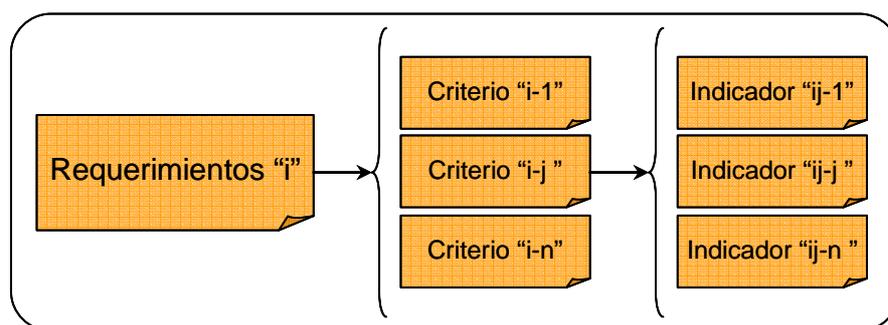
En general, se recomienda no incorporar demasiados aspectos en un solo nivel y en un mismo grupo homogéneo ya que puede diluir el resultado de los más importantes. (Manga, 2005). De modo que, es necesario al inicio del planteamiento del problema acotar estos aspectos, o bien, el criterio de representatividad para poder incluir o excluirlos, siendo extensivo a todos los niveles del árbol (requerimientos, criterios e indicadores).

### Árbol de requerimientos

Cada requerimiento (o plano), a su vez, debe estar ordenado en niveles específicos: criterios e indicadores. Esta estructura proporciona una mejora en la organización de la información, manteniendo los criterios con un carácter cualitativo y los indicadores como elementos de medición del problema. Esta agrupación de aspectos a través del árbol, aporta un gran valor añadido respecto a otros planteamientos de evaluación, ya que la forma de agruparlos aporta al decisor una mejor visión del problema. Permitiendo además, incorporar aspectos que consideren el riesgo en la decisión, como por ejemplo, “tiempos de ejecución” (dato de entrada) y “desplazamientos

de esos tiempos” (riesgo o incertidumbre), “costes de construcción” (desfase del presupuesto), etc.

En la figura 3.4 se muestra que a cada requerimiento “i” se le asignan “n” criterios y a su vez a cada criterio se le asignan “k” indicadores. La cantidad de criterios como de indicadores es variable en base a la naturaleza de cada requerimiento, según sea el caso. Tanto los requerimientos como los criterios no son medibles, estos son medidos, indirectamente, a través de los indicadores.

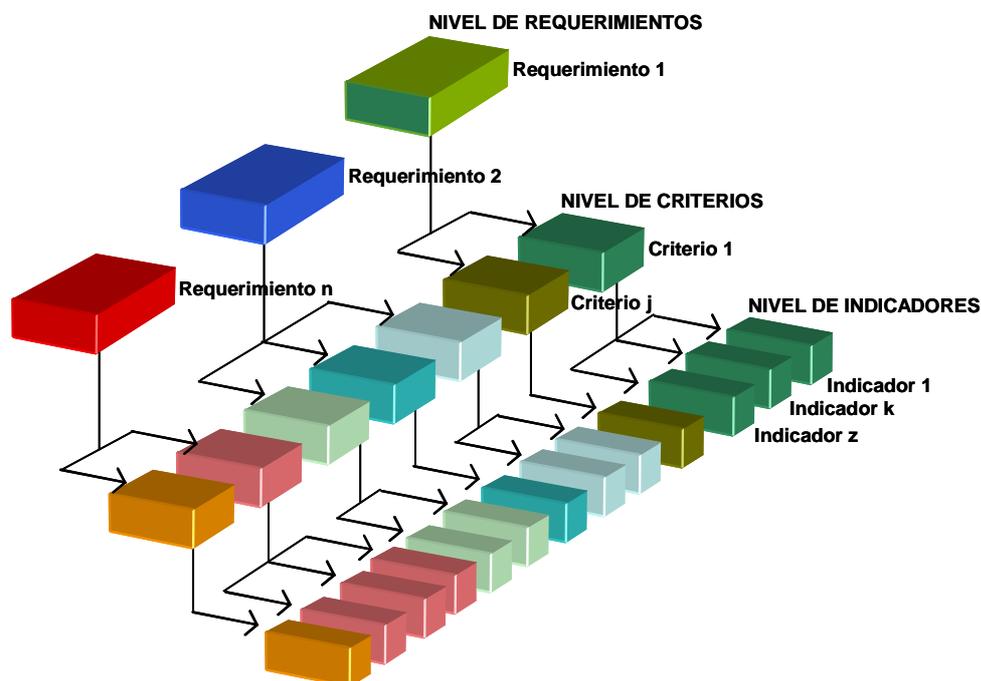


**Figura 3.4.** Esquema inicial de un árbol de requerimientos

Antes de cualquier evaluación, es necesario definir y ponerse de acuerdo sobre que criterios e indicadores son los que se van a utilizar. Tal como se ha dicho, es importante acotar el número de criterios o indicadores a considerar. Para ello, se puede definir “a priori” un nivel de representación por debajo del cual, ese indicador o criterio no debe considerarse.

La elección de aspectos para estos ejes estará determinada por distintas circunstancias: condiciones del problema (geográficas, sociales, económicas) (ONU, 2001), experiencia del decisor, naturaleza del proyecto, etc. En definitiva, el objetivo principal del árbol de requerimientos es ordenar cada uno de los aspectos incorporados en la evaluación. Obteniendo así, una clara visión y general del problema a partir de esa jerarquización y despliegue del mismo (Asahi et al, 2007).

En la figura 3.5 se muestra (en genérico), los tres niveles que se adoptan. En primer lugar se tienen los requerimientos (R) que constituyen el nivel más general y se ubican en la parte superior del árbol. En segundo lugar se incluyen los criterios (C) que si bien no son medibles, representan una forma de agrupar los aspectos medibles. Estos están asociados de acuerdo a las características del requerimiento que pertenece. En tercer lugar se ubican los indicadores en la parte inferior del árbol, los cuales servirán para cuantificar la alternativa y obtener el “índice de valor”.



**Figura 3.5.** Despliegue de los requerimientos en criterios e indicadores

### **Eje de Componentes**

Los componentes son los elementos en los que puede dividirse el problema (producto, proceso, servicios, etc.). Así por ejemplo, en el caso de un edificio, este puede desglosarse entre los elementos: cimentación, muros, forjados, columnas, etc. ó para el caso de una carretera se puede desglosar en: capas de material, capas asfálticas, elementos de seguridad y señalización, etc.

Este eje puede desglosarse o dividirse, tal y como lo muestra la figura 3.6. El proyecto puede ser tan abierto como se sugiera desde una descripción mínima de los componentes hasta el desarrollo total de sus partes, como el decisor así lo decida. Esto depende de la profundidad del estudio que se desee realizar y de las propias características del proyecto.

En general, se podría suponer que cuando se trata de decisiones de tipo general, por ejemplo, el emplazamiento de una fábrica en un lugar determinado, la división de componentes debería ser mínima, mientras que sí la decisión es de un mayor nivel de concreción, esta división de componentes puede aumentar.

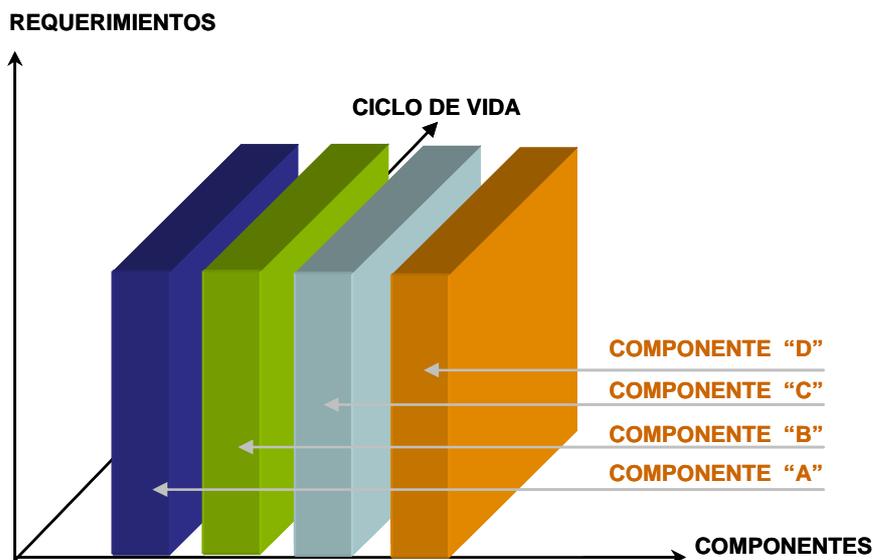


Figura 3.6. Eje de Componentes del sistema

### Eje temporal

Este eje está compuesto por las distintas etapas del ciclo de vida y se pueden descomponer en las diferentes fases del proceso del proyecto, y que usualmente pueden ser:

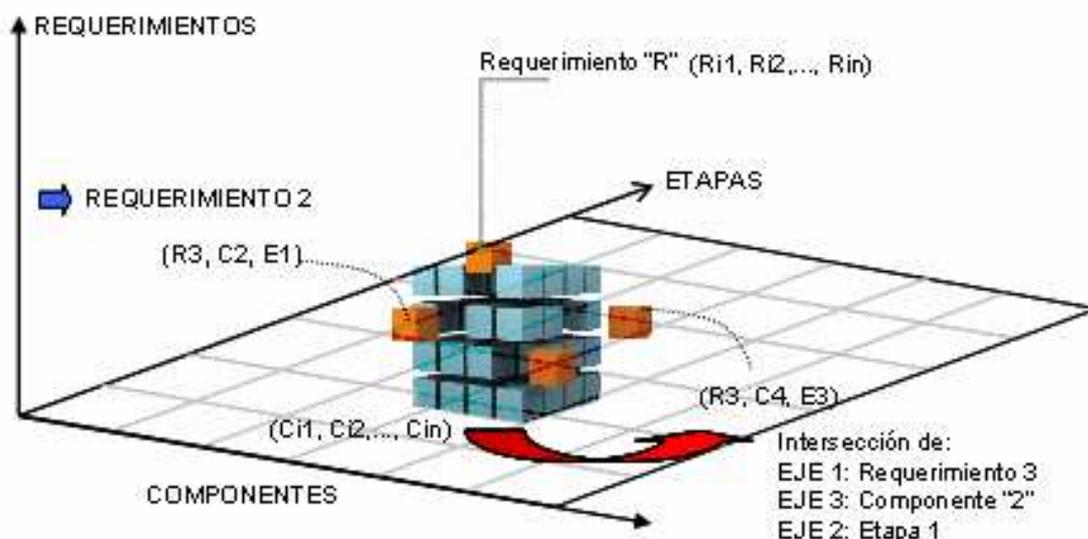
- Concepción y planificación: corresponde a la primera etapa de cualquier proyecto, donde se definen los aspectos relativos y las condiciones de contorno del mismo proyecto.
- Materialización: en esta etapa se da forma al proyecto, tanto en papel como en la realidad, incluye la fase de ejecución y del suministro de los materiales.
- Operación: corresponde a los aspectos relacionados a la explotación, al mantenimiento y a su conservación.
- Reintegración en el entorno: se asocian los aspectos relacionados a la recuperación del entorno y la gestión de los residuos generados de la estructura.

Los ejes descritos anteriormente pueden dividirse en subunidades y desplegados de forma considerable, de acuerdo del grado de concreción del análisis. No obstante, el modelo planteado para este análisis, tan sólo examinará los primeros niveles de división, ya que tiene que ser de una dimensión abarcable para una adecuada percepción.

### Límites del sistema

Los límites del sistema que abarcan la decisión, están definidos por los tres límites específicos que se incorporan a cada uno. En la figura 3.7, se muestra por ejemplo la valoración de un requerimiento "n" (cubo naranja), el cual es evaluado en el requerimiento definido como "R3" (de abajo a arriba del cubo), durante la etapa "E1" y dentro de la componente "C2". La intersección de esos tres planos se obtiene la valoración en ese "dominio" (Alarcón, 2006).

En dicha figura, se representa en cubos pequeños cada uno de los aspectos del proyecto y la suma de estos conforma la unidad o el 100% del mismo. En este sentido, se puede realizar la evaluación en tan sólo una de sus partes o integralmente.



**Figura 3.7.** Alcance del problema

### 3.3. EVALUACIÓN

El objetivo de este apartado es mostrar las etapas para cuantificar y evaluar las alternativas. Para alcanzar esta cuantificación, se requiere haber desplegado el árbol de requerimientos como se muestra en la figura 3.8. (inverso a su planteamiento inicial). En esta figura se observa que se inicia la evaluación desde el nivel de indicadores hasta llegar a valorar el objetivo especificado en los requerimientos.

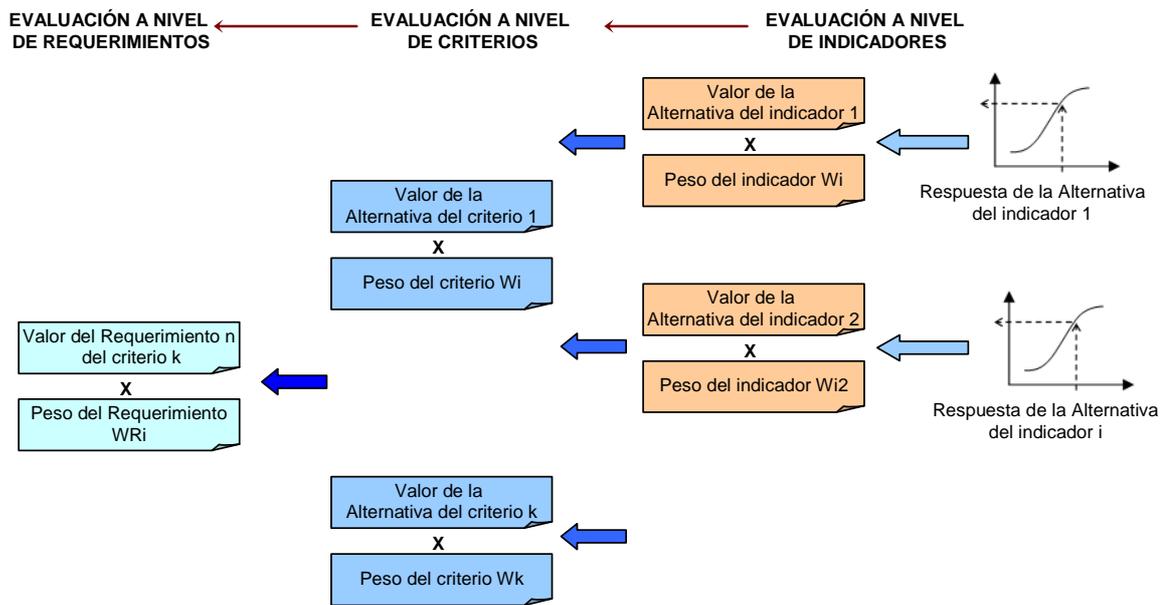


Figura 3.8. Evaluación de alternativa a nivel de indicadores, criterios y requerimientos.

La evaluación consiste fundamentalmente en seis (6) etapas según el diagrama de la figura 3.9 y se explica a continuación:

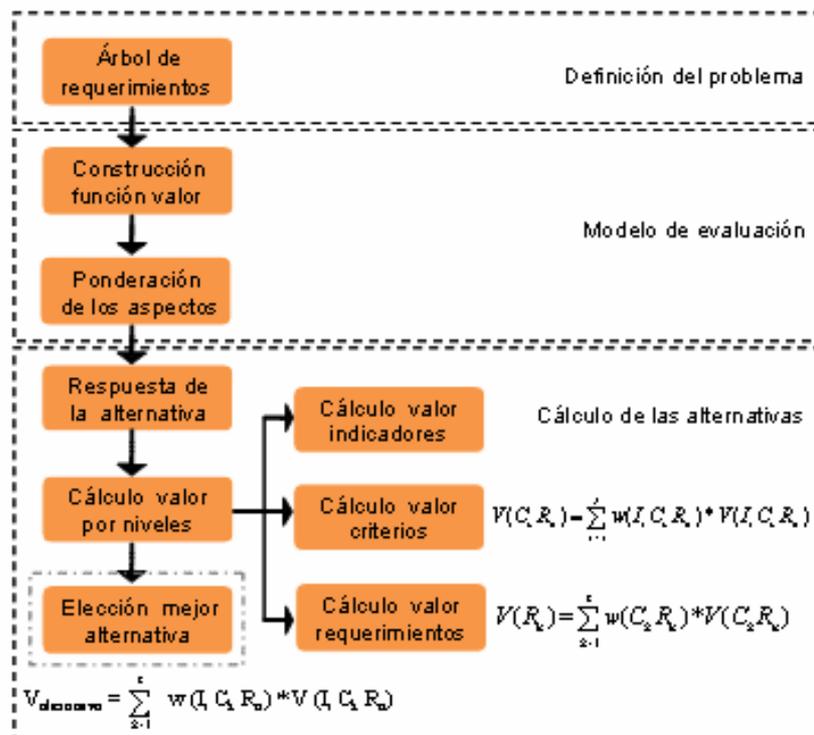


Figura 3.9. Diagrama del proceso de evaluación para cada alternativa

### 3.3.1. Ponderación de las variables

Para determinar las preferencias (o pesos) de cada una de las variables en la toma de decisión se hace uso de la asignación de pesos en cada nivel jerárquico. Ésta, puede hacerse de manera directa, que se refiere a la asignación de pesos a cada uno de los aspectos (por la experiencia del decisor y para decisiones con un número reducido de aspectos) en donde la suma del conjunto sea la unidad, o bien a través de métodos existentes, de los cuales se pueden señalar por ejemplo: el método por objetivos, el cual consiste en señalar y definir las metas deseadas y asignarles puntuación a los ya obtenidos y realizar la retroalimentación del proceso (Alarcón, 2006), Minimal Pairwise Comparison (MIPAC) (Gaspa, 2006), matriz de denominación, etc. (Romero, 1996; Holguín-Verás, 1995; Tadisina et al, 1983).

Dadas las características del planteamiento de toma de decisión: evaluación de un conjunto finito de alternativas a través de aspectos respecto a criterios representativos, le son aplicables algunos métodos de decisión multiobjetivo como el análisis jerárquico (A.H.P.) (Saaty et al, 1976) que por sus singularidades se adopta al modelo a desarrollar.

Los motivos de elegir ésta herramienta de comparación se debe esencialmente a su simplicidad, además que es adaptable a la intuición, se puede utilizar de forma individual o por grupos y además que esta comprometida con una estructura de consenso y sin perjuicio hacia planteamientos más complejos o conocimientos más profundos (Ho, 2008).

En esta tesis doctoral no se pretende explicar en detalle la metodología A.H.P, ya que su aplicabilidad está demostrada en los distintos ámbitos en que ha sido validada (Grandzol, 2005; School et al, 2005). Si bien se hace un breve desarrollo de las bases particulares de esta aplicación, cara a facilitar al lector la comprensión del conjunto.

El A.H.P. pretende cuantificar y asignar prioridades relativas de cada alternativa según una escala, acentuando la importancia de los criterios intuitivos del decisor y la consistencia de las comparaciones entre alternativas basadas en su juicio. La metodología comparte el principio de que el decisor siempre basa sus juicios en el conocimiento y la experiencia (Pekka, 2000) además de, organizarse factores tanto tangibles como intangibles de una forma sistemática, proporcionando una solución simple y bien estructurada.

Para asignar pesos mediante A.H.P. se desarrolla en dos etapas: la definición y construcción de la matriz de decisión y el cálculo del vector propio (Saaty, 1994).

- **La matriz de decisión** consiste en definir las preferencias de cada uno de los elementos que se está comparando. El proceso se lleva a cabo en cada uno de los niveles y se realiza a través de una comparación numérica por pares, identificando la importancia relativa de una variable respecto a la otra. La asignación se puntúa de 1 a 9 como se muestra en la tabla 3.1. donde el vector de la columna "i" representa la preferencia respecto al vector fila "j".

Significado ("i" respecto a "j")	Importancia relativa del elemento de la matriz	
	$a_{ij}$	$a_{ji}$
Absolutamente o extremadamente menos preferido	1/9	9
Mucho menos importante o preferido	1/7	7
Menos importante o preferido	1/5	5
Ligeramente menos importante o preferido	1/3	3
Igual importancia	1	1
Ligeramente más importante o preferido	3	1/3
Más importante o preferido	5	1/5
Mucho más importante o preferido	7	1/7
Absolutamente o extremadamente más preferido	9	1/9

**Tabla 3.1.** Comparación por pares para el cálculo de la matriz de decisión

Esta asignación que Saaty (1980) otorga, tiene su origen en la psicología, específicamente en el área de la programación neurolingüística. El Psicólogo George Miles (1961) desarrolló un estudio sobre la capacidad que una persona tiene para adquirir información conscientemente (o no) del mundo que le rodea. (Seymour et al, 2007). Que la parte consciente del ser humano es muy limitada y apenas es capaz de seguir un máximo de siete variables (o trozos de información) al mismo tiempo.

Estos trozos de información no tienen un tamaño fijo, y pueden consistir en cualquier cosa, desde conducir un coche hasta mirar por el espejo retrovisor. De modo que la parte consciente está limitada a siete, más o menos dos ( $7 \pm 2$ ), trozos de información, ya sea del mundo interior de los pensamientos o del mundo exterior. El inconsciente, por el contrario, constituye todos los procesos vitales del cuerpo humano, todo lo que se haya aprendido, las experiencias pasadas, y todo lo que se podría advertir

en el momento presente, aunque no se haga. El inconsciente es más listo que el consiente (Miles, 1956).

La tabla 3.2. representa la matriz de decisión “A” ( $n \times n$ ), donde “n” es el número de indicadores o de criterios. La matriz siempre debe ser cuadrada, ya que cada uno de sus elementos se calcula a través de comparación por pares. Es importante destacar que las valoraciones asignadas están relacionadas al tiempo y las condiciones existentes durante el momento de la evaluación. Esto significa que las relaciones asignadas pueden cambiar de acuerdo a cuando se hayan efectuado y dependiendo de las circunstancias actuales.

Criterio "j"	C1	C2	....	Ci	....	Cn
C1	1	$a_{12}$	....	$a_{1i}$	....	$a_{1n}$
C2	$1/a_{21}$	1	....	$a_{2i}$	....	$a_{2n}$
....	....	....	1	....	....	....
Ci	$1/a_{i1}$	$1/a_{i2}$	....	1	....	$a_{in}$
....	....	....	....	....	1	....
Cn	$1/a_{n1}$	$1/a_{n2}$	....	$1/a_{ni}$	....	1

**Tabla 3.2.** Matriz de decisión “A” ( $n \times n$ )

Utilizando el procedimiento matemático propuesto por el A.H.P., la siguiente fase se enmarca con la obtención de prioridades. El cálculo del vector propio se realiza mediante la normalización de los elementos de la matriz “A” por medio de la ecuación [3.1], creándose la matriz “B”. Cada elemento de la matriz “B” deberá corresponder al elemento de la matriz “A” dividido por la sumatoria de los elementos de la columna donde se encuentra.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad [3.1]$$

Con los componentes de la matriz “B” ya definidos, se calcula el vector de pesos mediante la ecuación [3.2]. Cada elemento del vector está compuesto por el resultado de la sumatoria de los elementos de cada columna de la matriz “B” dividido entre el número de requerimiento, criterios o indicadores.

El resultado de este vector es el peso correspondiente del requerimiento, criterio o indicador evaluado, según el orden en que hayan sido ubicados en la matriz "A".

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad [3.2]$$

### Medición de la consistencia de la matriz

La consistencia de una matriz de comparación por pares expresa el correcto juicio del decisor al momento de construir la matriz, ya que en el caso de que la matriz resulte inconsistente, el decisor deberá de replantear sus juicios. Es decir, la consistencia de la matriz examinada, teniendo en cuenta la proporcionalidad de las referencias (Escobar et al, 2003). Por ejemplo, si el criterio "A" es 3 veces importante que el criterio "B", y este a su vez 2 veces más importante que C, entonces el criterio "C" no podrá ser 3 veces más importante que "A", ya que en buena lógica el criterio A debería ser del entorno de 6 veces más importante que C.

Para evaluar la consistencia, Saaty propone calcularla mediante la relación de consistencia (C.R., consistency ratio), definida por el índice de consistencia (C.I.) y el índice de consistencia aleatoria (ver ecuación 3.3).

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \leq 0.1 \quad [3.3]$$

donde: C.R. = Relación de consistencia (Consistency ratio)

C.I. = índice de consistencia (Consistency index)

R.I. = índice de consistencia aleatoria (Random Index)

Para ello, se parte del cálculo del índice de consistencia [C.I.] definido mediante la ecuación [3.4]

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad [3.4]$$

Con ello, se parte del vector propio máximo que se consigue mediante el producto de la suma de las columnas de la matriz  $a_{ij}$ , por la componente del vector de prioridades  $w_i$  obteniéndose el valor de  $\lambda_{\max}$  mediante la ecuación [3.5]:

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^n a_{ij} \right) * w_j \quad [3.5]$$

El índice de consistencia aleatoria (R.I.) se describe como el máximo índice de consistencia de una matriz de decisión generada de forma aleatoria (Ferris, 2008). Sólo depende del tamaño de la matriz y toma los valores que se encuentran en la tabla 3.3

Para el caso de matrices con  $n < 2$ , no se necesita una verificación de consistencia ya que C.I. siempre es cero. Esto se debe a que la inconsistencia se presenta cuando al comparar dos ítems con un tercero, la proporcionalidad entre estos no se mantiene. Por lo tanto si solo existen 2 ítems a comparar no es necesario verificar dicha proporcionalidad. En el caso que  $C.R. > 0.1$ , el decisor debe revisar los valores asignados en la comparación por pares de la matriz "A" y repetir el resto del procedimiento, hasta que C.R. cumpla con la condición anterior.

Tamaño de la matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de consistencia aleatoria (R.I.)	0,0	0,0	0,52	0,89	1,1	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

**Tabla 3.3.** Índices de consistencia aleatoria de las matrices de decisión según su orden

En el caso de que  $C.R. > 0.1$ , el usuario debe revisar los valores asignados en la comparación por pares de la matriz "A" y repetir el resto del procedimiento. Hasta cuando C.R. cumpla con la condición anterior.

### 3.3.2. Construcción de la función de valor

#### Definición de la función de valor

La función de valor consiste en la transformación de diferentes unidades a través de una escala de valores adimensionales con el objetivo principal de sumar valoraciones de indicadores. Con ello, se plantean diferentes funciones de valor para cada uno de los indicadores y se valoran entre 0 y 1, representando el estado de valoración nula o valoración máxima (saturación), respectivamente, para cada uno de los indicadores.

La función valor usada se define mediante cuatro parámetros que, al variarlos, permite obtener todo tipo de formas: forma de s, cóncavas, convexas, o rectas (Manga, 2005). Esta función valor viene, genéricamente, dada por la Ecuación [3.6]

$$V_{ind} = A + B * \left[ 1 - e^{-K_i * \left( \frac{|X_{ind} - X_{min}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right] \quad [3.6]$$

donde: A = Valor que genera la abscisa "X<sub>min</sub>", Generalmente A = 0.

X<sub>min</sub> = Abscisa del indicador que genera un valor igual a "A"

X<sub>ind</sub> = Abscisa del indicador evaluado que genera un valor V<sub>ind</sub>

P<sub>i</sub> = Es un factor que determina la pendiente de la curva en el punto de inflexión de coordenadas (C<sub>i</sub>, K<sub>i</sub>). Además define la forma de la curva: cóncava, convexa, lineal y en forma de "S". Las curvas cóncavas presentan valores de P<sub>i</sub> < 1; las convexas o en forma de "S" presentan P<sub>i</sub> > 1 y si P<sub>i</sub> ≈ 1 las curvas tienden a ser rectas.

C<sub>i</sub> = Para curvas en forma de "S", este factor establece el valor de la abscisa del entorno del punto de inflexión

k<sub>i</sub> = Define el valor de la ordenada del punto C<sub>i</sub>

B = Este factor permite que la función se mantenga en el rango de valor de (0,00; 1,00). Es decir, la mejor respuesta resulte en un valor igual a 1. Este factor viene definido por la ecuación [3.7]:

$$B = \left[ 1 - e^{-K_i * \left( \frac{|X_{máx} - X_{mín}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right] \quad [3.7]$$

X<sub>máx</sub> = Abscisa del indicador que genera un valor igual a 1.

### Forma y tendencia de la función

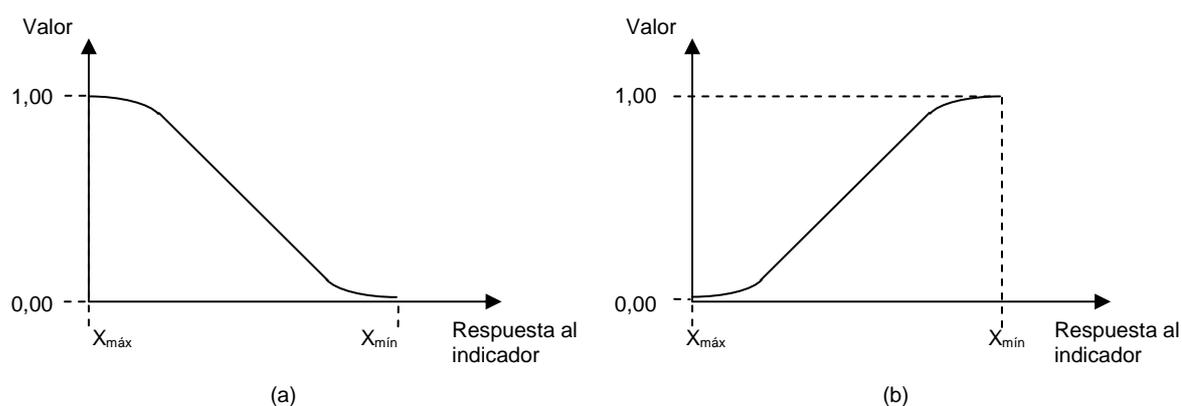
La función de valor puede ser creciente o decreciente según el tipo de indicador que se requiera evaluar. Para definir su forma, el decisor cuenta normalmente con cuatro alternativas: cóncava, convexa, recta o con forma de "s", aunque en algunos indicadores pueden utilizarse otras formas de unir estos puntos.

Las funciones convexas se usan a partir de una condición mínima de cumplimiento, la satisfacción se incrementa de manera evidente en relación con el parámetro de respuesta del indicador, según la ecuación 3.6. Una vez se haya verificado la normativa mínima y la medida que la respuesta del indicador alcance esta satisfacción, mayor será el valor en la escala.

Por otro lado, en las funciones cóncavas, si el parámetro de respuesta del indicador ( $x$ ) presenta un valor pequeño, su valor inicial de satisfacción es mínimo. A medida que se incrementa la respuesta, se maximiza este valor en la escala. Este tipo de curvas suelen ser usadas para indicadores económicos, ambientales y temporales puesto que a respuestas menores se traduce en una satisfacción mayor.

Para curvas de tipo lineal, la función refleja incrementos de valor iguales a lo largo de la respuesta de las alternativas. Y finalmente, para curvas en forma de “s”, es una combinación de la función cóncava y convexa. Su incremento de satisfacción se detecta significativamente en los valores centrales, es decir, en los valores alejados de los rangos mínimo y máximo en donde se refleja su menor satisfacción.

Por ejemplo, para evaluar el indicador “consumo de energía (Mj/hr)”, se debe considerar una función de valor descendente, debido a que con un menor consumo de energía se consigue una satisfacción máxima tal y como se muestra en la figura 3.9 (a). No obstante, si se tiene un indicador como “resistencia a la flexión por cargas repetidas” se consigue la máxima satisfacción en el máximo tiempo posible, debiendo utilizar una función creciente tal como se aprecia en la figura 3.10 (b).



**Figura 3.10.** Tendencias crecientes y decrecientes de una función de valor

El comportamiento de las curvas depende de los valores de los parámetros  $P_i$ ,  $C_i$ ,  $K_i$  de la ecuación 3.6, citada con anterioridad. A cada variable se le puede atribuir un sentido físico lo que ayuda a ser más comprensible y manejable para el usuario.

### Puntos de máxima y mínima satisfacción

Los puntos de máxima y mínima satisfacción ( $x_{\min}$  y  $x_{\max}$  de la figura 3.9) definen los límites de la función de valor. Estos límites son definidos de acuerdo a distintas circunstancias como son:

- Utilizar la normativa vigente: Algunos indicadores se encuentran regulados en diferentes normativas. Estas normas pueden condicionar los puntos de mínima o máxima satisfacción en la función de valor.
- Condiciones propias: Según las necesidades del modelo, cuando los indicadores no estén regulados por una ley, se puede seleccionar los puntos mínimos y máximos, sobretodo en temas de coste y tiempo de ejecución del proyecto.
- Comparación entre alternativas: Si el decisor no tiene la suficiente experiencia o capacidad técnica para definir estos puntos, la alternativa menos favorable será el punto de menor satisfacción y la más favorable el punto de mayor satisfacción. El valor de las otras alternativas se calculan a partir de la función de valor descrita por los puntos anteriormente mencionados.

En el caso de que existan ordenadas que extrapolen los límites establecidos, se puede optar por desechar la alternativa o concederle el valor del límite que supera. La decisión de tomar una u otra opción depende del indicador que se esté evaluando.

### **3.3.3. Cálculo de las alternativas**

Las alternativas se cuantifican de forma escalonada y de derecha a izquierda (rama derecha del árbol de requerimientos) hasta llegar a la parte izquierda con los requerimientos. A continuación se describe el cálculo en cada nivel.

Para definir el valor de la alternativa a **nivel de indicadores**, se sigue la directriz de la figura 3.8 citado con anterioridad. Para su cálculo, se aplica la función de valor para cada alternativa y para cada indicador, obteniendo un valor de satisfacción entre 0 y 1 (adimensional). A este mismo nivel, se hace la determinación de pesos mediante AHP, entre indicadores correspondientes a un mismo criterio (o grupo homogéneo), de forma tal, que sumen 100% o la unidad. La obtención del índice de valor resulta de la multiplicación del valor de satisfacción y el peso del indicador calculado.

Los valores de estos indicadores sirven para definir el valor de los niveles jerárquicos superiores, los cuales se multiplican por los pesos de cada criterio y la suma de todos los resultados de los indicadores de un grupo homogéneo resulta el valor de cada criterio, tal y como se muestra en la ecuación 3.8,

$$V(C_k R_n) = \sum_{i=1}^j w(I_i C_k R_n) * V(I_i C_k R_n) \quad [3.8]$$

donde:  $V(C_k R_n)$  = valor del criterio "k" del requerimiento "n"

$w(I_i C_k R_n)$  = peso del indicador "i" del criterio "k" del requerimiento "n"

$V(I_i C_k R_n)$  = valor del indicador "i" del criterio "k" del requerimiento "n"

La evaluación a nivel de requerimientos se realiza de forma similar a lo explicado para la evaluación a nivel de criterios. Con los valores de cada criterio, se obtiene el valor del requerimiento mediante la ecuación [3.9].

$$V(R_n) = \sum_{k=1}^z w(C_k R_n) * V(C_k R_n) \quad [3.9]$$

donde:  $V(R_n)$  = valor del requerimiento

$w(C_k R_n)$  = peso del criterio k del requerimiento n

$V(C_k R_n)$  = valor del criterio k del requerimiento n

La selección de la mejor alternativa se realiza a partir de la suma de los valores obtenidos en el nivel de requerimientos, es decir, **la mejor alternativa será, la que obtenga un valor más alto** (más próximo a uno), representando la máxima satisfacción, obtenida por la ecuación 3.10 que se muestra a continuación:

$$V_{\text{alternativa}} = \sum_{k=1}^z w(I_i C_k R_n) * V(I_i C_k R_n) \quad [3.10]$$

donde:  $V_{\text{alternativa}}$  = valor de la alternativa

$w(I_i C_k R_n)$  = peso del requerimiento k de la alternativa n

$V(I_i C_k R_n)$  = valor del requerimiento k de la alternativa n

### **3.4. FORTALEZAS DE LA METODOLOGÍA**

Como ya se ha mencionado en el capítulo 2 estado del conocimiento, la mayoría de las metodologías de evaluación plantean valoraciones de sus necesidades en forma separativa. Esto es, cada una de ellas evalúa las distintas variables disociadas, diluyendo así, la precisión del resultado y el carácter integrado que una evaluación total requiere, entendiendo por total, la integración de los diferentes requerimientos de evaluación.

En consecuencia de esta problemática, se ha propuesto un procedimiento de mejora para valorar una carretera en la etapa de planificación, con base en el análisis de valor. De modo que se suponen las siguientes ventajas del planteamiento adoptado:

- Permite evaluar con la misma metodología, infraestructuras de carreteras tanto en trazado, como para la sección transversal, en cualquier etapa del ciclo de vida, desde la planificación hasta la reintegración de sus componentes.
- Permite evaluar las variables de una carretera de forma asociada, dependiendo de las características, y sobre todo de las necesidades del decisor. Permitiendo además, priorizar cada una de las soluciones y cuantificar sus respuestas por medio de un índice de valor.
- La herramienta al tener un carácter de sostenibilidad (para el caso de carreteras), no tan solo centra su atención en la categoría medioambiental, sino que está estructurada de tal forma, que aborda sus pilares principales como son económicos y sociales, que en otras herramientas no es posible agrupar. Además que puede aplicarse a cualquier zona geográfica, que se desee desarrollar el proyecto.
- Permite valorar variables cualitativas a través de puntuaciones, con el claro fin de reducir la subjetividad inherente en este tipo de variables. Permite además, realizar un análisis de sensibilidad, para generar un criterio de comparación, con los resultados obtenidos respecto a sus variables.

### **3.5. RECOMENDACIONES RESPECTO A LA PROPUESTA**

Para la presente tesis doctoral, se han desarrollado una serie de recomendaciones para la propuesta metodológica. Dichas recomendaciones han sido introducidas con el fin de conservar la objetividad y rigurosidad que requieren los casos

prácticos evaluados, aportando valor añadido respecto a los trabajos anteriores con un perfil similar. A continuación se enuncian dichas recomendaciones y su aplicación se sitúa en el capítulo 5, “aplicación de la metodología”:

- Aplicación de criterios e indicadores discriminantes (listas de chequeo)
- Incorporación de variables relativas
- Agregación de “indicadores intercambiables”
- Valoración de indicadores por puntuación

#### Aplicación de criterios e indicadores “discriminantes” (listas de chequeo)

En el análisis previo de elección de requerimientos, criterios e indicadores, se recomienda configurar las variables de forma tal que, discriminen entre las alternativas planteadas. Es decir, que las variables definidas deben otorgar un factor diferencial entre las soluciones adoptadas. Llevar a cabo dicha *discriminación previa* de variables, permite al decisor, por un lado, reducir el trabajo de análisis de indicadores, y por otro lado, reducir la complejidad al momento de realizar la valoración.

Este análisis previo se desarrolla por medio de una lista de verificación (“check list”) donde se exponen las necesidades del proyecto y de forma simple se puedan ir eliminando de la lista las que son de obligado cumplimiento, para dejar al final, aquellas variables que realmente aporten alguna diferencia a la solución.

Con ello, es necesario remarcar que, cada uno de los aspectos tienen que tener un carácter discriminante entre las alternativas, complementarios y deben ser independientes entre ellos.

#### Incorporación de variables relativas

Desde el punto de vista de la objetividad de resultados, otra recomendación importante es el empleo de variables relativas. Por ejemplo, en la tabla 3.4, se puede ver el planteamiento entre el valor relativo y el absoluto (o global). En ella, la “*alternativa A*” muestra un valor absoluto de 11,200 ton, y tendría que ser la mejor respuesta por conservar en cierta medida los recursos naturales.

No obstante, si se adopta el criterio de valorar los indicadores en “relativo” la decisión cambia, la “*alternativa B*” es la que aporta una mejor solución desde el punto de vista medioambiental (2550 ton/km de materia prima empleada en la construcción de la

carretera). Los valores absolutos sólo valoran a los que más tienen, y no a los más eficientes.

Alternativa	Km. construidos	Cantidad de materia prima utilizada (tn.-global)	Materia prima utilizada/ km.
A	4	11.200	2,800
B	10	25.500	2,550

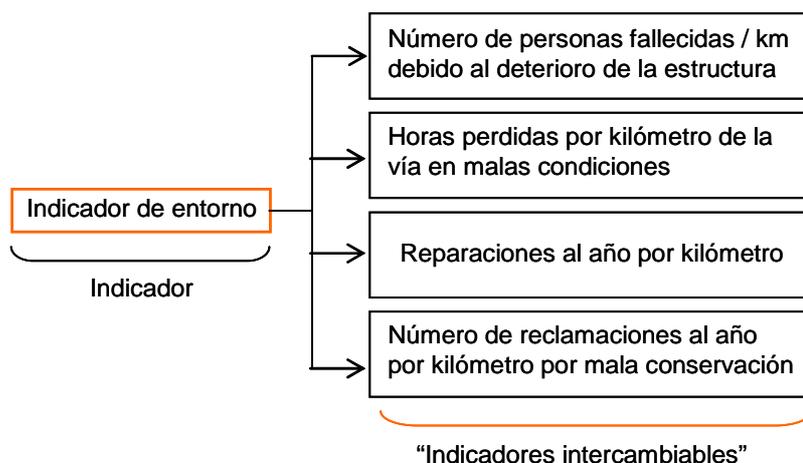
**Tabla 3.4.** Valores relativos para el indicador “materia prima utilizada”

El resultado de 2550 toneladas por kilómetro muestra mayor objetividad en la respuesta del indicador. En otras palabras, si fuese valorado el indicador como un “dato relativo”, la alternativa “A” reflejaría un uso mayor de materias primas (2.800) respecto a la otra alternativa “B”. Este planteamiento es contrario a lo que se hace en la mayoría de las evaluaciones, y de ahí parte la importancia de incorporarlo a la propuesta metodológica.

#### Agregación de “indicadores intercambiables”

Esta recomendación sugiere la inclusión de “indicadores intercambiables” sobre el árbol de requerimientos. La necesidad de incorporar este planteamiento se debe a que en ciertos proyectos existe la necesidad de evaluar un aspecto a través de diversos matices.

Dichos matices pueden ser representados a través de indicadores que incorporen distintas soluciones. Por ejemplo, en la figura 3.11 se puede valorar el indicador “seguridad en la carretera” a partir de 4 posibles opciones: número de personas fallecidas/km debido al deterioro de la estructura, horas perdidas por kilómetro por una vía en malas condiciones, reparaciones al año por kilómetro e incluso número de reclamaciones al año por kilómetro por falta de conservación.



**Figura 3.11.** Ejemplificación de “Indicadores intercambiables”

El decisor deberá seleccionar uno de estos indicadores para evaluarlo de acuerdo a su entorno y a la facilidad de sus datos de ese proyecto. En el capítulo 6 se presenta la aplicación de ésta recomendación en algunos indicadores.

#### Medición de variables cualitativas por puntuación

Finalmente, se incorpora una última recomendación a la propuesta para medir las variables cualitativas por medio de listas de puntuación. Esta lista de puntuación representa un conjunto de parámetros que influyen en el indicador y que a través de distintos grados de cumplimiento se les otorga una puntuación, la cual debe ser definida por el decisor en función de su experiencia y de las propias variables a puntuar.

Dicha tabla ha sido propuesta para poder valorar variables que en principio pueden tener un carácter subjetivo, entendiendo que esta subjetividad es reducida mediante la lista de puntuación del indicador.

Por ejemplo, en la tabla 3.5 se muestra los distintos parámetros, grados de cumplimiento y puntos para el indicador *“Influencia del plazo de ejecución de una carretera por condiciones orográficas”*. En ella se muestra si el sistema constructivo se ve afectado por las condiciones orográficas, o bien si existe necesidad de utilizar equipo y/o maquinaria especializada y si existe algún grado de dificultad para suministrar los materiales.

En cada uno de estos parámetros se les ha asociado un grado de cumplimiento tal y como se muestra. Para la afectación al sistema constructivo se suponen tres (3): sin

ninguna afectación, afectación parcial (solo en los subprocesos) y afectación máxima (posibilidad de cambiar el sistema constructivo). Por otro lado, para el parámetro de necesidad de equipo y maquinaria especializada se suponen tres (3): no se necesita, se necesita pero solo en ciertos períodos del proyecto, y necesidad total (durante toda las etapas) y finalmente el parámetro de problemas o dificultades para suministrar los materiales con tres (3) grados como son: sin ninguna afectación, con afectación parcial y con una dificultad máxima para suministrar los elementos y materiales al proyecto.

PARÁMETRO	Cumplimiento	Puntos
Afectación del sistema constructivo	Sin ninguna afectación	50
	Afectación parcial en los subprocesos constructivos	10
	Máxima afectación al sistema constructivo, incluso posibilidad de cambio del mismo.	0
Necesidad de equipo y maquinaria especializada	No se necesita equipo ni maquinaria	25
	Necesidad temporal de equipo en orografías específicas	10
	Necesidad total de equipo y maquinaria especializada	0
Grado de dificultad por el suministros de materiales	Ninguna dificultad	25
	El grado de dificultad afecta considerablemente al proyecto, tanto económico como temporal	10
	Máximo nivel de dificultad para suministrar los materiales	0

**Tabla 3.5.** Puntuación del Indicador “Influencia del plazo de ejecución por la orografía”

Finalmente, es necesario señalar que el decisor al asignar (previamente) las puntuaciones está introduciendo un peso asociado a las distintas condiciones que se encuentra el proyecto, por ejemplo, en la tabla 3.5 se puede ver que la afectación del sistema constructivo es 2 veces (50 puntos) más importante que los otros dos parámetros (25 puntos cada uno).



## Capítulo 4

# Árbol de decisión y funciones de valor

### 4.1. INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior se han definido los aspectos generales de la propuesta metodológica, sin embargo, para aplicar esta metodología primero es necesario definir cada una de las variables a emplear.

**El objetivo** de este capítulo consiste en definir el árbol de requerimientos para evaluar la sección transversal de una carretera así como la descripción y desarrollo de cada una de las funciones de valor.

La estructura de este capítulo esta compuesta por 4 apartados: en la primera están definidas las condiciones de entorno del problema (tipo de calzada, condiciones de contorno, etc.); El segundo apartado define los límites del sistema del modelo siguiendo el planteamiento MIVES. Con posterioridad, cada una de las variables definidas para el árbol de decisión son caracterizadas y analizadas; y en el apartado final se desarrollan

las funciones de valor para cada indicador, las cuales servirán de base en la validación de la metodología en un caso práctico, desarrollado en el capítulo 5.

La definición de las variables consideradas para este estudio se ha hecho en base a la propia experiencia de los expertos y de acuerdo a las condiciones técnicas específicas de cada una de las alternativas propuestas en la evaluación.

## **4.2. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA**

### **4.2.1. Problema general**

Para la construcción de una carretera se pueden tener distintas soluciones. En primer lugar, es necesario identificar el tipo de carretera y sus características. Para el desarrollo de ésta tesis doctoral, se ha contado con la opinión de diversos especialistas<sup>8</sup>, los cuales han recomendado estudiar una carretera tipo 2+2, que está compuesta por dos calzadas separadas, con dos carriles por sentido. Esta opción responde a una configuración de máximos que resulta inherente para este estudio, si bien es aplicable a otro tipo de carreteras.

Los tipos de secciones utilizados en las carreteras españolas son los referidos en el catálogo de firmes de la Instrucción de carreteras (Instrucción 6.1 y 6.2 IC). Dichas instrucciones se adaptan a las peculiaridades de tráfico, materiales, y procedimientos constructivos.

Los factores básicos en el dimensionamiento de firmes son: el tráfico, la capacidad de soporte de la explanada, los materiales disponibles, las condiciones climáticas y otros factores para definir los materiales y espesores de las capas que lo constituyen. En cuanto al tipo de tráfico asociado se ha estimado un valor promedio en 2026 (IMDp). Con este valor conduce a una categoría de tráfico pesado (T00 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes) a través del catálogo de secciones de firme de la instrucción 6.1 IC se ha adaptado la sección 0031.

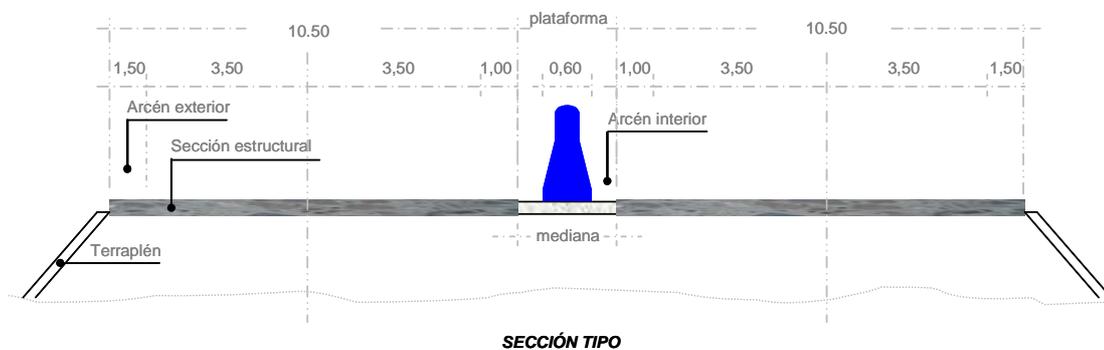
### **4.2.2. Características específicas de la calzada (el caso analizado)**

La carretera considerada en el estudio como se puede ver en la figura 4.1, considera el ancho total de la plataforma que es de 10,5 m. con 3,5 metros por carril, 1.5

---

<sup>8</sup> Cabe mencionar la presencia y agradecimiento a Antoni Hereu (Subdirector general de Actuación viaria), Félix Pérez (UPC) en representación de GISA y Ministerio de Fomento, Ignacio Lecumberri (UNILAND), Jordi Artigas (ICA), y Ruy Núñez

m. para el arcén exterior y 1.0 m. para el arcén interior. Con estas dimensiones se analiza la construcción de un tramo de 1000 metros de longitud. La razón de esta longitud se cree que es representativa para ambas soluciones.



**Figura 4.1.** Sección transversal de la calzada a estudiar

### 4.3. DEFINICIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

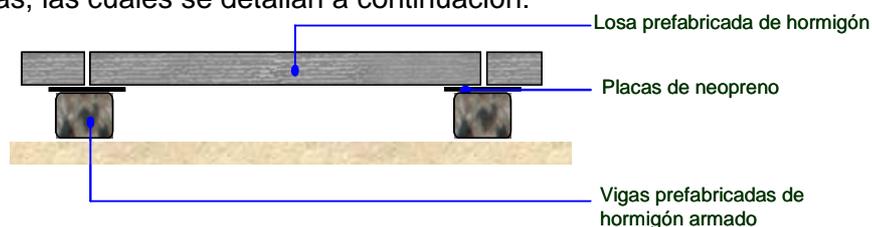
Para dar respuesta a este problema se ha planteado dos alternativas: una solución tradicional y una solución prefabricada.

- Solución prefabricada: compuesta por una estructura a base de elementos prefabricados de hormigón apoyada sobre vigas prefabricadas de hormigón armado y éstas, directamente colocadas sobre la explanación.
- Solución tradicional: compuesta por una estructura a base de pavimento por capas de material natural y tratado apoyadas directamente sobre el terreno, con superficie superior asfáltica.

#### 4.3.1. Alternativa "A": Solución prefabricada

Esta solución técnica proviene de un proyecto de investigación desarrollado en paralelo a ésta tesis doctoral, y sus características específicas están representadas en la tesis doctoral de (De los Ríos, 2008) en desarrollo. Ésta solución consiste en la colocación de elementos prefabricados de hormigón apoyados en vigas de hormigón armado y, colocadas a la vez sobre el terreno, pretendiendo obtener un sistema de simple y fácil construcción y sobre todo con mayor rapidez de ejecución tanto en construcción como en mantenimiento.

En la figura 4.2 se puede observar las características del sistema constructivo. Los componentes que lo integran son: las vigas prefabricadas de hormigón armado y las losas prefabricadas, las cuales se detallan a continuación:



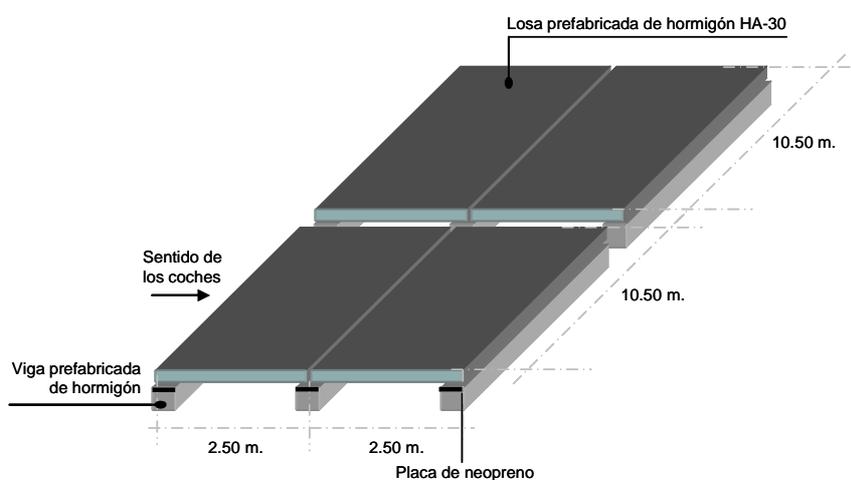
**Figura 4.2.** Componentes de la alternativa

- Cimentación: vigas de hormigón

La estructura del pavimento está apoyada sobre vigas de hormigón armado HA-30, que a su vez están apoyadas directamente sobre la explanación. Las dimensiones de las vigas son de 0.30 m. de anchura por 0.20 m. de altura con una longitud de 5.25 metros. Teniendo en cuenta que las características del terreno son las mismas para ambas alternativas, la explanación no se toma en cuenta para el estudio por no aportar un factor diferencial entre dichas alternativas.

- Estructura

La estructura está constituida por losas modulares prefabricadas de 2.5 m por 10.50 m. con un espesor de 0.25 m. de hormigón armado (HA-30) con cemento común (UNE 80301:96). Las dimensiones fueron optimizadas para su fabricación, transporte, almacenamiento y montaje. De esta forma las juntas de construcción entre paneles se presentan perpendiculares al tráfico como se puede observar en la figura 4.3 del sistema constructivo.



**Figura 4.3.** Dimensiones de las losas

La razón de usar losas sobre vigas y no losas directamente apoyadas sobre la explanada, radica en tratar de reducir los riesgos de posibles erosiones y el trabajo en ménsula de la losa, en ciertas zonas descalzadas, lo que daría lugar a roturas locales.

#### 4.3.2. Alternativa “B”: Solución tradicional

Esta alternativa es la solución constructiva que tradicionalmente se utiliza en España. Consiste en una superficie bituminosa soportada por una capa de material granular, y una capa de una mezcla adecuada de materiales gruesos y finos.

Las cargas del tránsito se transfieren desde la superficie de rodadura a los materiales subyacentes de soporte, a través de los áridos, y por el efecto friccionante de los materiales granulares y a la cohesión de los materiales finos (Garber, 2005). Estas capas descansan directamente sobre el terreno con el objeto de resistir los esfuerzos tangenciales producidos por el tráfico. En la figura 4.4 se muestra dicha disposición de capas.

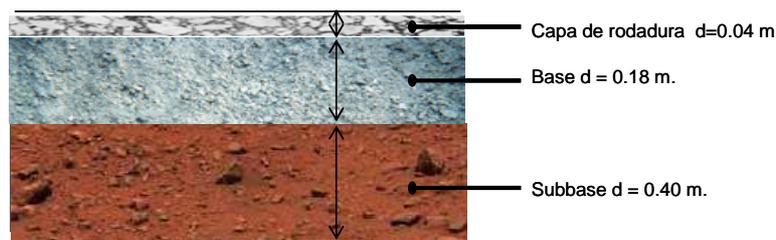


Figura 4.4. Capas sucesivas del pavimento flexible

#### 4.3.3. Listado de chequeo

Es necesario señalar que, antes de pasar a la fase de evaluación, las alternativas propuestas deben cumplir con las especificaciones reglamentarias correspondientes a los distintos ámbitos (nacional, autonómico o local) que tengan incidencia sobre la estructura a estudiar.

Para ello se recomienda preparar una lista de chequeo con estos requerimientos de obligado cumplimiento. En la tabla 4.1, se muestra la lista de chequeo adoptada para el caso de estudio.

Parámetros	De obligado cumplimiento
<b>Estructurales</b>	Estándar de proyecto requerido
	Acuerdos geométricos en planta y alzado, radios de giro, etc.
	Anchura de carriles iguales o superiores a 3,50 m.
	Arcenes de anchura igual o superiores a 1.10 m
	Vida útil de 20 años
	Pendiente transversal de 2%
	La sección transversal debe incluir: carriles, arcenes, bordillos, elementos de drenaje, protecciones/separaciones
	Capacidad para soportar las cargas del tráfico (>4000 vehículos/día)
	Capacidad para soportar las sollicitaciones climáticas
	Color y propiedades ópticas de la superficie de rodadura
<b>Técnicos</b>	Disponibilidad de medios constructivos

**Tabla 4.1.** Requerimientos de obligado cumplimiento en calzada de 2+2

En la tabla anterior, se presentan los parámetros estructurales y técnicos, los cuales contienen aspectos que han sido cumplidos por ambas alternativas propuestas. Por ejemplo el “estándar de proyecto requerido”, el cual se refiere al nivel de calidad geométrico con el que se construye una carretera (cuanto mayor es el estándar geométrico, mejor es la seguridad vial).

Además se ha considerado como parámetro obligatorio la anchura de carriles iguales o superiores a 3,50 m con el fin de mantener las condiciones ideales para las carreteras de dos carriles (2+2), definidas como aquellas condiciones no restrictivas desde el punto de vista de las características geométricas de circulación y del entorno.

También se ha considerado que la pendiente transversal mínima aumentará a 2.5% para carreteras con condiciones pluviométricas severas o cuando la distancia del drenaje superficial es más larga que el ancho de un carril.

#### 4.4. LIMITES DEL SISTEMA

Como se ha mencionado en el apartado 3.2.2 del capítulo 3, la metodología esta basada en un modelo con una estructura tridimensional que comprende 3 ejes: requerimientos, componentes y ciclo de vida.

Para abordar el problema en cuestión, se inicia con la exposición de cada uno de los requerimientos. Se entiende que estos ejes de requerimientos tienen correspondencia directa con las necesidades descritas del proyecto.

- Requerimiento **temporal**: este requerimiento se ha incluido al estudio (y para cualquier proyecto de viabilidad) ya que es imperante estudiar los tiempos de ejecución de cada uno de los procesos identificados a lo largo del ciclo de vida de la carretera. Para ello, se han considerado 5 criterios, dos de los cuales corresponden a aspectos de entrada (tiempos de construcción y de mantenimiento), mientras que los otros 3 se refieren a los posibles riesgos asociados a la ejecución propia de los trabajos, desde la construcción hasta su mantenimiento.
- Requerimiento **económico**: este requerimiento es necesario incorporarlo, ya que con él se pretende representar los costes directos de los diversos elementos de la vía. En ese sentido, se hace un planteamiento con 3 criterios de entrada (costes de construcción, mantenimiento y por la implementación del sistema integrado de servicios) y un criterio referido al riesgo asociado a un desplazamiento del coste de las previsiones económicas del proyecto.
- Requerimiento **medioambiental**: el objetivo que se pretende al incorporar este requerimiento, es minimizar cualquier impacto ambiental durante todas las fases del ciclo de vida de la carretera. Se han agregado los impactos ambientales posibles que se generan en las etapas del proceso de la carretera.

Se evalúan criterios como consumo de energía, uso de materias primas, agua utilizada durante la construcción, emisiones de CO<sub>2</sub> (durante construcción y mantenimiento). En ese sentido, se pretende cumplir con las exigencias mínimas de cumplimiento del protocolo de Kyoto<sup>9</sup> (1992), el cual tiene el objetivo de reducir al máximo las distintas emisiones al medioambiente.

---

<sup>9</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo\\_de\\_Kyoto](http://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Kyoto)

Por otro lado, Josa et al (2001) mencionan que entre los gases más contaminantes producidos por la construcción de una carretera es el CO<sub>2</sub>, producto de la producción del cemento, afectando claramente al medio ambiente, y con ello, parecería prudente adoptar esta variable en el estudio.

El reciclaje de carreteras (como material de salida) no se ha sometido a estudio, ya que este proceso no se ha tenido en cuenta a la hora de construir nuevas infraestructuras de carreteras hasta hace muy poco tiempo, y los datos al respecto son escasos. No obstante, según la Dirección General de Carreteras (Rodríguez López, 2006), desde el año 2005 se están empezando a aplicar en las carreteras nuevas técnicas que aprovechan el 50% del material del antiguo firme, reduciendo así el impacto ecológico y el coste de las obras de reparación.

- Requerimiento **funcional**: se contempla todo lo relacionado con el desempeño del sistema a lo largo de la vida útil de la estructura. El proyecto se ha planteado con dos propósitos: primero que cumpla con la función para el cual ha sido diseñado “pavimento para una carretera”, y segundo, para que ofrezca nuevas funcionalidades al usuario, como lo es el “sistema integrado de servicios”.

Este requerimiento contempla la incorporación de nuevas funcionalidades tales como: facilidad de la estructura para adaptarla en galería de servicios, es decir, soportar diversas instalaciones de telefonía, fibra óptica, etc., en su estructura; además la capacidad para generar electricidad, cara a construir en climas gélidos y la adaptabilidad de la propia estructura para colocar elementos prefabricados (bordillos, señalizaciones, etc.). Con este estudio desarrollado no se pretende defender (o no) estos criterios, ya que se entiende que para el objetivo propuesto resultan satisfactorios.

La filosofía implícita en este árbol de decisión considera aspectos de acciones directas como por ejemplo, tiempos de construcción, costes, emisiones, etc. como aspectos asociados al riesgo de alguna desviación de dichas acciones (incidencia por condiciones climatológicas, desviación del coste, etc.)

En el eje de los **componentes** se considera la parte de la estructura de soporte. La explanación no es considerada para este estudio al no ofrecer un criterio discriminante, al considerar que ambas alternativas se encuentran bajo las mismas condiciones de terreno. La capa de rodadura tampoco ha sido considerada ya que se considera que sea la misma para ambas alternativas y, consecuentemente, no aportan un factor diferencial entre estas.

En el eje de **ciclo de vida** de la calzada tan sólo se han considerado las etapas de construcción y mantenimiento. La razón de utilizar solo estas dos etapas se debe a que se considera que son etapas que discriminan entre las alternativas planteadas. La etapa de reintegración (material como producto de salida), si bien pudiera considerarse, para este estudio se ha creído conveniente no considerarla.

#### 4.4.1. Árbol de decisión

En la tabla 4.2 se presenta el árbol de requerimientos conformado para el caso de estudio en cuestión. El despliegue del árbol conduce a 16 indicadores y se ha prestado especial atención en que el número de indicadores no sea excesivo en cada grupo homogéneo (rama del árbol), entendiéndose que una cifra de 4 indicadores, como máximo, en cada grupo es una cifra aceptable en cuanto a la manejabilidad. Un número más elevado de indicadores, no aporta mayor precisión, sino que aporta mayor trabajo y mayor riesgo en cuanto a la fiabilidad (pérdida de concentración, etc.) y disolución del peso de los indicadores principales.

El despliegue del árbol conduce a 16 indicadores y se ha prestado especial atención en que el número de indicadores no sea excesivo en cada grupo homogéneo o “rama del árbol” entendiéndose que una cifra de 4 indicadores, como máximo, en cada grupo es una cifra aceptable en cuanto a la manejabilidad. Un número más elevado de indicadores, no aporta mayor precisión, sino que aporta mayor trabajo y mayor riesgo en cuanto a la fiabilidad (pérdida de concentración, etc.) y disolución del peso de los indicadores principales. (Amekudzi & McNeil, 2000; Hassanaein, 2004).

REQ.	CRITERIO	INDICADOR
TEMPORAL	Tiempo de ejecución	Tiempo de construcción (días/Km.)
		Tiempo entre cada actuación de mantenimiento (días/Km.)
	Riesgo de desviación respecto a previsiones iniciales	Incidencia de condiciones climáticas (puntuación)
		Incidencia de condiciones orográficas (puntuación)
ECONÓMICO	Costes	Coste inicial de construcción (Millones de euros/Km.)
		Coste de mantenimiento (Euros/Km.)
		Coste de implementación del "Sistema Integrado de Servicios" (Millones de euros/Km.)
	Riesgos de desviación del costo respecto al estimado del proyecto	Desviación del coste por factores externos (%)
MEDIO AMBIENTE	Capacidad de introducir materiales reciclados	Material reciclado a utilizar en la estructura (%/Km.)
	Consumos	Cantidad de energía consumida (Gjoules/Km.)
		Materias primas utilizadas (Tn./Km.)
		Agua utilizada (litros/Km.)
Emisiones	Cantidad de CO <sub>2</sub> (Ton. /Km.)	
FUNCIONAL	Sistema Integrado de Servicios	Facilidad de adaptar la estructura en galerías de servicios (puntaje)
		Adaptabilidad de la estructura para colocar elementos prefabricados. (puntaje)

**Tabla 4.2.** Árbol de requerimientos

#### 4.5. DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES DE VALOR

De acuerdo con las bases del planteamiento MIVES expuestas en el capítulo 3, una función de valor tiene la función principal de unificar las unidades de los distintos indicadores a través de una escala de satisfacción. Dicha unificación se lleva a cabo en un intervalo entre 0,00 y 1,00. En este apartado, se definen las funciones de valor empleadas para cada uno de los indicadores del árbol de requerimientos.

Es necesario recalcar que para la determinación de las tendencias de las funciones de valor se apoyo en la opinión de especialistas en carreteras en áreas de conservación, planificación y construcción de carreteras (mediante un seminario desarrollado en la universidad Politécnica de Cataluña), opinando sobre las particularidades del proyecto y aportando sugerencias respecto los criterios adoptados.

#### **4.5.1. Tiempo de construcción**

##### Objetivo

Mide el tiempo en días, que se necesita para realizar los trabajos de construcción de la carretera. Incluye además, el tiempo de ejecución de los caminos de servicios necesarios para los trabajos en la construcción de la carretera.

##### Forma de valorar

Este indicador mide el tiempo que se tarda en construir la carretera de un kilómetro (días/kilómetro). Para calcular el tiempo de construcción para la alternativa "A" se ha tenido la referencia de De los Ríos (2008), donde se ha hecho un estudio de tiempos de ejecución para este sistema constructivo (30 días/kilómetro).

Asimismo, la respuesta de la alternativa "B" se ha obtenido a partir del histórico de datos de proyectos ejecutados por la Dirección General de Transportes (DGT) de la Generalitat de Catalunya (40 días/kilómetro).

##### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 4.5) es decreciente cóncava, esto es, a medida que aumentan el tiempo de las actividades de construcción, desciende la satisfacción. La forma de la curva es considerada en forma de una "s" tal como se muestra.

En ella, se propone un valor mínimo de 20 días<sup>10</sup> por kilómetro para las soluciones que ejecuten los trabajos de construcción con mayor rapidez y, consecuentemente los valores cercanos a ese orden, la satisfacción será máxima. Asimismo, se ha propuesto 80 días<sup>11</sup> por kilómetro para el valor máximo, pudiéndose traducir en soluciones con bajo rendimiento. Dado que el tiempo de construcción puede venir influenciado por la orografía

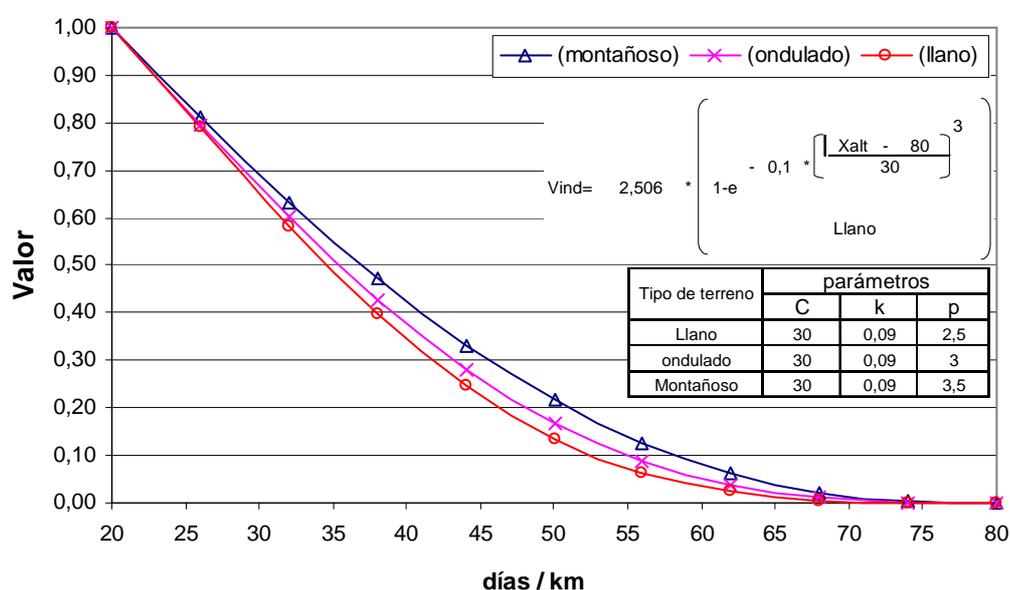
---

<sup>10</sup> Valor mínimo encontrado en los proyectos de la DGC de Cataluña.

<sup>11</sup> Valor máximo revisado en los proyectos de la DGC de Cataluña.

del terreno, además de por las características del mismo, se ha considerado la opción de la orografía diferente: llano, ondulado y montañoso. Se otorga mayor satisfacción, por ejemplo, al construir una alternativa en 50 días en condiciones de montaña que para condiciones llanas.

Para este estudio, sólo se ha considerado la curva para llano, si bien se pudiera considerar para las otras orografías, se ha creído conveniente para esta primera iteración mantener solo llano. Con ello, se considera que ambas soluciones parten con la misma explanación y las actividades previas de construcción (camino auxiliares, obras complementarias, etc.) no se han tomado en cuenta.



**Figura 4.5.** Tiempo de construcción (días/km.)

Asimismo, el punto de inflexión se ha planteado en 30 días / kilómetro, por el hecho de representar el tiempo medio de los distintos proyectos revisados de la Dirección General de carreteras.

#### 4.5.2. Tiempo entre cada actuación de mantenimiento

##### Objetivo

Cuantifica en meses, la frecuencia de ejecución de mantenimiento entre una actuación y otra. La conservación de carreteras es una actividad permanente en el tiempo, que tiene como objetivo el mantenimiento de la funcionalidad, la seguridad, las

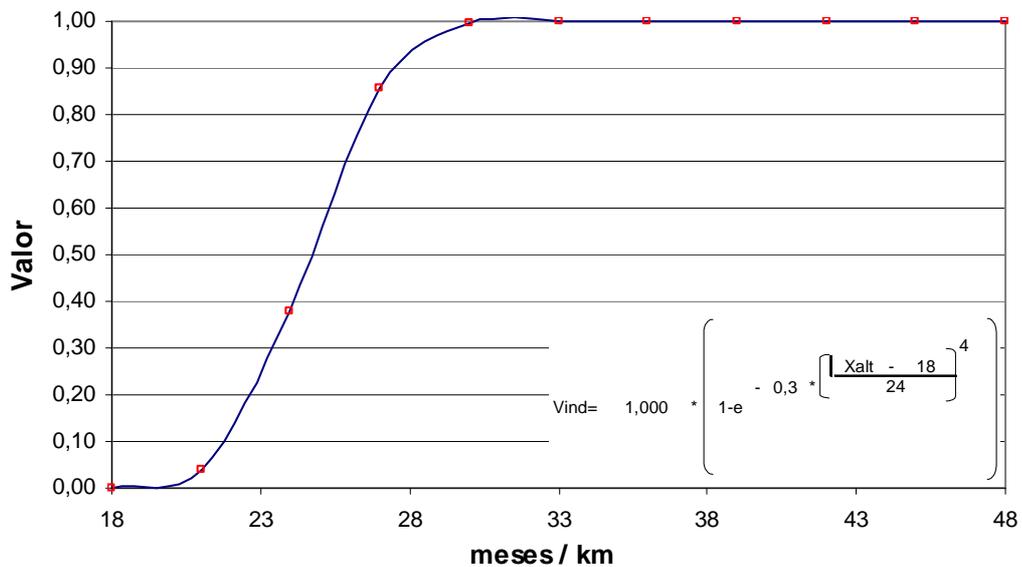
condiciones de entorno y el valor patrimonial de las mismas, por lo que parece prudente incorporar este aspecto.

Forma de valorar

Este indicador mide el tiempo transcurrido entre actuaciones de mantenimiento, es decir, que tiempo pasa entre una actividad y otra (días/kilómetro). Para este indicador no se ha matizado el importe de la actuación ni el tiempo necesario para realizarla ya que pudiera ser redundante en otros indicadores ya considerados (por ej. coste de mantenimiento). Para este indicador se propone conservar la frecuencia de mantenimiento que se propone va desde 18 a 48 meses, ejecutados por la DGC de Cataluña.

Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 4.6) es creciente, esto es, a medida que aumenta la frecuencia de mantenimiento, la satisfacción aumenta. La forma de la curva es considerada en forma de una “s” tal y como se muestra.



**Figura 4.6.** Frecuencia de mantenimiento (meses/km.)

Se propone un valor mínimo de 18 meses por kilómetro para soluciones que efectúen sus trabajos de mantenimiento por debajo de la media propuesta por la DGC, (comentada con anterioridad). En consecuencia, los valores cercanos a este orden, la satisfacción será mínima. Asimismo, se ha propuesto 48 meses por kilómetro para el valor máximo, pudiéndose traducir en soluciones con poca necesidad de mantenimiento.

Además, el punto de inflexión se ha planteado en 24 meses por kilómetro, ya que representa el tiempo medio de frecuencia de mantenimiento para soluciones típicas con microaglomerado. Este planteamiento pretende potenciar a soluciones con una mejor calidad de sus elementos y, consecuentemente un mayor plazo para ejecutar una actuación de mantenimiento.

### **4.5.3. Influencia de condiciones climatológicas**

#### Objetivo

Valorar a través de puntos, la desviación del plazo de ejecución de la puesta en servicio de la carretera con respecto a previsiones iniciales, por condiciones climáticas adversas. Si bien los contratistas suelen tener ya considerados las previsiones anuales de este tipo de problemática adversa, sigue existiendo incertidumbre para precisar exactamente el plazo de ejecución de los trabajos.

#### Forma de valorar

Este indicador a diferencia de los anteriores, no se plantea medir directamente de un intervalo. Para ello, se utiliza un sistema de puntuación, que varía (para este caso) entre 0 y 100, y su asignación se hace por medio de estrategias que miden cualitativamente el comportamiento de la estructura ante dicho indicador. Las estrategias consideradas en el Pliego de Prescripciones Técnicas y particulares del proyecto:

- Consideración de las condiciones climáticas adversas en la programación de la etapa de planificación.
- Equipo y maquinaria de apoyo necesario para dar rápida respuesta en caso de incidencias climáticas.
- Grado de independencia de la alternativa respecto a las condiciones climáticas.

En la tabla 4.3 se muestra los parámetros correspondientes a cada una de estas estrategias. Para cada una ellas se proponen diversos aspectos que pretenden hacer más precisa esta puntuación. Se entiende que las estrategias pueden superponerse de forma tal que si se cumplen las tres planteadas en el grado máximo se alcanzan los 100 puntos.

Parámetro	Cumplimiento	Puntos
Previsión de las condiciones climáticas en la etapa de planificación	No se incluyen medidas	0
	Se incluyen algunas medidas, sin estudios detallados de la repercusión de las mismas	10
	Máximo nivel de desarrollo de las medidas e inclusión de las mismas en el presupuesto	25
Equipo y maquinaria de apoyo	No se incluyen	0
	Se consideran y localizan para dar respuestas intermedias (no inmediatas)	10
	Se incluyen y se consideran las partidas presupuestarias correspondientes	25
Grado de independencia de la alternativa frente a las condiciones climáticas	Totalmente dependiente	0
	Grado intermedio de dependencia	25
	Totalmente independiente	50

**Tabla 4.3.** Puntuación riesgo de desviación del tiempo ejecución frente condiciones climáticas

Cabe señalar, que para cada parámetro propuesto se han definido 3 grados de cumplimiento. Para el parámetro “Previsión de condiciones climáticas en la etapa de planificación” se propone “máximo nivel de desarrollo en las medidas de inclusión en el presupuesto”. Para llegar a esta puntuación el contratista debe realizar un estudio detallado de las distintas medidas de previsión, como sería programación de días perdidos ante una adversidad climática (lluvia, nieve), identificación de equipo y maquinaria disponible a utilizar y la consideración de procesos de seguridad a la obra ante un posible problema por este tipo de condiciones. Asimismo, estas medidas deben de estar consideradas en el presupuesto final de la obra.

Para un segundo grado de cumplimiento, la puntuación se puede obtener al identificar el equipo y maquinaria auxiliar pero sin considerarlo financieramente en el presupuesto. Y para el tercer grado, se obtiene una puntuación de 0 si el constructor no ha considerado ninguna medida de previsión o no la deja plasmada en algún documento, ante la ocurrencia de lluvia, nieve, huracán, etc.

Para el parámetro de “Equipo y maquinaria de apoyo” se han considerado también tres grados de cumplimiento. En el primero se obtienen 25 puntos si en las partidas del presupuesto se han considerado equipo y maquinaria auxiliar o de apoyo y pueden ser utilizados inmediatamente de la ocurrencia climática. Asimismo se puede obtener 10

puntos si se han considerado, localizado y plasmado en un documento pero no se contemplan en el presupuesto de la obra. Y para tener la puntuación de 0 puntos el contratista no considera algún equipo o maquinaria para dar respuesta inmediata.

Para el parámetro de “Grado de independencia de la alternativa frente a las condiciones climatológicas” se tienen tres (3) grados de cumplimiento: Totalmente independiente (asignación de 50 puntos), en el cual se considera que el sistema constructivo nunca se ve afectado en sus diversas etapas por lluvia, nieve, viento, etc. Grado intermedio de dependencia (asignación de 10 puntos), en el cual se propone que en menos del 40% de sus procesos de construcción se ve afectado por dichas condiciones y, totalmente dependiente (con 0 puntos), en el cual más del 40% de sus procesos se ven afectados y en consecuencia en el retraso de los trabajos.

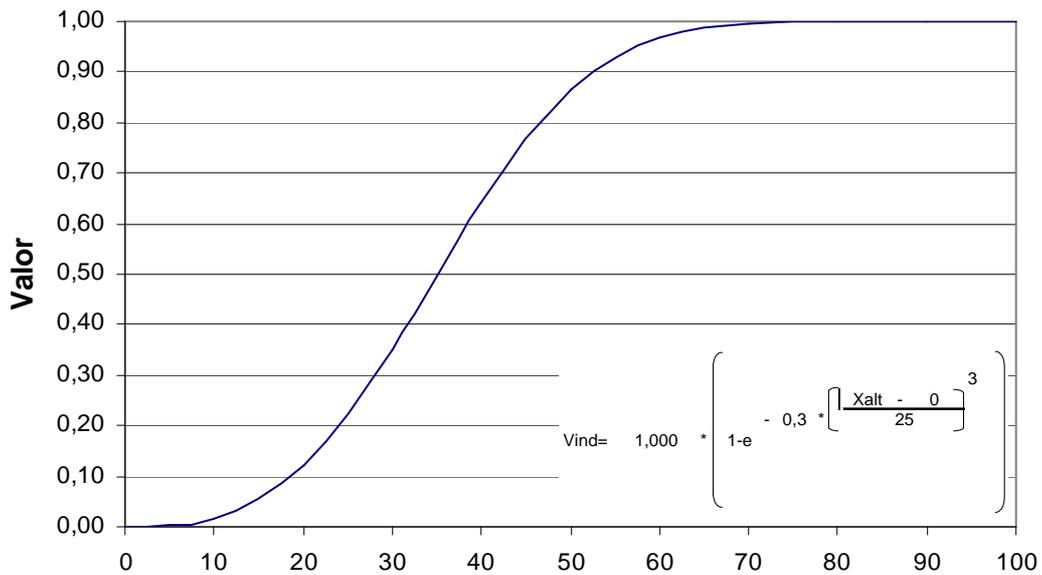
En estos tres (3) parámetros se puede apreciar que se ha asignado un peso (implícito) a las variables. En ese sentido, se ha considerado que el grado de independencia del sistema constructivo es 2 veces más importante que para una previsión en la etapa de planificación como para la identificación de equipo y maquinaria.

Las diferencias entre las puntuaciones (de 0 a 25, o de 0 a 50) entre los distintos grados de cumplimiento reflejan el nivel de importancia otorgado para cada una de estas situaciones. Si bien, estos valores pudieran cambiar, se ha creído conveniente adoptarlos para este caso en concreto.

#### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 4.7) es creciente, esto es, a medida que aumentan los puntos por la influencia de condiciones climatológicas, la satisfacción aumenta, entendiéndose que a mayor puntuación, mejor previsión tendrá la solución frente a esa situación adversa. La forma de la curva es considerada en forma de una “s” tal y como se muestra.

Se propone un valor mínimo de 0 puntos para la solución que no cumpla con ningún parámetro de previsión frente a una condición climatológica adversa (o sea mínima) y, consecuentemente los valores cercanos a este orden, la satisfacción será mínima. Asimismo, se ha propuesto 100 puntos para la solución que cumpla con las tres estrategias de medición y en consecuencia una satisfacción máxima.



**Figura 4.7.** Función de valor por la Influencia de condiciones climatológicas

Además, el punto de inflexión se ha planteado en 25 puntos, ya que representa un grado de cumplimiento mediano en cualquiera de las soluciones. Este planteamiento pretende reflejar por un lado, el nivel de prevención del constructor (equipo disponible, maquinaria de apoyo, etc.) y por otro, el grado de independencia del sistema constructivo en este tipo de situaciones.

#### 4.5.4. Incidencia de condiciones orográficas en el plazo de ejecución

##### Objetivo

Valorar mediante una puntuación, la probabilidad de desviación del plazo de ejecución de la puesta en servicio de la carretera con respecto a previsiones iniciales, como consecuencia de una orografía adversa.

##### Forma de valorar

Para medirlo se ha planteado tres (3) aspectos de medición, como son:

- Grado de independencia del sistema constructivo respecto a la condición orográfica.
- Equipo y maquinaria especializada necesaria para realizar alguna actuación debido al tipo de terreno.
- Grado de facilidad para el suministro de materiales.

En la tabla 4.4 se muestran los parámetros correspondientes a cada una de estas estrategias. Dichos parámetros tienen los criterios antes mencionados, dejándose para el especialista la valoración de las situaciones medias de cada una de estas estrategias. Se entiende que las estrategias pueden superponerse de forma tal que si se cumplen las tres planteadas en el grado máximo se alcanzan los 100 puntos.

Al igual que el indicador anterior, para cada estrategia de medición se han propuesto tres niveles de valoración (o cumplimiento). Por ejemplo para el parámetro “Grado de independencia del sistema constructivo” se tienen tres grados de cumplimiento. Para obtener 50 puntos, el sistema constructivo no se verá afectado en alguna de sus etapas (por ej. en suministro de elementos, materiales). No obstante, para obtener 25 puntos el sistema constructivo se ve afectado en más del 50% de sus procesos y en consecuencia un retraso de la obra. Asimismo, para obtener 0 puntos el sistema se ve afectado por más del 50% de sus procesos e inclusive se hace necesario el cambio de sistema por otro.

Para el segundo parámetro, de “utilización de equipo y maquinaria especializada<sup>12</sup>” se tienen 3 grados de cumplimiento. El primero asigna 25 puntos si el sistema constructivo en ninguna de sus etapas requiere de este tipo de equipo de apoyo. Se asignan 10 puntos si el equipo y maquinaria de apoyo es requerido en un plazo menor del 20% del tiempo total de la obra. Y finalmente, se asignan 0 puntos si durante todo el proceso es necesario la utilización de equipo no convencional para poder construir la carretera.

Para el tercer parámetro “grado de dificultad de suministro de materiales” se tienen 3 grados de cumplimiento tal y como se muestra en la tabla 4.4. En dicho parámetro se puede obtener 25 puntos si no existe ninguna dificultad por suministrar los materiales. En ese sentido, se ha considerado que el retraso de transporte, tanto de los elementos como del material no debe ser mayor al 5% respecto al total de camiones. Es decir, si son 100 camiones que transportan material a la obra, sólo 5 deben de tener retraso por condiciones ajenas a la orografía (pinchazo de ruedas, descomposturas de vehículos, etc.). Con ello, se asignan 10 puntos si el retraso sobrepasa el 5% y en consecuencia se ve afectado el tema temporal y económico de la obra.

Finalmente el tercer grado de cumplimiento refleja una dificultad por suministrar los elementos a la obra con retrasos sucesivos y en consecuencia una demora

---

<sup>12</sup> Entendiendo como equipo y maquinaria especializada como: camión mayor a 12 m<sup>3</sup>; grúas hidráulicas con capacidad mayor a 12 toneladas, encofrados de contención de tierras, trailers de transporte no convencional (longitudes de elementos mayores a 10 m.)

importante en cada uno de sus procesos. La diferencia de puntuaciones de la tabla 4.4 (de 0 a 50) refleja el grado de importancia que el decisor otorga, en la afectación al sistema constructivo planteado respecto a la necesidad de equipo y al grado de dificultad para suministrar los materiales.

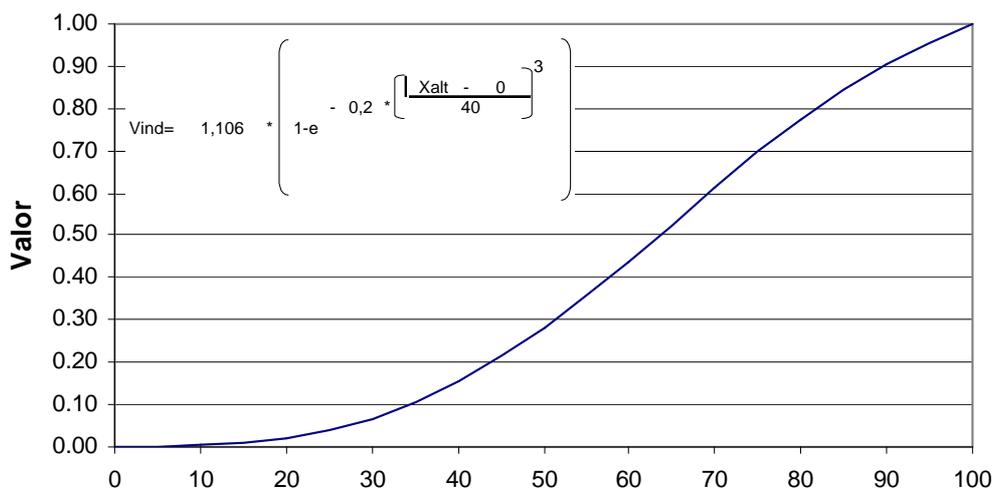
Parámetro	Cumplimiento	Puntos
Grado de independencia del sistema constructivo	Sin afectación al sistema	50
	Afectación parcial en los subprocesos constructivos	25
	Máxima afectación al sistema constructivo, incluso posibilidad de cambio del mismo.	0
Necesidad de equipo y maquinaria especializada	No se necesitan	25
	Necesidad temporal de equipo en orografías específicas	10
	Necesidad total de equipo y maquinaria especializada	0
Grado de dificultad por el suministros de materiales	Ninguna dificultad	25
	El grado de dificultad afecta considerablemente al proyecto, tanto económico como temporal	10
	Máximo nivel de dificultad para suministrar los materiales	0

**Tabla 4.4.** Puntuación por diversas condiciones orográficas.

#### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 4.8) es creciente, se propone un valor mínimo de 0 puntos para la solución que no cumpla con ningún parámetro de previsión y, consecuentemente los valores cercanos a este orden, la satisfacción será mínima. Asimismo, se ha propuesto 100 puntos para la solución que cumpla con las tres estrategias de medición y, en consecuencia, la satisfacción será máxima.

Además, el punto de inflexión se ha planteado en 40 puntos, ya que representa un nivel de afectación intermedio para cualquier solución. Este planteamiento pretende reflejar por un lado, el nivel de independencia (o dependencia) del sistema constructivo y por otro, valorar la necesidad de utilizar equipo y maquinaria especial ante una orografía adversa.



**Figura 4.8.** Función de valor para la Influencia de condiciones orográficas

#### 4.5.5. Incidencia por la conflictividad laboral en el plazo de ejecución

##### Objetivo

Valora mediante una tabla de puntuación, la probabilidad de desviación del plazo de ejecución de la puesta en servicio de la carretera con respecto a previsiones iniciales, por posibles problemas laborales, especialmente entre los niveles de subcontratación, ya que existen diferentes subniveles de contratistas en los sistemas, y su conflictividad puede variar (Thompson et al, 2002).

##### Forma de valorar

Este indicador se puntúa entre 0 y 80 puntos. Estos se obtienen a medida que el proyecto incluya diversas estrategias que reduzcan los riesgos, o que en el caso de que se presenten, se tenga capacidad para dar respuesta rápida a estos riesgos. Entre las medidas consideradas se encuentran las siguientes:

- Delegación adecuada de responsabilidades y obligaciones.
- Conocimiento de sanciones a los subcontratistas.
- Suministro de materiales en obra.
- Capacidad técnica de los subcontratistas para ejecutar la obra

En la tabla 4.5 se expresan los puntos correspondientes a cada una de estas estrategias. Para cada una de estas estrategias se han propuesto diversos aspectos y

soluciones que pretenden hacer algo más precisa esta puntuación. Si se cumplen las cuatro planteadas en el grado máximo se alcanzan los 80 puntos.

Para ello, en el primer parámetro se ha planteado 3 grados de cumplimiento. En el primero se asignan 30 puntos si el suministro de materiales no se ve afectado en la obra. Entendiendo que dicho retraso puede ocurrir por mala disposición de los operarios o por problemas internos en la obra, siendo este retraso no mayor al 5% del total de vehículos de transporte del material. En el segundo grado se asignan 15 puntos si se tiene una problemática eventual y ese 5% se ve superado y, en consecuencia el sistema constructivo se ve afectado en su desarrollo. Para el tercer grado se asignan 0 puntos si existe una problemática grave en el suministro de materiales e inclusive el sistema constructivo tuviera que parar por falta de los mismos.

Para el segundo parámetro se proponen dos grados de cumplimiento: Máxima capacidad del contratista para desarrollar los trabajos con 50 puntos. Si bien se pudiera matizar en el grado de confianza que el contratante pudiera tener con el contratista, para esta ocasión en concreto se ha creído conveniente valorar sólo la capacidad técnica del mismo. Asimismo, se han asignado 30 puntos si el contratista tiene los conocimientos básicos del sistema a desarrollar y con una posible afectación en la calidad de la obra y en el plazo de entrega de la misma. Para este grado de cumplimiento no se ha valorado si el contratista no tiene el conocimiento del sistema ya que, lógicamente si no se tiene el conocimiento no se otorgará la obra.

La diferencia de puntuaciones (de 0 a 25; de 0 a 10) de los distintos niveles de cumplimiento refleja el grado de conocimiento del sistema constructivo y de la posible problemática que pudiera surgir durante el desarrollo de la obra. Es necesario hacer mención que estas estrategias pueden variar de acuerdo a la organización de la obra y niveles de subcontratas, afectando su puntuación y las mismas estrategias.

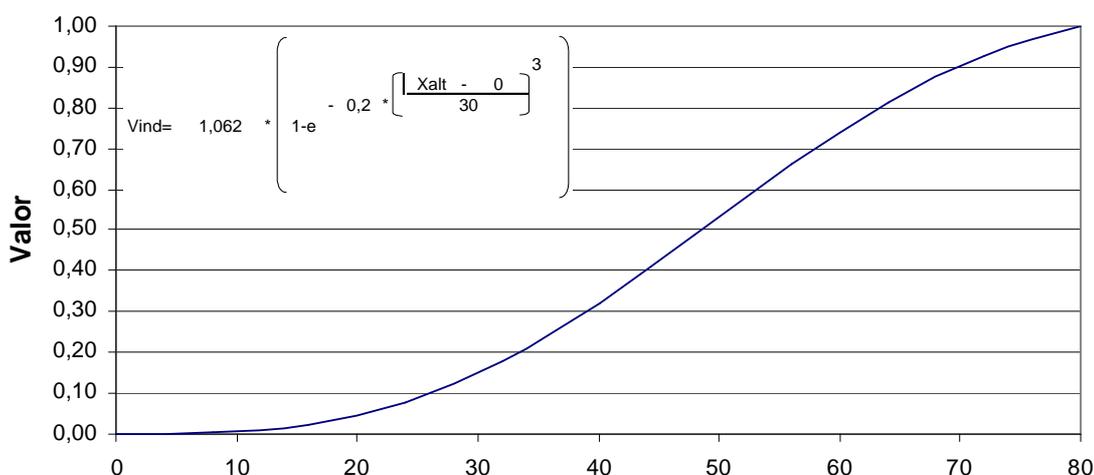
Parámetro	Cumplimiento	Puntos
Suministro de materiales	Suministro puntual de materiales	30
	Problemática temporal del suministro	15
	Problemática constante del suministro	0
Capacidad Técnica de los contratistas	Máxima capacidad para el desarrollo del sistema constructivo	50
	Conocimientos básicos del sistema constructivo	30

**Tabla 4.5.** Puntuación por condiciones laborales conflictivas

### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 4.9) es creciente. Se propone un valor mínimo de 0 puntos para la solución que no cumpla con ningún parámetro de previsión frente a una condición laboral conflictiva y, consecuentemente los valores cercanos a este orden, la satisfacción será mínima. Asimismo, se ha propuesto 80 puntos para la solución que cumpla con las cuatro estrategias de medición y en consecuencia una satisfacción máxima.

Además, el punto de inflexión se ha planteado en 30 puntos, ya que representa un nivel de afectación intermedio para cualquier solución por ejemplo: fijación parcial de obligaciones, conocimiento parcial de las situaciones, y conocimientos básicos del sistema constructivo, con lo cual, valoraciones por encima de este grado intermedio aportan una mejora del constructor en prevención y, en consecuencia aporta valor añadido a la solución.



**Figura 4.9.** Función de valor de la influencia por condiciones de conflictividad laboral

Otros indicadores, no han sido considerados por no ser discriminantes, tal como la *incidencia por reposición de equipos (días / Km)* dado que, generalmente, los problemas de equipo no inciden en el plazo, por suponer que existe un mercado suficientemente suministrado.

#### **4.5.6. Coste inicial de construcción (Millones € /Km)**

##### Objetivo

Valorar el coste en millones de euro por kilómetro. En este indicador se Incluye los costes de construcción de la vía y de los caminos complementarios necesarios para la ejecución de la misma. Para este caso de estudio no se han considerado los costes asociados a planificación, costes de licitación, administración, etc.

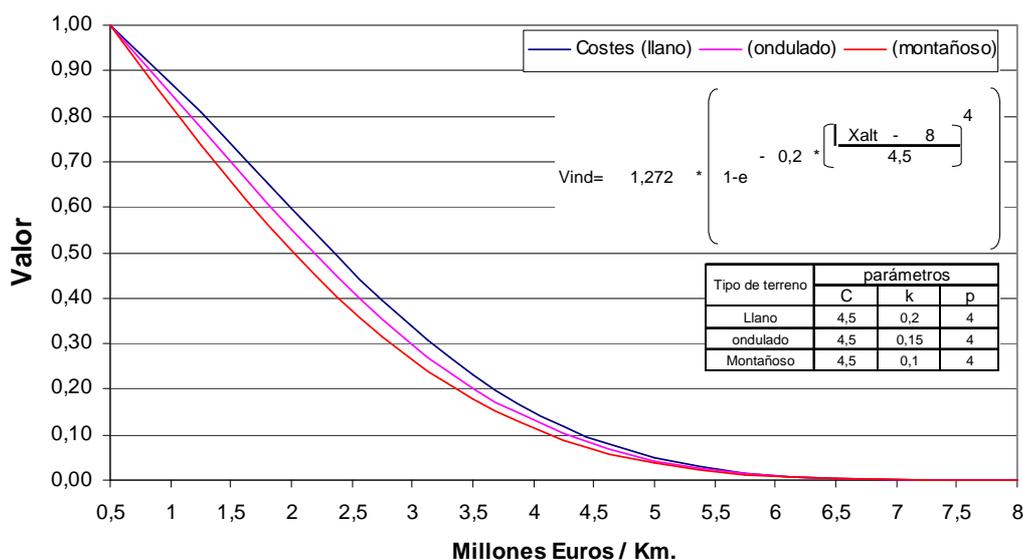
##### Forma de valorar

Este indicador se obtiene dividiendo el coste de los trabajos necesarios para poner en marcha la carretera entre el tramo de longitud de la vía analizada. Para este indicador se ha tomado en cuenta el histórico de proyectos ejecutados por la DGC para vías de 2+2, proponiendo así un intervalo de 0,50 a 8,0 (millones €/Km). Estos datos aportados por la DGT, corresponden a los tres tipos de terrenos: llano, ondulado y montañoso, considerados para vías de 2+2.

##### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 4.10) es decreciente cóncava. En ello, se propone un valor mínimo de 0,50 Millones de euros por kilómetro para las soluciones que ejecuten los trabajos de construcción con menor coste y, consecuentemente los valores cercanos a ese orden, la satisfacción será mínima. Asimismo, se ha propuesto 8 Millones de euros por kilómetro para el valor máximo.

Asimismo, el punto de inflexión se ha planteado en 0.70 Millones de euros por kilómetro, por el hecho de representar el coste medio de los distintos proyectos revisados de la Dirección General de carreteras. Con ello, se han supuesto tres curvas para con distintas orografías: llano, ondulado y montañoso. Este planteamiento pretende reflejar el comportamiento de las alternativas en cada tipo de terreno. Para este caso en particular, sólo se ha considerado la curva para llano y los parámetros para cada tipo de terreno están representados en la figura 4.10.



**Figura 4.10.** Coste inicial de construcción (Millón de €/ km.)

#### 4.5.7. Coste de mantenimiento (Millones de €/ Kilómetro)

##### Objetivo

Mide el coste de las actividades necesarias para llevar a cabo el mantenimiento de la carretera. Incluye todos los costes de mantenimiento de los elementos de la calzada, protección (vallas, bordillos), señalización y estructura de la calzada.

##### Forma de valorar

Este indicador resulta de dividir el coste total del mantenimiento, en millones de euros entre la longitud de un kilómetro de vía. Los valores de este indicador se sitúan en el intervalo de 0.05 a 0.75. Este intervalo se ha obtenido de históricos de proyectos ejecutados por la DGT de la Generalitat de Catalunya para carreteras 2+2.

##### Forma de la función de valor

Se considera que la función de valor es decreciente (ver figura 4.11). Con ello, se propone un valor mínimo de 0,05 millones de euros por kilómetro para la solución que tenga coste de mantenimiento bajo y, consecuentemente los valores cercanos a este orden, la satisfacción será máxima. Asimismo, se ha propuesto 0.75 millones de euros por kilómetro para la solución que presente un coste alto y, en consecuencia una satisfacción mínima.

Además, el punto de inflexión se ha planteado en 0.35 millones de euros por kilómetro, ya que representa el valor medio de las actuaciones de mantenimiento revisadas de la DGC. Si bien estos pueden ser variables en función del tipo de mantenimiento, elementos conservados, tipo de constructor que hace la actuación, etc. Se ha creído conveniente mantener estos datos como válidos para el estudio.

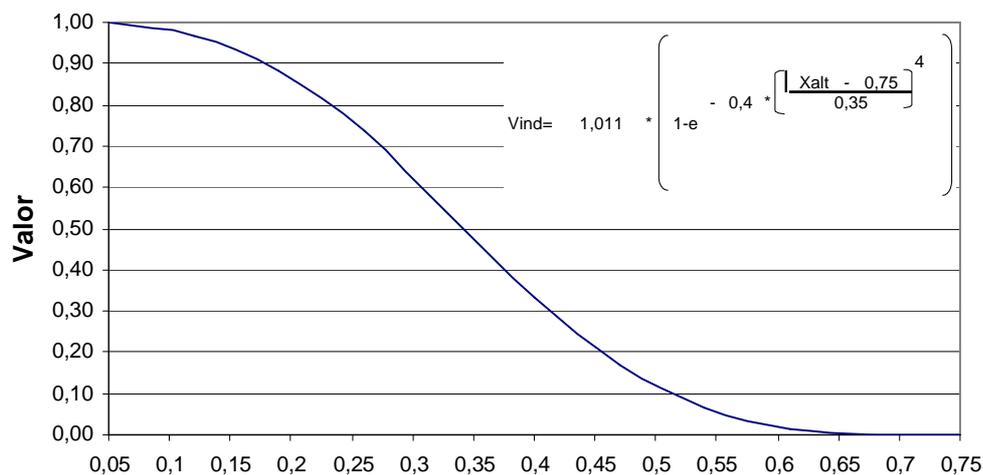


Figura 4.11. Coste de mantenimiento (€/ km.)

#### 4.5.8. Coste por implementación del Sistema integrado de servicios

##### Objetivo

Evaluar el coste por kilómetro de las actividades necesarias para implementar el sistema integrado de servicios (explicado en el apartado 4.4.1). Este indicador aporta un beneficio agregado al proyecto al pretender añadir nuevas funcionalidades a una solución constructiva. Para este caso, el sistema integrado de servicios puede incluir una galería donde se puedan alojar instalaciones (fibra óptica, electricidad, etc.) en la misma estructura.

##### Forma de valorar

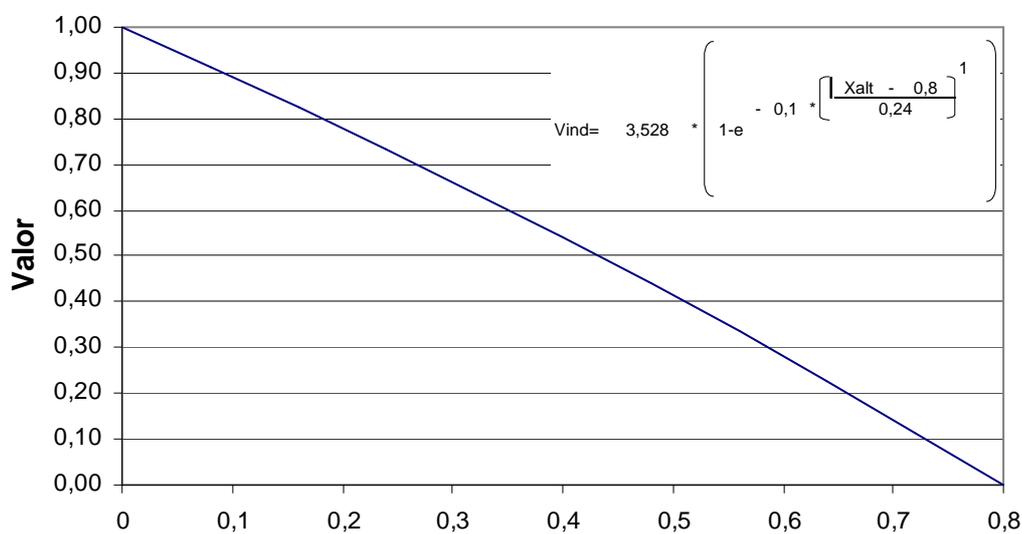
Este indicador resulta de dividir el coste de dicha implementación entre la longitud de un kilómetro. Para la alternativa prefabricada (A) se considera los costes necesarios en la planta de fabricación para desarrollar en molde que incorpore esta funcionalidad. En cambio para la alternativa tradicional (B) se deben considerar todas las actividades necesarias (instalaciones, equipo, transporte, etc.) para poder incorporar y adaptar esta nueva funcionalidad al actual sistema constructivo.

### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 4.12) es decreciente, se considera que la función de valor es decreciente, esto es a medida que aumenta el coste de mantenimiento, desciende la satisfacción. En lo que respecta a la forma de la curva, se expresa que el coste medio aportado por la DGT es de 0.35 millones de euros / km. Con ello se manifiesta que la pérdida de satisfacción importante del decisor iniciará en este período de coste, ya que valores por debajo de este, no aportan un valor añadido. Se estima que la forma más adecuada es una curva en forma de “s” como la señalada en la figura 4.11.

Se propone un valor mínimo de 0.05 millones de euros por kilómetro para la solución que tenga coste de implementación bajo y, consecuentemente los valores cercanos a este orden, la satisfacción será máxima. Asimismo, se ha propuesto 0.75 millones de euros por kilómetro para la solución que presente un coste alto y, en consecuencia una satisfacción mínima.

Además, el punto de inflexión se propone en 0.24 millones de euros por kilómetro, con el objetivo de que el coste final del pavimento de la carretera no se vea tan afectado por incorporar esta nueva funcionalidad.



**Figura 4.12.** Coste de implementación del Sistema Integrado de Servicios (Millones € / Km)

### 4.5.9. Desviación del coste por factores externos

#### Objetivo

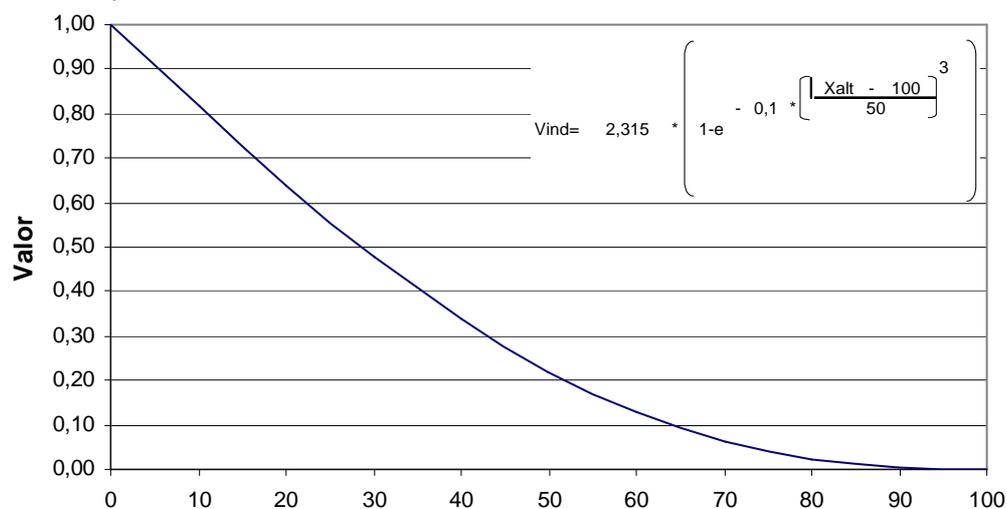
Evaluar la probabilidad desviación del coste considerado al inicio del proyecto, por como consecuencia de desviaciones en el coste del petróleo ú otras materias primas, cambios de presupuestos inicialmente planteados, etc.

#### Forma de valorar

Este indicador se mide dividiendo el porcentaje de desviación del coste real de la obra respecto al inicialmente propuesto entre la longitud de la obra de un kilómetro. Los valores de este indicador se sitúan en el intervalo de 0 a 100 por ciento.

#### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 4.13) es decreciente. Se propone un valor mínimo de 0 % por kilómetro para soluciones que no tienen un desfase del presupuesto inicial al coste real de la obra y, consecuentemente los valores cercanos a este orden, la satisfacción será máxima. Asimismo, se ha propuesto 100 % por kilómetro para la solución que presente una desviación grande y, en consecuencia una satisfacción mínima. Si bien, habrá soluciones que pueden sobrepasar el 100% del coste previsto, se ha creído conveniente para este caso adoptar los valores usuales de 0 a 100. Para este caso en concreto no se ha considerado desviaciones negativas por el hecho de considerar que existe una mayor probabilidad de un sobre coste en la obra que de una reducción del precio final de la obra.



**Figura 4.13.** Desviación del coste inicial por factores externos (%/Km.)

#### 4.5.10. Material reciclado a utilizar en la estructura

##### Objetivo

Cuantifica, en porcentaje por kilómetro el material reciclado a utilizar en la construcción de la carretera, como fuente de recursos con el fin de atender a la problemática medioambiental en función del protocolo de Kyoto (1992). Si bien, se pudiera considerar el material reciclado y reutilizado producto de los materiales utilizados en la calzada (después de su utilización) se ha creído conveniente no considerarlo para este caso de estudio, por el hecho de que la capa de rodadura es la misma en ambas alternativas y su inclusión no sería un factor diferencial.

##### Forma de valorar

Los procesos aquí considerados son los correspondientes a la introducción de materiales reciclados en el sistema constructivo, en las diversas etapas como son la construcción y el mantenimiento.

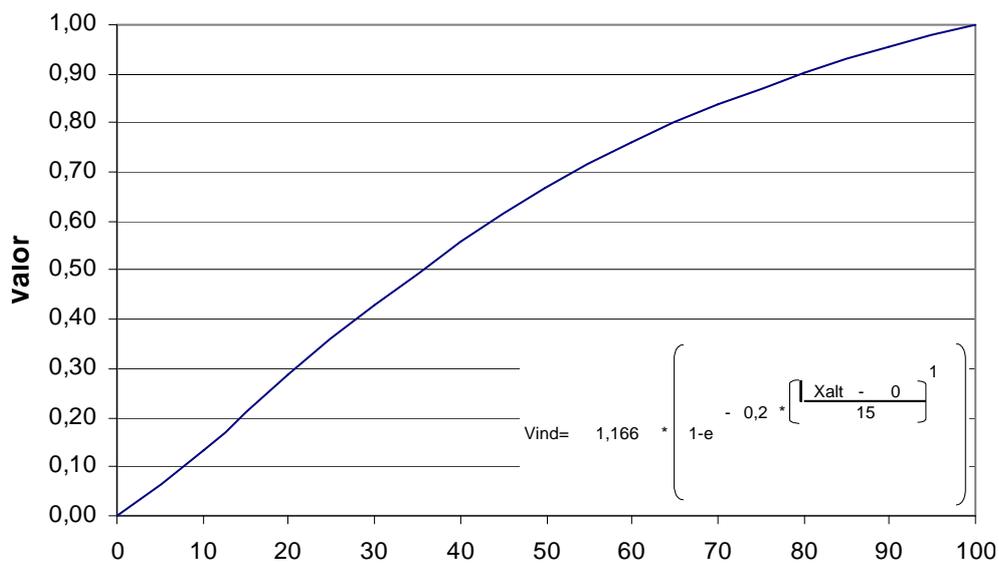
Este indicador se mide de acuerdo a la ecuación (4.1), como la suma de: la relación entre el volumen de áridos reciclados a utilizar en elementos estructurales (ARE) y el volumen total de áridos a utilizar en elementos estructurales (ATE) más el volumen de áridos reciclados a utilizar en elementos no estructurales (ARNE) entre el volumen total de áridos utilizado en elementos no estructurales (ANTE), todo por cien.

$$\% \text{ AR} = \left[ \frac{\text{ARE}}{\text{ATE}} + \frac{\text{ARNE}}{\text{ANTE}} \right] \times 100 \quad [4.1]$$

Para el caso del hormigón estructural, la relación entre ARE y ATE no puede ser mayor a 0.20. Mientras que para el no estructural, la relación entre ARNE y ANTE no puede ser mayor a 0.80.

##### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 4.14) es creciente, se propone un valor mínimo de 0 % por kilómetro para soluciones que incorporan nada de material reciclado a la estructura y, consecuentemente los valores cercanos a este orden, la satisfacción será mínima. Asimismo, se ha propuesto 80 % por kilómetro para la solución que aporte una cantidad máxima de material (20% en elementos estructurales + 60 % en elementos no estructurales) y, en consecuencia una satisfacción máxima.



**Figura 4.14.** Material reciclado a utilizar en la estructura (% / Km)

#### 4.5.11. Cantidad de energía consumida

##### Objetivo

El objetivo es medir la cantidad de energía necesaria para realizar todas las actividades para llevar a cabo la puesta en servicio de la carretera, incluyendo las fases de construcción y mantenimiento de la vía.

##### Forma de valorar

Este indicador resulta de medir la cantidad total de energía en Gjoules empleada para construir un kilómetro de carretera entre. Este indicador incluye las actividades de construcción y mantenimiento de la vía. La etapa de producción de los materiales si bien es posible introducirla, para este caso en específico se ha creído oportuno no contemplarla en esta iteración, ya que se consideran suministros que se habrán evaluado en otras etapas.

##### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 4.15) es decreciente cóncava. Se propone un valor mínimo de 5000 Gjoules por kilómetro para las soluciones que utilicen o consuman en menor medida energía y, consecuentemente los valores cercanos a ese orden, la satisfacción será máxima. Asimismo, se ha propuesto 25000 Gjoules por kilómetro para el valor máximo. Estos valores se han propuesto en base al estudio de

impacto ambiental para carreteras de pavimento de hormigón y pavimento flexible (Häkkinen & Mäkela, 1996)

Con ello, el punto de inflexión se propone en 11,000 Gjoulles por kilómetro, con el objetivo de plantear soluciones con menor consumo de energía. Planteamiento que pretende mantener a la solución en un entorno sostenible y cuidado al medioambiente.

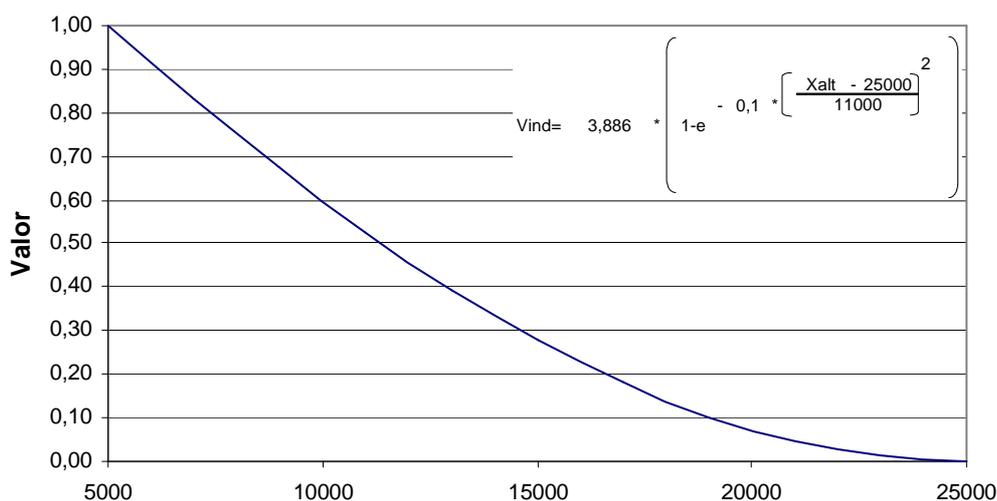


Figura 4.15. Consumo de energía (Gjoules / Km)

#### 4.5.12. Materias primas utilizadas

##### Objetivo

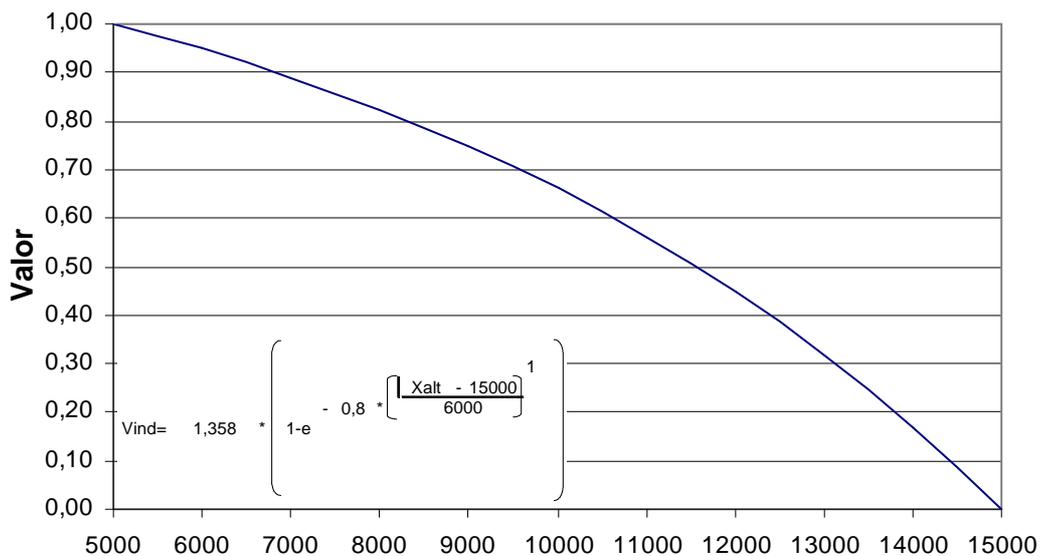
Tiene como objetivo esencial medir la cantidad de materias primas (en toneladas) que se emplean para la ejecución de un kilómetro. Incluye la construcción de cada uno de los elementos para poner en servicio la carretera (estructura, elementos de seguridad, señalización, etc.)

##### Forma de valorar

Este indicador resulta de dividir la cantidad de materia prima utilizada para la construcción de 1 kilómetro de carretera (ton/km.). Para este indicador se han considerado para la alternativa "A" la cantidad de materias primas utilizadas para fabricar los elementos prefabricados como son: vigas y losas. En cambio para la alternativa "B" se han considerado el consumo de materias primas para construir cada una de las capas necesarias para construir la carretera flexible.

Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 4.16) es decreciente. Se propone un valor mínimo de 5000 toneladas de materia prima por kilómetro para las soluciones que utilicen o consuman en menor medida materias primas y, consecuentemente los valores cercanos a ese orden, la satisfacción será máxima. Asimismo, se ha propuesto 15000 toneladas de materia prima por kilómetro para el valor máximo.



**Figura 4.16.** Materias primas utilizadas (Tn/km)

Con ello, el punto de inflexión se propone en 6000 toneladas de materia prima por kilómetro, con el objetivo de plantear soluciones con menor consumo, entendiendo que con este planteamiento se pretende cuidar el medioambiente.

**4.5.13. Agua utilizada**

Objetivo

Su objetivo es medir la cantidad de agua necesaria para realizar las actividades para la puesta en servicio de la carretera. Incluye el gasto de agua de las actividades para la construcción.

Forma de valorar

Este indicador se mide dividiendo la suma del agua gastada en un kilómetro de carretera. El valor para este indicador en la alternativa A, se ha obtenido de la

dosificación del Hormigón HA-30, en el cual se ha considerado la cantidad de agua necesaria para el volumen de obra de construcción de un kilómetro. Para este tipo de hormigón se considera una cantidad de 160 litros / m<sup>3</sup>.

#### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 4.17) es decreciente. Se propone un valor mínimo de 300,000 litros por kilómetro para soluciones que consumen pocos litros de agua, según el sistema constructivo y, consecuentemente los valores cercanos a este orden, la satisfacción será máxima. Asimismo, se ha propuesto 600,000 litros por kilómetro para la solución que presente un consumo mayor y, en consecuencia una satisfacción mínima. Si bien, habrá soluciones que pueden sobrepasar estos valores, se ha creído conveniente para este caso, adoptar dichos valores.

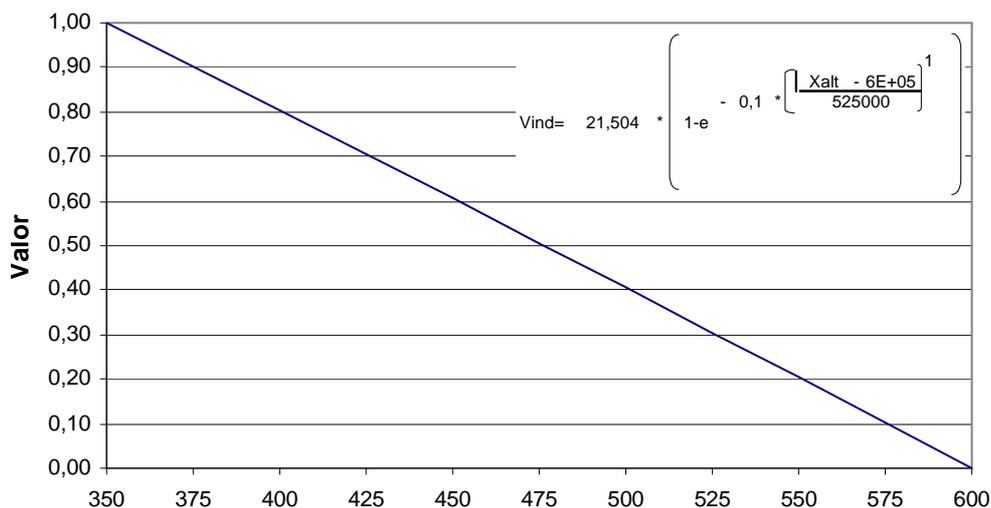


Figura 4.17. Agua utilizada (en miles litros / km)

#### 4.5.14. Emisiones de CO<sub>2</sub>

##### Objetivo

Mide la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida en las diversas actividades para la realización de la carretera, incluyendo la construcción.

Forma de valorar

Este indicador se mide mediante la división de las emisiones de CO<sub>2</sub> durante las distintas actividades de construcción y mantenimiento entre un kilómetro de longitud de la carretera.

Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 4.18) es decreciente. Se propone un valor mínimo de 300 toneladas por kilómetro para soluciones que no pudieran emitir poco CO<sub>2</sub> y, consecuentemente los valores cercanos a este orden, la satisfacción será máxima. Asimismo, se ha propuesto 800 toneladas por kilómetro para soluciones que emitan una gran cantidad de CO<sub>2</sub> al medioambiente y, en consecuencia una satisfacción mínima o cercana a 0.

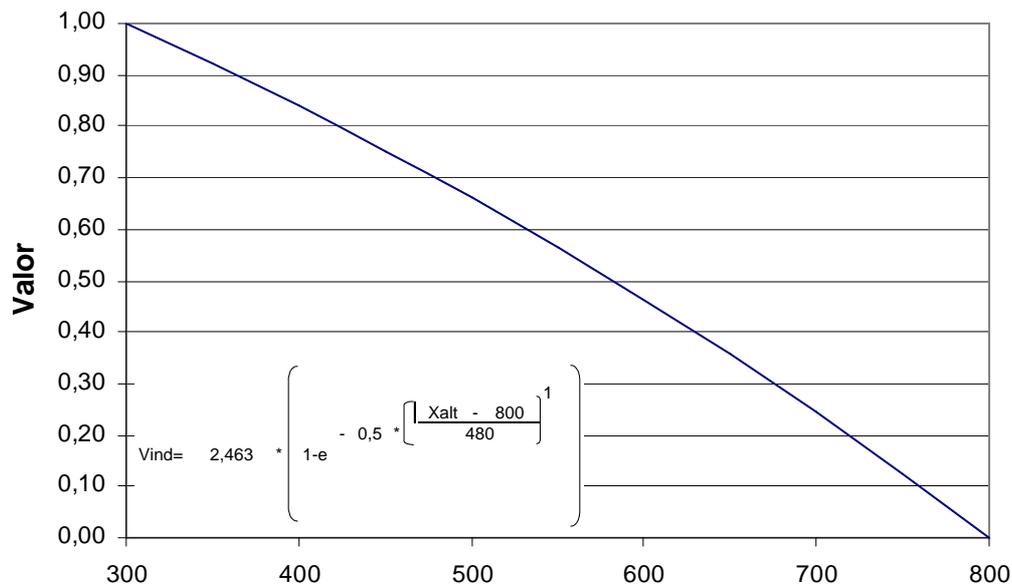


Figura 4.18. Emisión de CO<sub>2</sub>

**4.5.15. Flexibilidad de adaptar la estructura en galería de servicios**

Objetivo

Valorar mediante una lista de puntuación, la adaptabilidad de la estructura para contener espacios y conducir servicios como telefonía, fibra óptica, etc. Los procesos aquí considerados son los correspondientes un nuevo sistema integrado de servicios (adaptación de la estructura del pavimento para conducir servicios: telefonía, electricidad,

etc.), además de explorar campos de innovación como que el hormigón tenga la capacidad de generar electricidad; y por último que la estructura tenga la facilidad de soportar elementos prefabricados y considerarlo como un sistema integral: barreras de seguridad, señalización, bordillos, etc.

### Forma de valorar

El proyecto de cada alternativa se puntúa entre 0 y 100 puntos. Estos se obtienen a medida que el proyecto necesite diversas estrategias para adaptar la estructura en galería de servicios, o que se tenga la capacidad para dar respuesta rápida a esta nueva funcionalidad. Entre las condiciones consideradas se encuentran las siguientes:

- Complejidad del equipo e instalaciones necesarias para generar las estructuras con la nueva funcionalidad.
- Complejidad del equipo y maquinaria de apoyo necesario para dar rápida respuesta al sistema constructivo.
- Necesidad de mano de obra cualificada para la ejecución de los trabajos.

En la tabla 4.6 se muestra los puntos correspondientes a cada una de estas estrategias. Para cada una de estas estrategias se proponen diversos aspectos que pretenden hacer algo más precisa esta puntuación, dejándose para el especialista la valoración de las situaciones intermedias de cada una de estas estrategias.

Se ha preferido plantear tres situaciones para cada estrategia (mínimo, máximo y media). Observándose que en este caso se mide a través de atributos y se pasa a continuación a variables a través de los puntos asociados.

Se entiende que las estrategias pueden superponerse de forma tal que si se cumplen las tres planteadas en el grado máximo se alcanzan los 100 puntos. Siendo que aquí no se trata de discutir si son las mejores estrategias, o no; éstas podrán ser intercambiadas en base a la necesidad propia del proyecto constructivo.

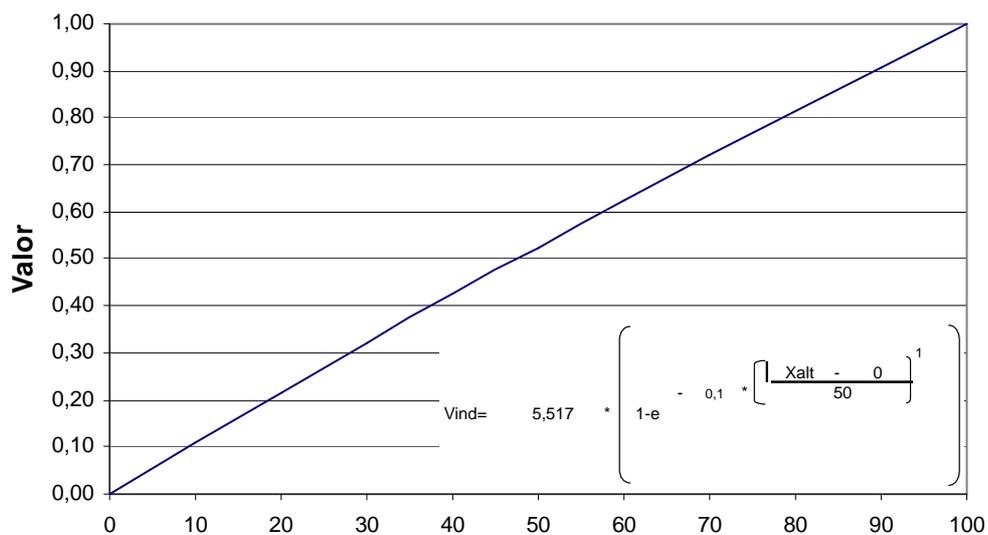
Las diferencias entre las puntuaciones mostradas en la tabla 4.6 (de 0 a 25 y de 0 a 50) reflejan el grado de complejidad e importancia para poder incorporar esta nueva funcionalidad. Estos valores han sido propuestos en base a la experiencia de los especialistas, si bien los valores pudieran cambiar, para este caso se ha creído conveniente adoptarlos.

Parámetro	Cumplimiento	Puntos
Complejidad del equipo e instalaciones	Las instalaciones totalmente reformadas	0
	Se incluyen algunos ajustes en las instalaciones	10
	Se utilizan instalaciones convencionales	25
Complejidad del equipo y maquinaria de apoyo	Cambio de equipo convencional	0
	Se consideran parte del equipo convencional	10
	Se utiliza el mismo equipo	25
Cualificación de la mano de obra	Sin formación alguna	0
	Grado intermedio de formación	25
	Formación y capacitación	50

**Tabla 4.6.** Puntuación de las estrategias para adaptar en galería de servicios a la estructura

Forma de la función de valor

La función de valor considerada es creciente, tal y como se muestra en la figura 4.19. Se propone un valor mínimo de 0 puntos para soluciones que no se encuentran adaptadas al nuevo sistema (por ej. cambio en el equipo, no se tiene el conocimiento básico y existe la necesidad de reformar totalmente las instalaciones) y, consecuentemente los valores cercanos a este orden, la satisfacción será mínima.



**Figura 4.19.** Puntos por la facilidad de la estructura para adaptarla en galería de servicios

Asimismo, se ha propuesto 100 puntos para la solución que tenga o cumpla con todas las condiciones para desarrollar esta funcionalidad (por ej. se utiliza el mismo equipo, se desarrolla en las mismas instalaciones, sin reformas, etc.) y, en consecuencia se tendrá una satisfacción máxima.

#### **4.5.16. Adaptabilidad de la estructura para colocar elementos prefabricados**

##### Objetivo

Cuantifica en porcentaje la adaptabilidad de la estructura para soportar elementos prefabricados y conformar un sistema en conjunto, con el resto de componentes de una vía de tráfico (señalización, protección, etc.).

##### Forma de valorar

El indicador se puntúa entre 0 y 100 puntos. Estos se obtienen a medida que el proyecto aplique diversas estrategias para que la estructura pueda soportar elementos prefabricados en su estructura de forma cómoda y sobre todo práctica. Entre las condiciones consideradas se encuentran las siguientes:

- Complejidad en la etapa de producción para generar los elementos con estas características.
- Equipo y maquinaria no convencional.
- Necesidad de mano de obra cualificada.
- Complejidad técnica para adaptar los elementos estructurales prefabricados (por Ej. bordillos, muros de protección, señalizaciones, etc.) con la carretera.

En la tabla 4.7 se muestran los puntos correspondientes a cada una de estas estrategias. Para cada una de estas estrategias se proponen diversos aspectos que pretenden hacer algo más precisa esta puntuación, dejándose para los especialistas la valoración de las situaciones intermedias de cada una de estas estrategias.

Se entiende que las estrategias pueden superponerse de forma tal que si se cumplen las tres planteadas en el grado máximo se alcanzan los 100 puntos. Para este indicador se proponen 4 parámetros de medición: “complejidad en la etapa de producción” en el cual se valora si existe (o no) la necesidad de reformar las instalaciones del contratista para construir la carretera.

Para ello se proponen 3 grados de cumplimiento. Se asignan 0 puntos si existe la necesidad de reformar las instalaciones para poder construir los elementos de la carretera, incluso cambiar la planta a otro sitio. Se asignan 10 puntos si es necesario realizar reformas mínimas a las instalaciones, y con 20 puntos si no se hace ningún cambio y se utiliza el mismo equipo ubicado en esa planta.

En el parámetro “equipo y maquinaria convencional” se valora el grado de necesidad de uso de equipo o maquinaria especial o no convencional<sup>13</sup>; asignando 0 puntos si se tiene que utilizar equipo no convencional, con 10 puntos si se utiliza eventualmente (menos del 20% del tiempo total) y con 20 puntos si nunca se utiliza equipo y maquinaria especial.

En el parámetro de “mano de obra cualificada” se valora la necesidad de formación del trabajador para efectuar los trabajos, entendiendo que a mayor formación, mejor cualificación y mejor calidad del trabajo. Se han considerado 3 grados de cumplimiento, Se asignan 0 puntos si no se tiene formación alguna del sistema constructivo, con 10 puntos si se realiza eventualmente cursos y se da capacitación al trabajador del sistema constructivo (como mínimo 1 vez al año) y finalmente se otorgan 20 puntos si se tiene una constante formación del trabajador (mínimo 2 veces por año).

En el parámetro “complejidad técnica” se valora la dificultad tecnológica para adaptar el elemento prefabricado a la estructura. Con ello, se presentan tres grados de cumplimiento: dificultad con el sistema, reflejándose en pérdidas de tiempo. Se valora con 0 puntos si el tiempo del proceso demora más del 15% respecto al tiempo total. Asimismo, se valora con 10 puntos si el grado de complejidad se ve afectado en menos del 15% y con 20 puntos si el proceso no se ve afectado, incluso se optimizan los tiempos de la actuación.

---

<sup>13</sup> Entendiendo como equipo y maquinaria especial a aquellos que no son empleados usualmente en los procesos de construcción del contratista en la planta de fabricación.

Parámetro	Cumplimiento	Puntos
Complejidad en la etapa de producción	Necesidad de instalaciones especiales y desarrollo técnico complejo	0
	Necesidad mínima de reformas en planta y uso reducido de equipo especial	10
	Sin complejidad en planta y equipo	20
Equipo y maquinaria no convencional	Equipo y maquinaria no convencional	0
	Grado intermedio de necesidad	10
	Sin equipo ni maquinaria especial	20
Mano de obra cualificada	Sin formación alguna	0
	Grado intermedio de formación	10
	Formación y capacitación	20
Complejidad técnica	Dificultad en el sistema con pérdidas de tiempo	0
	Grado intermedio de dificultad para adaptar los mecanismos a la estructura de la carretera	10
	Optimización de tiempos en la operación de colocación de los elementos	20

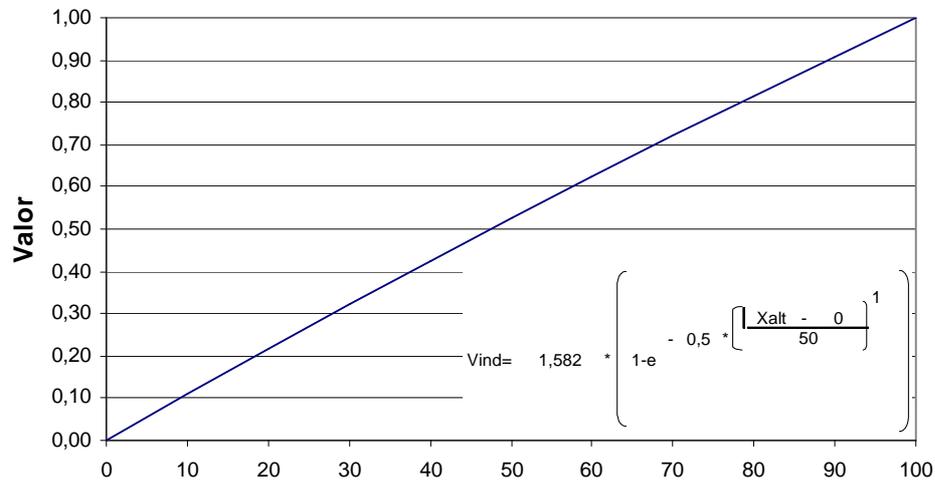
**Tabla 4.7.** Puntuación de las estrategias para adaptar elementos prefabricados a la carretera

#### Forma de la función de valor

La función de valor se entiende es creciente, esto es a medida que aumenta la adaptabilidad de la estructura para soportar elementos prefabricados, aumenta la satisfacción.

La función de valor que se propone es creciente, tal y como se muestra en la figura 4.20. En cuanto a la forma de la misma, al no tener un punto de inflexión, es necesario considerar la forma de la función en lineal, expresando con ello, que el aumento de satisfacción será proporcional a dicho aumento de adaptabilidad, tal y como se muestra. Se propone un valor mínimo de 0 puntos para soluciones que no permita una fácil adaptación del elemento prefabricado, que la etapa de construcción sea compleja o que existe la necesidad de utilizar equipo especial que integre una desventaja para el constructor y, consecuentemente los valores cercanos a este orden, la satisfacción será mínima.

Asimismo, se ha propuesto 100 puntos para la solución que tenga o cumpla con todas las condiciones para implantar esta funcionalidad y sobre todo que no existe complejidad técnica, en consecuencia se tendrá una satisfacción máxima.



**Figura 4.20.** Adaptabilidad de la estructura para colocar elementos prefabricados



## Capítulo 5

# Caso práctico de la sección transversal de una carretera

### 5.1. INTRODUCCIÓN

En el capítulo 3 de esta tesis, se ha expuesto la metodología MIVES de toma de decisión con base en análisis de valor y, posteriormente en el capítulo 4 se ha establecido el árbol de decisión necesario para la aplicación de la metodología propuesta y las funciones asociadas al caso de una sección transversal de una carretera.

Este capítulo tiene el **objetivo** de aplicar la metodología para las dos alternativas: tradicional y prefabricada.. El caso práctico está realizado en las circunstancias actuales, con lo que se quiere expresar que cambiar dichas condiciones, en el futuro la decisión pudiera ser diferente. Aunque su aplicación es simplificada, se ha desarrollado con el fin de integrar aquellos aspectos relevantes en cada alternativa.

Los datos obtenidos para cada uno de los parámetros utilizados en la valoración de ambas alternativas provienen tanto de opiniones de especialistas en carreteras en temas funcionales, así como de diversas referencias bibliográficas a nivel internacional.

En este sentido, los resultados han sido adoptados para esta tesis doctoral, con el objetivo de considerarlos como una alternativa del problema propuesto.

## 5.2. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

La evaluación se realiza mediante análisis de valor, siguiendo el planteamiento del proyecto MIVES<sup>14</sup> descrito en el capítulo 3 de ésta tesis. Su aplicación analítica se muestra bajo el siguiente enfoque: *Evaluación de ambas alternativas con la totalidad de sus componentes, de forma que se obtenga una puntuación global.*

El análisis se realiza siguiendo las fases de evaluación expresadas en el apartado 3.3 de ésta tesis doctoral. Es necesario recordar que la alternativa “A” se ha considerado como la solución prefabricada (ver apartado 4.3.1) y la alternativa “B” se refiere a la solución tradicional de construcción de carreteras en España (ver apartado 4.3.2).

### 5.2.1. Ponderación de requerimientos, criterios e indicadores

La ponderación consiste en asignar pesos entre distintas variables de un mismo grupo. Dicha ponderación debe ser realizada para cada nivel jerárquico, determinando el nivel de importancia de cada elemento del árbol de requerimientos, de cada criterio y de cada indicador.

En el apartado 2.2 del capítulo 2 se mostraron las distintas formas para asignar las ponderaciones a las variables. Para este caso en particular, se ha optado por la **asignación directa** debido a su facilidad de aplicación en matrices pequeñas y a que se puede realizar mediante un grupo de trabajo.

Para ello, se establece una escala que determina el grado de importancia de los criterios, en las que cada experto asigna un peso a cada criterio según su apreciación y, posteriormente, se calcula el peso definitivo de cada criterio calculando el valor medio de los valores asignados por los expertos. En la tabla 5.1 se muestra la matriz para los requerimientos, criterios e indicadores propuestos en el capítulo 4.

---

<sup>14</sup> MIVES. **M**odelo **I**ntegrado de cuantificación del **V**alor de un proyecto constructivo orientado a la **E**valuación de su **S**ostenibilidad. Aplicación a la edificación industrial. MAT2002-04310-C03. UPC. UPV. LBEIN.

Req	Peso	Criterio	Peso	Indicador	Peso
TEMPORAL	32%	Tiempo de ejecución	33%	Tiempo de construcción	18%
				Tiempo actuación mantenimiento	82%
		Riesgo de desviación respecto a previsiones iniciales	67%	Incidencia de condiciones climáticas	14%
				Incidencia de condiciones orográficas	43%
				Incidencia de la conflictividad laboral en la subcontratación	43%
ECONÓMICO	51%	Costes	75%	Coste inicial de construcción	43%
				Coste de mantenimiento	43%
				Coste de implementación del "Sistema Integrado de Servicios"	14%
		Riesgos de desviación del costo	25%	Desviación del coste por factores externos	100%
MEDIOAMBIENTE	9%	Capacidad introducir materiales reciclados	100%	Material reciclado a utilizar en la estructura	100%
		Consumos	33%	Cantidad de energía consumida	25%
				Materias primas utilizadas	50%
				Agua utilizada	25%
		Emisiones	100%	Cantidad de CO <sub>2</sub>	100%
FUNCIONAL	8%	Sistema Integrado Servicios	100%	Facilidad de adaptar la estructura en galerías de servicios	33%
				Adaptabilidad de la estructura para colocar elementos prefabricados.	67%

**Tabla 5.1.** Ponderación para el árbol de requerimientos

**5.2.2. Construcción de la función de valor**

En el capítulo 4 se han representado cada una de las funciones de valor para cada variable. En lo que concierne a este apartado y cara a dar trazabilidad, se muestra en la tabla 5.2 cada uno de los parámetros físicos necesarios para construir la función de

valor. Las unidades de medición de cada indicador están representadas en el capítulo 4 de árbol de decisión y funciones de valor.

Indicador	Xmáx.	Xmín.	“C”	“k”	“p”
Tiempo de construcción [días/Km]	45	10	40	0.09	2.5
Tiempo entre actuación mantenimiento [días/Km]	18	48	7	0.1	3
Influencia de condiciones climatológicas [días/km]	0	100	40	0.15	3.5
Influencia de condiciones orográficas [días/km]	0	100	40	0.15	3
Influencia de condiciones laborales [días/Km]	0	100	30	0.15	3
Coste inicial de construcción [Mill€/Km]	12	2	4.5	0.2	4
Coste de mantenimiento [Mil€/Km]	35	5	8	0.1	3
Coste asociado al sistema integrado de servicios [Mil€/Km]	1.2	0.2	1.05	0.1	1
Desviación del coste de construcción [%/Km]	100	0	60	0.5	1
Material reciclado a utilizar en la estructura [%/Km]	0	80	40	0.5	1
Cantidad de energía consumida [Mjoul/Km]	6000	2000	2400	0.09	2
Materias primas utilizadas [Tn/Km]	50000	10000	40000	0.15	3
Agua utilizada [Lt/Km]	3300	300	2100	0.5	1
Cantidad de CO <sub>2</sub> emitido [Tn/km]	800	0	480	0.5	1
Facilidad de la estructura de adaptar en galería de servicios [puntos]	0	100	50	0.5	1
Adaptabilidad de la estructura para soportar elementos prefabricados [puntos]	0	100	50	0.5	1

**Tabla 5.2.** Parámetros físicos de los indicadores para la validación de la metodología

### 5.3. RESPUESTAS DE LAS ALTERNATIVAS

Las respuestas de cada alternativa para cada variable en cada nivel fueron obtenidas a través de diversos escenarios. Para el requerimiento **temporal** y **económico** se ha apoyado en la revisión de proyectos y estudios en carreteras en Cataluña.

Asimismo para el requerimiento **medioambiental** se ha seguido la normativa, y los estudios que han valorado el impacto ambiental como resultado de la construcción de una actuación viaria. Finalmente, para el requerimiento **funcional**, se han otorgado las respuestas (en este caso las puntuaciones) en base a la experiencia de especialistas en carreteras.

En la tabla 5.3 se muestran de forma ordenada cada uno de los indicadores utilizados para el estudio. En ella se muestra la respuesta del indicador en función de la alternativa y a su derecha (columna sombreada), se presenta el índice de valor del indicador correspondiente. La forma de obtención y justificación de las respuestas han sido desarrolladas en el apartado siguiente.

Indicadores	Alternativa "A"		Alternativa "B"	
	Respuesta	Iv	Respuesta	Iv
Tiempo de construcción [días/km]	30	<b>0.65</b>	40	<b>0.45</b>
Tiempo entre actuación mantenimiento [meses/km]	36	<b>1.0</b>	24	<b>0.38</b>
Influencia de condiciones climatológicas [días/km]	70	<b>1.0</b>	50	<b>0.86</b>
Influencia de condiciones orográficas [días/km]	100	<b>1.0</b>	45	<b>0.21</b>
Influencia de condiciones laborales [días/km]	60	<b>0.77</b>	80	<b>1.0</b>
Coste inicial de construcción [Mill. €/Km]	1.25	<b>0.81</b>	0.70	<b>0.88</b>
Coste de mantenimiento [Mill. €/Km]	0.28	<b>0.69</b>	0.50	<b>0.12</b>
Coste asociado al sistema integrado de servicios	0.125	<b>0.86</b>	0.15	<b>0.82</b>
Desviación del coste de construcción [%]	15	<b>0.69</b>	10	<b>0.82</b>
Material reciclado a utilizar en la estructura [%/km]	0.80	<b>0.90</b>	0.50	<b>0.67</b>
Cantidad de energía consumida [Gjoules/Km]	11,000	<b>0.53</b>	23,000	<b>0.01</b>
Materias primas utilizadas [Tn./Km]	7,496	<b>0.85</b>	9,933	<b>0.67</b>
Agua utilizada [Lt/Km]	507,000	<b>0.39</b>	547,000	<b>0.22</b>
Cantidad de CO <sub>2</sub> emitido [Tn/Km]	590	<b>0.48</b>	630	<b>0.38</b>
Facilidad de la estructura de adaptar en galería de servicios	100	<b>1.00</b>	45	<b>0.48</b>
Adaptabilidad de la estructura para soportar elementos prefabricados	60	<b>0.71</b>	30	<b>0.41</b>

**Tabla 5.3.** Índice de valor de cada indicador

Con ello, ahora se presentan de forma ordenada a cada requerimiento los indicadores. Se detalla y describe la forma de obtener la respuesta de cada uno de ellos, si bien se pudiera llegar a profundizar en cada uno de los aspectos, se ha creído adecuado desarrollarlos como se muestra a continuación.

### 5.3.1. Tiempo de construcción

La respuesta para la alternativa “A” de este indicador “tiempo de construcción” se ha obtenido del estudio de De los Ríos (2008), en el cual se analizan los rendimientos y actividades necesarias para construir la carretera prefabricada, tales como: colocación de las vigas, las placas de neopreno entre la viga y la losa, montaje de las losas, nivelación de las losas. Con ello, se propone 30 días por kilómetro para esta solución constructiva.

Las actividades preliminares (preparación del terreno, nivelación, etc.) no se han considerado ya que, como se ha comentado, se considera a ambas soluciones bajo las mismas condiciones de terreno. Asimismo, los tiempos para colocar la capa de rodadura no se han considerado, ya que será la misma solución en ambas alternativas.

Por otro lado, en la tabla 5.4 se muestra la revisión de proyectos en carreteras que han servido para asignar el tiempo de construcción de la carretera para la alternativa “B”. El valor que se ha asignado para esta alternativa es la media de todos los tiempos de los proyectos revisados, adjudicados por la Dirección General de Carreteras y ejecutados por empresas constructoras españolas.

Carretera	Longitud (km)	coste millones €	tiempo meses	coste/km	días tiempo / km
CA-5	33,33	39,6	24	1,188	22
NR-6	52,2	37	48	0,708	28
N-621	27	20	36	0,740	40
A-384	31	28,7	36	0,925	35

**Tabla 5.4.** Listado de proyectos con los tiempos de construcción (Fuente: elaboración propia)

Para este indicador no se ha matizado o discriminado la capacidad técnica de los constructores (cantidad de equipo disponible, tecnología utilizada, etc.). En ese sentido, y tomando la media se ha asignado una respuesta de 40 días por kilómetro para esta solución. En ambas alternativas se ha considerado, tal y como se ha dicho, ejecutar los trabajos en terreno plano (llano), con el objetivo de que las actividades asociadas al movimiento de tierras no fuese un factor diferencial entre las soluciones.

### **5.3.2. Tiempo entre cada actuación de mantenimiento**

Para el indicador “frecuencia de mantenimiento”, se ha tomado en consideración que la frecuencia media de mantenimiento para carreteras con pavimento tradicional es de 24 meses entre una actuación y otra. Este dato lo han aportado los especialistas que han participado en el seminario realizado en la UPC.

En lo que respecta al no haber experiencias en este caso, el valor propuesto se propone en función de datos del sector de prefabricación. Con ello, la respuesta de la alternativa “A”, considera un plazo mayor de frecuencia de mantenimiento de 36 meses, entendiendo que dicha solución solicitara en menor medida una actuación de conservación por la naturaleza de sus elementos estructurales (hormigón, etc.).

### **5.3.3. Influencia de condiciones climatológicas**

Este indicador como se expresó en el capítulo 4.5.3 se evalúa a través de puntuaciones, las cuales varían en función de la capacidad de respuesta (técnica, logística, etc.) que cada uno de los contratantes pudiera tener. Para este caso, la puntuación se lleva a cabo mediante 3 parámetros tal y como se muestra en la tabla 5.5.

En dicha tabla, se muestra el parámetro “previsión de medidas ante una condición climatológica”. Se debe asignar una puntuación de 25, si el constructor tiene un grado máximo de prevención en caso de la ocurrencia de algún fenómeno climatológico adverso (lluvia, nieve, viento). Este grado de cumplimiento se adopta cuando dichas previsiones se han incluido en las partidas del presupuesto.

Por otro lado, al considerarse algunas medidas o en cambio, no se ha efectuado un estudio previo, se otorga 10 puntos. Asimismo, si no se han tenido en cuenta los impactos que alguna condición climatológica pudiera afectar al sistema constructivo se deben asignar un valor de 0. Entendiendo con ello, que se pretende potenciar la previsión del constructor ante situaciones climatológicas adversas.

Parámetro	Grado de cumplimiento	Puntos	Puntos	
			Alt. A	Alt. B
Previsión de las condiciones climáticas	No se incluyen medidas	0	10	25
	Se incluyen algunas medidas, sin estudios detallados de la repercusión de las mismas	10		
	Máximo nivel de desarrollo de las medidas e inclusión de las mismas en el presupuesto	25		
Equipo y maquinaria de apoyo	No se incluyen	0	10	25
	Se consideran y localizan para dar respuestas intermedias (no inmediatas)	10		
	Se incluyen y se consideran las partidas presupuestarias correspondientes	25		
Grado de independencia de la alternativa frente a las condiciones climáticas	Totalmente dependiente	0	50	0
	Grado intermedio de dependencia	25		
	Totalmente independiente	50		
			<b>70</b>	<b>50</b>
<b>Índice de valor del indicador (Iv) =</b>			<b>1.0</b>	<b>0.86</b>

**Tabla 5.5.** Puntuación frente a las condiciones climatológicas

Para la alternativa “A” se han asignado 10 puntos por el hecho de ser un nuevo sistema constructivo y no poder determinar totalmente las medidas de previsión ante una ocurrencia climatológica. No obstante para la alternativa “B” se asigna una puntuación de 25, entendiendo que para esta solución al ser ya conocida por el sector, las previsiones se encuentran totalmente adoptadas.

Para el parámetro de “equipo y maquinaria de apoyo” se han incluido tres grados de cumplimiento. Se debe otorgar 25 puntos si el equipo necesario para esta condición se ha considerado en el presupuesto de obra. En cambio, si tan sólo se ha identificado el equipo y maquinaria para dar una respuesta inmediata se asigna una puntuación de 10 y, si no se incluye nada de equipo o maquinaria de apoyo se asigna un valor de 0.

Para la alternativa “A” se le ha asignado un valor de 10 puntos ya que, al igual que el parámetro anterior, no se tiene totalmente identificado el equipo y la maquinaria

necesaria. Sin embargo, para la alternativa “B” se ha asignado una puntuación de 25 por el hecho de que ya es conocido que equipo se utiliza ante alguna adversidad, además de que se incluyen en el presupuesto de la obra.

Finalmente el tercer parámetro “grado de independencia de la alternativa frente a las condiciones climatológicas” contiene 3 grados de cumplimiento: totalmente dependiente, grado intermedio y totalmente independiente.

En este caso se ha asignado una puntuación para la alternativa “A” de 50, reflejando que el sistema constructivo no se verá afectado por lluvia, nieve u otra adversidad climática. En ese sentido, se considera que la colocación de los elementos prefabricados se verá menos afectada por dichas condiciones, que las actividades para una solución tradicional. Con ello, la alternativa “B” es totalmente dependiente de esta condición y se le ha asignado un valor de 0.

#### **5.3.4. Influencia de condiciones orográficas**

Al igual que el indicador anterior, las respuestas vienen dadas por puntuaciones. En la tabla 5.6 se tienen los distintos parámetros de valoración y los grados de cumplimiento. El criterio para evaluar este indicador se ha seguido bajo las condiciones de terreno en que se desarrollará la obra, el equipo y la capacidad técnica para llevarla a cabo.

En dicha tabla se muestran tres parámetros para medir la influencia de condiciones orográficas como son: la afectación del sistema constructivo, la necesidad de equipo y maquinaria pesada y el grado de dificultad para suministrar los materiales. Para el primero se puntúa con 0 si existe un grado considerable de afectación al sistema, con la posibilidad de cambiar el mismo. Se debe asignar con un 25 si existe una afectación parcial en alguno de los procesos del sistema constructivo ya sea en tiempo o en coste. Asimismo, se otorgan 50 puntos si el sistema constructivo no se ve afectado por una orografía adversa en ningún proceso.

Para la alternativa “A” se la ha otorgado una valoración de 50 puntos por el hecho de que los movimientos de transporte son menores que respecto al sistema tradicional. Asimismo, se ha pensado en que las grúas que colocan las losas prefabricadas puedan ir avanzando por encima de las losas ya colocadas y, consecuentemente, la orografía influye en menor medida. Con ello, para la alternativa “B” se ha asignado una puntuación de 25, por el hecho de que se considera que los movimientos de tierra y de suministros a la obra (áridos, etc.) se verán afectados por las condiciones orográficas.

El parámetro de “necesidad de equipo y maquinaria especializada” mide si existe la necesidad total de equipo para poder modificar las condiciones orográficas, otorgando 0 puntos para esta situación. Si existe necesidad de equipo especial en tan sólo orografías específicas, se debe otorgar 10 puntos y si no se necesita equipo y maquinaria especializada se asigna 25 puntos.

Parámetro	Grado de cumplimiento	Puntos	Puntos	
			Alt. A	Alt. B
Afectación del sistema constructivo	No se consideran	50	50	25
	Afectación parcial en los subprocesos constructivos	25		
	Máxima afectación al sistema constructivo, incluso posibilidad de cambio del mismo.	0		
Necesidad de equipo y maquinaria especializada	No se necesitan	25	25	10
	Necesidad temporal de equipo en orografías específicas	10		
	Necesidad total de equipo y maquinaria especializada	0		
Grado de dificultad por el suministros de materiales	Ninguna dificultad	25	25	10
	El grado de dificultad afecta considerablemente al proyecto, tanto económico como temporal	10		
	Máximo nivel de dificultad para suministrar los materiales	0		
Total (puntos) =			<b>100</b>	<b>45</b>
<b>(lv) =</b>			<b>1.0</b>	<b>0.21</b>

**Tabla 5.6.** Puntuación frente a las condiciones orográficas.

Para la alternativa “A”, al desarrollar su proceso constructivo en la obra terminada, comentada con anterioridad, se asigna una puntuación de 25 por el hecho de no necesitar algún equipo o maquinaria especial para construir la carretera. No obstante para la alternativa “B” se ha asignado un valor de 10 puntos por el hecho de que existe la posibilidad de utilizar temporalmente equipo de apoyo para cambiar orografías adversas.

En el tercer parámetro se mide el grado de dificultad para suministrar los insumos a la obra. Se asignan 25 puntos si la orografía no afecta para dicho suministro. Se

otorgan 10 puntos si se tiene influencia parcial y/o sí el aspecto temporal o económico se ve afectado; y con 0 puntos si existe un nivel máximo de dificultad para suministrar los materiales.

Para la alternativa “A” se ha asignado un valor de 25 debido a que la distribución de los materiales y elementos de la carretera son distribuidos con transporte convencional y el montaje se realiza a través de grúas sobre la misma calzada. En cambio para la alternativa “B” se ha asignado un valor de 10 puntos por el hecho de que habrá caminos auxiliares durante el transporte de los áridos.

### 5.3.5. Influencia de condiciones laborales

Los parámetros que representan las puntuaciones se muestran en la tabla 5.7. Se tienen cuatro (2) parámetros de medición: suministro de materiales y la capacidad técnica de los contratistas.

Parámetro	Grado de cumplimiento	Puntos	Puntos	
			Alt. A	Alt. B
Suministro de materiales	Suministro puntual de materiales	30	30	30
	Problemática temporal del suministro	15		
	Problemática constante del suministro	0		
Capacidad Técnica de los contratistas	Máxima capacidad para el desarrollo del sistema constructivo	50	30	50
	Conocimientos básicos del sistema constructivo	30		
Total (puntos) =			<b>60</b>	<b>80</b>
<b>(Iv) =</b>			<b>0.77</b>	<b>1.00</b>

**Tabla 5.7.** Puntuación frente a condiciones laborales conflictivas.

El primer parámetro está representado por tres grados de cumplimiento. El primero es el suministro de materiales a la obra, donde se debe asignar un valor de 20 puntos si el suministro es puntual. En cambio, si existe problemática eventual se asigna una puntuación de 10 y si hay una problemática importante donde afecte a los procesos de construcción y al plazo de ejecución final se asignan 0 puntos.

Para ambas alternativas se ha asignado una puntuación de 10 a cada una. Entendiendo con ello, que no existirá algún retraso en el suministro de insumos a la obra en cualquiera de los casos.

El segundo parámetro considerado en esta tabla es “la capacidad técnica de los contratistas” donde se expresa la máxima capacidad técnica del constructor para desarrollar los trabajos, asignándole 50 puntos si se tiene la máxima capacidad (tecnología adecuada, buena logística del suministro de materiales, alto conocimiento del sistema constructivo, etc.). Se asigna 30 puntos si tan sólo se tiene el conocimiento básico del sistema.

Para la alternativa “A” se le ha asignado 30 puntos que, aunque se supone que los contratistas tienen amplia experiencia en prefabricación, sin embargo al ser un nuevo sistema constructivo la puntuación es menor respecto a la solución tradicional. En cambio para el sistema tradicional, alternativa “B”, se ha asignado un puntaje de 50 por ser un sistema ya ampliamente desarrollado.

### 5.3.6. Coste inicial de construcción

La respuesta de la alternativa “A”, obtenida para este indicador es obtenido por el análisis de costes de la tesis doctoral en desarrollo de De los Ríos (2008) en la Universidad Politécnica de Catalunya. En este análisis y con la base de precios PREOC (2007) se establecieron los costes necesarios para realizar 1 kilómetro de longitud (ver tabla 5.8).

Componentes	Alternativa “A”			Importe
	u	cantidad	Precio €	
Vigas prefabricadas	m <sup>3</sup>	252 <sup>15</sup>	387,15 <sup>16</sup>	97.561
Losa prefabricada	m <sup>3</sup>	2625 <sup>17</sup>	374,5	983.062
Ligante (interfase)	m <sup>2</sup>	10500	1,1	11.550
Total =				1.092,174 = 1,10 millones €

**Tabla 5.8.** Coste de los componentes por alternativa (Fuente: elaboración propia)

<sup>15</sup> 1 viga = 0.30 x 0.20 x 10.50 (m) = 0.63 m<sup>3</sup>; 1 km = 401 vigas; Entonces 0.63 x 401 = 252 m<sup>3</sup>

<sup>16</sup> Precios obtenidos de PREOC (2007), para un hormigón armado de HA-30.

<sup>17</sup> M<sup>3</sup> de losa = 10.50 x 1000 x 0.25 (m) = 2625 m<sup>3</sup>

Para este caso sólo se ha creído conveniente considerar los costes de transporte en un 10%, los costes indirectos y administrativos en un 5% del coste de la obra. Con ello, se tiene que para la alternativa “A” tiene un coste de construcción de 1.10 (solo 1 calzada) + 0.054 (transporte) + 0.109 (indirectos) = 1.25 Millones de € por kilómetro construido.

Por otro lado, para la alternativa B se propone el valor de 0,70 (Millones € / km) proveniente de media de los proyectos revisados con este tipo de solución y con condiciones similares a una vía tipo 2+2.

### 5.3.7. Coste de mantenimiento

Para este indicador, la respuesta en ambas alternativas ha sido mediante la revisión de estudios de mantenimiento de vías con un perfil similar. En la tabla 5.9 se muestra un ejemplo de un estudio realizado con un coste de 202,22 euros por kilómetro para una solución de hormigón y 500,59 para mantenimiento por kilómetro de la alternativa asfáltica (Jasienski, 2007).

Solución constructiva	Vida de servicio (años)	Coste Conservación (Millones € por km)
Hormigón	50	0,202
Mezcla bituminosa	36	0,500

**Tabla 5.9.** Coste de mantenimiento (Fuente: Jasienski, 2007).

Para este caso en particular se propone un coste de 0,28 Millones de euros por cada kilómetro construido para la alternativa “A”, un poco mayor a la propuesta por Jasienski por el hecho de desconocer el comportamiento de este nuevo sistema constructivo. En cambio, para la alternativa “B” se propone un valor de 0,50 Millones de euros / Km ya que es una alternativa altamente conocida.

### 5.3.8. Coste asociado al sistema integrado de servicios

Para este indicador se han asignado las respuestas siguiendo el criterio de que la nueva funcionalidad no tenga un impacto importante en el coste final de la estructura viaria. Para ello, los especialistas en carreteras han propuesto que el coste de esta nueva funcionalidad no sobrepase el 20% del coste total de la estructura y, consecuentemente el constructor sea más receptivo en adoptar esta nueva funcionalidad.

En consecuencia de ello, se propone para la alternativa “A” con coste de 0.125 Millones de euros por kilómetro. Se ha propuesto este porcentaje (10%) ya que supone que el coste de esta nueva funcionalidad afecta en menor medida que la solución tradicional. En cambio, la alternativa “B” se propone un coste de 0.15 (20%) por ser una nueva funcionalidad, y los cambios necesarios (en instalaciones, equipo) supondrían un mayor coste a la solución.

### **5.3.9. Desviación del coste de construcción**

Como en toda obra de ingeniería los costes iniciales no llegan a ser los definitivos al fin de una obra. En este sentido, se propone como valor de respuesta o desviación del coste de un 10% para cada alternativa, ya que sobrepasar este valor representa una desviación económica importante para el proyecto. Sin embargo al desconocer en cierta medida, el comportamiento de la alternativa “A”, se ha contemplado aumentar un 5% más a lo anteriormente planteado. Entonces, para la alternativa “A” y “B” se tiene un 15 y 10% respectivamente de la desviación posible en el presupuesto inicial.

### **5.3.10. Material reciclado a utilizar en la estructura**

En el apartado 4.5 de esta tesis se fijaron los porcentajes máximos de material reciclado como material de entrada para una estructura. Para el caso del hormigón estructural, la relación entre ARE y ATE no puede ser mayor a 0.20. Mientras que para el no estructural, la relación entre ARNE y ANTE no puede ser mayor a 0.80. En ese sentido, el máximo porcentaje permitido no sobrepasará el 1.0 (100%) del total de áridos empleados en cualquier alternativa. Con ello, se propone asignar este valor máximo de 100% para ambas soluciones. En ese sentido, se ha adoptado un valor de 80% de material reciclado para la solución “A” y un 50% para la solución prefabricada.

El reciclaje de carreteras (como material de salida) no se ha sometido a estudio, ya que este proceso no se ha tenido en cuenta a la hora de construir nuevas infraestructuras de carreteras hasta hace muy poco tiempo, y los datos al respecto son escasos. No obstante, según la Dirección General de Carreteras (Rodríguez López, 2006), desde el año 2005 se están empezando a aplicar en las carreteras nuevas técnicas que aprovechan el 50% del material del antiguo firme, reduciendo así el impacto ecológico y el coste de las obras de reparación.

### **5.3.11. Cantidad de energía consumida**

La estimación de la energía consumida por cada una de las alternativas “A” y la “B” se ha obtenido de un estudio comparativo entre pavimentos de hormigón y flexibles.

En la tabla 5.10 se muestran los impactos ambientales en ambas alternativas y en función del tipo de mantenimiento según Häkinen & Mäkela (1996).

	Pavimento hormigón	Pavimento asfáltico	
		Mantenimiento Finlandia	Mantenimiento Suecia
CO <sub>2</sub> (Kg. / km)	940,000	590,000	670,000
SO <sub>2</sub> (Kg. / km)	1,700	2,500	2,800
NO <sub>x</sub> (Kg. / km)	4,700	3,000	3,600
CO (Kg. / km)	2,000	610	670
Compuestos orgánicos (Kg. / km)	1,000	1,900	2,100
Partículas (Kg. / km)	650,000	1'200,000	1'200,000
Hg (Kg. / km)	0.0076	0.000042	0.000064
Energía no renovable (GJoules / Km)	11,000	21,000	25,000
Ruido (espacio afectado) (Ha / km)	70	52	52

**Tabla 5.10.** Resumen de datos de inventario para el ciclo de vida (sin consumo de tráfico) de los pavimentos analizados (Häkinen y Mäkela, 1996)

Con ello, se propone para la alternativa "A" un consumo de energía de 11,000 Gjoules por kilómetro de carretera construida. Si bien, este valor pudiera cambiar en función de las condiciones de la obra, para este estudio se ha creído conveniente adoptarlo. Por otro lado, para la solución "B" se propone asignar como respuesta en valor medio de las dos tipos de mantenimiento (Finlandia y Suecia) que es de 23,000 Gjoules por kilómetro. Es necesario remarcar que para validar estos datos se debe ejecutar el tramo experimental de la nueva alternativa constructiva.

### 5.3.12. Materias primas utilizadas

Para este indicador se han considerado la cantidad de materias primas para construir la calzada. En la tabla 5.11 se muestra del lado izquierdo la dosificación para un metro cúbico de hormigón (cemento y árido) y el volumen total para construir un kilómetro de carretera de 2877,63 m<sup>3</sup>. Con ello, se puede calcular las cantidades de materia prima para el total del tramo para cada tipo de material utilizado. Por ejemplo, Para el cemento

se tienen 357 Kg. por cada  $m^3$ , entonces para  $2877,63 m^3$  se obtienen 1027,31 toneladas de cemento por kilómetro y, así sucesivamente para cada tipo de material empleado.

En definitiva, se propone asignar una cantidad de materias primas utilizadas de 7496.22 toneladas. No se ha discriminado otras cantidades utilizadas como podrían ser materiales de relleno, material para caminos complementarios, etc.

En cambio para la alternativa, para la alternativa "B" se ha asignado un valor de 9,933 toneladas de consumo de materias primas (ver tabla 5.12), el cual proviene de calcular el volumen de material a utilizar en la calzada por su peso volumétrico seco<sup>18</sup> de 1600 Kg. / $m^3$  para sub-base y 1700 para la base.

Dosificación			Volumen	Toneladas para 1 km
357	Kg.	cemento	2877,63 <sup>19</sup>	1027,31
400		árido		1151,05
746				2146,71
756				2175,48
186				535,23
Total =				7496,22

**Tabla 5.11.** Cantidad de materia prima utilizada para la alternativa A

Sección <sup>20</sup> (m)	Área calzada	Ancho calzada	volumen	Peso Vol. (Kg./m <sup>3</sup> )		Ton. totales
				sub-base	base	
0,40	400	10,5	4200	1600		6720
0,18	180		1890	1700		3213
Total =						9,933

**Tabla 5.12.** Cantidad de materias primas consumidas para la alternativa B (1 kilómetro)

<sup>18</sup> Manual de Calidad para materiales en las secciones para carreteras. Secretaría de Comunicaciones y Transporte. Instituto Mexicano del Transporte.

<sup>19</sup> volumen de hormigón: Losas:  $10.50 \times 1000 \times 0.25$  (m) = 2,625  $m^3$ ; vigas:  $1000$  (m) x 401 (vigas) x 0.63  $m^3$ /viga = 252.53  $m^3$ ; Total = 2625 + 252.53 = 2877.63  $m^3$ .

<sup>20</sup> La sección se muestra en la figura 4.4

### 5.3.13. Agua utilizada

La respuesta de este indicador para la alternativa "A" se ha calculado a través de la dosificación del hormigón que se va a utilizar un HA-30 con cemento común. En la tabla 5.13 se muestra la dosificación en la cual se tiene una cantidad de 160 litros por metro cúbico de hormigón.

Hormigón HA-30		Unidad	Cantidad
Cemento I 42,5 R		Kg.	357
Áridos	0-2	Kg.	400
	2-5		746
	5-12		756
	12-25		186
Agua		Lt.	160
Total (Kg./m3) =			2605

**Tabla 5.13.** Dosificación del HA-30

Con ello, se analiza se tiene el volumen de hormigón para un kilómetro de carretera de  $2625 \text{ m}^3$  en las losas y para las vigas prefabricadas de hormigón un volumen de  $252.63 \text{ m}^3$  ( $0.63 \text{ m}^3$  cada viga \* 401 vigas en un kilómetro). El volumen total de hormigón para la estructura es de  $2877.63 \text{ m}^3$ .

En este sentido la cantidad de agua necesaria para esta alternativa prefabricada es calculada con el dato de la tabla 5.13 de 160 litros por cada  $\text{m}^3$  de hormigón fabricado ( $160 \text{ litros} \times 2877.63$ ). A esta cantidad de agua se ha propuesto añadir un 10 % extra para la cantidad de agua necesaria para limpieza de herramienta, equipo y/o actividades complementarias que pudieran solicitar agua. Entonces la cantidad de agua necesaria para ese kilómetro de vía es  $460,420 \text{ litros} + 46.04 = 506,462 = 507,000 \text{ litros}$  de agua.

En cambio para la alternativa "B" se requieren grandes cantidades de agua como parte del proceso de preparación y compactación de la superficie de la carretera durante la construcción y el mantenimiento. Para ello, intervienen varios factores que pueden variar la cantidad de agua como es: humedad del material, compactación necesaria, etc.

Se ha propuesto una cantidad de 496,000 litros para un kilómetro de carretera, más un 10% (49,600 litros) de agua necesaria para otras actividades complementarias. Entonces se tiene  $546,250 = 547,000 \text{ litros}$  por kilómetro. Este dato proviene de un

estudio realizado por la empresa STASOIL S.A.C, la cual desarrolla estudios de investigación para estabilización de suelos en construcción y mantenimiento de carreteras.

### 5.3.14. Cantidad de CO<sub>2</sub> emitido

La estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> por cada una de las alternativas (“A” y “B”) se ha obtenido de un estudio comparativo entre pavimentos de hormigón y flexibles. En la tabla 5.14 se muestran los impactos ambientales en ambas alternativas y en función del tipo de mantenimiento según Häkinen & Mäkela (1996).

	Pavimento hormigón	Pavimento asfáltico	
		Mantenimiento Finlandia	Mantenimiento Suecia
CO <sub>2</sub> (Kg. / km)	940,000	590,000	670,000
SO <sub>2</sub> (Kg. / km)	1,700	2,500	2,800
NO <sub>x</sub> (Kg. / km)	4,700	3,000	3,600
CO (Kg. / km)	2,000	610	670

**Tabla 5.14.** Cantidad de emisiones para el ciclo de vida (sin consumo de tráfico) de los pavimentos analizados (Häkinen y Mäkela, 1996)

Las otras emisiones ( SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO) no se han considerado para este estudio, debido a que la cantidad por kilómetro son muy bajas y no representan una diferencia entre alternativas, tal y como se puede observar en la tabla 5.14.

Con ello, se propone para la alternativa “A” una cantidad de emisiones de 590 toneladas por kilómetro. Si bien, este valor pudiera cambiar en función de las condiciones de la obra (cantidad y equipo de obra utilizada, tecnología, etc.) para este estudio se ha creído conveniente adoptarlo.

Por otro lado, para la solución “B” se propone asignar como respuesta el valor medio en función de los dos tipos de mantenimiento (Finlandia y Suecia) que es de 630 toneladas por kilómetro. Es necesario remarcar que para validar estos datos se debe ejecutar el tramo experimental de la nueva alternativa constructiva.

### 5.3.15. Facilidad de la estructura de adaptar en galería de servicios

Este indicador se mide mediante la tabla de puntuación 5.15 para cada alternativa. Dicha tabla muestra tres parámetros que expresan la facilidad para adaptar una galería de servicios (explicado en apartado 4.3) a la estructura del pavimento. La escala utilizada en esta tabla es desde 0 a 100 puntos.

Parámetro	Grado de cumplimiento	Puntos	Puntos	
			Alt. A	Alt. B
Complejidad del equipo e instalaciones	Las instalaciones totalmente reformadas	0	25	10
	Se incluyen algunos ajustes en las instalaciones	10		
	Se utilizan instalaciones convencionales	25		
Complejidad equipo y maquinaria de apoyo	Cambio de equipo convencional	0	25	10
	Se consideran parte del equipo convencional	10		
	Se utiliza el mismo equipo	25		
Cualificación de mano de obra	Sin formación alguna	0	50	50
	Grado intermedio de formación	25		
	Formación y capacitación	50		
Total (puntos) =			<b>100</b>	<b>45</b>
<b>(Iv) =</b>			<b>1.00</b>	<b>0.48</b>

**Tabla 5.15.** Puntuación frente a la facilidad para adaptar la estructura en galería de servicios.

Para el parámetro “complejidad del equipo e instalaciones necesarias para generar las estructuras” se debe asignar 25 puntos si no hay necesidad de hacer alguna reforma en las instalaciones, 10 puntos se asignan si se incluyen algunas modificaciones y 0 puntos si el constructor tiene que hacer una gran reforma ó, inclusive cambiar de instalaciones para poder realizar los trabajos.

Para la alternativa A se ha asignado 25 puntos debido a que los elementos de la carretera (losas, vigas) se pretenden realizar en las instalaciones de prefabricación y no sugiere cambio alguno en estas. En cambio, para la alternativa B se ha asignado 10

puntos al tener que hacer algunas modificaciones en las instalaciones convencionales para poder ejecutar el sistema integrado de servicios que el sistema tradicional no lo integra.

El parámetro de “complejidad del equipo y maquinaria de apoyo necesario para dar rápida respuesta al sistema constructivo” se debe asignar un total de 25 puntos si se utiliza el equipo convencional, 10 puntos si se tiene que emplear algún tipo de equipo especial para ejecutar un trabajo en particular, y 0 puntos si se ve en la necesidad de cambiar totalmente el equipo convencional para realizar los trabajos de construcción de la galería de servicios.

Para la alternativa A se ha asignado 25 puntos por el hecho de utilizar el mismo equipo en la planta de prefabricación. En cambio, la alternativa B, se ha asignado una puntuación de 10 debido a que el sistema tradicional no incorpora esta funcionalidad y habrá la necesidad de utilizar equipo que convencionalmente no se utiliza.

Respecto al tercer parámetro de “Cualificación de mano de obra para la ejecución de los trabajos” se asigna una puntuación de 50 puntos si el sistema constructivo requiere de conocimientos específicos o una mano de obra especial, entendiendo que a mayor capacitación la calidad del producto es mejor. Se asignan 25 puntos si existe la necesidad de algún grado intermedio (cursos, especializaciones, etc.) de los trabajadores para desarrollar el sistema de construcción. Y 0 puntos si se ve en la clara necesidad de emplear mano de obra no cualificada o sin ninguna formación.

Para la alternativa A se ha asignado un valor de 50 puntos debido a que es necesario realizar una capacitación previa para realizar los trabajos. Para la alternativa B se le ha asignado también 50 puntos, por el hecho de ser una nueva funcionalidad es imperante capacitar al trabajador.

Para este indicador es necesario señalar que la asignación de puntos en cada parámetro esta implícita una preferencia o peso. Por ejemplo, la cualificación de mano de obra (en el orden máximo) es de 50 puntos, en cambio para los dos restantes es de 25 puntos. Entendiendo que se le da el doble de importancia a la cualificación de mano de obra que a las posibles reformas de las instalaciones y el uso de maquinaria compleja.

### **5.3.16. Adaptabilidad de la estructura para soportar elementos prefabricados**

De la misma forma que el indicador anterior, se hace necesaria la valoración mediante puntuación con 4 parámetros. En primer lugar se tiene en la tabla 5.16 el primer parámetro “complejidad en la etapa de producción”, es decir, es necesario valorar si se

tiene que tener instalaciones o equipo especial en planta para desarrollar esta funcionalidad.

Parámetro	Grado de cumplimiento	Puntos	Puntos	
			Alt. A	Alt. B
Complejidad etapa de producción	Necesidad de instalaciones especiales y desarrollo técnico complejo	0	10	0
	Necesidad mínima de reformas en planta y uso reducido de equipo especial	10		
	Sin complejidad en planta y equipo	20		
Equipo y maquinaria no convencional	Equipo y maquinaria no convencional	0	10	0
	Grado intermedio de necesidad	10		
	Sin equipo ni maquinaria especial	20		
Mano de obra cualificada	Sin formación alguna	0	20	20
	Grado intermedio de formación	10		
	Formación y capacitación	20		
Complejidad técnica	Dificultad en el sistema con pérdidas de tiempo	0	20	10
	Grado intermedio de dificultad para adaptar los mecanismos a la estructura de la carretera	10		
	Optimización de tiempos en la operación de colocación de los elementos	20		
Total (puntos) =			<b>60</b>	<b>30</b>
<b>(Iv) =</b>			<b>0.71</b>	<b>0.41</b>

**Tabla 5.16.** Puntuación frente a la adaptabilidad de la estructura para soportar elementos prefabricados

Para este parámetro se asigna una puntuación de 25 si no hay necesidad de realizar reformas o instalar algún equipo especial en las instalaciones, 10 puntos por si hay necesidad de hacer cambios en las mismas instalaciones o si se tiene que usar algún equipo eventualmente, y finalmente se asignan 0 puntos si existe la necesidad de realizar

grandes reformas o instalar equipo complejo. Estos grados de cumplimiento sugieren que el constructor no se vea afectado económicamente al desarrollar el sistema constructivo.

Para la alternativa A se ha asignado una puntuación de 10 debido a que la planta de prefabricación tiene que hacer alguna reforma mínima para poder desarrollar esta nueva funcionalidad. En cambio, para la alternativa B, se ha asignado una puntuación de 0 por la necesidad de hacer grandes reformas en sus instalaciones y hacer cambios en su tecnología.

Respecto el segundo parámetro “equipo y maquinaria convencional” se puede asignar puntos por tres formas: 20 puntos si el constructor no hace uso de equipo y maquinaria especial, 10 puntos si se tiene que utilizar equipo y maquinaria convencional de poca importancia en el proceso o que es usada eventualmente, y 0 puntos si el constructor no se ve en la necesidad de cambiar de equipo y maquinaria, que tradicionalmente utiliza.

Para la alternativa A en este parámetro se la ha asignado un valor de 10 puntos por utilizar equipos especiales eventualmente. En cambio, para la alternativa B se ha asignado un valor de 0 puntos por no tener esta nueva funcionalidad incorporada y se hace necesario utilizar equipo no convencional.

Respecto al tercer parámetro “mano de obra cualificada” se tienen tres grados de cumplimiento: necesidad de formación y capacitación con 20 puntos, (entendiendo que se esta premiando a la formación del trabajador), con 10 puntos al grado intermedio de formación (con cursos eventuales) y 0 puntos si no se tiene formación alguna para desarrollar los trabajos.

Para la alternativa A se ha asignado 20 puntos por la necesidad de incorporar al trabajador en cursos que le ayuden a mejorar su trabajo en esta nueva funcionalidad. Para la alternativa B, se ha asignado una puntuación de 20 puntos, por el hecho de no tener esta nueva funcionalidad, es necesario que el trabajador tome alguna especialización.

Por último, el parámetro “complejidad técnica” se tiene 3 grados de cumplimiento. El primero se puntúa con 0 si existe dificultad en el sistema constructivo para adaptar los elementos prefabricados a la estructura, perdiendo en consecuencia tiempo. Se puntúa con 10, si se tiene un grado intermedio para colocar los elementos, sin pérdida de tiempo y con 20 puntos si el grado de colocación es bueno y si se optimizan los tiempos de colocación.

Para la alternativa A se ha asignado una puntuación de 20, entendiendo que el producto desarrollado en fábrica permite colocar los elementos de forma fácil y rápida para optimizar tiempos de construcción. Para la alternativa B, se ha asignado 10 puntos por el hecho de ser una nueva funcionalidad y la facilidad para adaptar los elementos pudiera ser defectuosa.

#### **5.4. CÁLCULO DEL VALOR DE LA ALTERNATIVA**

Este apartado pretende verificar el objetivo esencial de esta tesis doctoral, aunque los resultados pueden variar según el decisor, este estudio pretende analizar de forma comparativa en ambas alternativas. A continuación se muestran los resultados de la valoración de cada uno de las soluciones constructivas frente a los diferentes requerimientos, de acuerdo a las bases expuestas en el capítulo 3.

Para la alternativa “A” y “B”, se muestra en la columna izquierda todos los indicadores planteados y analizados en este caso de estudio, así como su propia respuesta (“X”), obtenida en este capítulo. Para llevar cabo la valoración se sigue el orden planteado en el apartado 3.3 de la presente tesis doctoral.

En la tabla 5.20 se muestra el proceso de evaluación de cada uno de las variables (obtenidas en este capítulo), las cuales son multiplicadas por los pesos definidos anteriormente (ver apartado 5.2.1). Posteriormente, se realiza la sumatoria de los índices de valor calculados de cada criterio, multiplicándose por el peso de ese mismo criterio. De forma análoga se realiza este proceso para obtener el índice de valor de cada requerimiento.

Con ello, se muestra el índice de valor de la alternativa “A” prefabricada. Se ha obtenido para el requerimiento temporal un índice de 0.292, en el económico 0.380, en el medioambiental un índice de 0.056 y el funcional 0.064.

Como se puede observar, en esta alternativa el aspecto temporal y el económico han resultado con una diferencia significativa respecto a los otros dos requerimientos, lo cual se puede traducir por un lado, en la importancia que se tiene por temas como tiempo de construcción y/o el precio final de la obra.

	Indicadores	X	Valor	Peso Indicador	índice valor	Suma	Peso Criterio	Criterios	índice valor	Suma	Peso Req.	índice valor		Iv		
TEMPORAL	Tiempo de construcción	30,00	0,67	0,18	0,121	0,94	0,33	Tiempo de Ejecución	0,31	0,91	0,32	0,2925	TEMPORAL	0,794		
	Frecuencia de mantenimiento	36,00	1,00	0,82	0,820			Riesgo de desviación respecto a previsiones iniciales.							0,60	
	Incidencia de condiciones climáticas	70,00	1,00	0,14	0,140	0,90	0,67	Riesgo de desviación respecto a previsiones iniciales.	0,60							
	Incidencia de condiciones orográficas	100,00	1,00	0,43	0,430											
	Incidencia de la conflictividad laboral en la subcontratación	60,00	0,77	0,43	0,331											
Coste inicial de construcción	1,25	0,81	0,43	0,348	0,77					0,75	Coste de Construcción	0,57				
Coste de mantenimiento	0,28	0,69	0,43	0,297		Riesgo de desviación	0,17	0,75	0,51		0,3807	ECONÓMICO				
Coste de implementación del "Sistema Integrado de Servicios"	0,13	0,86	0,14	0,120				0,62	0,09		0,056	MEDIOAMBIENTAL				
Desviación del coste de construcción	15,00	0,69	1,00	0,690	0,69	0,25	Riesgo de desviación	0,17	0,11	0,0645	FUNCIONAL					
MEDIOAMBIENTAL	Material reciclado a utilizar en la estructura	0,80	0,90	1,00	0,900	0,90	0,33	Cap. Introducir Mat. Rec.	0,30	0,62	0,09	0,056	MEDIOAMBIENTAL	0,794		
	Cantidad de energía consumida	11000,00	0,53	0,25	0,133			Consumos							0,22	
	Materias primas utilizadas	7496,00	0,85	0,50	0,425	0,66	0,33		Emisiones							0,11
	Agua utilizada	507,00	0,39	0,25	0,098	0,33	0,33		Emisiones							0,11
Cantidad de CO2	590,00	0,48	1,00	0,480	0,33	0,33	Emisiones	0,11	0,81	0,81	0,08	0,0645	FUNCIONAL			
FUNCIONAL	Facilidad de adaptar la estructura en galerías de servicios	100,00	1,00	0,33	0,330	0,81	1,00	Valor añadido	0,81	0,81	0,08	0,0645	FUNCIONAL	0,794		
	Adaptabilidad de la estructura para colocar elementos prefabricados	60,00	0,71	0,67	0,476											

Tabla 5.20. Cálculo del índice de valor para la alternativa "A"

De la misma forma, en la tabla 5.21 se muestran los resultados de los índices de valor para la alternativa "B". Para el requerimiento temporal se ha obtenido un índice de 0.178, para el económico 0.312, el medioambiental presenta un índice de 0.041 y el funcional 0.034.

	Indicadores	X	Valor	Peso Indicador	índice valor	Suma	Peso Criterio	Criterios	índice valor	Suma	Peso Req.	índice valor		Iv		
TEMPORAL	Tiempo de construcción	40,00	0,45	0,18	0,081	0,39	0,33	Tiempo de Ejecución	0,13	0,56	0,32	0,1788	TEMPORAL	0,568		
	Frecuencia de mantenimiento	24,00	0,38	0,82	0,312			Riesgo de desviación respecto a previsiones iniciales.							0,43	
	Incidencia de condiciones climáticas	50,00	0,86	0,14	0,120	0,64	0,67	Riesgo de desviación respecto a previsiones iniciales.	0,43							
	Incidencia de condiciones orográficas	45,00	0,21	0,43	0,090											
	Incidencia de la conflictividad laboral en la subcontratación	80,00	1,00	0,43	0,430											
Coste inicial de construcción	0,70	0,88	0,43	0,378	0,54					0,75	Coste de Construcción	0,41				
Coste de mantenimiento	0,50	0,12	0,43	0,052		Riesgo de desviación	0,21	0,61	0,51		0,3129	ECONÓMICO				
Coste de implementación del "Sistema Integrado de Servicios"	0,15	0,82	0,14	0,115				0,46	0,09		0,0414	MEDIOAMBIENTAL				
Desviación del coste de construcción	10,00	0,82	1,00	0,820	0,82	0,25	Riesgo de desviación	0,21	0,11	0,0346	FUNCIONAL					
MEDIOAMBIENTAL	Material reciclado a utilizar en la estructura	0,50	0,67	1,00	0,670	0,67	0,33	Cap. Introducir Mat. Rec.	0,22	0,43	0,43	0,08	0,0346	FUNCIONAL		
	Cantidad de energía consumida	23000,00	0,01	0,25	0,003			Consumos							0,13	
	Materias primas utilizadas	9933,00	0,67	0,50	0,335	0,39	0,33		Emisiones							0,11
	Agua utilizada	547000,00	0,22	0,25	0,055	0,33	0,33		Emisiones							0,11
Cantidad de CO2	630,00	0,38	1,00	0,380	0,33	0,33	Emisiones	0,11	0,43	0,43	0,08	0,0346	FUNCIONAL			
FUNCIONAL	Facilidad de adaptar la estructura en galerías de servicios	45,00	0,48	0,33	0,158	0,43	1,00	Valor añadido	0,43	0,43	0,08	0,0346	FUNCIONAL	0,568		
	Adaptabilidad de la estructura para colocar elementos prefabricados	30,00	0,41	0,67	0,275											

Tabla 5.21. Cálculo del índice de valor para la alternativa "B"

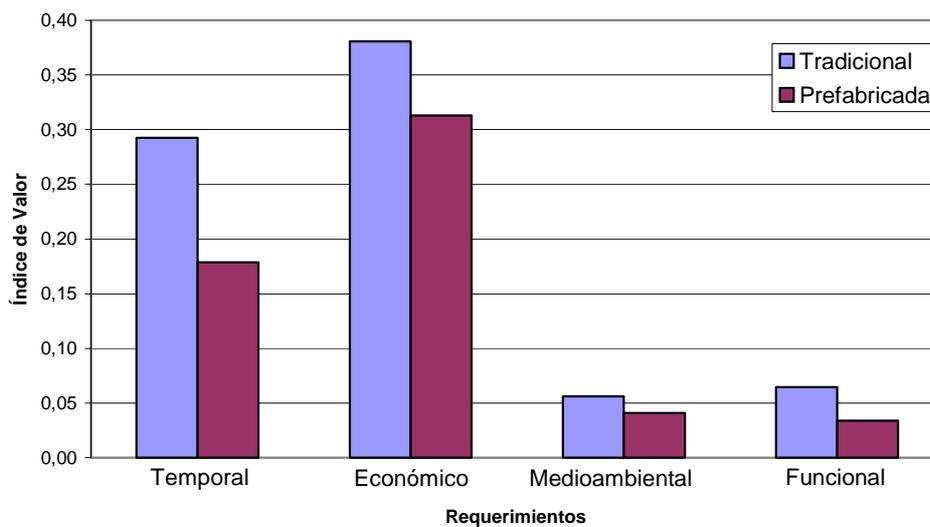
En lo que respecta a las diferencias de índice de valor entre las alternativas, en el requerimiento temporal la alternativa "A" resultó con un valor de 0.292 contra 0.178 de la alternativa "B", lo cual refleja que la solución prefabricada tiene un plazo más rápido para la puesta en marcha de la obra.

En el requerimiento económico, la alternativa "A" fue ligeramente mejor con un 0.38 contra un 0.31 de la alternativa "B". En los otros dos requerimientos se observa que para el medioambiental, la alternativa "A" presenta una ligera ventaja (o es mejor) respecto a la "B" (0,056 contra 0,041), esto debido a un posible mayor control de fabricación de los elementos de la carretera que a la construcción en situ (tradicional). En cambio, para el requerimiento funcional existe una marcada diferencia en el índice de valor de 0.064 a 0.034, lo cual se pudiera traducir en que la alternativa "B" supone una mayor dificultad para integrar las nuevas funcionalidades a la estructura.

En definitiva, la alternativa con mayor índice de valor es la alternativa "A" con 0.794 contra un 0.568 de la alternativa "B". Si bien, estos valores se han obtenido bajo ciertas condiciones de contorno, pudieran variar en base a distintos aspectos como experiencia del decisor (especialistas), momento de la evaluación, etc. Para ello, se podría profundizar mediante un análisis de sensibilidad para trabajos posteriores.

En este caso no se han tenido en cuenta factores como tipos de maquinaria empleados o tecnología requerida en equipos (temporales), costes administrativos (económicos), seguridad, impactos sociales, etc. No obstante, si no han sido claramente identificados en el árbol de requerimientos, estos se encuentran inherentemente concebidos en los criterios planteados a lo largo de esta tesis doctoral.

Finalmente en la figura 5.1 se muestra cada una de las alternativas desglosadas en cada uno de los requerimientos planteados y evaluados. Como se puede observar el plano económico resultó con mayor índice de valor que los restantes. En el requerimiento temporal se refleja una importante diferencia entre ambas alternativas, siendo mejor la solución prefabricada (A). No obstante en los requerimientos medioambientales y funcionales la diferencia de índices de valor no es significativa en función al estudio desarrollado.



**Figura 5.1.** Índices de valor por cada requerimiento

Finalmente, es necesario señalar que con éste capítulo no se pretende discutir las respuestas de los indicadores, pesos u otro dato que estuviera representado en el estudio, sino el objetivo fundamental como se expuso en el capítulo 1 de la presente tesis, es aplicar una metodología basada en análisis de valor con un rigor carácter integral, aportando una nueva configuración de evaluación en el sistema viario español.

## Capítulo 6

# Jerarquización y evaluación de departamentos universitarios

### 6.1. ANTECEDENTES

En los capítulos anteriores se ha obtenido la valoración de dos soluciones en el ámbito de las carreteras, aportando con ello una nueva configuración para evaluar las carreteras. En ese sentido, tal y como se expuso al inicio de esta tesis doctoral, uno de los objetivos principales era verificar la versatilidad de la herramienta metodológica en otros ámbitos. En consecuencia de ello, el **objetivo** de este capítulo es aplicar la misma metodología, para una evaluación institucional, enfocada específicamente a departamentos universitarios.

Cabe señalar que, para este estudio se ha considerado el caso una universidad politécnica y, la construcción de las funciones de valor han sido adaptadas a sus necesidades y condiciones. En ese sentido, es necesario recalcar que puede haber diferencias en otros ámbitos, según el perfil de la universidad (humanidades, ciencias sociales, etc.), por ejemplo, para una escuela Politécnica puede ser satisfactorio tener 6 artículos en revistas indexadas por sexenio, sin embargo en otros escenarios este dato pudiera ser bajo o no representativo.

En definitiva, el caso desarrollado se ha enfocado en evaluar los departamentos de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Es necesario mencionar que la UPC sigue las directrices del modelo de financiación de las universidades públicas y del Plan de Gobierno de la UPC en evaluación de departamentos o centros, el cual se centra fundamentalmente en 10 objetivos y 32 indicadores<sup>21</sup>, los cuales son valorados de forma anual para determinar la subvención de cada departamento.

## 6.2. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN

La evaluación de diversos aspectos se hace usualmente en las universidades, algunas veces con objetivos organizados y definitivos, otras en forma esporádica y con juicios u opiniones aisladas (Stufflebeam, 2000; Caballero, 2000; Schaefer et al, 2008). Por ejemplo, los profesores evalúan constantemente a sus estudiantes, los estudiantes a sus profesores y ciertos grupos externos evalúan las diversas partes que conforman la propia universidad (Trinidad et al, 2003; Buela-Casal, 2007; Moskal et al, 2008). Es decir, se vive en un mundo de constante evaluación, y la importancia de mejorar sus procesos es un tema que debe ser estudiado.

La literatura estudiada ha mostrado las principales actividades de evaluación, las cuales se enfocan en la medición de resultados en cantidad y calidad de las actividades que integran la universidad, como son por ejemplo: la docencia, la investigación (y su difusión) o compromisos con el sistema universitario. En ese sentido, algunas metodologías de evaluación incorporan aspectos que permiten medir cuantitativamente la universidad, como por ejemplo son las tesis dirigidas, especializaciones, publicaciones, participación en conferencias, opiniones de colegas, así como trabajos de investigación, etc. (Picallo, 2002; Satorrás, 2003; Villar, 2004; Park & Lohr, 2006). Sin embargo, prevalece una atmósfera de que el sistema de evaluación no es el ideal (Neave, 2001).

Además de ello, otra situación que ocurre con frecuencia es que estas evaluaciones están planteadas de forma disgregada, esto es, cada una de ellas evalúa diferentes aspectos por separado: docencia, investigación, etc. Hoy en día, por ejemplo se enfatiza a nivel universitario en el desarrollo de investigación con el pleno objetivo de incidir en este tema. Sin embargo, el esfuerzo para conseguir esa meta, va en detrimento de otras. Es decir, estos planteamientos conducen a unidades (centros o departamentos) poco equilibrados donde se incide principalmente en la investigación frente a la docencia (o viceversa), en detrimento de una de las actividades fundamentales del mismo.

---

<sup>21</sup> <http://www.upc.edu/catala/la-upc/planificacio/planificacio.htm>

La evaluación de las instituciones educativas tiene tradición en Europa, países como la Gran Bretaña (Informe Report, 1990) y Holanda (Dochy et al, 1990), incluso se ha desarrollado un modelo europeo de evaluación<sup>22</sup>, que tiene como objetivo principal buscar puntos comunes en los procesos de evaluación para las diversas universidades del continente. Este modelo presenta una serie de factores imprescindibles para el análisis de las instituciones universitarias, donde destaca la independencia o autonomía de los procedimientos: la auto evaluación, la evaluación externa y la publicación de informes.

En España, es a principios de los noventa cuando los trabajos de evaluación tienen un importante impulso. Las investigaciones se dividieron en tres grandes sectores (Trinidad et al, 2002):

- 1) Evaluación del profesorado;
- 2) Evaluación del alumnado, y
- 3) Evaluación de la organización y funcionamiento de las instituciones universitarias.

Respecto a la evaluación del profesorado universitario se hace hincapié en realizar una propuesta de evaluación que pueda ser aplicable a todo el profesorado, proponiendo un amplio conjunto de indicadores para medir la calidad docente (Tejedor y Montero, 1990; De Miguel, 1991; Etxegaray y Sanz, 1991).

Por lo que respecta a los estudios centrados en el alumnado, las propuestas de evaluación iban encaminadas a medir la calidad en el aprendizaje y cómo ésta quedaba reflejada en el rendimiento académico. La actitud de los estudiantes, referida a la influencia que ésta ejerce sobre su comportamiento, fue también un aspecto recurrente en muchos de estos trabajos. Como ejemplos se destacan las publicaciones de Hernández Pina (1996) por su defensa del enfoque cualitativo en la evaluación como método para conocer mejor las reflexiones de este colectivo universitario.

El tercer tipo de estudios presenta experiencias en evaluación referidas a la organización y al funcionamiento de centros universitarios. El alcance de estas experiencias afectaba desde los aspectos puramente organizativos hasta los apoyos a la docencia, pasando por el clima organizativo de las facultades y departamentos. Los trabajos se centran en los planes y programas de estudio, en los centros, en el

---

<sup>22</sup> Proyecto Piloto Europeo para la Evaluación de la Calidad en la Enseñanza Superior, 1994

funcionamiento de las bibliotecas o en la evaluación de las prácticas de una determinada asignatura.

En este sentido, estudios pioneros fueron los realizados por Jiménez González (1990), Marín Ibáñez (1991) y Pérez Juste (1991). Álvarez Lires centró su trabajo en la evaluación de los planes de estudio, línea de investigación bastante fructífera en cuanto a producción científica (Osorio, 1995) Por otro lado, Trinidad (1995, 2001) aplicó un enfoque holístico donde intervenían todos los actores de la institución universitaria.

En la actualidad en España existe la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA)<sup>23</sup> creada en el año de 2002 que tiene como objetivo contribuir a la mejora de la calidad del Sistema de educación superior, mediante evaluación, certificación y acreditación de enseñanzas, profesorado e instituciones.

La ANECA tiene como funciones principales: potenciar la mejora de la actividad docente, investigadora y de gestión de las universidades, contribuir a la medición del rendimiento de la Educación Superior conforme a procedimientos objetivos y procesos transparentes, proporcionar a las Administraciones Públicas información adecuada para la toma de decisiones e informar a la sociedad sobre el cumplimiento de objetivos en las actividades de las universidades.

Todas estas experiencias deben conducir a la introducción de prácticas en evaluación en los modelos de gestión universitaria, es decir, se debe avanzar hacia un modelo integrado de evaluación donde se ofrezca información relevante para ayudar a que las tomas de decisiones sean más transparentes, coherentes, racionales y eficaces.

### **6.3. LOS MODELOS MULTICRITERIO EN LA EVALUACIÓN UNIVERSITARIA**

Cualquier decisión involucra la posibilidad de elegir entre varias opciones, lo cual significa necesariamente una comparación de los atributos que las distinguen. Con ello, un modelo multicriterio es la formalización matemática de este proceso de elección.

Como se señaló en el capítulo 2 de la presente tesis doctoral, en un modelo multicriterio se pueden considerar criterios de decisión de diferente índole, desde los factores intangibles como los valores, los principios y las suposiciones-- hasta los datos tangibles como los costos, especificaciones técnicas, las restricciones financieras o ambientales, las capacidades de la planta productiva, o las características del mercado.

---

<sup>23</sup> [www.aneca.es](http://www.aneca.es)

De esta forma, un modelo multicriterio permite examinar con detalle todos los elementos de un problema, lo que hace posible discernir la solución que mejor satisface una meta de manera rigurosa.

Por otro lado, en el capítulo 3, se definieron las particularidades que Saaty (1980) propone en su teoría matemática de ponderación. Definiéndolo, como una aproximación al tema de decisiones, basado en la innata habilidad del ser humano de tomar decisiones firmes para pequeños problemas. Características deseables de esta aproximación según Grandzol (2005) son: simplicidad, utilizable de forma individual o por grupos, adaptable a la intuición, comprometida, con una estructura de consenso y sin perjuicio hacía planteamientos más complejos o conocimientos más profundos.

El número de las potenciales aplicaciones de AHP en el ámbito de la educación es numeroso, abarcando distintos aspectos tales como: financiación de la investigación, decisión sobre años sabático, sistemas de admisión de estudiantes, becas, premios, evaluación de candidatos (Liberatore y Nydick, 1997). También se ha aplicado con éxitos en otros campos de soporte o estratégicos de las universidades: evaluación de facultades (Tummala and Sánchez, 1988), planificación estratégica universidades (Saaty and Rogers, 1976), financiación universidades (Arbel, 1983), y diseño de currículo docentes (Hope and Sharpe, 1989), evaluación facultades teniendo en cuenta la importancia de la formación, las contribuciones intelectuales y el servicio dado por las mismas (Ehie & Karathanos, 1994), evaluación programas de doctorado en aras a buscar el más adecuado para el tipo de institución (Tadisina & Bhasin, 1989).

En España también se encuentran muestras en este ámbito. Como la evaluación de necesidades docentes de departamentos universitarios (Caballero et al., 2001), ó la evaluación de la actividad investigadora (Castrodeza y Peña, 2002). Sin embargo, la revisión de la literatura técnica muestra pocas aplicaciones en el tema de ordenación y jerarquización de departamentos universitarios (Grandzol, 2005), siendo este capítulo de gran ayuda, tal y como se pretende demostrar con este estudio.

## **6.4. JERARQUIZACIÓN Y EVALUACIÓN DEPARTAMENTOS UNIVERSITARIOS**

### **6.4.1. Límites del sistema**

Para este caso, se sigue el mismo planteamiento adoptado en la evaluación de la carretera del capítulo 5. La decisión a tomar y desarrollar en este capítulo es la ordenación jerárquica de departamentos aplicada a la Universidad Politécnica de

Cataluña. Cabe señalar que por temas de confidencialidad se refiere a los departamentos por un número, definido de forma aleatoria y no por su denominación real.

Para conformar los límites del sistema, en el eje temporal del modelo MIVES [Aguado et al. (2007) y Rojí et al (2007)], se ha considerado un tiempo de 3 años hacia atrás a partir de que se realiza la evaluación, con el objetivo de intentar reducir sesgos en los resultados de un año respecto a otro. Dicho período, de 3 años, parece conveniente mantenerlo al considerar que la duración media de un proyecto de investigación en régimen competitivo, gira entorno a este plazo de trabajo.

Con respecto a los componentes del sistema se tiene al personal docente e investigador (PDI), a alumnos y al personal administrativo y de servicios (PAS).

#### **6.4.2. Árbol de decisión**

En la tabla 6.1 se muestra el árbol de decisión desplegado en tres niveles: requerimientos, criterios e indicadores. El nivel de requerimientos y criterios ha organizado la decisión, mientras que en el nivel de indicadores organiza y cuantifica la valoración mediante funciones de valor.

El despliegue del árbol conduce a 19 indicadores y se ha prestado especial atención en que el número de indicadores no sea excesivo en cada grupo homogéneo (rama del árbol), entendiendo que una cifra de 4 indicadores, como máximo, en cada grupo es una cifra aceptable en cuanto a la manejabilidad. Un número más elevado de indicadores, no aporta mayor precisión, sino que aporta mayor trabajo y mayor riesgo en cuanto a la fiabilidad (pérdida de concentración, etc.) y dilución del peso de los indicadores principales.

REQUERIMIENTO	CRITERIO	INDICADOR
Investigación [R1]	Proyectos competitivos públicos [C1R1]	Proyectos de investigación con financiación pública / PDI [I1C1R1]
		Importe de proyectos con financiación pública / PDI [I2C1R1]
	Proyectos con fondos privados [C2R1]	Proyectos de investigación con financiación privada / PDI [I1C2R1]
		Importe de proyectos con financiación privada / PDI [I2C2R1]
	Publicaciones y patentes [C3R1]	Número de artículos publicados en revistas indexadas + patentes registradas / PDI [I1C3R1]
	Docencia [R2]	Grado [C1R2]
Número profesores del departamento que pasan de nota media / número total de profesores [I2C1R2]		
Postgrado [C2R2]		Programas de especialización organizados por departamento o fundación UPC / PDI [I1C2R2]
Doctorado [C3R2]		Media de las tesis leídas / media del número de alumnos que han entrado en el programa [I1C3R2]
		Doctores de la unidad que imparten doctorado en programas de calidad / total profesores doctores de la unidad [I2C3R2]
		Indicadores de entorno. Percepción externa [I3C3R2]
Compromiso con el sistema [R3]	Exterior UPC [C1R3]	Participación departamento en agencias nacionales o autonómicas de evaluación / PDI [I1C1R3]
	UPC [C2R3]	Cargos reconocidos pertenecientes a órganos de Gobierno de la Universidad / PDI [I1C2R3]
		Cargos reconocidos en el centro de asignación / PDI [I2C2R3]
Compromisos externos (Extensión universitaria) [R4]	Secundaria [C1R4]	Plan de actuación en Plan Estratégico: Lista de chequeo [I1C1R4]
	Profesional [C2R4]	Cargos corporaciones profesionales / PDI [I1C2R4]
		Premios y reconocimientos ámbito profesional / PDI [I2C2R4]
	Sociedad [C3R4]	Cargos corporaciones públicas (externas UPC) / PDI [I1C3R4]
		Publicaciones con firma UPC en medios de comunicación diarios o semanales / PDI [I2C3R4]

Tabla 6.1. Árbol de decisiones para el caso universitario

Es conocido que los profesores de una universidad se dedican a la docencia y a la investigación, sin embargo, la fracción de tiempo que un profesor dedica a exponer los resultados de su investigación representa una pequeña parte del tiempo total de la

enseñanza. En esas condiciones, la actividad de investigación tiene una influencia muy importante sobre el contenido de la labor docente y se hace imperante introducirla al estudio. Desde este punto de vista, se hace un planteamiento con dos criterios de entrada: proyectos de investigación tanto públicos como privados y uno de salida, reflejado por el número de artículos en revistas indexadas y patentes.

Los indicadores propuestos han sido evaluados en unidades relativas con el fin de evitar el beneficio de departamentos grandes y de baja productividad, retribuyendo entonces, a los departamentos por su productividad y no por su número absoluto (por ej. proyectos privados/PDI, tesis dirigidas/media alumnos doctorado, etc.).

Por otro lado, el quehacer de cualquier institución de enseñanza superior gira entorno a la docencia, por lo que se hace necesaria su inclusión en el árbol de requerimientos. Desde el punto de vista docente se considera tratar los tres niveles educativos: grado, posgrado y doctorado con el propósito de identificar la productividad en las distintas categorías.

Para el requerimiento de docencia, se han introducido aspectos que valoren la productividad del profesor con la universidad (preocupación de la mejora docente, programas de especialización/PDI, etc.) así como la productividad del alumnado (media de tesis leídas/alumnos matriculados, publicaciones/año, etc.). Además de medir la percepción que se tiene de la sociedad mediante indicadores de entorno.

Otro aspecto que ha parecido prudente introducirlo es el “compromiso con el sistema” con la finalidad de medir la participación del personal en distintos organismos locales, autonómicos, u órganos de gobierno, que pudieran traducirse en ventajas a la universidad tales como: gestión directa de apoyos económicos, difusión universitaria, vinculaciones laborales del alumnado, etc., ya sea fuera de la UPC o internamente.

Finalmente, se ha considerado el requerimiento “compromiso externo”, con el objetivo de percibir la participación del personal fuera del entorno universitario. En este nivel se consideran los reconocimientos obtenidos y la difusión de resultados que aportan un gran valor añadido de calidad ante la sociedad.

Para ello, se ha considerado adoptar dos criterios en el ámbito profesional y en la sociedad, con el objetivo de medir la participación del profesorado en cargos de Gobierno, premios y reconocimientos, publicaciones en periódicos, jornales, foros, etc.

Con objetivo de hacer trazable el árbol, se desarrolla a lo largo de este capítulo, los elementos que intervienen en la valoración de cada uno de los indicadores, encontrándose al final del mismo el resultado global de cada departamento.

## **6.5. FUNCIONES DE VALOR**

Como ya se ha mencionado, la ventaja de este planteamiento es su compatibilidad con otros ámbitos y decisiones, haciendo participar a numerosos técnicos y con una base de rigor asumible. De la misma forma, se hace una revisión de cada elemento de dicho árbol, justificándose la función de valor adoptada para cada indicador.

Cada función de valor se ha trazado de tal forma que pretenda mantener un equilibrio de cada actividad asociada al departamento (proyectos de investigación, tesis dirigidas, cargos en corporaciones, etc.), evitando excesos que se podrían dar en ciertos entornos muy solicitantes y, consecuentemente una poca implicación real en los proyectos.

Asimismo, las funciones de valor se han planteado de tal forma, que los departamentos puedan valorarse mediante valores relativos, por ej. Proyectos de investigación con financiación pública / PDI, media de tesis leídas en el departamento / número de doctorandos, etc.

En ese sentido, se han obtenido los valores medios<sup>24</sup> de las variables para asignar los valores en relativos en cada una de las funciones de valor. Con ello, cada indicador (según corresponda) debe dividirse por la media de personal docente e investigador que es 40.

---

<sup>24</sup> Fuente: Dades estadístiques i de gestió. Universitat Politècnica de Catalunya

### 6.5.1. Proyectos de investigación con financiación pública / PDI [1C1R1]

#### Objetivo

Valorar la implicación del departamento (a través de sus profesores e investigadores) en proyectos de investigación con financiación pública en convocatorias abiertas de régimen competitivo. Estos proyectos pueden ser de financiación europea (e), nacional (n), autonómico (a) o local o de la propia universidad (l), matizándose la implicación en los mismos, la cual puede ser de líderes del proyecto (principal), o bien actuar como subcontratados en proyecto coordinados (secundarios). Tal como se ha dicho, el periodo de análisis de la actividad es de los tres últimos años.

#### Forma de valorar

El total de puntos de cada departamento se obtiene mediante la suma de los puntos de cada proyecto tipo ( $P_t$ ) por el número de proyectos de cada uno de los tipos (ver ecuación 6.1)

$$P_T = \sum_{i=1}^n (n_{ti} * p_{ti}) = \sum_{i=1}^n (n_{ei} \times p_{ei}) + \sum_{i=1}^n (n_{ni} \times p_{ni}) + \sum_{i=1}^n (n_{ai} \times p_{ai}) + \sum_{i=1}^n (n_{ui} \times p_{ui}) \quad (6.1)$$

donde:  $P_T$  = Puntos totales del departamento

$n_{ti}$  = Número de proyectos de cada tipo

$p_{ti}$  = Puntos de cada proyecto según tipo e implicación

Los puntos en función del tipo de proyecto y grado de implicación se muestran en la tabla 6.2. La diferencia de puntuación de los proyectos (de 1 a 9) refleja la percepción de los investigadores sobre: la importancia y/o grado de dificultad de obtener uno u otro tipo de proyecto, la diferente cuantía económica que suelen implicar, la distinta valoración en sistemas de evaluación (oposiciones, etc.).

Tipo de proyecto	Principal	Secundario
Europeo (fondos UE, CECA...)	9	4.5
Nacional (MEC, MF, PROFIT...)	6	3
Autonómico	3	1.5
Universidades	1	0.50

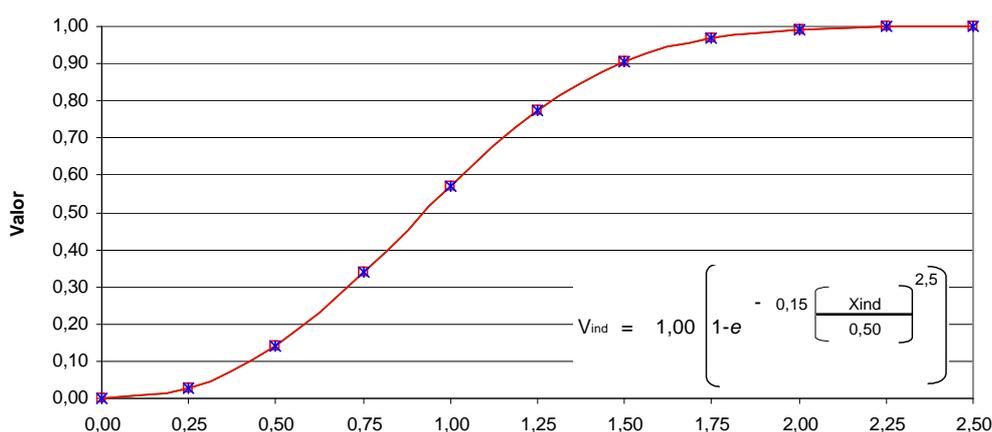
**Tabla 6.2.** Puntos por tipo de proyecto e implicación

Por otro lado, no se ha puesto una escala más diferenciada, para atender por un lado, a no cambiar de orden de magnitud y mantener la filosofía implícita en la comparación por pares dada por Saaty y presentada con anterioridad en el apartado 3.3.1. Asimismo, en un escenario de que hubiese un proyecto de cada tipo, la puntuación del de menor rango (local o propia universidad), representaría un 5,26 % sobre la puntuación total, ligeramente por encima del 5% que se entiende como porcentaje mínimo de representación.

Hay que tener presente que en la asignación de puntos por proyecto no se incluyen aspectos tales como: número de investigadores por proyecto, efectos tractoros de los proyectos, etc, Estas matizaciones, si bien son posibles, en esta versión de factores principales se ha creído conveniente no considerarlos.

#### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.1) es creciente. Con ello, se propone un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no desarrollen proyectos de investigación con recursos públicos y, consecuentemente los valores cercanos a ese orden, la satisfacción es mínima. Por otro lado, se ha propuesto para el valor máximo 100 puntos, los cuales se han de dividir por la media de profesores. Con ello, el valor máximo se tiene  $100/40 = 2.5$ . Traduciéndose en una producción importante para el departamento en el período de un trienio (por ej. 8 proyectos europeos, 4 nacionales, 3 autonómico y uno en universidad).



**Figura 6.1.** Puntos de proyectos de investigación con financiación pública / PDI

Asimismo, el punto de inflexión se ha planteado en 20 puntos ( $20/40=0.50$ ), reflejando una baja productividad durante ese trienio (por ej. 1 proyecto europeo, 2

nacionales y uno de la universidad). Se propone además, que para valores mayores a los 70 ( $70/40=1.75$ ) puntos, el incremento de satisfacción es mínimo, ya que a partir de dicho punto, se ha cumplido con la satisfacción de producción del departamento.

### 6.5.2. Importe de proyectos con financiación pública / PDI [I2C1R1]

#### Objetivo

Valorar el importe derivado de los proyectos de investigación realizados en el departamento (a través de sus profesores e investigadores) con financiación pública. Para este tipo de proyectos se ha planteado puntuaciones para distintos intervalos, tales como: pequeños (de 20 a 40 mil euros), intermedios (40 a 200), grandes (200 a 500) y significativos (>500).

#### Forma de valorar

El total de puntos de cada departamento se obtiene (ver ecuación 6.2) mediante la suma de los puntos de cada tipo de proyecto según su importe ( $P_t$ ) por el número de proyectos de cada tipo de importe

$$P_T = \sum_{i=1}^n (n_{ti} * p_{ti}) = \sum_{i=1}^n (n_{pi} * p_{pi}) + \sum_{i=1}^n (n_{ii} * p_{ii}) + \sum_{i=1}^n (n_{gi} * p_{gi}) + \sum_{i=1}^n (n_{si} * p_{si}) \quad (6.2)$$

donde:  $P_T$  = Puntos totales del departamento

$n_{ti}$  = Número de proyectos para cada tipo de importe

$P_{ti}$  = Puntos de cada proyecto según importe

Los puntos en función del importe de cada proyecto se muestran en la tabla 6.3. La diferencia de puntuación (de 9 a 1) refleja la percepción de los investigadores sobre la importancia de desarrollar proyectos de diferente magnitud económica. Entendiendo, que tiene un grado diferente de importancia un proyecto de medio millón de euros a uno que es menor a los 40,000 Euros.

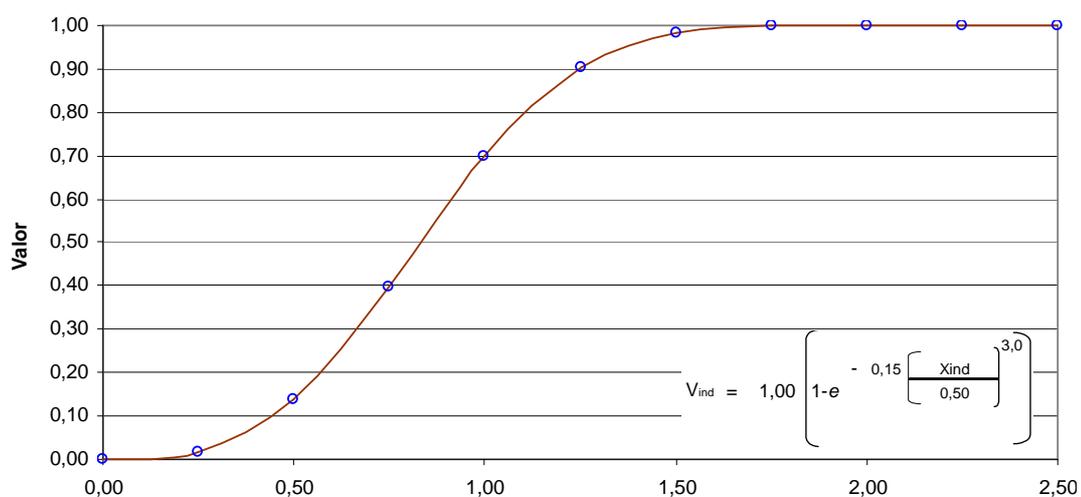
Importe en €	Puntos
20,000 - 40,000	1
40,000 - 200,000	3
200,000 - 500,000	6
> 500,000	9

**Tabla 6.3.** Puntos por importe de proyecto

Como se comento en el indicador anterior, la escala de puntuación se ha puesto para no cambiar de orden de magnitud y mantener la filosofía implícita en la comparación por Saaty, representada con anterioridad. Además de ello, hay que tener presente que en la asignación de puntos no se ha tenido en cuenta aspectos tales como: número de investigadores implicados por proyecto, subcontratos durante el desarrollo del proyecto, otras subvenciones, etc.

Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.2) es creciente. Con ello, se propone un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no registran proyectos de investigación con recursos públicos y, consecuentemente los valores cercanos a ese orden, la satisfacción es mínima. Asimismo, se ha propuesto para el valor máximo 100 puntos, los cuales se dividen por la media de profesores (100/40=2.5), con lo cual se pudiera traducir en un importe muy importante para el departamento en el período de un trienio (por ejemplo 5 proyectos de > 500 mil euros, 4 de 350 mil, 4 de 100 y 10 en universidad).



**Figura 6.2.** Puntuación del Importe de proyectos de investigación financiación pública / PDI

Asimismo, el punto de inflexión se ha planteado en 20 ( $20/40=0.50$ ) puntos, con lo cual se pretende reflejar una baja facturación del departamento durante ese trienio (por ejemplo 5 proyectos de 100 mil, y 5 proyectos de 40 mil). En cambio, se propone que para valores mayores a los 70 ( $70/40=1.75$ ) puntos, el incremento de satisfacción es mínimo, ya que a partir de dicho punto, se ha cumplido con la satisfacción de producción del departamento.

### 6.5.3. Proyectos de investigación con financiación privada / PDI [I1C2R1]

#### Objetivo

Valorar la implicación del departamento (a través de sus profesores e investigadores) en proyectos de investigación con financiación privada en convocatorias abiertas. Estos proyectos pueden estar asociados a distintos tipos de contratos como cátedras de empresa (e), aulas de empresa (a), proyectos de investigación (p), convenios (c) y servicios (s), matizándose la implicación en los mismos, la cual puede ser de líderes del proyecto (principal), o bien actuar como subcontratados en proyecto coordinados (secundarios). Tal como se ha dicho, el periodo de análisis de la actividad es de los tres últimos años.

#### Forma de valorar

El total de puntos de cada departamento resulta (ver ecuación 6.3) de sumar los puntos de cada proyecto ( $P_i$ ) en función del tipo de contrato y de su implicación, por el número de proyectos de cada tipo.

$$P_T = \sum_{i=1}^n (n_{ti} * p_{ti}) = \sum_{i=1}^n (n_{ei} * p_{ei}) + \sum_{i=1}^n (n_{ai} * p_{ai}) + \sum_{i=1}^n (n_{pi} * p_{pi}) + \sum_{i=1}^n (n_{ci} * p_{ci}) + \sum_{i=1}^n (n_{si} * p_{si}) \quad (6.3)$$

donde:  $P_T$  = Puntos totales del departamento

$n_{ti}$  = Número de proyectos según tipo de contrato

$P_{ti}$  = Puntos de cada proyecto según contrato

Los puntos en función del tipo de contrato se muestran en la tabla 6.4. La diferencia de puntuación en el tipo de contrato (de 24 a 3) refleja la percepción del personal docente e investigador sobre la importancia o grado de dificultad que estos tipos de contrato suelen implicar. Asimismo, se ha matizado en la puntuación, si el personal

implicado es el directamente responsable o líder del proyecto (principal), asistente o si es un proyecto coordinado (secundario).

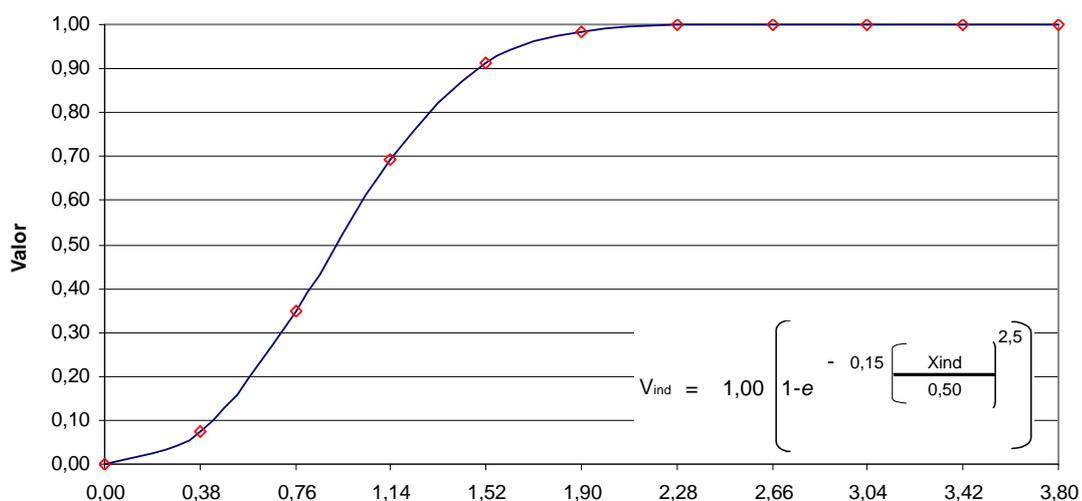
Tipo de contrato	Principal	Secundario	Máximo actividad	Máximo grupo
Cátedra de empresa	24	12	36	50
Aula de empresa	18	9	24	
Proyecto de investigación	9	4.5	50	100
Convenio	6	3	40	
Servicio	3	1.5	30	

**Tabla 6.4.** Puntos por tipo de contrato

El valor máximo de puntos es variable en función del tipo de contrato, tal como se indica en la tabla 6.4, superado este valor máximo se mantendrá el correspondiente valor máximo. Se hacen dos grupos, limitando el máximo de puntos por grupo, 50 en el caso de cátedras de empresa y aulas y, 100 en el resto de contratos. Con ello, se intenta limitar excesos que se podrían dar en ciertos entornos formalmente muy relacionados y, que consecuentemente, no haya mucha implicación en su tipo de actividades fundamentales.

Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.3) es creciente. Con ello, se propone un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no desarrollan proyectos de investigación con recursos privados.



**Figura 6.3.** Puntuación de proyectos de investigación con financiación privada / PDI

Por otro lado, se ha propuesto 150 puntos para el valor máximo, los cuales se dividen por la media de profesores ( $150/40=3.80$ ), con lo cual se pudiera traducir en una producción importante para el departamento en el período de un trienio, que se podría ejemplificar en 1 cátedras, 4 proyectos de investigación, 8 convenios y 16 servicios.

Asimismo, el punto de inflexión se ha planteado en 20 puntos ( $20/40=0.50$ ), con lo cual, se puede reflejar una baja productividad durante ese trienio, por ejemplo una sola aula de empresa o un proyecto de investigación y 2 convenios. Con ello, se puede identificar al departamento con poca participación del personal para este tipo de contratos.

En cambio, se propone que para valores mayores a los 90 puntos ( $90/40=2.3$ ), el incremento de satisfacción es poca. Esto se plantea de tal forma que, al registrar una cierta cantidad de proyectos la satisfacción para el departamento esta cumplida.

#### 6.5.4. Importe de proyectos con financiación privada / PDI [\[I2C2R1\]](#)

##### Objetivo

Valorar el importe derivado de los proyectos de investigación realizados en el departamento (a través de sus profesores e investigadores) con financiación privada. Para este tipo de proyectos se ha planteado puntuaciones para distintos rangos, mínimos (de 20 a 40 mil euros), intermedios (40 a 200), grandes (200 a 500) y significativos (>500).

##### Forma de valorar

El total de puntos de cada departamento se obtiene mediante la suma de los puntos de cada tipo de proyecto según su importe ( $P_i$ ) por el número de proyectos. (Ver ecuación 6.4)

$$P_T = \sum_{i=1}^n (n_{ti} * p_{ti}) = \sum_{i=1}^n (n_{pi} * p_{pi}) + \sum_{i=1}^n (n_{ii} * p_{ii}) + \sum_{i=1}^n (n_{gi} * p_{gi}) + \sum_{i=1}^n (n_{si} * p_{si}) \quad (6.4)$$

donde:  $P_T$  = Puntos totales del departamento

$n_{ti}$  = Número de proyectos por cada tipo de importe

$P_{ti}$  = Puntos de cada proyecto según importe

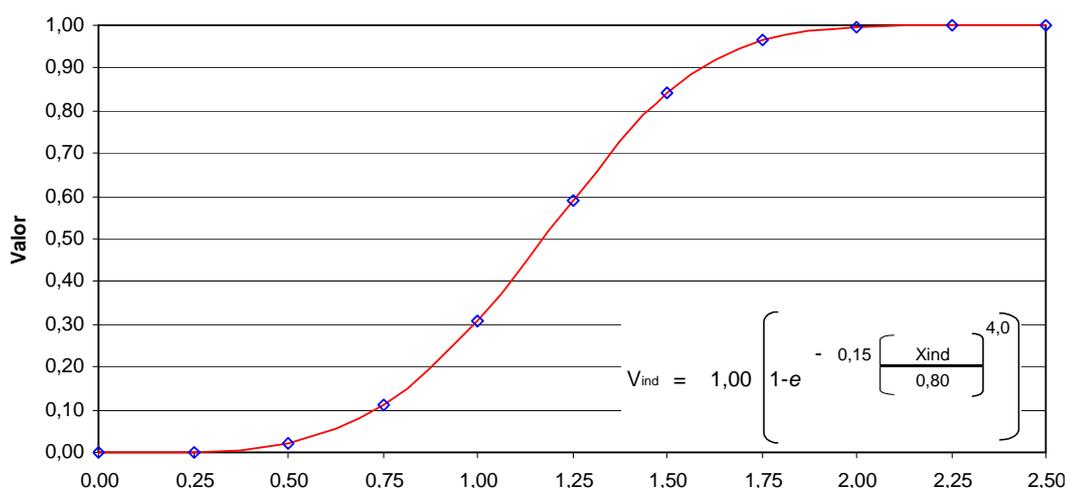
Los puntos en función del importe de cada proyecto se muestran en la tabla 6.3, comentada previamente. La diferencia de puntuación (de 1 a 9) refleja la percepción de los investigadores sobre la importancia de desarrollar proyectos con empresas privadas. Entendiendo, que tiene diferente grado de responsabilidad e importancia, un proyecto de mayor magnitud económica (500,000 de euros) a uno que es menor (por ej. entre 20 y 40 mil euros).

Es necesario señalar que en la asignación de puntos por proyecto no se incluyen aspectos tales como: ámbito de la empresa privada, entorno y experiencia de la universidad en ciertos proyectos, etc. Estas matizaciones, si bien son posibles, en esta iteración no se han considerado.

#### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.4) es creciente. Con ello, se propone un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no desarrollan proyectos de investigación con recursos públicos y en consecuencia su facturación es nula. Los valores cercanos a ese orden, la satisfacción es mínima tal y como se muestra en la figura 6.4.

Por otro lado, se ha propuesto para el valor máximo 100 puntos, los cuales se dividen por la media de profesores ( $100/40=2.5$ ). Con lo cual se pudiera traducir en una producción importante para el departamento en el período de un trienio (por ejemplo 6 proyectos con montos mayores a 500 mil euros, seis entre 200 y 500 mil, dos entre 40 y 200 mil y uno menor a los 40 mil euros).



**Figura 6.4.** Puntuación del Importe de proyectos de investigación financiación privada / PDI

Asimismo, el punto de inflexión se ha planteado en 30 puntos ( $30/40=0.80$ ), permitiendo reflejar una baja productividad durante un trienio (por ejemplo un proyecto con importe entre 200 y 500 mil, 2 proyectos entre 40 - 200 mil euros y 8 proyectos por debajo de los 40 mil euros). En cambio, se propone que para valores mayores a los 70 puntos ( $70/40=1.80$ ), el incremento de satisfacción es mínimo, ya que a partir de dicho punto, se puede entender que se sature la satisfacción de producción del departamento.

#### **6.5.5. Número de artículos publicados en revistas indexadas + patentes registradas / PDI [I1C3R1]**

##### Objetivo

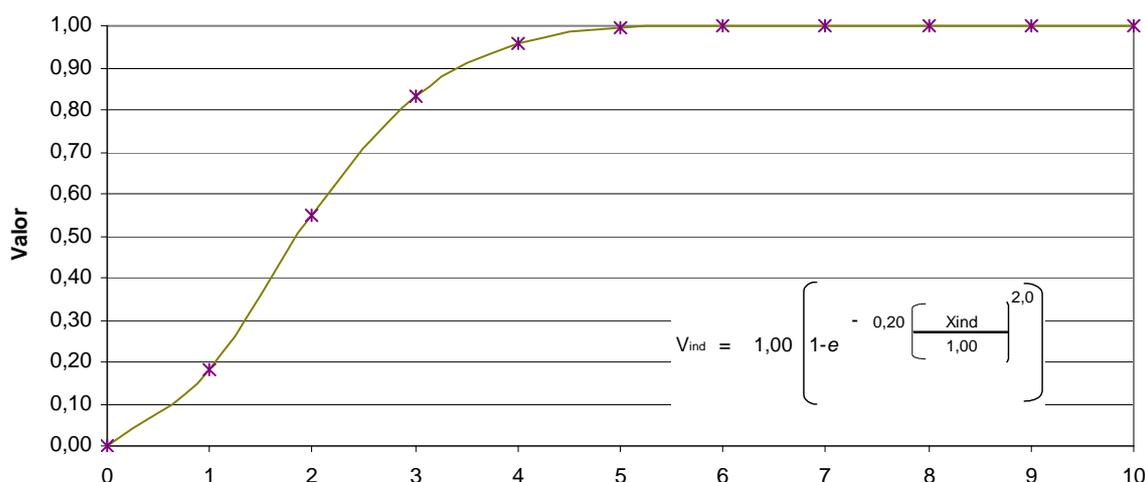
Cuantifica la incidencia de los resultados de investigación a través de artículos en revistas indexadas o patentes, resultados naturales de tesis doctorales con respecto al número de personal docente e investigador del departamento. No se discrimina, en función del tipo de revista indexada, ámbito, número de autores, o si la patente está en explotación o no.

##### Forma de valorar

Este indicador es resultado de dividir la suma de artículos indexados y patentes registradas totales, entre el número total de personal docente e investigador del departamento. Este indicador refleja los resultados provenientes de los proyectos de investigación tanto públicos como privados.

##### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.5) es creciente. Con ello, se propone un valor mínimo en la función de 0 artículos, entendiendo que al tener una nula productividad de publicaciones la satisfacción es igual a cero. En cambio se ha propuesto un valor máximo de 10 artículos y patentes, considerando esta productividad (en un trienio) es mucho mayor que lo exigido.



**Figura 6.5.** Número artículos en revistas indexadas + patentes / PDI

Con respecto al punto de inflexión esta representado por 1 artículo. Esto significa que un investigador tiene que publicar como mínimo 2 artículos por cada sexenio, con lo cual la publicación de un artículo es satisfactoria para la Universidad. Sin embargo, a partir de 5 artículos, el incremento de satisfacción aumenta en menor medida, debido a que ya se ha cumplido con las exigencias de la universidad.

Este planteamiento pretende cubrir los requisitos mínimos de publicación sexenal del personal docente e investigador, evitando que existan excesos, y que consecuentemente, pudiera generar en algún detrimento de otra actividad.

### 6.5.6. Preocupación por la mejora docente [I1C1R2]

#### Objetivo

Valora a través de dos indicadores intercambiables la preocupación de la mejora docente. Se intenta reflejar la productividad del profesor en la universidad mediante distintas actividades que mejoren la calidad de la enseñanza.

Este indicador permite la posibilidad de ser intercambiable en el mismo criterio y puede ser:

- (I1a.C1.R2): Proyectos de innovación dirigidas por el docente concedida por fondos externos / PDI.

- (I1b.C1.R2): Número de publicaciones docentes editadas con ISBN en los tres últimos años / Total de profesores del departamento.

#### 6.5.6.1. Proyectos de innovación concedida por fondos externos / PDI (I1a.C1.R2):

##### Objetivo

Permite valorar (a través de sus profesores) la actitud por la innovación docente mediante una serie de actividades. Estas actividades pueden ser proyectos de innovación con financiación nacional o autonómica (n), con financiación de la universidad (u), del departamento (d), creación de nuevos estudios (c), creación de nuevas asignaturas (a), comunicaciones en congresos (m), actualización en la formación del docente (f), u otros elementos de apreciación subjetiva (s) tales como participación en programas de intercambio, etc. Se ha matizado este indicador según la implicación de participación, la cual puede ser el responsable directo o el asistente o estar como subcontratado en proyecto secundario (secundario).

##### Forma de valorar

El total de puntos de cada departamento se obtiene mediante la suma de los puntos de cada proyecto ( $p_i$ ) en función del tipo de actividad ( $t_i$ ) y la implicación del investigador ( $l_p$ ) (ver ecuación 6.5).

$$P_T = \sum_{i=1}^n (n_{ti} * p_{ti}) = \sum_{i=1}^n (n_{ni} \times p_{ni}) + \sum_{i=1}^n (n_{ui} \times p_{ui}) + \sum_{i=1}^n (n_{di} \times p_{di}) + \sum_{i=1}^n (n_{ci} \times p_{ci}) + \sum_{i=1}^n (n_{ai} \times p_{ai}) + \sum_{i=1}^n (n_{mi} \times p_{mi}) + \sum_{i=1}^n (n_{fi} \times p_{fi}) + \sum_{i=1}^n (n_{si} \times p_{si}) \quad (6.5)$$

donde:  $P_T$  = Puntos totales del departamento

$n_{ti}$  = Número de proyectos para cada tipo de actividad

$P_{ti}$  = Puntos de cada proyecto según tipo e implicación

Los puntos en función del tipo de actividad y de implicación se muestran en la tabla 6.5. La diferencia de puntuación de las actividades (de 10 a 0.50) refleja el grado de importancia que el investigador otorga, así como la dificultad para desarrollar cada una de estas actividades.

Tipo de actividad	Participación		Máximo	Total máximo
	Resp.	Sec.		
Proyectos innovación docente con financiación nacional o autonómica. Convocatoria abierta.	10	5	30	40
Proyectos innovación docente con financiación propia universidad. Convocatoria abierta	8	4	15	
Proyectos innovación docente con financiación departamento o Centro. Convocatoria abierta.	6	3	7.5	
Creación(organización) nuevos estudios	6		15	25
Creación (organización) nuevas asignaturas	4		10	
Comunicaciones en congresos sobre docencia del ámbito temático	0.50 puntos / comunicación		5	
Actualización en la formación para la función docente (cursos, etc.)	0.50 puntos / actividad		5	
Otros elementos por ejemplo, apreciación subjetiva (participación en programas de intercambio de personal docente).	-		2.5	

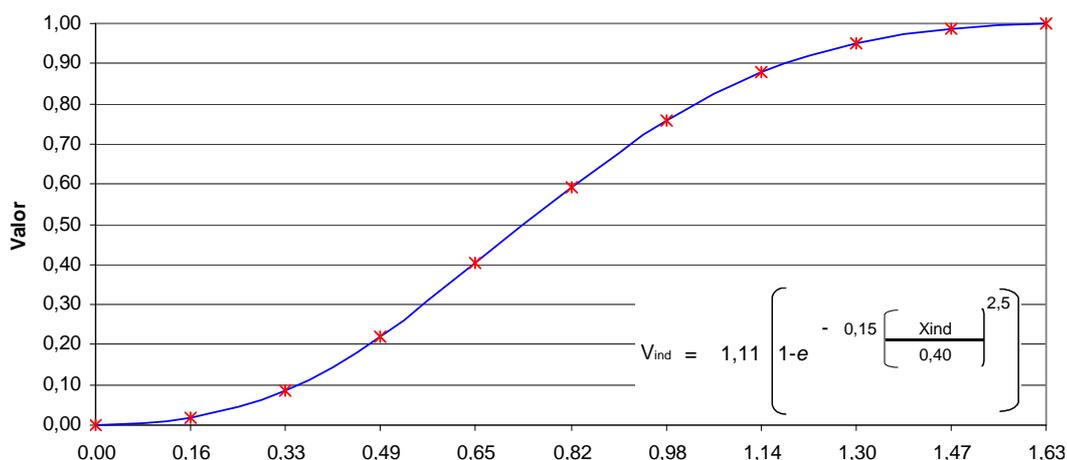
**Tabla 6.5.** Puntos por tipo de actividad y participación

Asimismo, se propone otorgar un valor máximo de puntos para cada actividad, tal como se indica en la tabla 6.5, superado este valor máximo se mantendrá el correspondiente máximo. Se intenta evitar excesos que se podrían dar en algunos ámbitos y, en consecuencia, poca implicación en los proyectos.

No se ha discriminado en aspectos tales como: ámbito de las comunicaciones (nacional, internacional, autonómico), creación de asignaturas en programas con mención de calidad, tipo de actualizaciones del profesorado, etc.

#### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.6) es creciente, proponiéndose un valor mínimo de 0 puntos, para departamentos que no desarrollan, de alguna de las actividades anteriormente mencionadas y, consecuentemente la satisfacción es igual a 0, siendo que los valores cercanos a ese orden, la satisfacción es mínima.



**Figura 6.6.** Proyectos de innovación concedidos por fondos externos

En cambio, como valor máximo se ha otorgado una puntuación de 65, la cual se divide por la media de profesores ( $65/40=1.63$ ), lo que se puede traducir en la valoración máxima de la puntuación posible, superados estos valores, el incremento de satisfacción es muy bajo.

El punto de inflexión está representado por 16 puntos ( $16/40=0.40$ ), el cual representa una productividad muy baja para un período de tiempo de 3 años, (por ejemplo, un proyecto de financiación pública y un proyecto con financiación del departamento) y a partir de este punto, la satisfacción incrementa sustancialmente.

Por otro lado, en la figura se puede ver que, superando la puntuación de 65 (1.63) (expresada en la tabla 6.6), el incremento de la satisfacción es muy poca y el aumento de proyectos de innovación generados a partir de ese punto no es un factor diferencial para el departamento.

### 6.5.6.2. Publicaciones docentes editadas / PDI (I1b.C1.R2)

#### Objetivo

Valorar los resultados de la actividad docente del departamento (a través de sus profesores e investigadores) en libros, apuntes u otro tipo de aspectos que muestren una actitud activa hacia el aprendizaje del alumno. Estos resultados pueden reflejarse en libros con editorial externa a la universidad (e), con editorial interna (i), del departamento (d), monografías (m), apuntes (a), materiales en la red (r) y otros de apreciación subjetiva (s). Se ha matizado la implicación del profesor de cada una de las actividades tal como si es autor o editor.

### Forma de valorar

El total de puntos de cada departamento se obtiene mediante la suma de los puntos de cada tipo de actividad ( $P_i$ ) por el número de proyectos de cada uno tipo (ver ecuación 6.6).

$$P_T = \sum_{i=1}^n (n_{ti} * p_{ti}) = \sum_{i=1}^n (n_{ei} \times p_{ei}) + \sum_{i=1}^n (n_{ii} \times p_{ii}) + \sum_{i=1}^n (n_{di} \times p_{di}) + \sum_{i=1}^n (n_{mi} \times p_{mi}) + \sum_{i=1}^n (n_{ai} \times p_{ai}) + \sum_{i=1}^n (n_{ri} \times p_{ri}) + \sum_{i=1}^n (n_{si} \times p_{si}) \quad (6.6)$$

donde:  $P_T$  = Puntos totales del departamento

$n_{ti}$  = Número de proyectos para cada tipo de actividad

$P_{ti}$  = Puntos de cada proyecto según tipo e implicación

Los puntos en función del tipo de actividad y grado de participación se muestran en la tabla 6.6. La diferencia de puntuación de los proyectos (de 10 a 1.5) refleja la percepción de los investigadores sobre la importancia y el grado de dificultad para llevar a cabo una de las actividades, matizando en el tipo de editorial.

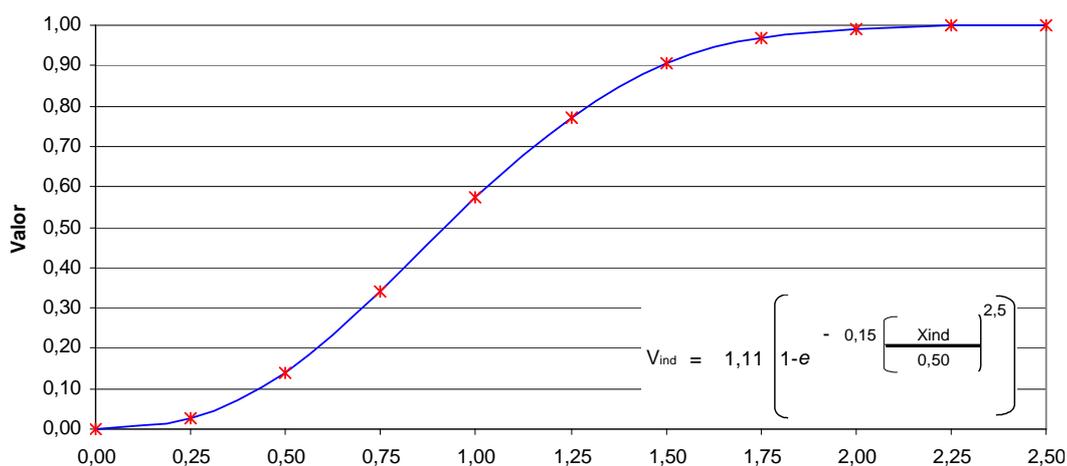
Tipo de actividad	Participación		Máximo	Total máximo
	Autor	Editor		
Libro con ISBN editorial externa universidad	10	4	40	70
Libro con ISBN editorial interna universidad	8	2	30	
Libro con ISBN editorial del departamento	6	1.5	20	
Monografías	3	-	12	30
Apuntes en servicio de publicaciones	1.5	-	12	
Materiales en la red	1.5	-	12	
Otros elementos de apreciación subjetiva	-	-	5	

**Tabla 6.6.** Puntos por tipo de actividad y participación

Hay que tener presente que la puntuación que se muestra en la tabla 6.7 es por documento, por lo que sí el número de autores es  $n$ , esa puntuación hay que dividirla por  $n$ . En el caso de que sea editor y coautor se debe de considerar las dos actividades.

### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.7) es creciente. Con ello, se propone un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no desarrollen publicaciones docentes y, consecuentemente los valores cercanos a ese orden, la satisfacción es mínima. En cambio, se ha propuesto como valor máximo de 100 puntos, el cual se divide por la media de profesores ( $100/40=2.5$ ) que proviene de sumar la máxima puntuación posible de la tabla 6.6.



**Figura 6.7.** Publicaciones docentes editadas / PDI

Asimismo, el punto de inflexión se ha planteado en 20 ( $20/40=0.50$ ) puntos, con lo cual se puede reflejar una baja productividad de publicaciones docentes durante un trienio (por ejemplo 1 libro con editorial interna de la universidad, un libro con editorial del departamento, una monografía y un apunte en red). En cambio, se propone que para valores mayores a los 80 ( $80/40=2$ ) puntos, el incremento de satisfacción es mínimo, ya que a partir de dicho punto, se puede haber cumplido con la satisfacción de buena productividad del departamento (podría ser 3 libros con editorial externa a la universidad, 3 con editorial de la universidad, 6 libros del departamento y monografías y apuntes en red).

### **6.5.7. Profesores del departamento que pasan de nota media / Total de profesores** [I2C1R2]

#### Objetivo

El objetivo de este indicador es medir la cantidad de profesores de la unidad que pasan de nota media con respecto al total de profesores de la misma unidad. Para este

indicador se han tomado las notas a los 3 años anteriores de evaluación de la Universidad. No se ha matizado el ámbito o disciplina en que se desempeñan los profesores del departamento que, para ciertos escenarios pudieran surgir diferencias entre una nota y otra.

### Forma de valorar

La valoración resulta de dividir el número de profesores de la unidad que pasan de nota media entre el número total de profesores del departamento (ver ecuación 6.7).

$$P_n = \sum_{i=1}^n \frac{p_p}{p_t} \quad (6.7)$$

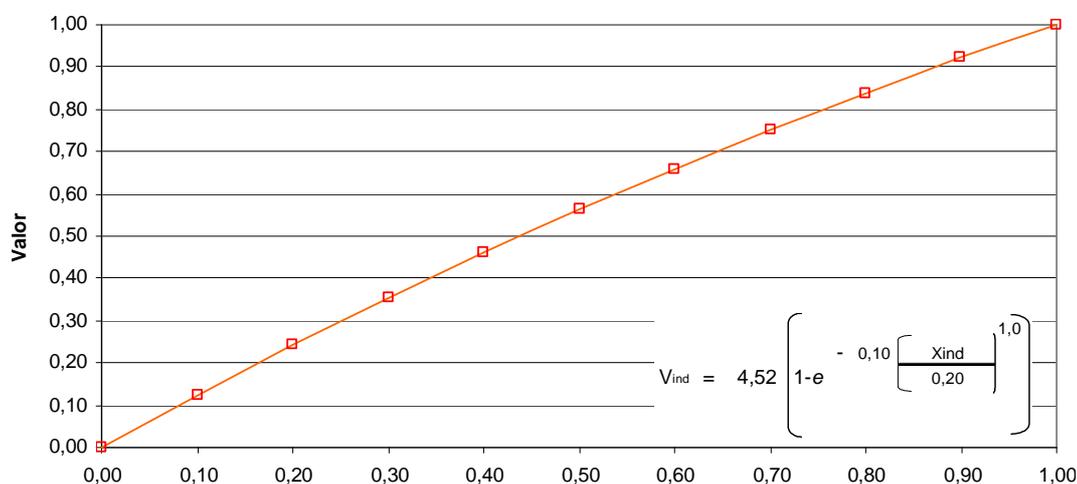
donde:  $P_n$  = Total de profesores

$p_p$  = Profesores que pasan nota media de cada departamento

$p_t$  = Número total de profesores del departamento

### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.8) es creciente, esto es a medida que aumentan la cantidad de profesores que pasan con nota media, la satisfacción aumenta. La forma de la curva es considerada lineal tal y como se muestra.



**Figura 6.8.** Profesores del departamento que pasan de nota media / total de profesores

Se propone un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no tienen profesores que pasan con nota media y, consecuentemente los valores cercanos a ese orden, la satisfacción es mínima. En cambio, se ha propuesto como valor máximo de la función de 1, entendiéndose, que si se tienen 10 profesores en el departamento y los 10 pasan la nota media, la satisfacción será la unidad (1.0).

### 6.5.8. Programas de especialización organizados por departamento o fundación UPC / PDI [1C2R2]

#### Objetivo

Valorar la implicación del departamento (a través de sus profesores e investigadores) en programas de especialización organizados por el departamento o la fundación de la Universidad Politécnica de Cataluña. Estos programas pueden ser master oficial (m), programas de posgrados no oficiales (p), programas de especialización (e) y otros cursos de apreciación subjetiva (s).

#### Forma de valorar

El total de puntos de cada departamento se obtiene mediante la suma de los puntos de cada proyecto tipo ( $P_t$ ) por el número de proyectos de cada uno de los tipos.

$$P_T = \sum_{i=1}^n (n_{ti} * p_{ti}) = \sum_{i=1}^n (n_{mi} \times p_{mi}) + \sum_{i=1}^n (n_{pi} \times p_{pi}) + \sum_{i=1}^n (n_{ei} \times p_{ei}) + \sum_{i=1}^n (n_{si} \times p_{si}) \quad (6.8)$$

donde:  $P_T$  = Puntos totales del departamento

$n_{ti}$  = Número de programas de cada uno de los tipos de programas

$p_{ti}$  = Puntos de cada programa

Los puntos en función del tipo de curso se muestran en la tabla 6.7. La diferencia de puntuación de los proyectos (de 20 a 1) refleja la percepción de los investigadores sobre la dificultad para gestionar cada tipo de curso, entendiendo que organizar un master oficial es sumamente mas complejo (4 veces) que un sencillo programa de especialización. Esta escala se ha puesto muy diferenciada para atender y reflejar el grado de importancia de organizar un tipo de curso.

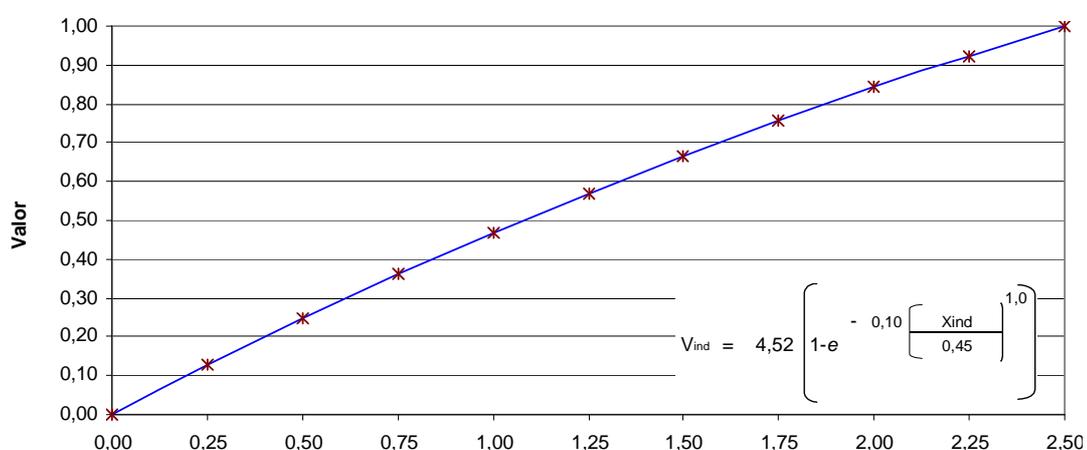
Tipo de curso	Puntos
Master oficial	20
Programa de posgrado	10
Programa de especialización	5
Otros cursos de apreciación subjetiva (gestores congresos, etc.)	1

**Tabla 6.7.** Puntos por tipo de curso

Hay que tener presente que en la asignación de puntos por programa o curso no se incluyen aspectos tales como: número de investigadores que participan, duración del curso, etc. Estas matizaciones, si bien son posibles, en esta iteración se ha creído conveniente no considerarlos.

### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.9) es creciente. Con ello, se propone un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no organicen algún tipo de curso y, consecuentemente los valores cercanos a ese orden, la satisfacción es mínima.



**Figura 6.9.** Programas especialización organizados por departamento o fundación UPC / PDI

En cambio, se ha propuesto como valor máximo de 60 puntos, el cual se divide por la media de profesores ( $60/40=2.5$ ), reflejando una participación significativa del departamento (por ejemplo, organización de 1 master oficial, 2 programas de posgrado y 4 programas de especialización).

### **6.5.9. Media de las tesis leídas / media del número de alumnos que han entrado en el programa [I1C3R2]**

#### Objetivo

Obtener una valoración de tesis leídas con respecto al número de alumnos que se hayan matriculado en doctorado en el departamento. Se pretende medir el grado de cumplimiento de la formación en tiempo, de los doctorandos matriculados. En este indicador no se ha discriminado en aspectos tales como: tesis con la categoría de

doctorado europeo, tesis asociadas a proyectos de investigación o convenios, ámbito de la propia tesis, financiación, etc.

### Forma de valorar

Este indicador se obtiene mediante la ecuación 6.9, que resulta de dividir la media de tesis leídas (numerador) y la media del número de alumnos que han entrado al programa (en los tres últimos años anteriores a la evaluación). Para este indicador no se ha discriminado o matizado aspectos tales como tesis con doctorado europeo, tesis asociadas a convenios, etc.

$$\mu_t = \frac{t_l}{a_m} \quad (6.9)$$

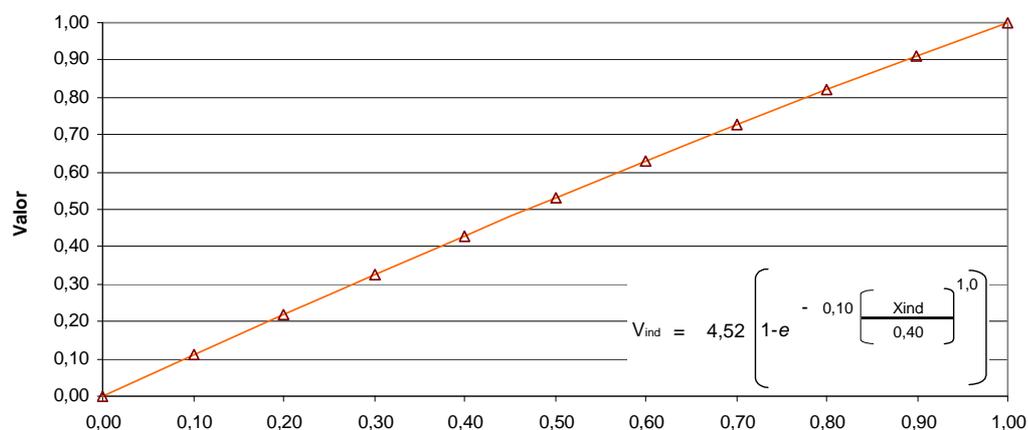
donde:  $t_l$  = número de tesis leídas en el período de evaluación

$a_m$  = número de alumnos matriculados en ese mismo período

### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.10) es creciente. Con ello, se propone un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no lean tesis en ese período y, consecuentemente los valores cercanos a ese orden, la satisfacción es mínima.

En cambio, se ha propuesto como valor máximo de la función de 1, entendiendo, que si se tienen 10 tesis leídas en el departamento y se matricularon 10 alumnos, la satisfacción será la unidad o una producción del 100%.



**Figura 6.10.** Media de las tesis leídas / media de alumnos que han entrado en el programa

### 6.5.10. Doctores de la unidad que imparten doctorado en programas de calidad / total de profesores doctores de la unidad [I2C3R2]

#### Objetivo

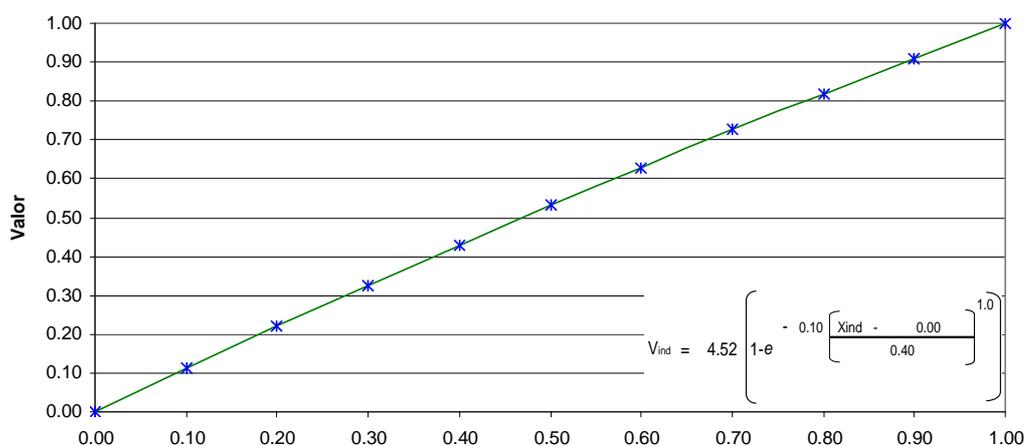
Obtener una valoración de doctores de la unidad que están implicados en programas de doctorado con la categoría de programa de calidad respecto al número total de profesores de la unidad. Para este indicador no se ha discriminado en aspectos tales como: participación en tribunales externos, estancias en programas con esta categoría de calidad o el ámbito de desempeño.

#### Forma de valorar

Este indicador resulta de dividir la cantidad total de profesores que se desempeñan en un programa de doctorado con la categoría de mención de calidad entre el número total de profesores de la unidad.

#### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.11) es creciente, proponiéndose, un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no tengan profesores desempeñándose en estas condiciones. Los valores cercanos a ese orden, la satisfacción será mínima. En cambio, se ha propuesto como valor máximo de la función de 1, entendiéndose, que si se tienen n profesores en ese programa y el total de profesores es n, la satisfacción resulta en la unidad (1.0).



**Figura 6.11.** Doctores de la unidad en programas de calidad / total de profesores doctores

### 6.5.11. Indicadores de entorno. (Percepción externa) [I3C3R2]

#### Objetivo

El objetivo de este indicador es manifestar por una parte la percepción externa que se tiene del doctorado y por otra, los resultados cuantitativos y cualitativos del programa con mención de calidad.

En los indicadores precedentes a éste han abordado los actores principales: doctorandos y profesorado, a través de las tesis leídas y los doctores implicados en el doctorado respectivamente. En consecuencia, es necesario definir el marco o entorno en donde estarán definidos estos aspectos a través de 4 indicadores.

Este indicador permite la posibilidad de ser intercambiable dentro del mismo criterio. Los indicadores que se pueden cambiar pueden ser:

- (I3a.C3.R2): Número de tesis leídas con doctorados europeos<sup>25</sup> / Número de tesis doctorales leídas en los tres últimos años.
- (I3b.C3.R2): Media de doctorandos de otros países en los tres últimos años / media total de doctorandos en el departamento en los tres últimos años.
- (I3c.C3.R2): Media de tesis doctorales ligadas a proyectos de investigación en convocatorias públicas en los tres últimos años / media total de tesis doctorales leídas.
- (I3d.C3.R2): Media de tesis doctorales ligadas a proyectos de investigación financiadas por el propio departamento-empresas privadas (FPI-FPU) en los tres últimos años / media total de tesis doctorales leídas.

---

<sup>25</sup> "El doctorado Europeo" es una mención honorífica complementaria del Título de Doctor, el cual se obtiene realizando una estancia de por lo menos 3 meses en un Centro de Enseñanza Superior o de Investigación de otro país europeo.

### 6.5.11.1. Tesis leídas con doctorados europeos / Número de tesis doctorales leídas en los tres últimos años (I3a.C3.R2):

#### Objetivo

Permite valorar la participación del departamento (a través de los doctorandos) en entornos externos a la universidad, ya sea en un centro de Enseñanza Superior o de investigación.

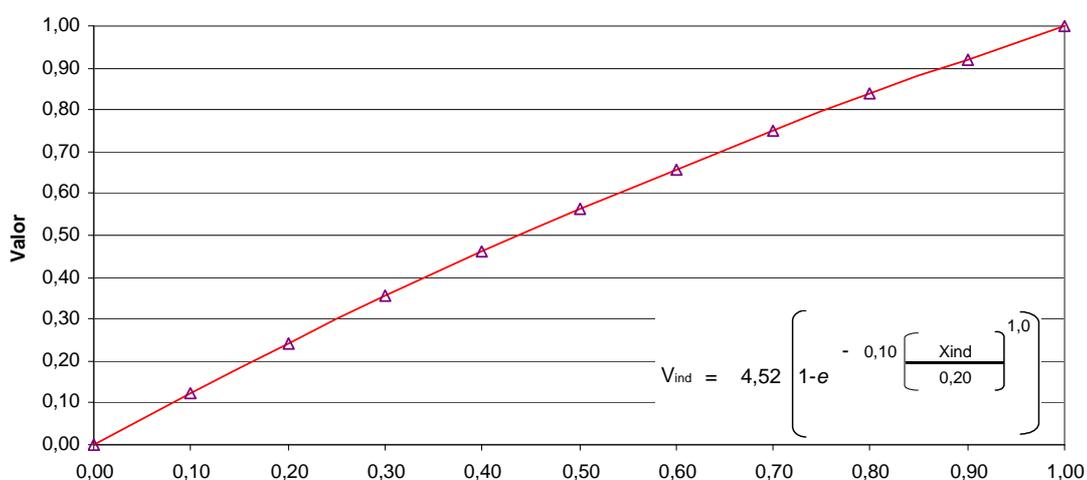
#### Forma de valorar

Este indicador resulta de dividir la sumatoria de tesis leídas con doctorado europeo entre la sumatoria de tesis leídas en el período de evaluación de la unidad. Para este indicador no se ha discriminado el tiempo de estancia o si el doctorando ha realizado su estancia en un programa con mención de calidad.

#### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.12) es creciente. Con ello, se propone un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no tengan tesis leídas con la categoría de doctorado europeo. En este sentido, los valores cercanos a ese orden, la satisfacción es mínima.

En cambio, se ha propuesto como valor máximo de la función de 1, entendiendo, que si se tienen n tesis leídas con dicha categoría, el total de tesis debe ser n, resultando en la unidad (1.0).



**Figura 6.12.** Tesis leídas con doctorados europeos / Número de tesis doctorales leídas

### 6.5.11.2. Media de doctorandos de otros países / media total de doctorandos en el departamento (I3b.C3.R2)

#### Objetivo

Este indicador permite valorar la percepción que se tiene del departamento en el exterior. Dicha valoración se realiza a través de la cantidad de estudiantes extranjeros que realizan sus estudios de doctorado en la unidad. Para este indicador no se ha matizado en edad, género u otro aspecto que pudiera discriminar la condición del doctorando (universidad de origen, perteneciente a la Comunidad Europea, etc.)

#### Forma de valorar

La valoración se obtiene por la ecuación 6.10 que resulta de dividir la cantidad total de doctorandos extranjeros ( $d_e$ ) entre el total de alumnos matriculados en el departamento para ese período de evaluación.

$$\mu_e = \frac{d_e}{d_t} \quad (6.10)$$

donde:  $\mu_e$  = Media de doctorandos extranjeros

$d_e$  = Total de doctorandos extranjeros en el periodo de evaluación

$d_t$  = media de doctorandos totales en el período de evaluación

#### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.13) es creciente, proponiéndose un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no tiene doctorandos extranjeros y, consecuentemente, los valores cercanos a ese orden, la satisfacción es mínima. En cambio, se ha propuesto como valor máximo de la función de 1, entendiéndose, que si se tienen  $n$  doctorandos extranjeros, el total doctorandos debe ser  $n$ , resultando en la unidad (1.0).

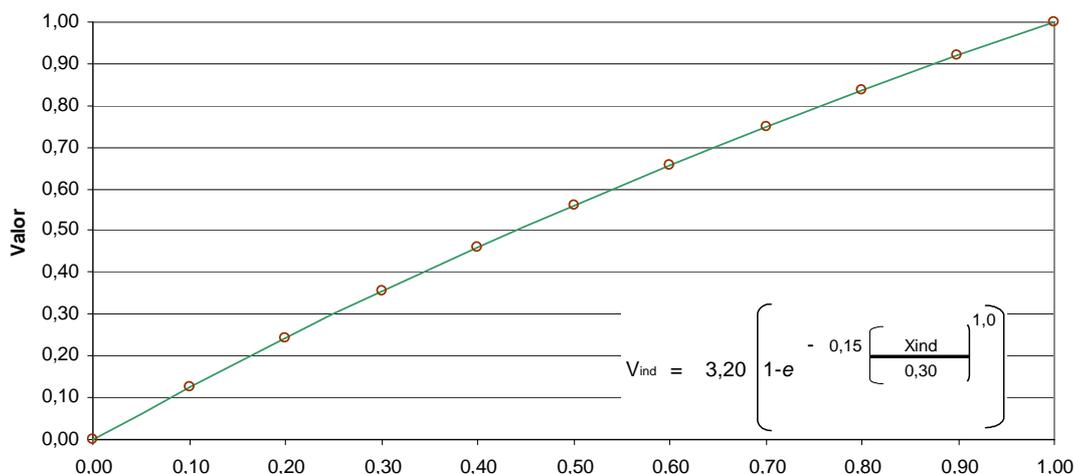


Figura 6.13. Media doctorandos otros países / media total doctorandos departamento.

### 6.5.11.3 Media de tesis doctorales ligadas a proyectos de investigación en convocatorias públicas / media total de tesis doctorales leídas (I3c.C3.R2)

#### Objetivo

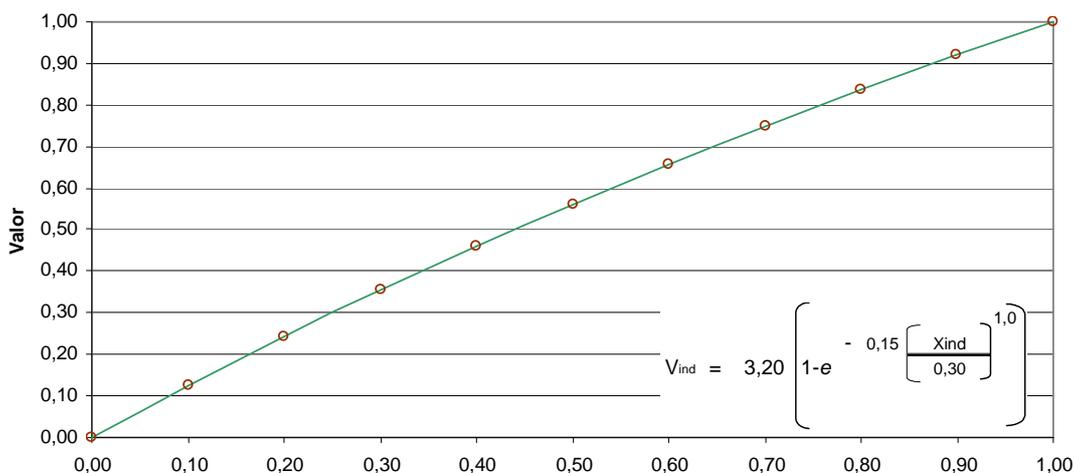
Este indicador permite valorar la implicación del departamento de las tesis doctorales con proyectos de investigación con financiación pública. Para este indicador no se han considerado aspectos que pueden llegar a discriminar tales como: importe del proyecto de investigación o convenio, duración del proyecto, u otras apreciaciones subjetivas (difusión de resultados en comunicaciones o artículos indexados, etc.) que si bien pueden considerarse, para este caso, se ha creído conveniente no considerarlos.

#### Forma de valorar

La valoración se realiza mediante la división de la media de tesis asociadas a proyectos de investigación entre la media total de tesis leídas.

#### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.14) es creciente, proponiéndose un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no han desarrollado tesis con asociación a un proyecto de investigación o convenio y, consecuentemente, los valores cercanos a ese orden, la satisfacción es mínima. Al igual que el indicador anterior, el valor máximo esta representado por el cociente de la media de tesis leídas y el total de las tesis de la unidad.



**Figura 6.14.** Media tesis doctorales ligadas a proyectos de investigación en convocatorias públicas / media total tesis doctorales leídas

#### 6.5.11.4. Media de tesis doctorales ligadas a proyectos de investigación financiadas por el propio departamento-empresas privadas (FPI-FPU) / media total de tesis doctorales leídas (I3d.C3.R2)

##### Objetivo

Este indicador permite medir la cantidad de las tesis doctorales que han sido leídas y que durante su desarrollo han estado asociadas a proyectos de investigación con financiación propia del departamento o de alguna empresa (s) privada (s).

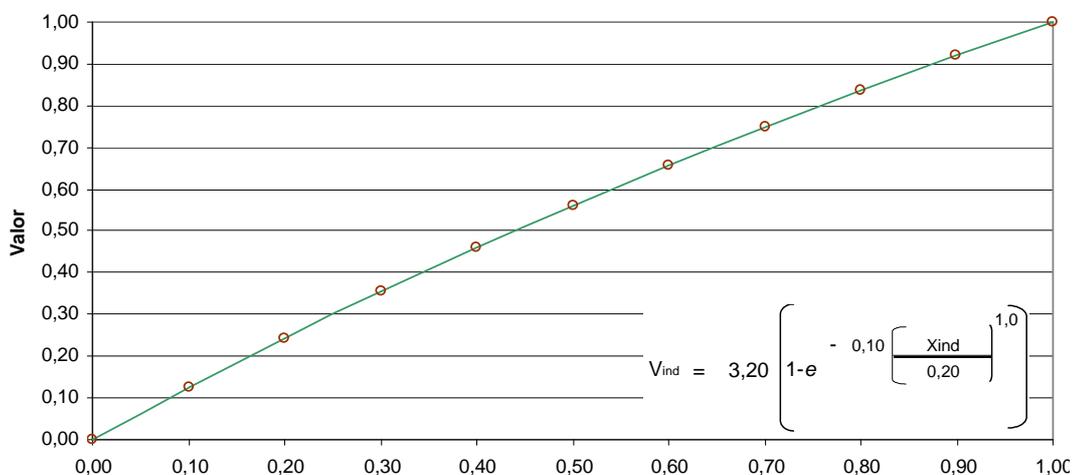
##### Forma de valorar

La valoración se realiza mediante la división de la media de tesis ligadas a proyectos de investigación con fondos privados entre la media total de tesis leídas. En este indicador no se ha discriminado el importe de los proyectos asociados a cada tesis doctoral o el ámbito de participación de la empresa.

##### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.15) es creciente. Con ello, se propone un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no han desarrollado tesis sin alguna asociación a un proyecto de investigación o convenio y con financiación privada y, consecuentemente, los valores cercanos a ese orden, la satisfacción es mínima. Al igual que el indicador anterior, el valor máximo esta representado por el

cociente de la media de tesis leídas (en dichas condiciones) y el total de las tesis de la unidad.



**Figura 6.15.** Media de tesis doctorales ligadas a proyectos de investigación financiadas por el propio departamento-empresas privadas (FPI-FPU) / media total de tesis doctorales leídas

**6.5.12. Participación del departamento en agencias nacionales o autonómicas de evaluación / PDI [I1C1R3]**

Objetivo

Valorar la participación del departamento (a través de los profesores) en agencias nacionales o autonómicas de evaluación. Ello puede reflejar una elevada posición y consideración por terceros de su actividad en un determinado ámbito temático.

Estas participaciones se han propuesto en 4 niveles o grupos: programas europeos, nacionales, ANEP o equivalente (e), en agencias autonómicas (a), en comisiones CNEAI, ANECA (c), u otros elementos de apreciación subjetiva (s), con la matización del tipo de actividad o cargo desempeñado en ese trienio.

Forma de valorar

El total de puntos de cada departamento se obtiene mediante la suma de los puntos de cada tipo de actividad (p<sub>t</sub>) por el número de proyectos de cada uno de los tipos (ver ecuación 6.11).

$$P_T = \sum_{i=1}^n (n_{ti} * p_{ti}) = \sum_{i=1}^n (n_{ei} * p_{ei}) + \sum_{i=1}^n (n_{ai} * p_{ai}) + \sum_{i=1}^n (n_{ci} * p_{ci}) + \sum_{i=1}^n (n_{si} * p_{si}) \quad (6.11)$$

donde:  $P_T$  = Puntos totales del departamento

$n_{ti}$  = Número de actividades de cada tipo

$p_{ti}$  = Puntos de cada actividad según el cargo

Los puntos en función del tipo de actividad se muestran en la tabla 6.8. La diferencia de puntuación de los proyectos (de 30 a 5 o de 18 a 3) refleja la percepción de los profesores sobre: la importancia y/o grado de dificultad de desarrollar uno u otro tipo de actividad (distintas responsabilidades, etc.).

Programa	Tipo de actividad	Puntos	Máximo
Programa Europeo, Nacional, ANEP o equivalente	Coordinación	30	45
	Comité de expertos	10	
	Comité de Evaluación	5	
Agencias autonómicas	Coordinación	18	15
	Comité de expertos	6	
	Comité de Evaluación	3	
Miembros comisiones CNEAI <sup>26</sup> / ANECA <sup>27</sup>		20	25
Otros elementos por apreciación subjetiva		5	5

**Tabla 6.8.** Puntuación asociada a la implicación con el sistema universitario fuera de la propia universidad

En ambos casos, se propone un nivel de importancia de 6 veces ante un cargo de coordinador de actividad y un miembro en comité de evaluación. Si bien este valor puede variar de un ámbito a otro, para este caso se cree conveniente adoptar este planteamiento.

Con respecto a la participación en comisiones tales como la CNEAI o la ANECA, la puntuación planteada es de 20 puntos, y las valoraciones intermedias se harán en función del tipo de participación en estas comisiones. Otro tipo de valoración de apreciación subjetiva también ha sido valorada con una puntuación máxima de 5 puntos.

<sup>26</sup> Comisión Nacional Evaluadora de la Actividad Investigadora

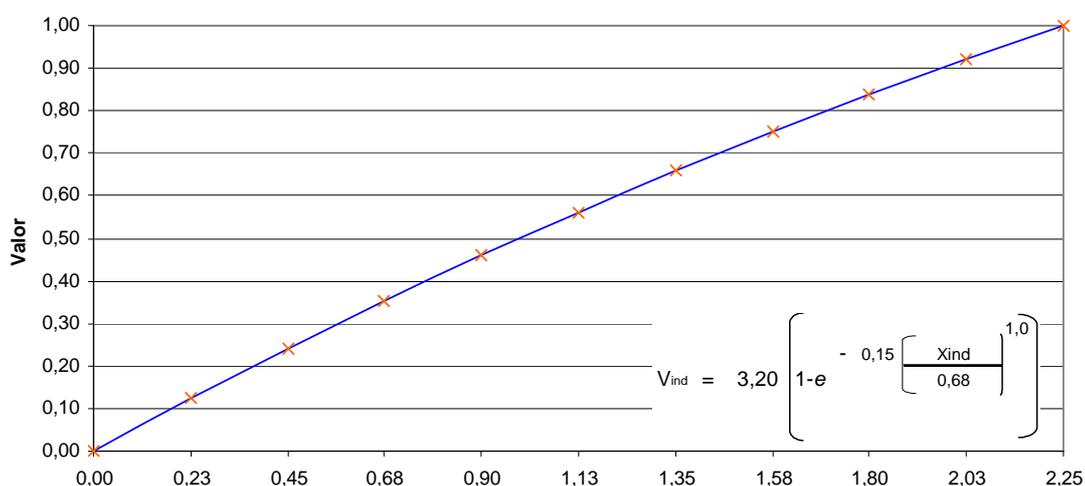
<sup>27</sup> Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación

Hay que tener presente que el valor máximo de puntos es variable en función del tipo de actividad, tal como se muestra en la tabla 6.8, superado este valor se mantiene el correspondiente valor máximo.

Se han hecho 4 grupos, limitando el máximo de puntos por grupo, 45 en el caso de programas europeos, nacionales o de la ANEP, 15 puntos para programas con cargos en agencias autonómicas, 25 puntos si es miembro de comisión CNEAI o ANECA y, 5 puntos para otro tipo de programas de apreciación subjetiva. En ese sentido, se intenta limitar excesos que en ciertos ámbitos se pudieran dar, evitando así desequilibrios de otras actividades.

### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.16) es creciente. Con ello, se propone un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no tienen profesores con participación en alguna agencia nacional o europea. Con ello, los valores cercanos a este valor, la satisfacción será mínima. En cambio, se propone un valor máximo de 90 puntos, proveniente de la suma de los valores máximos de la tabla 6.8, el cual es necesario dividirlo por la media de profesores ( $90/40=2.25$ ), ya que la máxima puntuación que podría sumar un departamento es de 90 puntos.



**Figura 6.16.** Puntuación de la participación del departamento en agencias nacionales o autonómicas de evaluación / PDI

### 6.5.13. Cargos reconocidos pertenecientes a órganos de Gobierno de la Universidad / PDI [I1C2R3]

#### Objetivo

Valora la implicación del departamento (a través de su personal docente e investigador y el personal administrativo y de servicios) para participar en órganos de Gobierno de su universidad a distintos niveles. Refleja, en cierta medida, la visión que del candidato tienen sus compañeros. Estos cargos se han matizado según el cargo o tipo de actividad, Rector (r), vicerrector o participación en alguna comisión de la Secretaría General (v), u otros puestos unipersonales asignados por la Junta (u).

#### Forma de valorar

El total de puntos de cada departamento se obtiene mediante la suma de los puntos de cada tipo de actividad o cargo ( $p_i$ ) por el número de cargos de cada actividad del departamento (ver ecuación 6.12)

$$P_T = \sum_{i=1}^n (n_{ti} * p_{ti}) = \sum_{i=1}^n (n_{ri} \times p_{ri}) + \sum_{i=1}^n (n_{vi} \times p_{vi}) + \sum_{i=1}^n (n_{ui} \times p_{ui}) \quad (6.12)$$

donde:  $P_T$  = Puntos totales del departamento

$n_{ti}$  = Número de cargos por actividad del departamento

$p_{ti}$  = Puntos de cada actividad de cada cargo

Los puntos se han asignado en base al tipo de actividad y se muestran en la tabla 6.9. La diferencia de puntuación de las actividades (de 20 a 10) pretende reflejar el grado de responsabilidad e importancia que tiene de un cargo a otro.

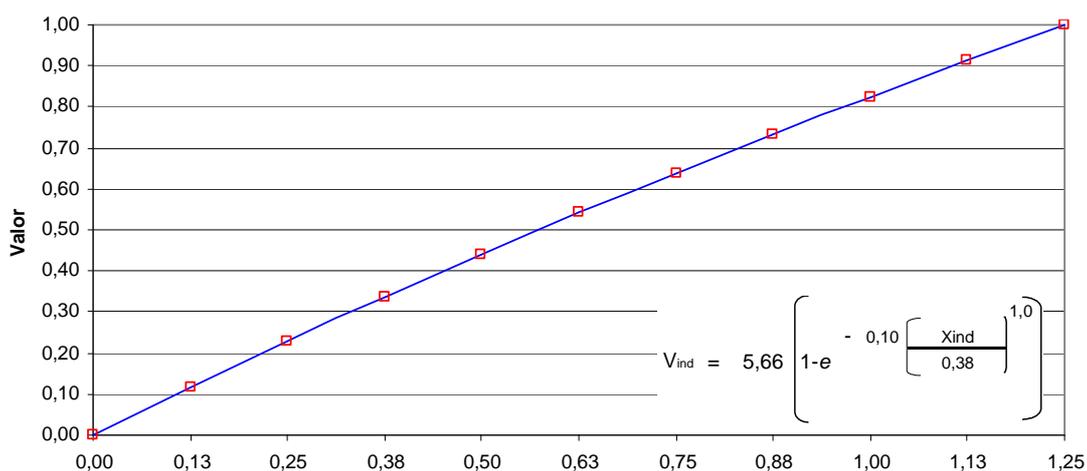
	Tipo de actividad	Puntos/año	Máximo puntos
Universidad	Rector	20	45
	Vicerrector, Comisionado Secretaria General	15	
	Otros puestos unipersonales: adjuntos, gabinetes, etc.	10	

**Tabla 6.9.** Puntos por tipo de actividad y cargo órgano de Gobierno de la Universidad / PDI

Se propone para este caso un nivel de importancia del 50% entre ellos y la valoración máxima es de 45 puntos tal y como se observa en la tabla. Con ello, se intenta evitar excesos en determinados departamentos que pudieran tener demasiados cargos en la Universidad.

### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.17) es creciente, proponiéndose un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no tienen profesores con cargos en el órgano de Gobierno dentro de la Universidad y consecuentemente, los valores cercanos a este valor, la satisfacción será mínima. En cambio, se propone un valor máximo de 50 puntos, el cual es necesario dividirlo por la media de profesores ( $50/40=1.25$ ), con lo que se traduce de una máxima puntuación posible para cada departamento.



**Figura 6.17.** Puntos para cargos reconocidos en órganos de Gobierno de la Universidad / PDI

### **6.5.14. Cargos reconocidos en el centro de asignación / PDI [I2C2R3]**

#### Objetivo

Valora la implicación del departamento (a través de su personal docente e investigador y el personal administrativo y de servicios) para participar en actividades del centro de asignación de su universidad a distintos niveles. Las actividades propuestas son director (d), secretaria, subdirector o equivalente (s) y otros puestos unipersonales (u). Tal como se ha dicho, el periodo de análisis de la actividad es de los tres últimos años.

### Forma de valorar

El total de puntos de cada departamento se obtiene mediante la suma de los puntos de cada tipo de actividad ( $p_i$ ) por el número de proyectos de cada tipo

$$P_T = \sum_{i=1}^n (n_{ti} * p_{ti}) = \sum_{i=1}^n (n_{di} \times p_{di}) + \sum_{i=1}^n (n_{si} \times p_{si}) + \sum_{i=1}^n (n_{ui} \times p_{ui}) \quad (6.13)$$

donde:  $P_T$  = Puntos totales del departamento

$n_{ti}$  = Número de proyectos de cada tipo de actividad

$p_{ti}$  = Puntos de cada proyecto según la actividad desempeñada

Los puntos en función del tipo de actividad se muestran en la tabla 6.10. La diferencia de puntuación de los cargos reconocidos (de 15 a 5) refleja la percepción de los PDI y PAS sobre: la importancia y/o grado de dificultad de obtener y desempeñar una u otra actividad. Para este indicador no se ha discriminado en ámbito de desempeño del personal en cada tipo de actividad.

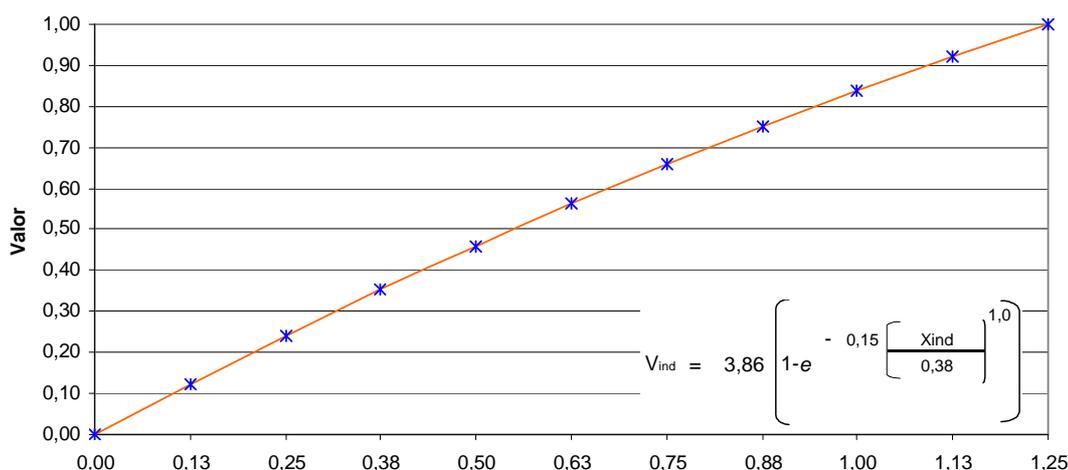
	Tipo de actividad	Puntos/año	Máximo puntos
Centro	Director	15	45
	Secretario, subdirector o equivalente	10	
	Otros puestos unipersonales	5	

**Tabla 6.10.** Puntos por tipo de actividad y cargo en Centro de asignación

Se ha propuesto una valoración máxima para este grupo de actividades de 45 puntos, con el objetivo de laminar excesos en distintos entornos y, las valoraciones intermedias se dejan a criterio y experiencia del decisor.

### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.18) es creciente. Con ello, se propone un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no tienen profesores con cargos en el Centro de asignación y consecuentemente, los valores cercanos a este valor, la satisfacción es mínima. En cambio, se propone un valor máximo de 50 puntos, el cual es necesario dividirlo por la media de profesores ( $50/40=1.25$ ), el cual se traduce de una máxima puntuación posible para cada departamento.



**Figura 6.18.** Puntos para cargos reconocidos en Centro de asignación / PDI

**6.5.15. Plan de actuación en Plan Estratégico: Lista de chequeo [I1C1R4]**

Objetivo

Valorar el grado de cumplimiento del plan de actuación de la unidad, expresado por medio de diversos aspectos enfocados en el nivel secundaria. Estos distintos aspectos están expresados por actividades: padrinos de la UPC (p), realización de visitas a laboratorio (v), presentaciones en secundarias con el objetivo de difundir la universidad (d) y proyectos tecnológicos en centros tecnológicos (c). Para este tipo de actividades se ha hecho necesario matizar el grado de implicación del personal, el cual puede ser responsable principal o bien actuar como asistente o proyecto coordinado (secundario).

Forma de valorar

El total de puntos de cada departamento se obtiene (ver ecuación 6.14) mediante la suma de los puntos de cada tipo de actividad (P<sub>i</sub>) por el número de actividades según la implicación (principal o secundario)

$$P_T = \sum_{i=1}^n (n_{ti} * p_{ti}) = \sum_{i=1}^n (n_{pi} \times p_{pi}) + \sum_{i=1}^n (n_{vi} \times p_{vi}) + \sum_{i=1}^n (n_{di} \times p_{di}) + \sum_{i=1}^n (n_{ci} \times p_{ci}) \quad (6.14)$$

donde: P<sub>T</sub> = Puntos totales del departamento

n<sub>ti</sub> = Número de actividades según tipo de actividad

p<sub>ti</sub> = Puntos de cada actividad según implicación

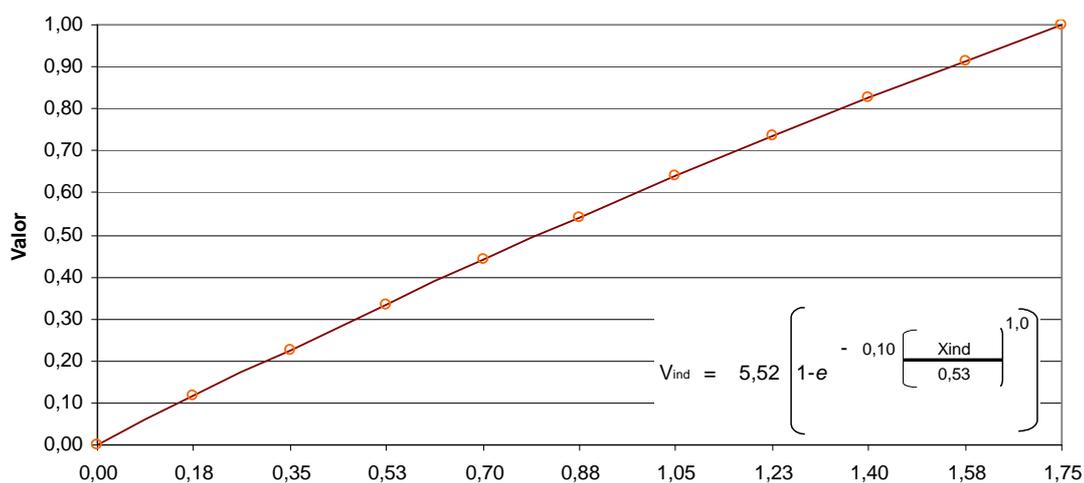
Los puntos en función del tipo de actividad y grado de implicación se muestran en la tabla 6.11. La diferencia de puntuación de las actividades (de 10 a 1) refleja la percepción del personal sobre: el grado de dificultad de desarrollar una u otro tipo de actividad.

Tipo de actividad	Principal	Secundario	Máximo
Padrinos (UPC)	10	5	30
Visitas laboratorio	5	2.5	
Presentaciones	1	0.5	10
Proyectos tecnológicos en centros tecnológicos	10	5	30

**Tabla 6.11.** Puntuación para el Plan de actuación del departamento

### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.19) es creciente. Con ello, se propone un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no tienen crean, organizan o gestionan actividades para difundir la universidad al exterior. Los valores cercanos a este valor, la satisfacción es mínima. En cambio, se propone un valor máximo de 70 puntos, el cual es necesario dividirlo por la media de profesores ( $70/40=1.75$ ), el cual se traduce de una máxima puntuación posible para cada departamento.



**Figura 6.19.** Puntuación por tipo de actividad / PDI, del Plan actuación estratégico

### 6.5.16. Cargos en corporaciones profesionales / PDI [1C2R4]

#### Objetivo

Valorar la actividad profesional del personal docente e investigador del departamento dentro de su colectivo profesional. Trata de visualizar la situación de estos dentro de su entorno profesional. Se han propuesto 4 distintas actividades que el personal puede participar como: proyectos profesionales relevantes (r), liderazgo de grupos de trabajo profesionales (l), actividades profesionales estándar (s) y cargos en corporaciones profesionales (c).

#### Forma de valorar

El total de puntos de cada departamento se obtiene mediante la suma de los puntos de cada actividad ( $p_i$ ) por el número de actividades de cada tipo (ver ecuación 6.15)

$$P_T = \sum_{i=1}^n (n_{ti} * p_{ti}) = \sum_{i=1}^n (n_{ri} \times p_{ri}) + \sum_{i=1}^n (n_{li} \times p_{li}) + \sum_{i=1}^n (n_{si} \times p_{si}) + \sum_{i=1}^n (n_{ci} \times p_{ci}) \quad (6.15)$$

donde:  $P_T$  = Puntos totales del departamento

$n_{ti}$  = Número de actividades según el tipo

$p_{ti}$  = Puntos de cada actividad

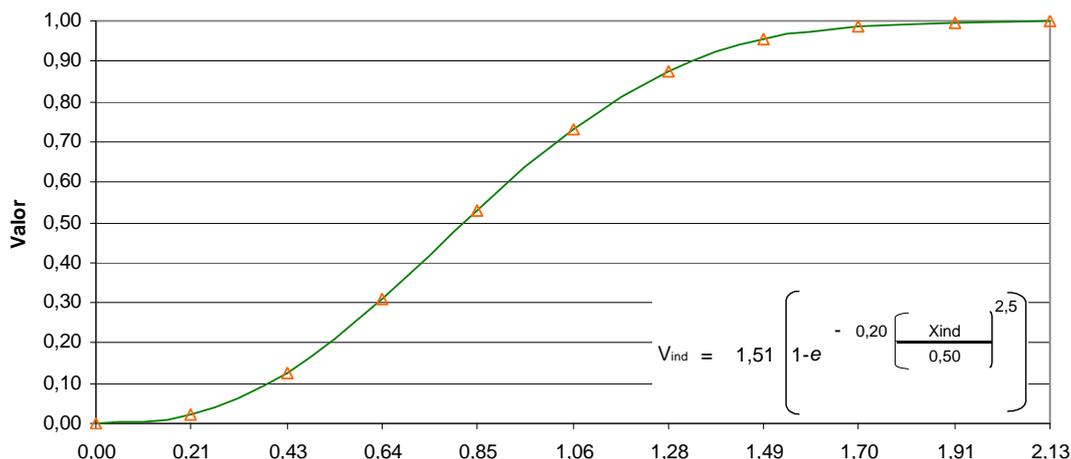
Los puntos en función del tipo de actividad se muestran en la tabla 6.12. La diferencia de puntuación de las actividades (de 40 a 15) refleja el grado de importancia de desempeñarse en una u otra actividad. Se ha dejado una valoración máxima como se puede observar en la tabla y las puntuaciones intermedias se asignan de acuerdo a la experiencia del decisor y en función del grado de importancia de estas actividades.

Actividad profesional	Máximo
Proyectos profesionales relevantes	40
Liderazgo de grupos de trabajo profesionales	20
Actividad profesional estándar	15
Cargos en corporaciones profesionales	10

**Tabla 6.12.** Puntuación para el Plan de actuación del departamento

### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.20) es creciente, proponiéndose, un valor mínimo de 0 puntos, para departamentos que no tengan a profesores implicados en algún tipo de actividad de la tabla 6.12 y, en consecuencia la satisfacción es igual a 0. Los valores cercanos a ese orden, la satisfacción es mínima.



**Figura 6.20.** Puntuación para cargos en corporaciones profesionales / PDI

En cambio, como valor máximo se ha otorgado una puntuación de 85, el cual es necesario dividirlo por la media de profesores ( $85/40=2.125$ ) lo que se puede traducir en la valoración máxima de la puntuación posible, superados estos valores, el incremento de satisfacción del departamento es el mismo.

El punto de inflexión está representado por 20 ( $20/40=0.50$ ) puntos, el cual representa una productividad muy baja para un período de tiempo de 3 años, (por ejemplo, participación en un solo grupo de proyecto profesional o tan sólo 2 cargos en corporaciones profesionales durante ese trienio). Por otro lado, en la figura se puede ver que superando la puntuación de 65 ( $65/40=1.63$ ), el incremento de la satisfacción es muy poca y el aumento participación en este tipo de actividades no aportan un factor diferencial a la universidad.

#### **6.5.17. Premios y reconocimientos ámbito profesional / PDI [I2C2R4]**

##### Objetivo

Valorar el reconocimiento del departamento (a través del personal docente e investigador) dentro de su entorno profesional. Trata de visualizar el reconocimiento de

sus compañeros de trabajo. Es necesario señalar que la valoración se ha planteado de tal forma que se matice el entorno en que se ha otorgado el premio y el reconocimiento. Se propone el entorno donde se ha otorgado el reconocimiento: internacional (i), nacional (n), autonómico (a) o dentro de la propia universidad (u).

### Forma de valorar

El total de puntos de cada departamento se obtiene mediante la suma de los puntos de cada premio o reconocimiento según el entorno ( $p_i$ ) por el número de premios otorgados en ese entorno (ver ecuación 6.16).

$$P_T = \sum_{i=1}^n (n_{ti} * p_{ti}) = \sum_{i=1}^n (n_{ij} \times p_{ij}) + \sum_{i=1}^n (n_{ni} \times p_{ni}) + \sum_{i=1}^n (n_{ai} \times p_{ai}) + \sum_{i=1}^n (n_{ui} \times p_{ui}) \quad (6.16)$$

donde:  $P_T$  = Puntos totales del departamento

$n_{ti}$  = Número de premios bajo ese entorno

$p_{ti}$  = Puntos de cada premio otorgado según el entorno

Los puntos en función del nivel de reconocimiento se muestran en la tabla 6.13. La diferencia de puntuación de los proyectos (de 30 a 1) refleja la percepción de los investigadores sobre: la importancia y/o grado de dificultad de ser reconocido en distintos escenarios, entendiendo que tiene mucho más valor (3 veces) ser reconocido a nivel internacional que en nivel nacional. Para este indicador no se ha matizado el tipo de organismo o institución que otorga dichos reconocimientos.

Nivel del reconocimiento	Puntos
Internacional	30
Nacional	10
Autonómico	5
Universidad	1

**Tabla 6.13.** Puntuación premios y reconocimientos / PDI

### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.21) es creciente, esto es, a medida que aumenta los puntos de cada reconocimiento, la satisfacción aumenta. La forma de la curva es considerada en forma de una "s", tal como se muestra.

Se propone un valor mínimo de 0 puntos, para departamentos que no se les ha otorgado durante ese período de tres años ningún reconocimiento profesional y, en consecuencia la satisfacción es igual a 0. Los valores cercanos a ese orden, la satisfacción es mínima.

En cambio, como valor máximo se ha otorgado una puntuación de 100, el cual es necesario dividirlo por la media de profesores ( $100/40=2.25$ ) reflejando un reconocimiento elevado (por ejemplo 3 reconocimientos internacionales, o un internacional, 5 nacionales y 4 autonómicos) que lo que se puede traducir en un reconocimiento alto dentro de su entorno profesional.

El punto de inflexión esta representado por 20 puntos ( $20/40=0.50$ ), el cual representa una productividad muy baja para un período de tiempo de 3 años, (por ejemplo, un solo reconocimiento nacional y dos autonómicos). En cambio para puntuaciones a partir de 60 ( $60/40=1.50$ ), el incremento de satisfacción es poca.

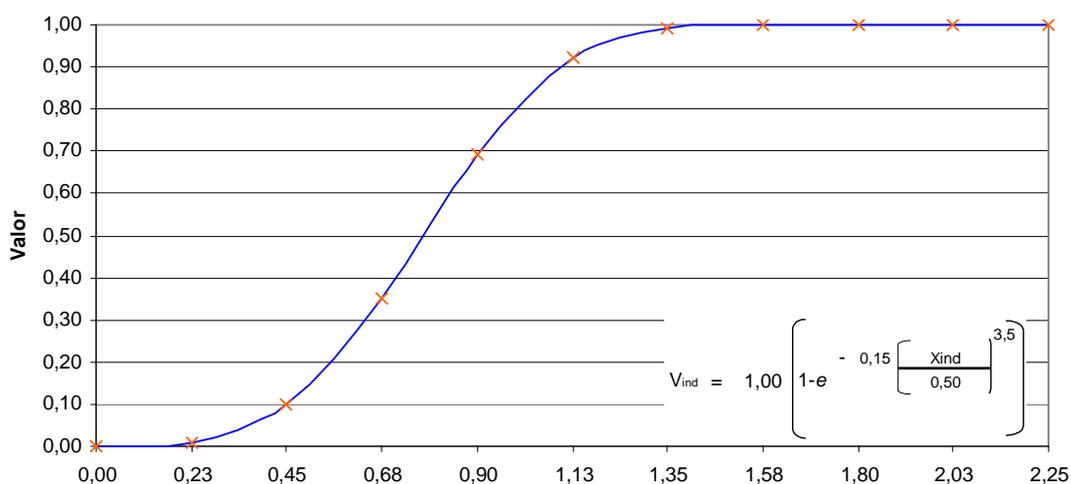


Figura 6.21. Premios y reconocimientos ámbito profesional / PDI

### 6.5.18. Cargos en corporaciones públicas (externas UPC) / PDI [I1C3R4]

#### Objetivo

Valorar la implicación del departamento (a través de su personal docente e investigador y Personal administrativo y de servicios) dentro de su entorno social. Con este indicador se trata de visualizar el papel de liderazgo del departamento en el exterior. Se han planteado 4 actividades para valorar su desempeño como son: cargos en corporaciones públicas (externas a la universidad) (p), premios en el entorno social (r),

implicación en temas de cooperación, desarrollo y sostenibilidad (c), u otros elementos de apreciación subjetiva (s).

### Forma de valorar

El total de puntos de cada departamento se obtiene mediante la suma de los puntos de cada actividad ( $p_i$ ) por el número de actividades de cada tipo (ver ecuación 6.17)

$$P_T = \sum_{i=1}^n (n_{ti} * p_{ti}) = \sum_{i=1}^n (n_{pi} \times p_{pi}) + \sum_{i=1}^n (n_{ri} \times p_{ri}) + \sum_{i=1}^n (n_{ci} \times p_{ci}) + \sum_{i=1}^n (n_{si} \times p_{si}) \quad (6.17)$$

donde:  $P_T$  = Puntos totales del departamento

$n_{ti}$  = Número de actividades según el tipo

$p_{ti}$  = Puntos de cada actividad

Los puntos en función del tipo de actividad se muestran en la tabla 6.14. Se ha dejado una valoración máxima como se puede observar en la tabla y las puntuaciones intermedias se asignan de acuerdo a la experiencia del decisor y en función del grado de importancia de estas actividades.

Actividad en su entorno social	Máximo
Cargos en corporaciones públicas externas a la universidad	25
Premios en el entorno social	25
Implicación en temas de Cooperación, Desarrollo y Sostenibilidad	25
Otros elementos de apreciación subjetiva	15

**Tabla 6.14.** Puntuación para cargos en corporaciones públicas

### Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.22) es creciente. Con ello, se propone un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no participan en actividades en su entorno social o bien, que nunca han sido reconocidos en este entorno. Los valores cercanos a este valor, la satisfacción es mínima. En cambio, se propone un valor máximo de 90 puntos, el cual es necesario dividirlo por la media de profesores

(90/40=2.25). Entendiendo que se deriva de la máxima puntuación posible de cada actividad.

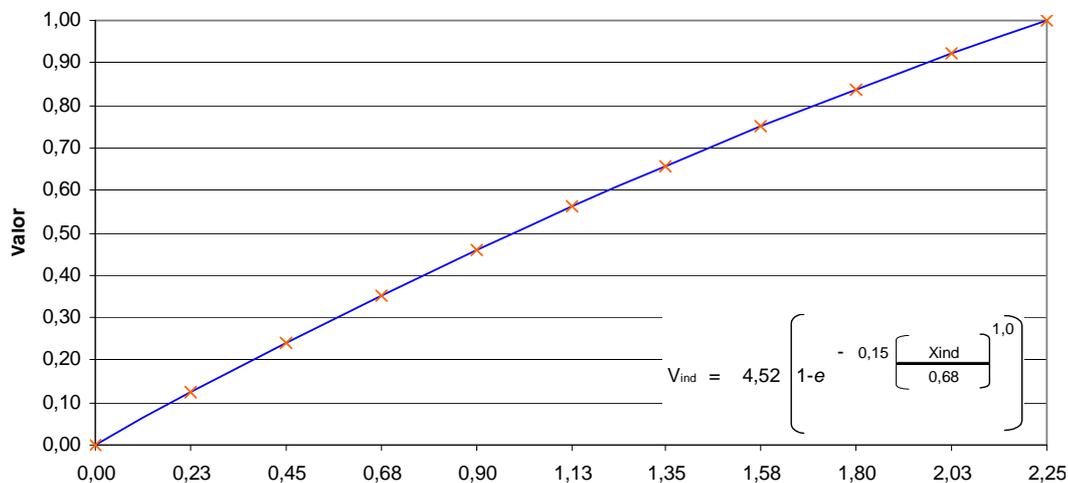


Figura 6.22. Cargas en corporaciones públicas (externas UPC) / PDI

### 6.5.20. Publicaciones con firma UPC en medios de comunicación diarios o semanales [I2C3R4]

#### Objetivo

Valorar la implicación del departamento (a través de su personal docente e investigador y del personal administrativo y de servicios) en participaciones en medios de comunicación: diarios, revistas, etc., con la firma de la Universidad Politécnica de Cataluña. Para este indicador se ha matizado o se ha hecho la discriminación a través del nivel de publicación: internacional (i), nacional (n) y autonómico (a).

#### Forma de valorar

El total de puntos de cada departamento se obtiene mediante la suma de los puntos de cada tipo de publicación ( $P_i$ ) por el número de publicaciones de cada tipo (ver ecuación 6.18).

$$P_T = \sum_{i=1}^n (n_{ti} * p_{ti}) = \sum_{i=1}^n (n_{ii} * p_{ii}) + \sum_{i=1}^n (n_{ni} * p_{ni}) + \sum_{i=1}^n (n_{ai} * p_{ai}) \quad (6.18)$$

donde:  $P_T$  = Puntos totales del departamento

$n_{ti}$  = Número de publicaciones de cada tipo

$p_{ti}$  = Puntos de cada publicación según tipo

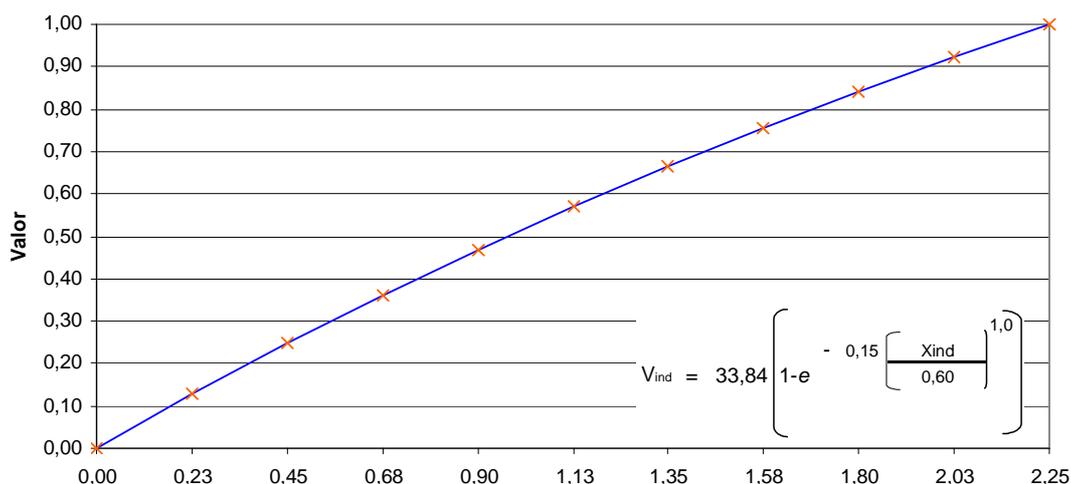
Los puntos en función del tipo de publicación se muestran en la tabla 6.15. La diferencia de puntuación de los proyectos (de 20, 5 y 1) refleja la percepción de los investigadores sobre: la importancia y/o grado de dificultad de publicar en uno u otro de medio de difusión, entendiéndose que tiene mayor valor publicar en una revista de índole internacional que en una local. Para este indicador no se ha matizado la categoría, ámbito o entorno profesional y social del medio de comunicación donde se hace la publicación con firma de la UPC. La asignación de puntos máximos pretende evitar excesos que en ciertos entornos pudiera existir, provocando detrimento de otras actividades del departamento.

Nivel de publicación	Puntos	Máximo
Internacional	20	50
Nacional	5	20
Autonómico	1	10

**Tabla 6.15.** Puntuación para publicaciones con firma UPC

Forma de la función de valor

La función de valor que se propone (ver figura 6.23) es creciente, proponiéndose un valor mínimo de 0 puntos para departamentos que no participan en publicaciones en algún medio de comunicación. En cambio, se propone un valor máximo de 90 puntos, el cual es necesario dividirlo por la media de profesores (90/40=2.25). Entendiendo que se deriva de la máxima puntuación posible de cada actividad.



**Figura 6.23.** Puntuación publicaciones firma UPC en medios comunicación / PDI

Con las funciones de valor ya definidas, ahora es necesario pasar a la etapa de evaluación como se planteo en el apartado 3.3.1 de la presente tesis doctoral.

## 6.6. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

La contrastación experimental se ha hecho mediante una prueba piloto con los diferentes departamentos de la Universidad Politécnica de Cataluña, que a la luz de los resultados obtenidos, lo ha asumido como metodología de evaluación. Esa experiencia piloto refleja la idoneidad del modelo y la contrastación que con pocos indicadores, si bien los principales, se puede hacer una evaluación precisa y ajustada, que discrimina situaciones.

Se han considerado 40 departamentos que, como ya se expreso y por razones obvias, se identifican por un número y no por su denominación real.

Siguiendo el mismo planteamiento durante la evaluación de la carretera en el capítulo 5 (asignación de pesos de las variables, funciones de valor, etc.) se calcula el índice de valor para cada departamento respectivo bajo el siguiente enfoque:

*“Evaluación de todos los aspectos de los departamentos de forma que se obtenga una puntuación global, jerarquizándolas en base a su índice de valor (de mayor a menor).”*

### 6.6.1. Ponderación de atributos

La ponderación de atributos para el caso de carreteras se utilizó la metodología de jerarquía analítica (AHP). Sin embargo, para este caso en particular, la asignación de pesos se llevado a cabo de forma directa.

Esto quiere decir, que para cada variable se ha considerado el mismo peso (de cada grupo homogéneo). Entendiendo que si son 3 indicadores, les corresponde un 33.33% a cada uno. Este planteamiento se pretende mantener, ya que se considera adecuado para esta versión, no obstante, la asignación de los pesos reales han de ser designados por el órgano propio de la Universidad Politécnica de Cataluña.

Entonces, el requerimiento de investigación representa el 25% de la importancia, la docencia 25%, el de compromisos internos 25% y finalmente el compromiso externo con un 25%, y así análogamente para cada grupo del árbol de decisión. En la tabla 6.16,

se muestran los pesos (en porcentaje) asignados de forma directa para cada uno de las alternativas, y está expresada como sigue:

REQ.	CRITERIO	INDICADOR
<b>Investigación</b> [25]	Proyectos competitivos públicos [33.33]	Proyectos de investigación con financiación pública [50]
		Importe de proyectos con financiación pública [50]
	Proyectos con fondos privados [33.33]	Proyectos de investigación con financiación privada [50]
		Importe de proyectos con financiación privada [50]
	Publicaciones y patentes [33.33]	Número de artículos publicados en revistas indexadas + patentes registradas / número PDI [100]
	<b>Docencia</b> [25]	Grado [33.33]
Número profesores del departamento que pasan de nota media / número total de profesores [33.333]		
Postgrado [33.33]		Programas de especialización organizados por departamento o fundación UPC [33.333]
Doctorado [33.33]		Media de las tesis leídas / media del número de alumnos que han entrado en el programa [33.333]
		Doctores de la unidad que imparten doctorado en programas de calidad / total de profesores doctores de la unidad [33.333]
		Indicadores de entorno. Percepción externa [33.33]
<b>Compromiso sistema</b> [25]	Exterior UPC [50]	Participación del departamento en agencias nacionales o autonómicas de evaluación [100]
	UPC [50]	Cargos reconocidos pertenecientes a órganos de Gobierno de la Universidad [50]
		Cargos reconocidos en el centro de asignación [50]
<b>Compromisos externos (Extensión universitaria)</b> [25]	Secundaria [33.33]	Plan de actuación en Plan Estratégico: Lista de chequeo [100]
	Profesional [33.33]	Cargos en corporaciones profesionales [33.333]
		Premios y reconocimientos ámbito profesional [33.333]
		Cátedras de empresa en el departamento [33.333]
	Sociedad [33.33]	Cargos en corporaciones públicas (externas UPC) [50]
		Publicaciones con firma UPC en medios de comunicación diarios o semanales [50]

**Tabla 6.16.** Ponderación para el árbol de requerimientos para todos los departamentos

La respuesta de las alternativas para cada uno de los requerimientos es obtenido de la base de datos de la Universidad Politécnica de Cataluña. Con las funciones de valor ya desarrolladas y los valores de respuesta de cada variable se procede a valorar cada uno de los departamentos en el siguiente apartado.

## 6.7. RESULTADOS OBTENIDOS

Para la aplicación de este caso práctico, el objetivo era verificar si la metodología propuesta concordaba con los resultados obtenidos por el método actual. El número de departamentos es 40 y, por temas de confidencialidad, tal y como se ha comentado, no se enumeran de acuerdo a su código y se les he denominado por un número según un orden aleatorio.

Es necesario remarcar que para la valoración de los indicadores en este estudio se ha llevado a cabo mediante valores en relativo. Es decir, para el indicador, "Proyectos de investigación científica con financiación pública" la valoración se ha hecho a través del relativo "Número de proyectos de investigación científica con fondos públicos / Número de PDI". No se ha discriminado para el tipo de proyecto o el tipo de implicación.

Este planteamiento fue considerado aceptable en aquel momento de la valoración. No obstante en una segunda iteración se debe profundizar en la matización de cada uno de los indicadores.

En la tabla 6.17 se muestran el desarrollo de la valoración en los 4 requerimientos planteados para el departamento número 1. Se ha comenzado de derecha a izquierda hasta llegar a un Índice de valor para cada requerimiento, y con la suma cada uno, se obtiene el índice global de valor para este departamento. Por ejemplo, para el indicador "Proyectos de investigación con financiación pública/PDI", el valor obtenida en la función de valor es de 0.42 (ecuación 3.6) que, multiplicado por su peso de 0.50, resulta en el índice de valor de este indicador (0.212).

Con ello, la suma de los índices de valor de cada indicador en este criterio (0.212+0.035) es multiplicado por el peso propio del criterio (0.333) resultando en el índice de valor de este criterio.

Análogamente, para obtener el índice de valor del requerimiento se hace mediante la suma de los índices de valor de los criterios respectivos (0.082+0.006+0.017) multiplicado por el peso del requerimiento (0.25), siendo 0.027 (ver tabla 6.17). Para los otros 3 requerimientos se hace el mismo proceso de valoración.

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor	
Investigación	0,027	0,25	0,106	0,082	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,248	0,212	[1C1R1]	0,50	0,42	
								0,035	[2C1R1]	0,50	0	
				0,006	Proyectos con fondos privados	0,333	0,019	0,006	[1C2R1]	0,50	0,01	
								0,013	[2C2R1]	0,50	0,03	
			0,017	Publicaciones y patentes	0,333	0,052	0,052	[1C3R1]	1,00	0,05		
Docencia	0,046	0,25	0,182	0,045	Grado	0,333	0,134	0,001	[1C1R2]	0,50	0,00	
								0,133	[2C1R2]	0,50	0,27	
				0,009	Posgrado	0,333	0,027	0,027	[1C2R2]	1,00	0,03	
								0,090	[1C3R2]	0,33	0,27	
			0,129	Doctorado	0,333	0,387	0,180	[2C3R2]	0,33	0,54		
							0,117	[3C2R2]	0,33	0,35		
Compromiso Interno	0,056	0,25	0,226	0,092	Exterior UPC	0,500	0,185	0,185	[1C1R3]	1,00	0,18	
				0,133	UPC	0,500	0,267	0,118	[1C2R3]	0,50	0,24	
								0,148	[2C1R3]	0,50	0,30	
Compromiso Externo	0,028	0,25	0,114	0,112	Secundaria	0,333	0,338	0,338	[1C1R4]	1,00	0,338	
				0,000	Profesional	0,333	0,001	0,000	[1C2R4]	0,33	0,000	
								0,001	[2C2R4]	0,33	0,003	
								0,000	[3C2R4]	0,33	0,000	
				0,001	Sociedad	0,333	0,003	0,000	[1C3R4]	0,50	0,000	
								0,003	[2C3R4]	0,50	0,006	

Índice de VALOR = 0,157

**Tabla 6.17.** Obtención del índice de valor por requerimiento del departamento 1

Para obtener el índice de valor global se suman los 4 requerimientos propuestos: 0.027 (Investigación) + 0.048 (docencia) + 0.068 (comp. Internos) + 0.028 (comp. Externos) = 0.157 (índice de valor del departamento).

En este departamento se puede llegar a la conclusión que muestra una gran fortaleza con los compromisos internos, sin embargo, presenta un bajo índice en los requerimientos de investigación y compromisos externos.

De la misma manera que se ha evaluado el departamento 1, se han evaluado todos los departamentos. En la tabla 6.18 se muestran los 40 departamentos que componen la UPC, separados por requerimiento y representados de mayor a menor índice de valor. Como se puede observar, esta metodología permite identificar las fortalezas y/o debilidades en cada aspecto valorado para cada departamento, aportando un gran valor añadido como herramienta de valoración.

DEPTO.	Investigación Índice de valor	DEPTO.	Docencia Índice de valor	DEPTO.	Compromiso con el sistema Índice de valor	DEPTO.	Compromisos externos Índice de valor
8	0,16	10	0,12	19	0,19	21	0,09
31	0,13	40	0,09	17	0,15	5	0,09
4	0,12	24	0,09	8	0,14	2	0,05
19	0,11	8	0,08	31	0,13	31	0,05
17	0,11	4	0,08	5	0,13	32	0,05
16	0,10	19	0,08	18	0,12	24	0,05
21	0,10	26	0,08	29	0,11	17	0,04
40	0,08	5	0,08	10	0,11	33	0,04
2	0,06	9	0,07	4	0,10	8	0,04
25	0,06	18	0,07	3	0,10	28	0,04
35	0,05	3	0,07	24	0,10	34	0,04
22	0,04	27	0,07	25	0,10	20	0,04
37	0,04	23	0,07	11	0,09	38	0,04
39	0,04	36	0,06	32	0,09	18	0,04
7	0,04	6	0,06	30	0,08	4	0,04
6	0,04	38	0,06	6	0,08	22	0,03
5	0,03	21	0,06	38	0,08	3	0,03
34	0,03	2	0,05	23	0,07	1	0,03
10	0,03	32	0,05	40	0,07	35	0,02
11	0,03	34	0,05	16	0,06	6	0,02
23	0,03	14	0,05	26	0,06	25	0,02
1	0,03	35	0,05	20	0,06	23	0,02
29	0,03	39	0,05	27	0,06	16	0,02
24	0,02	7	0,05	35	0,06	11	0,02
38	0,02	31	0,05	1	0,06	7	0,02
36	0,02	16	0,05	21	0,06	37	0,02
18	0,01	28	0,05	14	0,05	36	0,01
9	0,00	1	0,05	7	0,05	27	0,01
30	0,00	20	0,04	33	0,05	40	0,01
28	0,00	22	0,04	34	0,05	30	0,01
32	0,00	12	0,04	39	0,05	12	0,01
12	0,00	30	0,04	37	0,04	10	0,01
3	0,00	17	0,04	22	0,03	19	0,01
13	0,00	25	0,04	9	0,03	14	0,01
26	0,00	37	0,04	12	0,03	26	0,01
27	0,00	33	0,04	28	0,03	29	0,01
33	0,00	11	0,03	2	0,03	13	0,00
15	0,00	29	0,03	15	0,03	9	0,00
20	0,00	13	0,02	13	0,02	39	0,00
14	0,00	15	0,01	36	0,02	15	0,00

Tabla 6.18. Índices de valor para cada departamento por requerimiento

Asimismo, en la figura 6.24 se muestra el índice de valor global de los departamentos. En ella, se observan cuales departamentos han obtenido un índice de valor por encima de la media. Su representación jerárquica se exhibe mas adelante.

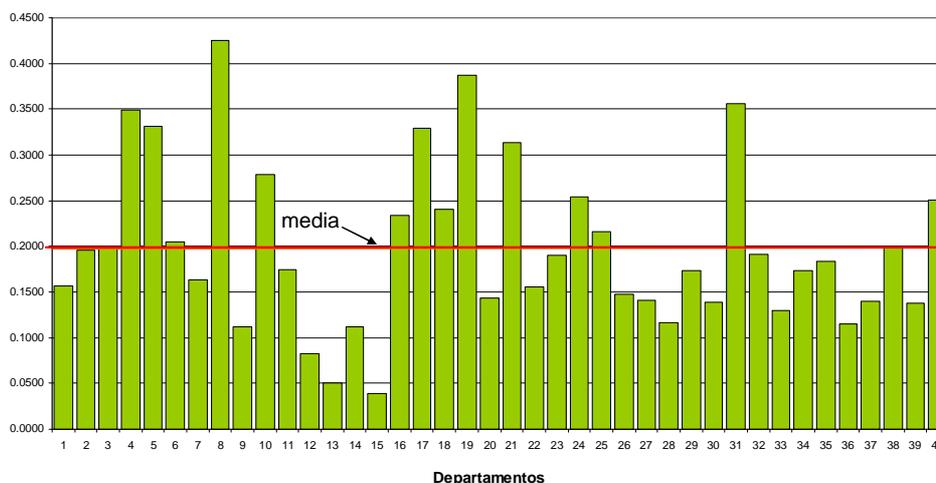
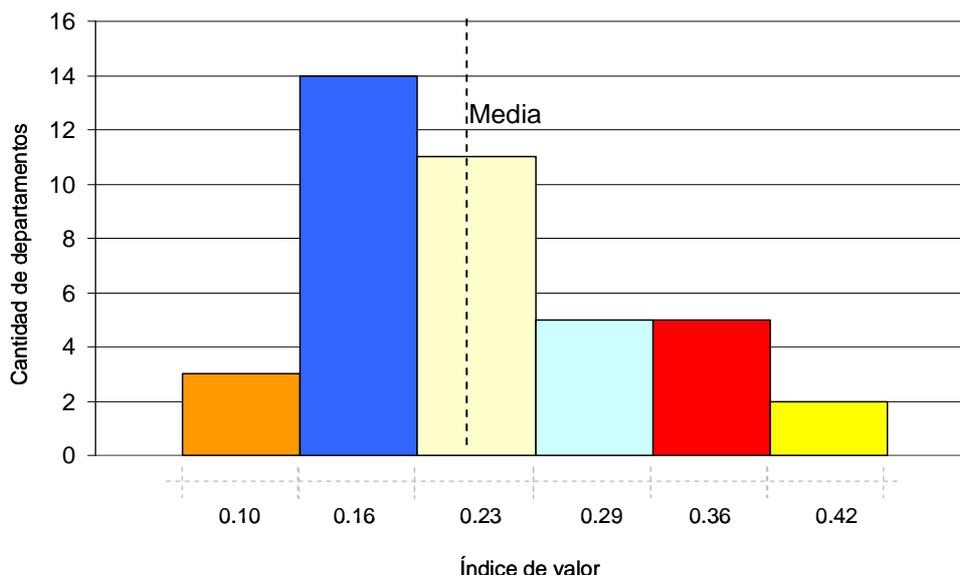


Figura 6.24. Índice de valor total para cada uno de los departamentos

En ese sentido, en la figura 6.25 se muestra la distribución de todos los departamentos a través de su índice de valor. En el eje de las abscisas esta representado el índice de valor a través de intervalos y en el eje de las ordenadas se representa la frecuencia o la cantidad de departamentos que obtuvieron un índice de valor dentro de ese intervalo.

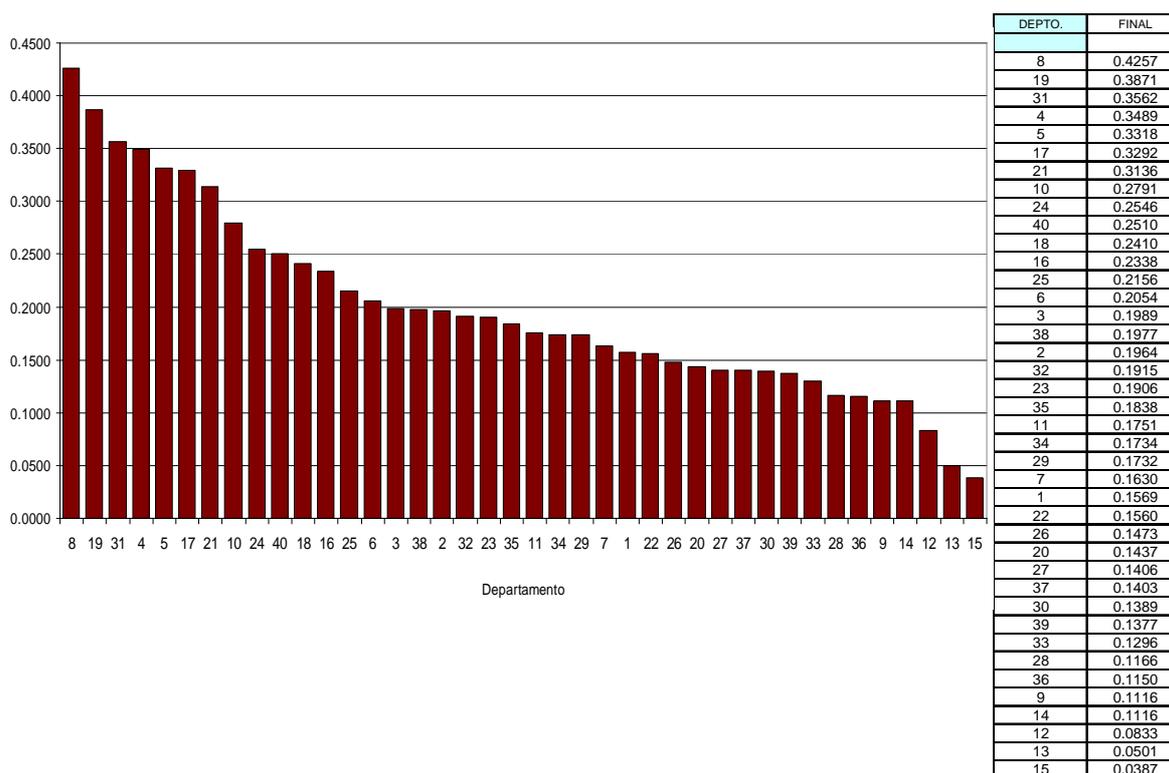
Se han creado 6 intervalos de agrupación (0.10, 0.16, 0.23, 0.29, 0.36 y 0.42), como valor límite de cada departamento. En dicho gráfico se muestra que una gran cantidad de departamentos (14), casi el 35% del total, han obtenido un índice de valor en el intervalo de 0.10 a 0.16. En este sentido, se exhibe una ligera tendencia hacia la izquierda de la media.

Por otro lado, 22 departamentos (55%) han obtenido un valor mayor a la media (0.20), siendo éste, un número importante para la universidad. En definitiva, mediante este estudio, cada departamento puede tener una “fotografía” de su desempeño en los 4 requerimientos planteados al inicio de este estudio.



**Figura 6.25.** Distribución de índices de valor de los departamentos de la Universidad Politécnica de Cataluña (global)

Finalmente, en la figura 6.26 se muestran cada uno de los departamentos ordenados o jerarquizados de acuerdo a su índice de valor final. En ella se aprecia que los departamentos con mayor índice de valor son el 8, 19, 31, 4, y 5 (en ese orden). En definitiva, se pudiera profundizar en trabajos posteriores sobre las buenas (o no) estrategias para el correcto desempeño de las unidades de la Universidad Politécnica de Cataluña.



**Figura 6.26.** Jerarquización de los departamentos de la Universidad Politécnica de Cataluña

En ésta figura se puede ver las diferencias entre los departamentos con mayor índice de valor (potentes) y con menor (débiles). Con respecto a los resultados, se pueden diseñar estrategias de mejora de acuerdo a las debilidades de cada departamento, intentando siempre mantener un equilibrio entre los requerimientos planteados.

En este caso no se tuvieron en cuenta factores de estrategias de equipos como dividir la puntuación por el nº de autores firmantes de un artículo, tipos de proyectos competitivos, tipo de revista indexada, equidad de género etc., si bien puede ser un factor de discriminación a tener presente, ya que puede favorecer a departamentos (o no) en la valoración, para este caso no se han planteado.

El análisis de valor desarrollado para este capítulo ha sido de gran utilidad para la identificación de las fortalezas y debilidades de los departamentos. En definitiva, la herramienta metodológica utilizada tiene gran valor añadido para evaluar un proyecto. Su rigor científico y su versatilidad ofrecen al decisor una herramienta potente para ser utilizada en cualquier ámbito donde se requiera tomar una decisión.

## Capítulo 7

# Conclusiones y futuras líneas de investigación

### 7.1. CONCLUSIONES PRINCIPALES

Una vez finalizado el análisis del estado del conocimiento, la presentación del modelo, con las aportaciones introducidas, y las aplicaciones realizadas tanto en la evaluación de una sección transversal de una carretera, como en el caso de departamentos universitarios, se procede a la presentación de las conclusiones; las cuales se dividen en unas conclusiones generales, que incorporan los aspectos más importantes de la presente tesis doctoral, y unas conclusiones específicas, que involucran a aquellas más concretas en cada área de la presente investigación.

Cabe recordar, que los objetivos principales de esta tesis eran, por un lado, ahondar en la metodologías de toma de decisiones MIVES, basada en análisis de valor y, por otro lado, aplicar dicha metodología a dos casos muy diversos (evaluación de secciones transversales de carretera y departamentos universitarios) para demostrar la versatilidad del modelo y la viabilidad metodológica ante distinto grado de conocimiento del tema.

Las conclusiones generales, que se presentan a continuación, son la respuesta a los objetivos principales planteados al principio de la tesis, pudiéndose afirmar que los objetivos se han cumplido de forma satisfactoria. Estas conclusiones son:

- Del estado del conocimiento, en el que se ha hecho una identificación y revisión de las distintas metodologías multicriterio, se llega a la conclusión de que no existen metodologías que integran todas las necesidades del proyecto, en este caso de carreteras, en un mismo modelo de evaluación. Esto es, usualmente, los planteamientos son desagregados, faltando metodologías de integración transversal.
- Con respecto a la metodología MIVES, se han hecho distintas aportaciones y mejoras en lo que se refiere a su planteamiento, tales como son listas de chequeo, listas de puntuación y variables relativas. Dichas aportaciones incorporan un notable apoyo a la herramienta metodológica, ya que a través de estas se pueden valorar variables que, por su naturaleza pudieran ser interpretadas como subjetivas.
- La aplicación al caso de secciones transversales de carreteras, ámbito en los que no se era especialista, la metodología utilizada, ha conducido a resultados positivos, incluso frente a nuevas secciones como el caso que nos ocupa y abre un camino importante para la aplicación en diferentes ámbitos.
- La aplicación al caso de los departamentos universitarios, en el que se supone que había una amplia experiencia previa, el modelo utilizado se ha mostrado muy preciso, discriminando entre la diversidad de tipos de departamentos universitarios. Cabe reseñar que dicho modelo ha sido adoptado por la Universidad Politécnica de Cataluña para la evaluación de sus departamentos dentro de su planteamiento estratégico para el período 2008-2011.
- Si la metodología MIVES es un modelo integrado de evaluación multicriterio, en la presente tesis se demuestra satisfactoriamente la versatilidad de la misma frente a casos muy diferentes. En cualquier caso, se insiste en que para el éxito de esta metodología es muy importante la definición del árbol de decisión (requerimientos, criterios e indicadores)

El camino abierto en esta tesis en cuanto a la aplicabilidad del modelo MIVES es muy esperanzador tanto en lo que se refiere a resultados de tipo científico (con diversos artículos enviados para su posible publicación en revistas indexadas) como de tipo profesional (ya que se está empezando a aplicar a diversos casos).

## **7.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS**

### **7.2.1. Relativas al estado del conocimiento**

En el estado del conocimiento, se ha hecho una identificación y revisión de las distintas metodologías multicriterio. Asimismo, se han identificado ciertas experiencias que utilizan en modelo de evaluación la técnica AHP, mostrando sus fortalezas y desventajas. Con ello, se llega a la conclusión de que no existen metodologías que integran todas las necesidades del proyecto en un mismo modelo de evaluación. Es decir, los modelos encontrados no evalúan la carretera de forma integrada, sino de forma separativa. Asimismo, en ninguna de las metodologías revisadas se ha identificado alguna articulación o modelo matemático que caracterice y evalúe la carretera en la misma etapa.

Por otro lado, cabe destacar que la gran mayoría de las metodologías de evaluación se centran fundamentalmente en las vertientes económicas, sociales y medioambientales, si bien, tal como se ha dicho, de forma desagregada.

### **7.2.2. Conclusiones acerca de la propuesta metodológica**

En este capítulo se concluye que la estructura metodológica propuesta de evaluación cuenta con gran rigor científico por la herramienta matemática en que se desarrolla, habiéndose contribuido a nuevos avances en la metodología MIVES en relación a su concepción y planteamiento, que permiten desarrollar fehacientemente casos de estudio en cualquier ámbito técnico, científico, social, etc. En este sentido hay que señalar algunas recomendaciones tales como: listas de chequeo, listas de puntuación y uso de variables relativas.

El empleo de las listas de chequeo ha permitido discriminar variables entre las alternativas. En este sentido, estas listas de chequeo han ayudado a disminuir la complejidad de la evaluación y a utilizar las variables que aportan un factor diferencial entre las mismas alternativas.

Las listas de puntuación propuestas han permitido reducir el carácter subjetivo de variables que así lo han requerido en cada caso de estudio. Asimismo, el empleo de estas listas ha ayudado para poder valorar las variables que, en un principio tienen un carácter cualitativo. Asimismo, el uso de variables relativas ha permitido valorar a las alternativas por su eficiencia y no por su cantidad.

Finalmente, la incorporación de indicadores intercambiables para las alternativas fue de gran apoyo para aquellos proyectos o alternativas que no siempre se encuentren bajo el mismo régimen, ya sea institucional, normativo, etc.

### **7.2.3. Relativas a la definición del árbol de decisión y las funciones de valor**

En el desarrollo de la tesis doctoral se ha puesto de manifiesto la importancia que tiene un buen árbol de decisiones, asociado a una decisión bien planteada, en el éxito de la aplicación de esta metodología de análisis de valor.

El árbol se recomienda no disponga de muchas ramas, ya que hay que tener presente, que pocas variables en cada entorno homogéneo son las principales, siguiendo el principio de Pareto. Eso debe extenderse a cada uno de los niveles (requerimientos, criterios e indicadores).

En la presente tesis, si bien no se ha introducido el riesgo de forma probabilista para el caso de carreteras, si se han dejado sentadas las bases para actuar en esa dirección de forma simplificada. Así, se han tomado indicadores con acción directa como por ejemplo costes de construcción, frecuencia de mantenimiento, etc., con otros que representan un posible riesgo de incumplimiento de las variables.

Con respecto a las funciones de valor se ha dado un paso adelante en la definición de cada una de estas en este ámbito. La definición de su forma, tendencias y análisis incorporan un punto de partida para trabajos posteriores en el sector de las carreteras y evaluaciones de departamentos universitarios

### **7.2.4. Relativas al estudio para la construcción de una carretera (caso práctico)**

En la evaluación de secciones transversales de carreteras se han tomado dos alternativas: una a base de elementos prefabricados de hormigón y la otra, en base al sistema tradicional de carreteras en España. El empleo de la metodología MIVES en este caso ha resultado satisfactorio, abriendo caminos en esta dirección.

De los resultados obtenidos en el caso práctico cabe destacar, pese al esfuerzo de obtener un índice de valor en la evaluación final, los resultados no son absolutos. Esto quiere decir que, aunque se haya obtenido una alternativa mejor respecto a la otra, se debe tener presente el carácter relativo de estos resultados debido a la dificultad de valoración de muchos de los parámetros (especialmente en aquellos donde la respuesta

del indicador es compleja para obtener), dada las faltas de experiencias previas en esta metodología de trabajo.

### **7.2.5. Relativas a la evaluación de departamentos universitarios (caso práctico)**

Con este capítulo se concluye que la herramienta empleada puede aplicarse en otros ámbitos completamente diferentes al de la construcción, en definitiva da muestra de la versatilidad de la metodología utilizada.

En ese sentido, el desarrollo de este caso de estudio ha sido una aportación notable en la presente tesis doctoral ya que, a la luz de los resultados, da la pauta para que pueda ser utilizada en otros ámbitos.

Por otra parte, los resultados obtenidos de este caso de estudio han servido para que el planteamiento recogido en la tesis se haya adoptado como modelo de evaluación de cada una de las unidades de la Universidad Politécnica de Cataluña, aportando con ello un importante valor agregado a la presente tesis doctoral.

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

A lo largo del trabajo han ido surgiendo otras posibles temáticas asociadas, o aspectos en los cuales profundizar el conocimiento, que resultan interesantes plantear para futuras líneas de investigación. A continuación se exponen las que puedan estar más relacionadas con los aspectos tratados en esta tesis doctoral.

- Dada la flexibilidad y garantía que da la metodología MIVES como metodología de soporte a las decisiones en base a análisis de valor, parece razonable plantear la misma para otros campos de aplicación, ya sean en los ámbitos temáticos estudiados, como parte complementaria en una visión global, como en nuevos campos de aplicación. De hecho, recientemente, se ha aprobado el anejo 14 de la nueva instrucción de Hormigón Estructural en España EHE 2008 en la que se define el Índice de Contribución de las Estructuras a la Sostenibilidad (ICES), basado en este planteamiento.
- En la presente tesis se ha hecho un planteamiento determinista de los indicadores, introduciendo de una forma aproximada el riesgo en el caso de la sección transversal de carreteras. Cara al futuro parece razonable, empezar a

introducir aspectos probabilistas de las determinaciones en los indicadores de forma directa, incluyendo las probabilidades de fallo o temas de riesgo.

- También sería interesante profundizar en los análisis de sensibilidad en los parámetros físicos ( $k$ ,  $C$ ,  $p$ ) de las funciones de valor para intentar reflejar el comportamiento de las variables en las alternativas. En esta dirección habría que incidir en las variables que comportan mayor peso a la decisión así como en la propia forma de definir los pesos de cada grupo.
- Para el caso de sección transversal de carreteras, se hace necesario el desarrollo de un tramo experimental de la alternativa prefabricada con el fin de medir las variables propuestas en el árbol de requerimientos, verificando las respuestas de forma más precisa.
- En lo que se refiere al caso de evaluación de departamentos universitarios y a la luz de los resultados obtenidos, se podría ampliar el ámbito y desarrollar un estudio para determinar una jerarquía de universidades españolas con el fin de homogeneizar los criterios de evaluación en todas las universidades y en consecuencia generar una nueva configuración o modelo de mejora educativa universitaria.

## Bibliografía y referencias

AASHTO (2005). Super Precast Concrete Pavements Slabs. Technology Implementation Group. Nomination of technology Ready for Implementation. Federal Highway Administration of New York, EE.UU. (FHWA-NY).

Aemal, J. (2001). Snow Event Effects on Interstate Highway Crashes. Journal of Cold Regions Engineering. December, pp. 219-229.

Agenda 21 (1994). 10 años del decreto 201/1994 que regula los escombros y otros residuos de la construcción. Agenda de la Construcción Sostenible.

Aguado, A. Manga, R. y Ormazabal, G. (2006). Los aspectos conceptuales del proyecto MIVES. Capítulo 6 libro. La medida de la sostenibilidad en edificación industrial. Modelo integrado de Valor en Edificios Sostenibles (MIVES). LABEIN. UPV-EHU UPC. ISBN 84-690-2629-1. pp. 249-271.

Águeda, F.J. (2000). El tratamiento del exceso de materiales de movimiento de tierras como elemento favorable a la protección del medio ambiente: El caso de la M-45. Carreteras No. 110, Septiembre - Octubre, pp. 5-11.

APAS (1996). Action de Promotion d' Accompagnement et de Suivi et autres activités. Transport Research Report. Directorate General Transport, European Commission.

Aragonés, P. Gómez, E. (1997). Técnicas de ayuda a la decisión Multicriterio. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería de la Construcción y de proyectos de ingeniería Civil. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Valencia.

Al-Anzi, F. Alatiqi, I. (1999). An integrated framework for self-assessment performance analysis at college of engineering and petroleum – Kuwait University. Proceedings of Symposium on Assessment of Engineering and Technical Education in Saudi Arabia, pp.43.

Al-Turki, U.M. Duffuaa, S.O. (2002). Role of measures of performance in strategic planning in education. Proceedings, Quality Conference, Kuwait.

Amekudzi, A. & McNeil, S. (2000). Capturing Data and Model Uncertainties in Highway Performance Estimation. Journal of Transportation Engineering, Volume 126, Issue 6, pp. 455-463.

Alarcón, B. (2006). Modelo integrado de valor para estructuras sostenibles. Tesis doctoral. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPC. 3 de marzo de 2006. Directores: Antonio Aguado y Alejandro Josa.

Arancibia, S.; Contreras, E.; Mella, S.; Torres, P.; Villalba, I. (2003). Evaluación Multicriterio: aplicación para la formulación de proyectos de infraestructura deportiva. Universidad de Chile.

Arbel, A. (1983). A university budget problem: A priority based approach. Socio-Economic Planning Sciences 17(4), pp.181-189.

Arena, A. Correa, E. De Rosa, C. (2001). Estudio de las implicancias ambientales relacionadas con la construcción y uso de distintos pavimentos utilizados en calles residenciales de la ciudad de Mendoza. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 5. Impreso en Argentina. ISSN 0329-5184

Asahi, T. Turo, D. Shneiderman, B. (2007). Using treemaps to visualize the analytic hierarchy process. Human-Computer Interaction Laboratory. Dept. of Computer Science & Institute for Systems Research. University of Maryland, College Park, MD 20742 USA.

ASTM (2000). Standar Practice for performing Value Analysis (VA) of Building and Building Systems E 1699-95:2000.

Azuola, L. (2008). Un nuevo sistema integrado de gestión de costes en proyectos de obra civil y edificación. Tesis doctoral. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPC. Directores: Gonzalo Ramos Schneider y Gaizka Ormazabal Sánchez.

Badri, M. Selim, H. Alshare, K. Grandon, E. Younis, H. Abdulla, M. (2006). The Baldrige Education Criteria for Performance Excellence Framework: Empirical test and validation. *International Journal of Quality & Reliability Management*. Volume: 23, Issue: 9 pp. 1118 – 1157, ISSN: 0265-671X.

Bana, C. & Costa (1986). A multicriteria decision aid methodology to deal with conflicting situations on weights. *European Journal of Operational Research*, N. 26, pp. 22-34.

Barnett, L. (1996). Are teaching evaluation questionnaires valid: Assessing the evidence. *Journal of Collective Negotiations*, Vol. 25 No.4, pp.335-49.

Barrera, A. (2004). Examen a la evaluación institucional universitaria: el caso de la UAEM Universitat: UB 2004 Direcció de la tesi Juana M. Sancho Gil. <http://www.tdx.cat/TDX-1202104-112037>.

Battikha. M. (2003). Quality management practice in highway construction. *International Journal of Quality & Reliability Management*. Volume 20, Issue 5, pp. 532–550, ISSN: 0265-671X.

Benzrekri, J. (2000). El presupuesto dedicado a las carreteras. *Revista Carreteras* No. 109. Julio-Agosto, pp. 17-20.

Boffo, S. (1999). The evaluation of research in European universities. *European Journal of Education*. 34(3) (ISSN 0141-8211.), pp 325.

Bofill, J.E. (1995). La calidad en la subcontratación. *Revista de Obras Públicas* No. 3348, Noviembre, pp. 63-71.

Brans, J.P. Vincke, P. (1985). A preference ranking organization method. *Management science*, vol. 31(6), pp 647 – 656.

Brundtland (1987). Report of the World Commission on Environment and Development, General Assembly Resolution 42/187, 11 December 1987. Retrieved: 2007-11-14.

Buela-Casal, G. (b) (2007). Reflexiones sobre el sistema de acreditación del profesorado funcionario de Universidad en España. *Psicothema*. Vol. 19, nº 3, pp. 473-482.

Bull, J. (1986). An analytical solution to the design of precast pavements. Department of Civil engineering. Newcastle upon Tyne University, *International Journal for numerical and analytical methods in geomechanics*, Vol. 10, pp. 115-123.

Burón, M. (2007). La sostenibilidad de la construcción de hormigón. *Revista Cemento y hormigón* No. 897. Enero. pp. 58-63.

Caballero, R. González, M. Molina, J. Castrodeza, C. Peña, T. (2000). [Análisis multiobjetivo de las necesidades docentes de los departamentos universitarios: una aplicación a la Universidad de Valladolid](#). *Revista Estudios de Economía Aplicada* Vol. 15, Agosto pp. 29-45.

Caballero, R. Galache, T. Gómez, T. Molina, J. And Torrico A. (2001). Efficient assignment of financial resources within a university system. Study of the University of Malaga. *European Journal of Operational Research* Volume 133, Issue 2, 1 January 2001, pp. 298-309

Cafiso, S. Di Graciano, La Cava, G. (2001). Evaluation and measurement of a quality index for existing roads. Department of civil and Environmental Engineering, University of Catania, Catania, Italy.

Cafiso, S. Di Graciano, A. Kerali, H (2002). Multicriteria Analysis Method for pavement Maintenance Management. *Transportation Research Record* 1816. Paper No. 02-3898. pp. 73-84.

Caldwell. R.D. (2006). Value Engineering: A New Systematic Way of Determining Cost Reduction. Ed. Society of American Value Engineering (Proceedings of the S.A.V.E.)

Cardim, A. (2001). Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento – Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento. Tesis doctoral. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPC. Julio de 2001. Directores: Antonio Aguado y Alejandro Josa.

Castrodeza, C Y Peña, T. (2002). Evaluación de la actividad investigadora universitaria: Una aplicación a la Universidad de Valladolid. Estudios de Economía Aplicada Vol. 20, Abril pp. 29-44

CEC (1994). Cost-Benefit and Multicriteria Analysis for new Road Construction. Final report of EURET, Doc EURET/385/1994, CEC DGVII/A, Brussels.

COMISIÓN DE TRANSPORTES. (2005). Indicadores de Calidad de Servicio en Carreteras, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Enero.

Chacón, S., Pérez-Gil, J. Holgado, F. y Lara, A. (2001). Evaluación de la calidad universitaria: validez de contenido. Psicothema, 13 (2), pp. 294-301.

Chao-Hui, W. (2005). Statistical analysis of causes for design change in highway construction on Taiwan. International Journal of Project Management No. 23, pp. 554-563.

Chan, A. (2002). Framework of success criteria for design / Build projects Journal of management in Engineering. July, pp. 120-127.

Choocharukul, K. (2004). User Perceptions and engineering definitions of highway level of service: an exploratory statistical comparison. Transportation Research Part A. Vol. 38. Nº 9-10, pp. 677-689.

COTEC. (2007). Las relaciones en el sistema español de innovación. Libro blanco. Fundación COTEC para la innovación tecnológica. ISBN: 978-84-95336-72-9.

Cullen, J. Joyce, J. Hassall, T. Broadbent, M. (2003). Quality in higher education: from monitoring to management. Quality Assurance in Education, Vol. 11 No.1, pp.5-14.

Cumbre de Río de Janeiro (1992). Cumbre Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo. [http://personal.telefonica.terra.es/web/felipefoj/medio\\_ambiente\\_y\\_desarrollo.htm#RIO](http://personal.telefonica.terra.es/web/felipefoj/medio_ambiente_y_desarrollo.htm#RIO)

De Miguel, M. (1991). La evaluación de las instituciones universitarias. Madrid: MEC.

De Miguel, J. (2001). Excelencia: calidad de las universidades. Madrid: CIS.

De los Ríos (2007). Construcción de carreteras mediante el uso de elementos prefabricados de hormigón. IV Congreso Andaluz de carreteras, Octubre. Jaén. España.

De los Ríos (2008). Nuevo sistema constructivo para pavimentos en carreteras con elementos prefabricados de hormigón. Tesis doctoral en desarrollo. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPC. Director: Antonio Aguado y Félix Edmundo Pérez.

Del Val Melus, A. (2007). [Los pavimentos en las carreteras españolas del siglo XX. Revista de Obras Públicas](#) N<sup>o</sup>. 3482. ISSN 0034-8619. pp. 7-24

Delgado, C., Vassallo, J.M., Sánchez, A. (2007). Aplicación de indicadores de calidad en concesiones de carreteras en España. Carreteras No. 151, Ene.Feb. pp. 53-66

Declaración de Impacto Ambiental (DIA) (2005). Estructura General de las Declaraciones del Impacto ambiental y su repercusión en los proyectos de carreteras.

Díaz, J. (2000). Introducción al problema de la vulnerabilidad de las infraestructuras de carreteras. Carreteras No. 106. Enero-febrero, pp.7-29.

Díaz, J. (2001). Valoración de la seguridad percibida por los usuarios de las carreteras españolas. Carreteras No. 117. Septiembre-Octubre, pp. 95-108.

Dochy, F. Segers, M. Winjen, W. (1990). Management information and performance indicators in higher education: an international issue. Assen: Van Gorcum.

Domínguez, J. Martínez, E. Villanueva, V. (2004). Hormigones reciclados: Una alternativa sustentable y rentable. Hormigón No. 867. Octubre. pp. 35-45.

Douglas, W. (2002). New elements of highway Geometry. TR News No. 223, November-December, pp. 3-7.

Doumpos, M. Zopounidis, C. (2002). Multicriteria decision aids classification methods. Kluwer academics Publishers dordrecht.

Duffuaa, S.O., Al-Alwani, J.E., Al-Haddad, A. (1999). Evaluation of engineering and technical education institutions: an integrated approach. Proceedings of Symposium on Assessment of Engineering and Technical Education in Saudi Arabia, pp.243.

DURBAN (2003). XXIIInd World Road Congress National Report, Strategic Direction Session ST2. Road and quality of life.

Ehie, I.E, Karathanos, D. (1994). Business faculty performance evaluation based on the new AACSB accreditation standards. *Journal of Education for Business* 69 (5), pp. 257-262.

El-Rayes, K. (2001). Impact of rainfall on the productivity of highway Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE. March-April, pp.125-131.

El-Rayes, K. (2005). Time-Cost-Quality Trade off Analysis for highway Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE. April, pp. 477-486.

Escobar, M. T., Moreno, J.M., Altuzarra, A. (2003) El índice de consistencia geométrico para matrices incompletas en AHP. [Anales de economía aplicada](#), ISBN 84-607-7655-7. [Asociación Científica Europea de Economía Aplicada](#).

Etxegaray, S. (1991).La evaluación de la docencia del profesorado universitario. *Revista Investigación en la Escuela*, 15, pp. 67-81

Fernández, J. López, J.M. Arroyo, P. Bernal E. (1996). El análisis coste-beneficio y su vigencia relativa en la valoración de grandes proyectos hidráulicos. Departamento de Análisis Económico. Universidad de Zaragoza.

Ferris, J. (2008). Diseño, desarrollo y validación de una metodología de valoración multicriterio de activos basada en ANP. Tesis doctoral Julio de 2008, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de proyectos de ingeniería. Directores de Tesis: Dra. Monica García Melón y Dr. Jerónimo Aznar Bellver.

FHWA, D.C. (2003). Technologies for champions. *TR News* No. 226. May-Jun. pp. 25-28.

FHWA. (2003). Federal Highway Administration US Department of Transportation Office and Public Affairs. <http://www.fhwa.dot.gov/pressroom/fhwa0224.htm>

Flament, M. (1999). Glosario Multicriterio. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. UNESCO.

Galehouse, L. (2002). Strategic Planning: for Pavement Preventive Maintenance. *TR News* No. 219, March-April, pp. 3-8.

Garber, N, Hoel, L. (2005). Ingeniería de tránsito y Carreteras. ISBN-10 9706863648. EAN: 9789706863645. Libro Tercera edición. 1150.

Gaspa, J. (2006). Aplicación de Análisis Multicriterio a proyectos de carreteras. Identificación de parámetros y valoraciones de su peso. Tesina de especialidad. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y puertos de Barcelona. Departamento de Infraestructura del Transporte y del territorio.

Gee, K. (2003). Advancing the Pavement Preservation Movement TR News No. 228 September-October, pp. 16-21.

Golany, B. & Kress, M. (1993). A Multi-Criteria Evaluation of Methods for Obtaining Weights from Ratio-Scale Matrices. *European Journal of Operational Research*, Vol. 69, N. 2, pp. 210-220.

Gomes, L. Lima, M. (1992). From modelling individual preferences to multicriteria ranking of discrete alternatives: a look at prospect theory and the additive difference model. *Foundations of computing and decision sciences*, vol. 17(3).

Gonca, Y. (2006) University evaluation-selection: a Turkish case. *International Journal of Educational Management*, Volume: 20 Issue: 7 pp. 559 – 569 ISSN: 0951-354X.

González. B. Rodríguez A. Fe, J. (2000). Evaluación de los costes de construcción en la red de carreteras de Andalucía. *Carreteras* No. 107 Marzo – Abril. pp. 45-60.

Grandzol, J. R. (2005). Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: A Case for the Analytic Hierarchy Process. *IR Applications*. Volume 6, August 24. AIR Association for Institutional Research.

H.A. (1995). Trunk roads and motorways: review of contractual arrangements. Consultation Document. Highways Agency.

Hassanein, A. & Moselhi, O. (2004). Planning and Scheduling Highway Construction. *Journal of Construction and Engineering and Management*. Volume 130, Issue 5, pp. 638-646.

Häkkinen, T. & Mäkela, E. (1996). Life cycle assessment of road construction TIELAITOS, Finnra Reports 17/2000. Finnish National Road Administration. ISSN 0788-3722, ISBN 951-726-633-2

Helms, M. Williams, A. Nixon, J. (2001). TQM principles and their relevance to higher education: the question of tenure and post-tenure review. *The International Journal of Education Management*, Vol. 15 No.7, pp.322-31.

Herbsman, Z. Tong Chen, W. Epstein, W. (1995). Time is money: Innovative Contracting Methods in Highways Construction. *Journal of construction Engineering and management/ September*. pp. 273-281.

Hernández, F. (1996). La evaluación de los alumnos en el contexto de la evaluación de la calidad de las universidades. *Investigación Educativa No. 2*, pp. 25-20.

Herrera, R. (2006). Diseño y ejecución de sistemas viarios en medios sensibles. *Carreteras No. 150, Extraordinario, Integración ambiental*. pp. 44-59.

Ho, W. (2008). Integrated analytic hierarchy process and its applications – A literature review. *European Journal of Operational Research*. Volume 186, Issue 1, 1 April, pp. 211-228.

Holguin-Veras, J. (1995). Comparative Assessment of AHP and MAV in Highway Planning: Case Study. *Journal of Transportation Engineering*. ISSN 0733-947X electronic: 0733-947X. ASCE Volume 121, issue 2, pp. 191.

Hope, R.P. Sharpe, J.A. (1989). The use of two planning decision support systems in combination for the redesign of an MBA information technology programme. *Computers and Operations Research* 16(4), pp. 325-332.

Horvarth, A. (2000). Comparison of Environmental implications of asphalt and steel-Reinforced Concrete Pavements. *Transportation Research Record No. 1626*. Paper No. 98-0661, pp.105-113.

Hübner, P. Rau, E. (2002). Performance budgeting in higher education: the case of the Freie Universität Berlin. *Perspective*, Vol. 6 No.3, pp.80-6.

Iglesias de Ussel, J. (2000). La universidad en la sociedad del conocimiento. En *evaluación y calidad en las organizaciones públicas*. Madrid: INAP, pp. 159-168.

INEC (2000). Instituto Nacional de Investigación en Canadá. *Popular* Vol. 2 No.3.

Jasienski, A. (2007) Gestión de obras muy congestionadas. Ejemplos de Autopista de Bélgica. Febelcem, Bélgica. Memorias del Seminario Internacional sobre rehabilitación de pavimentos de cemento. Guatemala 23 y 24 de abril. pp. 53-64.

Jiménez, G. (1990). Análisis y valoración del sistema de evaluación de la UNED desde la perspectiva del alumnado. Revista Bordón: Revista de Orientación Pedagógica, Vol. 41, No. 3, pp. 459-462.

Jiménez, O. (2004). Nuevas Tecnologías y su impacto en la seguridad vial. Carreteras No. 134. Julio-Agosto, pp. 63.

Johnes, J. (2006). Measuring teaching efficiency in higher education: An application of data envelopment analysis to economics graduates from UK Universities 1993 European Journal of Operational Research, Volume 174, Issue 1, pp. 443-456.

Josa, A., Aguado, A., Gettu, R. (2001). Construcción y medio ambiente, 2ª parte: comportamiento medioambiental de productos con base cemento. Aplicación a pavimentos de hormigón.. Cemento-Hormigón, (828): 985-1004. ISSN: 0008-8919.

Kalamaras, G. Brino, L. Carrieri, C. Pline & Grasso (2000). Application of Multicriteria Analysis to select the best highway alignment. Tunneling and Underground Space Technology, Volume 15, Issue 4. 12 October. pp. 415-420.

Keeney, R. Raiffa, H. (1981). Decision with multiple objectives. New York. Wiley.

Keeney, R.L. Raiffa, H. (1976 y 1993). Decisions with multiple objectives. Preferences and value tradeoffs. Willey, New York (1ª edición) y Ed. Cambridge University Press (2ª edición).

Korhonen, P. Moskowitz, H. Wallenius, J. (1992). Multiple criteria decision support: a review. European Journal of operational research N. 63, pp. 361-375.

Kulkarni, R. Miller, D. Ingram, R. Wong, Ch. & Lorenz, J. (2004). Need-Based Project Prioritization: Alternative to Cost-Benefit Analysis. Journal of Transportation and Engineering. Volume 130, Issue 2, pp. 150-158.

Kwangho, P. (2003). Quantitative Assessment of Environmental Impacts on Life Cycle of Highways. Journal of Construction Engineering and Management. January-February, pp. 25-31.

Lam, K. Zhao, X. (1998). An application of quality function deployment to improve the quality of teaching. *International Journal of Quality & Reliability Management*. Volume:15 Issue: 4 pp. 389 – 413 ISSN: 0265-671X.

Lawson, N. Douglas, I. Garvin, S. McGrath, C. Manning, D. Vetterlein, J. (2001). Recycling construction and demolition wastes – a UK perspective. *Environmental Management and Health*. Volume 12, Issue 2, pp. 146 – 157. ISSN: 0956-6163. MCB UP Ltd.

León, O (1993). *Análisis de decisiones. Técnicas y situaciones aplicables a directivos y profesionales*. Ed. McGraw Hill. Madrid.

Liberatore, M. Nydick, R.L. (1997). Group decision making in higher education using the analytic hierarchy process. *Research in Higher Education* 38(5), pp. 593-614.

Lin, F. (2003). Estimating Safety Benefits of Road Improvements: Case Based Approach. *Journal of Transportation Engineering*. ASCE. July-August, pp. 385-391.

Lombardo, S. (2001). AHP reference listing. Retrieved from <http://www.expertchoice.com/ahp/default.htm>

Llamazares, O. (1986). Metodología de Evaluación y decisión de inversiones de obras de carreteras. *Revista de Obras Públicas*, Julio, pp. 505-510.

Mäkela E. Routoistenmäki A. Outoistenmäki, A. Eskola P. (1999). Life cycle assessment of road construction. *Finnra Report 17/2000*. Finnish National Road Administration. Helsinki.

Manga, R. (2005). Una nueva metodología para la toma de decisión en la gestión de la contratación de proyectos constructivos. Tesis doctoral. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPC. 28 de octubre de 2005. Directores: A. Aguado y G. Ormazabal.

Manoj, K. (2003). Criteria Based Decision Support System for selecting Highway alignments. *Journal of Transportation Engineering*. January-February, pp. 33-41.

Manoj K. & Schonfeld, P. (2003). Trade-offs Between Initial and Maintenance Costs of Highways in Cross-Slopes. *Journal of Infrastructure and Systems*. Volume 9, Issue 1, pp. 16-25.

Marín, I. (1991). El sistema pedagógico de la UNED y su rendimiento». Madrid, pp. 23-31.

McNamara, C. (2000). How to develop performance measures: Developing your strategic plan. Free Management Library. [www.urac.org/howtodevelop\\_performancemeasu.html](http://www.urac.org/howtodevelop_performancemeasu.html)

Mensah, Y.M., Werner, R. (2003). Cost efficiency and financial flexibility in institutions of higher education. Journal of Accounting and Public Policy, Vol. 22 pp.293-323.

Merrit, D. (2000). The Feasibility of Using Precast Concrete Panels to expedite highway Pavement construction. Research Report Number 1517-1. Center for transportation research. Bureau of Engineering Research. The University of Texas at Austin, February.

Merrit, D. (2002). Texas tests precast for speed and usability: deteriorating transportation infrastructure and rising roadway usage necessitated innovations that speed up pavement construction. Is precast concrete one answer?. Public Roads, July-August.

Miles, G. (1956). The magic number seven, plus or minus two. The Psychological Review, 1956, vol. 63, pp. 81-97.

MINISTERIO DE FOMENTO (2004). Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de carreteras y puentes. (PG-3) Series Normativas.

Moreno-Jiménez, J.M. (1996). Metodología multicriterio para el Plan de regadíos. Proyecto para INTECSA, S.A.

Mustafa, A. Goh, M. (1996). Multi-criterion models for higher education administration. Omega. International Journal of Management Science, Vol. 24 No.2, pp.167-78.

NCHRP, SYNTHESIS 311 (1997). Performance Measures of operational Effectiveness for highway Segments and systems. Transportation Research Board Report Synthesis 311.

Neave, G. (2001). Educación superior: historia y política sobre la universidad contemporánea. Barcelona: Gedisa.

Norris, G; Marshall, H (1995). Multiattribute decision analysis method for evaluating buildings and building systems. NISTR 5663, U.S dept. of commerce. National Institute of standards & technology.

Ntshoe, I.M. (2003). The political economy of access and equitable allocation of resources to higher education. International Journal of Educational Development, Vol. 23 pp.381-98.

Odeh, A., Battaineh, H. (2002). Causes of Construction delay: Traditional contracts International Journal of Project Management No. 20. 2002. pp. 67-73.

ONU (2001). Indicators of sustainable development: framework and methodologies, (9na sesión de la Comisión sobre Desarrollo Sostenible. Nueva York 16-27 abril. United Nations Publications, 2da. Edition.

Ormazabal, G. (2001). El IDS: un nuevo sistema integrado de toma de decisiones para la gestión de proyectos constructivos. Tesis Doctoral. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPC. 20 de febrero de 2002. Director: A. Aguado.

Ortiz, J. (2006). Recomendaciones para la producción en central de mezclas bituminosas en caliente con altas tasas de reciclado. Carreteras No. 149. Nov.-Dic. pp. 15-26.

[Ortiz, J. Del Cerro, J. Moncunill, C.](#) (2007). Carreteras y sostenibilidad. Revista técnica de la Asociación Técnica de carreteras No. 152. ISSN 0212-6389. pp. 6-21.

Osorio, J. (1995). Los indicadores del rendimiento en la evaluación institucional universitaria. ICE. Universidad de Zaragoza.

Pacios, A. Martos, G. (2008). Estimación del índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad en ejemplos de la edificación. Cemento hormigón. ISSN 0008-8919, No. 913. pp. 70-83.

París, A., Ortiz, J., Moncunill, C. (2006). El análisis de ciclo de vida en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente. Carreteras No. 150, Extraordinario, Integración ambiental. pp. 108-123.

Pallardo, E. (2006). Sostenibilidad de la carretera y el transporte, un enfoque de desarrollo territorial. Carreteras No. 150, Extraordinario, Integración ambiental. pp. 60-77.

Pardillo, J.M. (2005). Respuestas a los usuarios-clientes de la carretera frente a la inseguridad viaria. Carreteras No. 143. Noviembre-Diciembre, pp. 50-62.

Park, T. Lohr, L. (2006). Performance evaluation of university extension providers: A frontier approach for ordered response data. European Journal of Operational Research Volume 182, Issue 2, pp. 899-910.

Parrado, C. (2008) La ordenación del territorio bajo el prisma de sostenibilidad (Estudio de su aplicación en la ciudad de Santa fe de Bogotá D.C). Departamento de Ingeniería de la Construcción. Universidad Politécnica de Cataluña. Tesis doctoral. Director de tesis: Pere Alavedra Ribot.

Parrot, J. (2008). Estudio de Sostenibilidad en tuberías de saneamiento. Proyecto o Tesina d Especialitat. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona (UPC). Departamento Ingeniería de la Construcción. Tutor Antonio Aguado de Cea.

Pekka, L. (2000). Measurement scales and scale independence in the analytic hierarchy process. Journal of Multicriteria Decision analysis. Volume 9. Issue 4, pp. 163-174.

Pfanzagl, J. (1968). Theory of measurement. New York. John Wiley & sons.

PIARC (2005). Road Maintenance Evaluation Methods. Report 09.08, pp. 40-55.

PEIT (2005). Plan estratégico de Infraestructuras y Transporte Anexo II, Las inversiones del PEIT, Cataluña.

Pérez, R. (1991). La Universidad Nacional de Educación a Distancia. Aproximación a un modelo innovador. Madrid: MEC.

Piantanakulchai, M. Saengkhaio, N. (2003). Evaluation of alternatives in transportation planning using multi-stakeholders multi-objectives AHP modeling. Proceedings of the Eastern Asia Society for transportation Studies. Vol. 4, October, pp. 1613-1627.

Picallo, C. (2002). Propuestas y criterios de evaluación para la investigación en la UAB. Papers.Revista de Sociologia. (67), ISSN 0210-2862. 2002. pp 25-28.

PREOC (2007). Base de datos de Precios de Edificación y Obra Civil en España. <http://www.preoc.es/varios/instalacion.asp>

Raiffa, H. (1968). Decision analysis: introductory lectures on choices under uncertainty. Addison-Wesley, Reading, Mass.

Riera, P. Nájera, T. (2002). Distributional Cost-Benefit Analysis as an Integrated Tool to Assess Fiscal Policies in Efficiency and Equity Terms. EFI Proceedings No. 42, pp. 7-14.

Rodríguez López, B. (2006) "Recicladas y como nuevas", Revista del Ministerio de Fomento, nº 547.

Ríos, S. Insua, M.J. (1989). Procesos de Decisión Multicriterio. EUDEMA S.A. (Ediciones de la Universidad Complutense de Madrid).

Rojí, E. Editor (2007). La medida de la sostenibilidad en edificación industrial. Modelo integrado de Valor en Edificios Sostenibles (MIVES). LABEIN. UPV-EHU UPC. ISBN 84-690-2629-1.

Romana, M. (2007). La dedicación de un profesor de universidad (al menos de Ingeniería). Revista de Obras Públicas. 2007, Vol. 154. N. 3480, pp. 7-10.

Romero, C. (1996). Análisis de las decisiones multicriterio. Publicaciones de ingeniería de sistemas. Primera edición. ISDEFE.

Saaty, T.L. Rogers, L.R. (1976). Higher education in the United States (1985-2000): Scenario construction using a hierarchical framework with eigenvector weighting. Socio-Economic Planning Sciences 10, pp. 251-263.

Saaty, T. (1980). AHP: The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill.

Saaty, T. (1994). How to make a decision: the analytic hierarchy process. Interfaces, Vol. 24 No.6, pp.9-26.

Saaty, T. (2005). Theory and Applications of the Analytical Network Process: Decisión making with benefits, opportunities, Costs, and risks. University of Pittsburgh.

Sampedro, A. (2006). Reutilización de materiales y el protocolo de Kyoto en la construcción de carreteras. Carreteras No. 150, Extraordinario, Integración ambiental. pp. 168-189.

Sánchez, O. (2003). Procedimientos de evaluación de la consistencia del trazado de las carreteras: IHSDM. Rutas Madrid. No. 96, pp. 5-14, Ref. 8.

Sánchez de Juan, M., Alaejos, P. (2006). Influencia del árido reciclado en las propiedades del hormigón estructural. Hormigón No. 889. Junio, pp. 54-61.

Saravia, G., Marcelo, A. (2004). Evaluación del Profesorado Universitario. Un enfoque desde la Competencia Profesional Direcció de la tesi Sebastián Rodríguez Espinar Universitat UB Consultable a: <http://www.tdx.cat/TDX-1001104-085258>

Satorras Arriols, M. (2003). La qualitat als centres de formació superior experiències a l' àrea de Barcelona. 2da Edició. Barcelona Edicions (UPC).

Seymour, J, O'Connor, J. (2007). Introducción a la PNL. 8va. Edición. Editorial URANO. ISBN: 978-84-7953-096-9.

Shiba, M. (1995). Analytic Hierarchy Process (AHP) Based Multi-Attribute Benefit Structure analysis of road Network Systems in Mountainous Rural Areas of Japan. Journal of Forest Engineering. Mie University, Tsu Japan. pp. 41-50.

Scholl, A. Manthey, L. Helm R, Steiner, M. (2005). Solving multiattribute design problems with analytic hierarchy process and conjoint analysis: An empirical comparison. European Journal of Operational Research, Volume 164, Issue 3, 1. pp. 760-777.

Sinis, F. (2002). Utilización de residuos en la construcción de capas de firmes en carreteras. Revista Ingeniería civil No. 128, ISSN 0213-8468.

[Stufflebeam, D.](#), [Madaus, G.](#), [Kellaghan, T.](#) (2000). [Evaluation models: viewpoints on educational and human services evaluation.](#) ISBN 0792378849. Edit. Boston: Kluwer Academic.

Szeto, W.F P.C. Wright (2003). Searching for an ideal: a cross-disciplinary study of university faculty performance evaluation. Journal Equal Opportunities International Volume: 22 Issue: 8 pp. 54 – 72 ISSN: 0261-0159, Publisher: Barmarick Publications.

Tadisina, S.K. Bhasin, V. (1989). Doctoral program selection using pairwise comparisons. Research in Higher Education 30 (4), pp. 403-418.

Tangian, T. (2004). Redistribution of university budgets with respect to the status quo. European Journal of Operational Research, Volume 157, Issue 2, pp. 409-428.

Tejedor, F. Montero, L. (1990). Indicadores de la calidad docente para la evaluación del profesorado universitario. Revista Española de Pedagogía, 48 (186), pp. 59-279.

Telli, G (2006). University evaluation-selection: a Turkish case. *International Journal of Educational Management*. Vol. 20. N. 7, pp: 559-569, ISSN: 0951-354X

Tille, M. (2003). Methods of Multicriteria decision analysis within the road projects like an element of the sustainability. STRC 03 Conference paper session decision support. 3rd-Swiss Transport Research Conference. Monte Verità/Ascona, March 19-21.

Thompson, B., Anderson, S., Russell, J. Hanna, A. (2002). Guidelines for warranty contracting for highway construction. *Journal of management in Engineering*. July pp. 129-137.

Thompson, G.M. (2005). Using information on unconstrained student demand to improve university course schedules. *Journal of Operations Management*, Vol. 23 pp.197-208.

Tochtermann, K. (2001). Greening the super highway: practical steps to sustainability in the information society. *Foresight*. Volume 3, Issue 2, pp. 113 – 121. ISSN: 1463-6689. MCB UP Ltd

TRB (2004). Using precast Concrete Panels for pavement Construction in Indiana Publication No. FHWA/IN/JTRP-2003/26, SPR-2779. June, Final report. West Lafayette. INDOT Division of Research.

Trinidad, A. (1995). La evaluación de instituciones educativas. El análisis de la Facultad de CC.PP. y Sociología de la Universidad de Granada. Granada: Universidad de Granada.

Trinidad, A. (2001). Evaluación institucional de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociología de la Universidad de Granada. Universidad de Granada.

Trinidad, A. García, I. (2002). Análisis de la bibliografía sobre evaluación de universidades (1990-2002). Documento de trabajo pendiente de publicación.

Trinidad, A. Ayuso, L. Gallego D. García J.M. (2003). La evaluación del Plan Nacional de evaluación y Calidad Universitaria desde la Grounded Theory Universidad de Granada. Departamento de Sociología Paper 70, pp. 83-113.

Tummala, V.M.R., Sánchez, P.P. (1988). Evaluating faculty merit awards by analytic hierarchy process. *Modeling, Simulation and Control C: Environmental, Biomedical, Human and Social Systems* 11(4), pp. 1-13.

Villar, L. M. & Alegre, O. M. (2004). Manual para la excelencia en la enseñanza superior, Madrid, Spain: McGraw-Hill.

Villegas, N. De los Ríos, B. Aguado, A. (2007). Análisis de valor en la toma de decisiones aplicado a carreteras. IV Congreso Andaluz de carreteras. Jaén 4-6 de Octubre de 2007. Inventario histórico de carretera de Andalucía.

Voogd, H. (1983). Multicriteria Evaluation for Urban and regional planning.

Wallenius, J. Dyer, J. Fishburn, P. Steuer, R. Zionts, S. Deb, K. (2008). Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: Recent accomplishments and what lies ahead. Management Science, Vol. 54, No. 7 July. ISSN 0025-1909. pp. 1336-1349.

Wellman (2000). By products in earth construction. Assessment of acceptability. XI Congreso. [http://www.gid.uji.es/docs/articles/Garrain\\_07\\_05.pdf](http://www.gid.uji.es/docs/articles/Garrain_07_05.pdf).

Wibowo, A., Kochendörfer, B. (2005). Financial Risk Analysis of project finance in Indonesian Toll Roads Journal of Construction Engineering and management (ASCE). September. pp. 963-972.

Wilmot, C. & Cheng, G (2003) Estimating Future Highway Construction Costs. Journal Construction Engineering and Management. Volume 129, Issue 3, pp. 272-279.

Wong, E. Norman, G. Flanagan, R. (2000). A fuzzy stochastic technique for project selection. Construction Management and Economics. Vol 18 (4), pp 407 – 414.

World Road Association, PIARC Technical Committee on Road Management (C6), 2005. Asset Management for Roads – An overview. ISBN 2-84060-176-1

WSDOT (2005). Pavement Guide Volume 1, Pavement Policy. Environmental and Engineering Programs Division.

Yang, M. Sajedi, E. Drumm, C. & Ramakrishna, A. (2006). Design and Construction of Highway Structures in Karst Terrain. Journal of Materials in Civil Engineering. Underground Construction and Ground Movement.

Yu, Pl. (1985). Multiple criteria decision making: concepts, techniques and extensions. Plenum Press, New York.

Zrari. S. (2000). La evaluación Multicriterio en un proyecto vial. Subdirección de Vialidad Urbana de Santiago de Chile.

Nota: a continuación se citan algunas referencias obtenidas de Internet:

[www.aashototig.org](http://www.aashototig.org)

Technologies for Champions

[www.cat-sostenible.org](http://www.cat-sostenible.org)

La Agenda 21 en Cataluña

[www.cepcos.es/noticias.php](http://www.cepcos.es/noticias.php)

Evolución de índices de precios de materiales y mano de obra

<http://www.cotec.es/>

Fundación para la innovación tecnológica

[www.degussa-cc.es](http://www.degussa-cc.es)

Adiciones al hormigón/Sistema Devolcrete

[www.elsevier.com/locate/tra](http://www.elsevier.com/locate/tra)

Transportation Research Part A

[www.engext.unl.edu/CE/Profiles/tuan/](http://www.engext.unl.edu/CE/Profiles/tuan/)

Conductive Concrete Overlay for bridge deck deicing

[www.fomento.es](http://www.fomento.es)

Inversión en Infraestructuras según destino

[www.geologica-acta.com](http://www.geologica-acta.com)

<http://internacional.fhwa.dot.gov/superiormaterials>

Conductive Concrete wins Popular Science Prize. Construction Innovation, Vol. 2. No.3 NRC-IRC, Invierno 1997.

[www.mityc.es](http://www.mityc.es)

El Gobierno destinará 680 millones al Plan de energías renovables 2005-2010) 29/08/2005. Restos de la gestión del agua en el siglo XXI, en la revista Geológica Acta

[www.new-technologies.org/ECT/Civil/Conductive.htm](http://www.new-technologies.org/ECT/Civil/Conductive.htm)

[www.nrc.ca/irc/neewsletter/](http://www.nrc.ca/irc/neewsletter/)

Conductive concrete seeks licensing agreements, Construction Innovation, Vol. 1, No. 1, NRC-IRC. Julio 1995.

[www.sciencedirect.com/science/journal/09658564](http://www.sciencedirect.com/science/journal/09658564)

User perceptions and engineering definitions of highway level of service: an exploratory statistical comparison. Revista Transportation Research.

[www.sostenible.es](http://www.sostenible.es)

Las energías renovables han recibido seis veces menos ayudas que las convencionales

[www.transporte3.com/edición/081\\_01.php](http://www.transporte3.com/edición/081_01.php)

Vehículos para transportes especiales por carretera.

[www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/indisd/english/english.htm](http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/indisd/english/english.htm).

United Nations Publications.

[www.uretekusa.com](http://www.uretekusa.com)

(Panel Replacement USA)

[www.iisd.org/measure/principles/bp\\_full.asp](http://www.iisd.org/measure/principles/bp_full.asp)

Principios de Bellagio.

## **DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO**

- Documento 01; Nota Técnica nº 01 Nuevas alternativas en construcción de carreteras (UPC). Departamento de Ingeniería de la Construcción. (2005). Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.
- Documento 02; Nota Técnica nº 02. Entorno del proyecto en el ámbito catalán (UPC). Departamento de Ingeniería de la Construcción. (2005) Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.
- Documento 03; Nota Técnica nº 03. Bases metodológicas para la evaluación del proyecto (UPC). Departamento de Ingeniería de la Construcción. (2005) Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.

- Documento 04; Nota Técnica nº 04 Sistema alternativo de construcción de carreteras (UPC). Departamento de Ingeniería de la Construcción.(2006) Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.
- Documento 05; Nota Técnica nº 05. Funciones de valor para el sistema (UPC). Departamento de Ingeniería de la Construcción. (2006) Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.
- Documento 06; Nota Técnica nº 06. Aspectos técnicos complementarios. Departamento de Ingeniería de la Construcción.(2006) Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.
- Documento 07; Nota Técnica nº 07. Comparativa económica entre alternativas (UPC). Departamento de Ingeniería de la Construcción. (2006) Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.



## Anexo 1

# Índices de valor para departamentos UPC

## Departamento 1

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,027	0,25	0,106	0,082	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,248	0,212	[I1C1R1]	0,50	0,42
								0,035	[I2C1R1]	0,50	0
				0,006	Proyectos con fondos privados	0,333	0,019	0,006	[I1C2R1]	0,50	0,01
								0,013	[I2C2R1]	0,50	0,03
0,017	Publicaciones y patentes	0,333	0,052	0,052	[I1C3R1]	1,00	0,05				
Docencia	0,046	0,25	0,182	0,045	Grado	0,333	0,134	0,001	[I1C1R2]	0,50	0,00
								0,133	[I2C1R2]	0,50	0,27
				0,009	Posgrado	0,333	0,027	0,027	[I1C2R2]	1,00	0,03
				0,129	Doctorado	0,333	0,387	0,090	[I1C3R2]	0,33	0,27
0,180	[I2C3R2]	0,33	0,54								
				0,117	[I3C2R2]	0,33	0,35				
Compromiso Interno	0,056	0,25	0,226	0,092	Exterior UPC	0,500	0,185	0,185	[I1C1R3]	1,00	0,18
				0,133	UPC	0,500	0,267	0,118	[I1C2R3]	0,50	0,24
0,148	[I2C1R3]	0,50	0,30								
Compromiso Externo	0,028	0,25	0,114	0,112	Secundaria	0,333	0,338	0,338	[I1C1R4]	1,00	0,338
				0,000	Profesional	0,333	0,001	0,000	[I1C2R4]	0,33	0,000
								0,001	[I2C2R4]	0,33	0,003
								0,000	[I3C2R4]	0,33	0,000
0,001	Sociedad	0,333	0,003	0,000	[I1C3R4]	0,50	0,000				
				0,003	[I2C3R4]	0,50	0,006				

Índice de VALOR = 0,157

## Departamento 2

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,064103	0,25	0,256	0,048	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,145	0,145	[1C1R1]	0,5	0,29
								0	[2C1R1]	0,5	0
				0,162	Proyectos con fondos privados	0,333	0,485	0,435	[1C2R1]	0,5	0,87
								0,05	[2C2R1]	0,5	0,10
				0,047	Publicaciones y patentes	0,333	0,14	0,14	[1C3R1]	1	0,14
Docencia	0,054942	0,25	0,22	0,057	Grado	0,333	0,17	0,005	[1C1R2]	0,5	0,01
								0,165	[2C1R2]	0,5	0,33
				0,05	Posgrado	0,333	0,15	0,15	[1C2R2]	1	0,15
				0,113	Doctorado	0,333	0,33997	0,056661	[1C3R2]	0,3333	0,17
						0,176649	[2C3R2]	0,3333	0,53		
						0,106656	[3C2R2]	0,3333	0,32		
Compromiso Interno	0,025	0,25	0,1	0	Exterior UPC	0,5	0	0	[1C1R3]	1	0,00
				0,1	UPC	0,5	0,2	0,105	[1C2R3]	0,5	0,21
								0,095	[2C1R3]	0,5	0,19
Compromiso Externo	0,052404	0,25	0,21	0,083	Secundaria	0,333	0,248	0,248	[1C1R4]	1	0,248
								0	[1C2R4]	0,3333	0
				0,058	Profesional	0,333	0,17298	0	[2C2R4]	0,3333	0
								0,1729827	[3C2R4]	0,3333	0,519
				0,069	Sociedad	0,333	0,2085	0	[1C3R4]	0,5	0
								0,2085	[2C3R4]	0,5	0,417

Índice de VALOR = 0,196

## Departamento 3

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,001249	0,25	0,005	0,003	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,01	0,01	[1C1R1]	0,5	0,02
								0	[2C1R1]	0,5	0
				0,002	Proyectos con fondos privados	0,333	0,005	0	[1C2R1]	0,5	0,00
								0,005	[2C2R1]	0,5	0,01
				0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[1C3R1]	1	0,00
Docencia	0,069513	0,25	0,278	0,082	Grado	0,333	0,245	0,045	[1C1R2]	0,5	0,09
								0,2	[2C1R2]	0,5	0,40
				0,15	Posgrado	0,333	0,45	0,45	[1C2R2]	1	0,45
				0,047	Doctorado	0,333	0,13999	0,106656	[1C3R2]	0,3333	0,32
						0,03333	[2C3R2]	0,3333	0,10		
						0	[3C2R2]	0,3333	0,00		
Compromiso Interno	0,099375	0,25	0,398	0,275	Exterior UPC	0,5	0,55	0,55	[1C1R3]	1	0,55
				0,123	UPC	0,5	0,245	0,18	[1C2R3]	0,5	0,36
								0,065	[2C1R3]	0,5	0,13
Compromiso Externo	0,028777	0,25	0,115	0,112	Secundaria	0,333	0,336	0,336	[1C1R4]	1	0,336
								0,009657	[1C2R4]	0,3333	0,029
				0,003	Profesional	0,333	0,00967	0	[2C2R4]	0,3333	0
								0	[3C2R4]	0,3333	0
				0	Sociedad	0,333	0	0	[1C3R4]	0,5	0
								0	[2C3R4]	0,5	0

Índice de VALOR = 0,199

## Departamento 4

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,119464	0,25	0,478	0,117	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,35	0,35	[11C1R1]	0,5	0,70
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,032	Proyectos con fondos privados	0,333	0,095	0,03	[11C2R1]	0,5	0,06
								0,065	[12C2R1]	0,5	0,13
			0,33	Publicaciones y patentes	0,333	0,99	0,99	[11C3R1]	1	0,99	
Docencia	0,080471	0,25	0,322	0,073	Grado	0,333	0,22	0,09	[11C1R2]	0,5	0,18
								0,13	[12C1R2]	0,5	0,26
				0,087	Posgrado	0,333	0,26	0,26	[11C2R2]	1	0,26
				0,162	Doctorado	0,333	0,48662	0,079992	[11C3R2]	0,3333	0,24
						0,119988	[12C3R2]	0,3333	0,36		
						0,286638	[13C2R2]	0,3333	0,86		
Compromiso Interno	0,104375	0,25	0,418	0,23	Exterior UPC	0,5	0,46	0,46	[11C1R3]	1	0,46
				0,188	UPC	0,5	0,375	0,245	[11C2R3]	0,5	0,49
								0,13	[12C1R3]	0,5	0,26
Compromiso Externo	0,044566	0,25	0,178	0,178	Secundaria	0,333	0,535	0,535	[11C1R4]	1	0,535
				1E-04	Profesional	0,333	0,00033	0	[11C2R4]	0,3333	0
								0,0003333	[12C2R4]	0,3333	0,001
								0	[13C2R4]	0,3333	0
			0	Sociedad	0,333	0	0	[11C3R4]	0,5	0	
								0	[12C3R4]	0,5	0

Índice de VALOR = 0,349

## Departamento 5

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,034965	0,25	0,14	0,055	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,165	0,165	[11C1R1]	0,5	0,33
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,012	Proyectos con fondos privados	0,333	0,035	0,005	[11C2R1]	0,5	0,01
								0,03	[12C2R1]	0,5	0,06
			0,073	Publicaciones y patentes	0,333	0,22	0,22	[11C3R1]	1	0,22	
Docencia	0,077003	0,25	0,308	0,165	Grado	0,333	0,495	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,495	[12C1R2]	0,5	0,99
				0	Posgrado	0,333	0	0	[11C2R2]	1	0,00
				0,143	Doctorado	0,333	0,42996	0,123321	[11C3R2]	0,3333	0,37
						0,176649	[12C3R2]	0,3333	0,53		
						0,129987	[13C2R2]	0,3333	0,39		
Compromiso Interno	0,128125	0,25	0,513	0,115	Exterior UPC	0,5	0,23	0,23	[11C1R3]	1	0,23
				0,398	UPC	0,5	0,795	0,335	[11C2R3]	0,5	0,67
								0,46	[12C1R3]	0,5	0,92
Compromiso Externo	0,0917	0,25	0,367	0,306	Secundaria	0,333	0,918	0,918	[11C1R4]	1	0,918
				0	Profesional	0,333	0	0	[11C2R4]	0,3333	0
								0	[12C2R4]	0,3333	0
								0	[13C2R4]	0,3333	0
			0,061	Sociedad	0,333	0,1835	0	[11C3R4]	0,5	0	
								0,1835	[12C3R4]	0,5	0,367

Índice de VALOR = 0,332

## Departamento 6

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,03663	0,25	0,147	0,087	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,26	0,26	[11C1R1]	0,5	0,52
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,013	Proyectos con fondos privados	0,333	0,04	0,035	[11C2R1]	0,5	0,07
								0,005	[12C2R1]	0,5	0,01
0,047	Publicaciones y patentes	0,333	0,14	0,14	[11C3R1]	1	0,14				
Docencia	0,064515	0,25	0,258	0,048	Grado	0,333	0,145	0,01	[11C1R2]	0,5	0,02
								0,135	[12C1R2]	0,5	0,27
				0,057	Posgrado	0,333	0,17	0,17	[11C2R2]	1	0,17
				0,153	Doctorado	0,333	0,45995	0,069993	[11C3R2]	0,3333	0,21
0,213312	[12C3R2]	0,3333	0,64								
0,176649	[13C2R2]	0,3333	0,53								
Compromiso Interno	0,08125	0,25	0,325	0,085	Exterior UPC	0,5	0,17	0,17	[11C1R3]	1	0,17
				0,24	UPC	0,5	0,48	0,27	[11C2R3]	0,5	0,54
0,21	[12C1R3]	0,5	0,42								
Compromiso Externo	0,023005	0,25	0,092	0,092	Secundaria	0,333	0,276	0,276	[11C1R4]	1	0,276
				1E-04	Profesional	0,333	0,00033	0	[11C2R4]	0,3333	0
								0,0003333	[12C2R4]	0,3333	0,001
								0	[13C2R4]	0,3333	0
0	Sociedad	0,333	0	0	[11C3R4]	0,5	0				
				0	[12C3R4]	0,5	0				

Índice de VALOR = 0,205

## Departamento 7

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,042874	0,25	0,171	0,01	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,03	0,03	[11C1R1]	0,5	0,06
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,152	Proyectos con fondos privados	0,333	0,455	0,02	[11C2R1]	0,5	0,04
								0,435	[12C2R1]	0,5	0,87
0,01	Publicaciones y patentes	0,333	0,03	0,03	[11C3R1]	1	0,03				
Docencia	0,048421	0,25	0,194	0,092	Grado	0,333	0,275	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,275	[12C1R2]	0,5	0,55
				0,007	Posgrado	0,333	0,02	0,02	[11C2R2]	1	0,02
				0,095	Doctorado	0,333	0,28664	0,063327	[11C3R2]	0,3333	0,19
0,223311	[12C3R2]	0,3333	0,67								
0	[13C2R2]	0,3333	0,00								
Compromiso Interno	0,054375	0,25	0,218	0,105	Exterior UPC	0,5	0,21	0,21	[11C1R3]	1	0,21
				0,113	UPC	0,5	0,225	0,145	[11C2R3]	0,5	0,29
0,08	[12C1R3]	0,5	0,16								
Compromiso Externo	0,017344	0,25	0,069	0,069	Secundaria	0,333	0,208	0,208	[11C1R4]	1	0,208
				1E-04	Profesional	0,333	0,00033	0	[11C2R4]	0,3333	0
								0,0003333	[12C2R4]	0,3333	0,001
								0	[13C2R4]	0,3333	0
0	Sociedad	0,333	0	0	[11C3R4]	0,5	0				
				0	[12C3R4]	0,5	0				

Índice de VALOR = 0,163

## Departamento 8

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,159424	0,25	0,638	0,3	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,9	0,4	[11C1R1]	0,5	0,80
								0,5	[12C1R1]	0,5	1
				0,005	Proyectos con fondos privados	0,333	0,015	0,015	[11C2R1]	0,5	0,03
								0	[12C2R1]	0,5	0,00
0,333	Publicaciones y patentes	0,333	1	1	[11C3R1]	1	1,00				
Docencia	0,084772	0,25	0,339	0,162	Grado	0,333	0,485	0,21	[11C1R2]	0,5	0,42
								0,275	[12C1R2]	0,5	0,55
				0,017	Posgrado	0,333	0,05	0,05	[11C2R2]	1	0,05
				0,161	Doctorado	0,333	0,48329	0,069993	[11C3R2]	0,3333	0,21
	0,259974	[12C3R2]	0,3333		0,78						
	0,153318	[13C2R2]	0,3333		0,46						
Compromiso Interno	0,140625	0,25	0,563	0,4	Exterior UPC	0,5	0,8	0,8	[11C1R3]	1	0,80
				0,163	UPC	0,5	0,325	0,255	[11C2R3]	0,5	0,51
							0,07	[12C1R3]	0,5	0,14	
Compromiso Externo	0,040903	0,25	0,164	0,116	Secundaria	0,333	0,348	0,348	[11C1R4]	1	0,348
				0,023	Profesional	0,333	0,06933	0	[11C2R4]	0,3333	0
								0,0036663	[12C2R4]	0,3333	0,011
								0,0656601	[13C2R4]	0,3333	0,197
0,025	Sociedad	0,333	0,074	0	[11C3R4]	0,5	0				
							0,074	[12C3R4]	0,5	0,148	

Índice de VALOR = 0,426

## Departamento 9

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,004163	0,25	0,017	0,002	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,005	0,005	[11C1R1]	0,5	0,01
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,015	Proyectos con fondos privados	0,333	0,045	0,045	[11C2R1]	0,5	0,09
								0	[12C2R1]	0,5	0,00
0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[11C3R1]	1	0,00				
Docencia	0,07409	0,25	0,296	0,14	Grado	0,333	0,42	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,42	[12C1R2]	0,5	0,84
				0,047	Posgrado	0,333	0,14	0,14	[11C2R2]	1	0,14
				0,11	Doctorado	0,333	0,32997	0,026664	[11C3R2]	0,3333	0,08
	0,256641	[12C3R2]	0,3333		0,77						
	0,046662	[13C2R2]	0,3333		0,14						
Compromiso Interno	0,030625	0,25	0,123	0	Exterior UPC	0,5	0	0	[11C1R3]	1	0,00
				0,123	UPC	0,5	0,245	0,245	[11C2R3]	0,5	0,49
							0	[12C1R3]	0,5	0,00	
Compromiso Externo	0,002761	0,25	0,011	0	Secundaria	0,333	0	0	[11C1R4]	1	0
				2E-04	Profesional	0,333	0,00067	0	[11C2R4]	0,3333	0
								0,0006666	[12C2R4]	0,3333	0,002
								0	[13C2R4]	0,3333	0
0,011	Sociedad	0,333	0,0325	0	[11C3R4]	0,5	0				
							0,0325	[12C3R4]	0,5	0,065	

Índice de VALOR = 0,112

## Departamento 10

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor	
Investigación	0,034133	0,25	0,137	0,005	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,015	0,015	[11C1R1]	0,5	0,03	
								0	[12C1R1]	0,5	0	
				0,132	Proyectos con fondos privados	0,333	0,395	0,395	[11C2R1]	0,5	0,79	
								0	[12C2R1]	0,5	0,00	
			0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[11C3R1]	1	0,00		
Docencia	0,124317	0,25	0,497	0,067	Grado	0,333	0,2	0,005	[11C1R2]	0,5	0,01	
								0,195	[12C1R2]	0,5	0,39	
				0,323	Posgrado	0,333	0,97	0,97	[11C2R2]	1	0,97	
								0,029997	[11C3R2]	0,3333	0,09	
			0,108	Doctorado	0,333	0,3233	0,156651	[12C3R2]	0,3333	0,47		
							0,136653	[13C2R2]	0,3333	0,41		
Compromiso Interno	0,110625	0,25	0,443	0,245	Exterior UPC	0,5	0,49	0,49	[11C1R3]	1	0,49	
				0,198	UPC	0,5	0,395	0,345	[11C2R3]	0,5	0,69	
							0,05	[12C1R3]	0,5	0,10		
Compromiso Externo	0,010059	0,25	0,04	0,02	Secundaria	0,333	0,061	0,061	[11C1R4]	1	0,061	
								0	[11C2R4]	0,3333	0	
				0,003	Profesional	0,333	0,00933	0,0093324	[12C2R4]	0,3333	0,028	
								0	[13C2R4]	0,3333	0	
			0,017	Sociedad	0,333	0,0505	0	[11C3R4]	0,5	0		
							0,0505	[12C3R4]	0,5	0,101		

Índice de VALOR = 0,279

## Departamento 11

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor	
Investigación	0,032051	0,25	0,128	0	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0	0	[11C1R1]	0,5	0,00	
								0	[12C1R1]	0,5	0	
				0,128	Proyectos con fondos privados	0,333	0,385	0,025	[11C2R1]	0,5	0,05	
								0,36	[12C2R1]	0,5	0,72	
			0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[11C3R1]	1	0,00		
Docencia	0,0333	0,25	0,133	0,1	Grado	0,333	0,3	0	[11C1R2]	0,5	0,00	
								0,3	[12C1R2]	0,5	0,60	
				0,033	Posgrado	0,333	0,1	0,1	[11C2R2]	1	0,10	
								0	[11C3R2]	0,3333	0,00	
			0	Doctorado	0,333	0	0	[12C3R2]	0,3333	0,00		
							0	[13C2R2]	0,3333	0,00		
Compromiso Interno	0,090625	0,25	0,363	0,205	Exterior UPC	0,5	0,41	0,41	[11C1R3]	1	0,41	
				0,158	UPC	0,5	0,315	0,195	[11C2R3]	0,5	0,39	
							0,12	[12C1R3]	0,5	0,24		
Compromiso Externo	0,019148	0,25	0,077	0,077	Secundaria	0,333	0,23	0,23	[11C1R4]	1	0,23	
								0	[11C2R4]	0,3333	0	
				0	Profesional	0,333	0	0	[12C2R4]	0,3333	0	
								0	[13C2R4]	0,3333	0	
			0	Sociedad	0,333	0	0	[11C3R4]	0,5	0		
							0	[12C3R4]	0,5	0		

Índice de VALOR = 0,175

## Departamento 12

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,001665	0,25	0,007	0,003	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,01	0,01	[11C1R1]	0,5	0,02
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,003	Proyectos con fondos privados	0,333	0,01	0,01	[11C2R1]	0,5	0,02
								0	[12C2R1]	0,5	0,00
			0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[11C3R1]	1	0,00	
Docencia	0,041486	0,25	0,166	0,078	Grado	0,333	0,235	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,235	[12C1R2]	0,5	0,47
				0,08	Posgrado	0,333	0,24	0,24	[11C2R2]	1	0,24
								0,006666	[11C3R2]	0,3333	0,02
			0,008	Doctorado	0,333	0,02333	0,016665	[12C3R2]	0,3333	0,05	
							0	[13C2R2]	0,3333	0,00	
Compromiso Interno	0,029375	0,25	0,118	0	Exterior UPC	0,5	0	0	[11C1R3]	1	0,00
				0,118	UPC	0,5	0,235	0,085	[11C2R3]	0,5	0,17
								0,15	[12C1R3]	0,5	0,30
Compromiso Externo	0,010781	0,25	0,043	0,02	Secundaria	0,333	0,061	0,061	[11C1R4]	1	0,061
								0	[11C2R4]	0,3333	0
				0	Profesional	0,333	0	0	[12C2R4]	0,3333	0
								0	[13C2R4]	0,3333	0
			0,023	Sociedad	0,333	0,0685	0	[11C3R4]	0,5	0	
							0,0685	[12C3R4]	0,5	0,137	

Índice de VALOR = 0,083

## Departamento 13

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,001249	0,25	0,005	0	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0	0	[11C1R1]	0,5	0,00
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,005	Proyectos con fondos privados	0,333	0,015	0,01	[11C2R1]	0,5	0,02
								0,005	[12C2R1]	0,5	0,01
			0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[11C3R1]	1	0,00	
Docencia	0,02331	0,25	0,093	0,06	Grado	0,333	0,18	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,18	[12C1R2]	0,5	0,36
				0,023	Posgrado	0,333	0,07	0,07	[11C2R2]	1	0,07
								0,029997	[11C3R2]	0,3333	0,09
			0,01	Doctorado	0,333	0,03	0	[12C3R2]	0,3333	0,00	
							0	[13C2R2]	0,3333	0,00	
Compromiso Interno	0,020625	0,25	0,083	0	Exterior UPC	0,5	0	0	[11C1R3]	1	0,00
				0,083	UPC	0,5	0,165	0,075	[11C2R3]	0,5	0,15
								0,09	[12C1R3]	0,5	0,18
Compromiso Externo	0,004912	0,25	0,02	0,02	Secundaria	0,333	0,059	0,059	[11C1R4]	1	0,059
								0	[11C2R4]	0,3333	0
				0	Profesional	0,333	0	0	[12C2R4]	0,3333	0
								0	[13C2R4]	0,3333	0
			0	Sociedad	0,333	0	0	[11C3R4]	0,5	0	
							0	[12C3R4]	0,5	0	

Índice de VALOR = 0,050

## Departamento 14

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,000416	0,25	0,002	0	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0	0	[11C1R1]	0,5	0,00
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,002	Proyectos con fondos privados	0,333	0,005	0,005	[11C2R1]	0,5	0,01
							0	[12C2R1]	0,5	0,00	
			0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[11C3R1]	1	0,00	
Docencia	0,049534	0,25	0,198	0,138	Grado	0,333	0,415	0,105	[11C1R2]	0,5	0,21
								0,31	[12C1R2]	0,5	0,62
				0,053	Posgrado	0,333	0,16	0,16	[11C2R2]	1	0,16
				0,007	Doctorado	0,333	0,02	0,019998	[11C3R2]	0,3333	0,06
						0	[12C3R2]	0,3333	0,00		
						0	[13C2R2]	0,3333	0,00		
Compromiso Interno	0,054375	0,25	0,218	0,07	Exterior UPC	0,5	0,14	0,14	[11C1R3]	1	0,14
				0,148	UPC	0,5	0,295	0,14	[11C2R3]	0,5	0,28
								0,155	[12C1R3]	0,5	0,31
Compromiso Externo	0,007243	0,25	0,029	0,023	Secundaria	0,333	0,068	0,068	[11C1R4]	1	0,068
				0	Profesional	0,333	0	0	[11C2R4]	0,3333	0
								0	[12C2R4]	0,3333	0
								0	[13C2R4]	0,3333	0
			0,006	Sociedad	0,333	0,019	0	[11C3R4]	0,5	0	
						0,019	[12C3R4]	0,5	0,038		

Índice de VALOR = 0,112

## Departamento 15

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,000833	0,25	0,003	0	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0	0	[11C1R1]	0,5	0,00
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,003	Proyectos con fondos privados	0,333	0,01	0	[11C2R1]	0,5	0,00
							0,01	[12C2R1]	0,5	0,02	
			0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[11C3R1]	1	0,00	
Docencia	0,012904	0,25	0,052	0,002	Grado	0,333	0,005	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,005	[12C1R2]	0,5	0,01
				0,05	Posgrado	0,333	0,15	0,15	[11C2R2]	1	0,15
				0	Doctorado	0,333	0	0	[11C3R2]	0,3333	0,00
						0	[12C3R2]	0,3333	0,00		
						0	[13C2R2]	0,3333	0,00		
Compromiso Interno	0,025	0,25	0,1	0	Exterior UPC	0,5	0	0	[11C1R3]	1	0,00
				0,1	UPC	0,5	0,2	0,105	[11C2R3]	0,5	0,21
								0,095	[12C1R3]	0,5	0,19
Compromiso Externo	0	0,25	0	0	Secundaria	0,333	0	0	[11C1R4]	1	0
				0	Profesional	0,333	0	0	[11C2R4]	0,3333	0
								0	[12C2R4]	0,3333	0
						0	[13C2R4]	0,3333	0		
			0	Sociedad	0,333	0	0	[11C3R4]	0,5	0	
						0	[12C3R4]	0,5	0		

Índice de VALOR = 0,039

## Departamento 16

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,102398	0,25	0,41	0,087	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,26	0,26	[11C1R1]	0,5	0,52
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0	Proyectos con fondos privados	0,333	0	0	[11C2R1]	0,5	0,00
								0	[12C2R1]	0,5	0,00
			0,323	Publicaciones y patentes	0,333	0,97	0,97	[11C3R1]	1	0,97	
Docencia	0,046339	0,25	0,185	0,06	Grado	0,333	0,18	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,18	[12C1R2]	0,5	0,36
				0	Posgrado	0,333	0	0	[11C2R2]	1	0,00
				0,125	Doctorado	0,333	0,37663	0,023331	[11C3R2]	0,3333	0,07
				0,189981	[12C3R2]	0,3333	0,57				
				0,163317	[13C2R2]	0,3333	0,49				
Compromiso Interno	0,064375	0,25	0,258	0	Exterior UPC	0,5	0	0	[11C1R3]	1	0,00
				0,258	UPC	0,5	0,515	0,365	[11C2R3]	0,5	0,73
								0,15	[12C1R3]	0,5	0,30
Compromiso Externo	0,020646	0,25	0,083	0,065	Secundaria	0,333	0,194	0,194	[11C1R4]	1	0,194
				0,009	Profesional	0,333	0,027	0,026664	[11C2R4]	0,3333	0,08
								0,0003333	[12C2R4]	0,3333	0,001
								0	[13C2R4]	0,3333	0
			0,009	Sociedad	0,333	0,027	0	[11C3R4]	0,5	0	
							0,027	[12C3R4]	0,5	0,054	

Índice de VALOR = 0,234

## Departamento 17

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,105728	0,25	0,423	0,093	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,28	0,28	[11C1R1]	0,5	0,56
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,326	Proyectos con fondos privados	0,333	0,98	0,5	[11C2R1]	0,5	1,00
								0,48	[12C2R1]	0,5	0,96
			0,003	Publicaciones y patentes	0,333	0,01	0,01	[11C3R1]	1	0,01	
Docencia	0,040095	0,25	0,16	0,008	Grado	0,333	0,025	0,015	[11C1R2]	0,5	0,03
								0,01	[12C1R2]	0,5	0,02
				0,02	Posgrado	0,333	0,06	0,06	[11C2R2]	1	0,06
				0,132	Doctorado	0,333	0,39663	0,053328	[11C3R2]	0,3333	0,16
				0,193314	[12C3R2]	0,3333	0,58				
				0,149985	[13C2R2]	0,3333	0,45				
Compromiso Interno	0,14625	0,25	0,585	0,37	Exterior UPC	0,5	0,74	0,74	[11C1R3]	1	0,74
				0,215	UPC	0,5	0,43	0,28	[11C2R3]	0,5	0,56
								0,15	[12C1R3]	0,5	0,30
Compromiso Externo	0,037169	0,25	0,149	0,065	Secundaria	0,333	0,195	0,195	[11C1R4]	1	0,195
				0,075	Profesional	0,333	0,22398	0	[11C2R4]	0,3333	0
								0	[12C2R4]	0,3333	0
								0,2239776	[13C2R4]	0,3333	0,672
			0,009	Sociedad	0,333	0,0275	0	[11C3R4]	0,5	0	
							0,0275	[12C3R4]	0,5	0,055	

Índice de VALOR = 0,329

## Departamento 18

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,012488	0,25	0,05	0,038	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,115	0,115	[11C1R1]	0,5	0,23
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,002	Proyectos con fondos privados	0,333	0,005	0,005	[11C2R1]	0,5	0,01
								0	[12C2R1]	0,5	0,00
			0,01	Publicaciones y patentes	0,333	0,03	0,03	[11C3R1]	1	0,03	
Docencia	0,071868	0,25	0,287	0,04	Grado	0,333	0,12	0,005	[11C1R2]	0,5	0,01
								0,115	[12C1R2]	0,5	0,23
				0,073	Posgrado	0,333	0,22	0,22	[11C2R2]	1	0,22
				0,174	Doctorado	0,333	0,52328	0,016665	[11C3R2]	0,3333	0,05
						0,249975	[12C3R2]	0,3333	0,75		
						0,256641	[13C2R2]	0,3333	0,77		
Compromiso Interno	0,119375	0,25	0,478	0,13	Exterior UPC	0,5	0,26	0,26	[11C1R3]	1	0,26
				0,348	UPC	0,5	0,695	0,465	[11C2R3]	0,5	0,93
								0,23	[12C1R3]	0,5	0,46
Compromiso Externo	0,037268	0,25	0,149	0,149	Secundaria	0,333	0,447	0,447	[11C1R4]	1	0,447
				2E-04	Profesional	0,333	0,00067	0	[11C2R4]	0,3333	0
								0,0006666	[12C2R4]	0,3333	0,002
								0	[13C2R4]	0,3333	0
			0	Sociedad	0,333	0	0	[11C3R4]	0,5	0	
								0	[12C3R4]	0,5	0

Índice de VALOR = 0,241

## Departamento 19

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,114885	0,25	0,46	0,163	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,49	0,49	[11C1R1]	0,5	0,98
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,196	Proyectos con fondos privados	0,333	0,59	0,275	[11C2R1]	0,5	0,55
								0,315	[12C2R1]	0,5	0,63
			0,1	Publicaciones y patentes	0,333	0,3	0,3	[11C3R1]	1	0,30	
Docencia	0,077835	0,25	0,311	0,048	Grado	0,333	0,145	0,01	[11C1R2]	0,5	0,02
								0,135	[12C1R2]	0,5	0,27
				0,123	Posgrado	0,333	0,37	0,37	[11C2R2]	1	0,37
				0,14	Doctorado	0,333	0,41996	0,036663	[11C3R2]	0,3333	0,11
						0,309969	[12C3R2]	0,3333	0,93		
						0,073326	[13C2R2]	0,3333	0,22		
Compromiso Interno	0,186875	0,25	0,748	0,44	Exterior UPC	0,5	0,88	0,88	[11C1R3]	1	0,88
				0,308	UPC	0,5	0,615	0,29	[11C2R3]	0,5	0,58
								0,325	[12C1R3]	0,5	0,65
Compromiso Externo	0,007465	0,25	0,03	0,03	Secundaria	0,333	0,089	0,089	[11C1R4]	1	0,089
				2E-04	Profesional	0,333	0,00067	0	[11C2R4]	0,3333	0
								0,0006666	[12C2R4]	0,3333	0,002
								0	[13C2R4]	0,3333	0
			0	Sociedad	0,333	0	0	[11C3R4]	0,5	0	
								0	[12C3R4]	0,5	0

Índice de VALOR = 0,387

## Departamento 20

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,000833	0,25	0,003	0,002	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,005	0,005	[11C1R1]	0,5	0,01
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,002	Proyectos con fondos privados	0,333	0,005	0	[11C2R1]	0,5	0,00
								0,005	[12C2R1]	0,5	0,01
			0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[11C3R1]	1	0,00	
Docencia	0,044815	0,25	0,179	0,145	Grado	0,333	0,435	0,3	[11C1R2]	0,5	0,60
								0,135	[12C1R2]	0,5	0,27
				0	Posgrado	0,333	0	0	[11C2R2]	1	0,00
				0,034	Doctorado	0,333	0,10332	0,103323	[11C3R2]	0,3333	0,31
							0	[12C3R2]	0,3333	0,00	
							0	[13C2R2]	0,3333	0,00	
Compromiso Interno	0,059375	0,25	0,238	0,06	Exterior UPC	0,5	0,12	0,12	[11C1R3]	1	0,12
				0,178	UPC	0,5	0,355	0,28	[11C2R3]	0,5	0,56
								0,075	[12C1R3]	0,5	0,15
Compromiso Externo	0,038669	0,25	0,155	0,126	Secundaria	0,333	0,379	0,379	[11C1R4]	1	0,379
								0	[11C2R4]	0,3333	0
								0	[12C2R4]	0,3333	0
								0,0449955	[13C2R4]	0,3333	0,135
			0,013	Sociedad	0,333	0,0405	0	[11C3R4]	0,5	0	
							0,0405	[12C3R4]	0,5	0,081	

Índice de VALOR = 0,144

## Departamento 21

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,101149	0,25	0,405	0,045	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,135	0,135	[11C1R1]	0,5	0,27
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,047	Proyectos con fondos privados	0,333	0,14	0,005	[11C2R1]	0,5	0,01
								0,135	[12C2R1]	0,5	0,27
			0,313	Publicaciones y patentes	0,333	0,94	0,94	[11C3R1]	1	0,94	
Docencia	0,062572	0,25	0,25	0,068	Grado	0,333	0,205	0,01	[11C1R2]	0,5	0,02
								0,195	[12C1R2]	0,5	0,39
				0	Posgrado	0,333	0	0	[11C2R2]	1	0,00
				0,182	Doctorado	0,333	0,54661	0,109989	[11C3R2]	0,3333	0,33
							0,156651	[12C3R2]	0,3333	0,47	
							0,279972	[13C2R2]	0,3333	0,84	
Compromiso Interno	0,05625	0,25	0,225	0,035	Exterior UPC	0,5	0,07	0,07	[11C1R3]	1	0,07
				0,19	UPC	0,5	0,38	0,215	[11C2R3]	0,5	0,43
								0,165	[12C1R3]	0,5	0,33
Compromiso Externo	0,093656	0,25	0,375	0,085	Secundaria	0,333	0,254	0,254	[11C1R4]	1	0,254
								0,0519948	[11C2R4]	0,3333	0,156
								0	[12C2R4]	0,3333	0
								0	[13C2R4]	0,3333	0
			0,273	Sociedad	0,333	0,819	0,3655	[11C3R4]	0,5	0,731	
							0,4535	[12C3R4]	0,5	0,907	

Índice de VALOR = 0,314

## Departamento 22

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,044955	0,25	0,18	0,002	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,005	0,005	[11C1R1]	0,5	0,01
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,178	Proyectos con fondos privados	0,333	0,535	0,33	[11C2R1]	0,5	0,66
								0,205	[12C2R1]	0,5	0,41
			0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[11C3R1]	1	0,00	
Docencia	0,044813	0,25	0,179	0,015	Grado	0,333	0,045	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,045	[12C1R2]	0,5	0,09
				0,053	Posgrado	0,333	0,16	0,16	[11C2R2]	1	0,16
				0,111	Doctorado	0,333	0,3333	0,016665	[11C3R2]	0,3333	0,05
						0,213312	[12C3R2]	0,3333	0,64		
						0,103323	[13C2R2]	0,3333	0,31		
Compromiso Interno	0,034375	0,25	0,138	0	Exterior UPC	0,5	0	0	[11C1R3]	1	0,00
				0,138	UPC	0,5	0,275	0,075	[11C2R3]	0,5	0,15
								0,2	[12C1R3]	0,5	0,40
Compromiso Externo	0,031896	0,25	0,128	0,03	Secundaria	0,333	0,089	0,089	[11C1R4]	1	0,089
								0	[11C2R4]	0,3333	0
				0,094	Profesional	0,333	0,28164	0	[12C2R4]	0,3333	0
								0,2816385	[13C2R4]	0,3333	0,845
			0,004	Sociedad	0,333	0,0125	0	[11C3R4]	0,5	0	
							0,0125	[12C3R4]	0,5	0,025	

Índice de VALOR = 0,156

## Departamento 23

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,02997	0,25	0,12	0,073	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,22	0,22	[11C1R1]	0,5	0,44
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0	Proyectos con fondos privados	0,333	0	0	[11C2R1]	0,5	0,00
								0	[12C2R1]	0,5	0,00
			0,047	Publicaciones y patentes	0,333	0,14	0,14	[11C3R1]	1	0,14	
Docencia	0,066457	0,25	0,266	0,058	Grado	0,333	0,175	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,175	[12C1R2]	0,5	0,35
				0,05	Posgrado	0,333	0,15	0,15	[11C2R2]	1	0,15
				0,158	Doctorado	0,333	0,47329	0,063327	[11C3R2]	0,3333	0,19
						0,259974	[12C3R2]	0,3333	0,78		
						0,149985	[13C2R2]	0,3333	0,45		
Compromiso Interno	0,0725	0,25	0,29	0,125	Exterior UPC	0,5	0,25	0,25	[11C1R3]	1	0,25
				0,165	UPC	0,5	0,33	0,21	[11C2R3]	0,5	0,42
								0,12	[12C1R3]	0,5	0,24
Compromiso Externo	0,021645	0,25	0,087	0,087	Secundaria	0,333	0,26	0,26	[11C1R4]	1	0,26
								0	[11C2R4]	0,3333	0
				0	Profesional	0,333	0	0	[12C2R4]	0,3333	0
								0	[13C2R4]	0,3333	0
			0	Sociedad	0,333	0	0	[11C3R4]	0,5	0	
							0	[12C3R4]	0,5	0	

Índice de VALOR = 0,191

## Departamento 24

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor	
Investigación	0,019148	0,25	0,077	0,003	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,01	0,01	[11C1R1]	0,5	0,02	
								0	[12C1R1]	0,5	0	
				0,007	Proyectos con fondos privados	0,333	0,02	0,015	[11C2R1]	0,5	0,03	
								0,005	[12C2R1]	0,5	0,01	
			0,067	Publicaciones y patentes	0,333	0,2	0,2	[11C3R1]	1	0,20		
Docencia	0,093932	0,25	0,376	0,201	Grado	0,333	0,605	0,405	[11C1R2]	0,5	0,81	
								0,2	[12C1R2]	0,5	0,40	
				0,087	Posgrado	0,333	0,26	0,26	[11C2R2]	1	0,26	
				0,088	Doctorado	0,333	0,26331	0,126654	[11C3R2]	0,3333	0,38	
						0,136653	[12C3R2]	0,3333	0,41			
						0	[13C2R2]	0,3333	0,00			
Compromiso Interno	0,09625	0,25	0,385	0,19	Exterior UPC	0,5	0,38	0,38	[11C1R3]	1	0,38	
				0,195	UPC	0,5	0,39	0,305	[11C2R3]	0,5	0,61	
						0,085	[12C1R3]	0,5	0,17			
Compromiso Externo	0,045285	0,25	0,181	0,071	Secundaria	0,333	0,212	0,212	[11C1R4]	1	0,212	
				0,111	Profesional	0,333	0,33197	0,3319668	[11C2R4]	0,3333	0,996	
								0	[12C2R4]	0,3333	0	
						0	[13C2R4]	0,3333	0			
			0	Sociedad	0,333	0	0	[11C3R4]	0,5	0		
							0	[12C3R4]	0,5	0		

Índice de VALOR = 0,255

## Departamento 25

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,057859	0,25	0,231	0,018	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,055	0,055	[11C1R1]	0,5	0,11
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0	Proyectos con fondos privados	0,333	0	0	[11C2R1]	0,5	0,00
								0	[12C2R1]	0,5	0,00
			0,213	Publicaciones y patentes	0,333	0,64	0,64	[11C3R1]	1	0,64	
Docencia	0,039265	0,25	0,157	0,115	Grado	0,333	0,345	0,015	[11C1R2]	0,5	0,03
								0,33	[12C1R2]	0,5	0,66
				0	Posgrado	0,333	0	0	[11C2R2]	1	0,00
				0,042	Doctorado	0,333	0,12665	0,019998	[11C3R2]	0,3333	0,06
						0,106656	[12C3R2]	0,3333	0,32		
						0	[13C2R2]	0,3333	0,00		
Compromiso Interno	0,09625	0,25	0,385	0,065	Exterior UPC	0,5	0,13	0,13	[11C1R3]	1	0,13
				0,32	UPC	0,5	0,64	0,385	[11C2R3]	0,5	0,77
						0,255	[12C1R3]	0,5	0,51		
Compromiso Externo	0,022255	0,25	0,089	0,068	Secundaria	0,333	0,204	0,204	[11C1R4]	1	0,204
				0,021	Profesional	0,333	0,06333	0	[11C2R4]	0,3333	0
								0	[12C2R4]	0,3333	0
						0,063327	[13C2R4]	0,3333	0,19		
			0	Sociedad	0,333	0	0	[11C3R4]	0,5	0	
							0	[12C3R4]	0,5	0	

Índice de VALOR = 0,216

## Departamento 26

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,001249	0,25	0,005	0,002	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,005	0,005	[11C1R1]	0,5	0,01
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0	Proyectos con fondos privados	0,333	0	0	[11C2R1]	0,5	0,00
								0	[12C2R1]	0,5	0,00
			0,003	Publicaciones y patentes	0,333	0,01	0,01	[11C3R1]	1	0,01	
Docencia	0,077695	0,25	0,311	0,11	Grado	0,333	0,33	0,005	[11C1R2]	0,5	0,01
								0,325	[12C1R2]	0,5	0,65
				0	Posgrado	0,333	0	0	[11C2R2]	1	0,00
				0,201	Doctorado	0,333	0,60327	0,053328	[11C3R2]	0,3333	0,16
				0,216645	[12C3R2]	0,3333	0,65				
				0,3333	[13C2R2]	0,3333	1,00				
Compromiso Interno	0,0625	0,25	0,25	0	Exterior UPC	0,5	0	0	[11C1R3]	1	0,00
				0,25	UPC	0,5	0,5	0,145	[11C2R3]	0,5	0,29
								0,355	[12C1R3]	0,5	0,71
Compromiso Externo	0,005855	0,25	0,023	0,023	Secundaria	0,333	0,07	0,07	[11C1R4]	1	0,07
				1E-04	Profesional	0,333	0,00033	0	[11C2R4]	0,3333	0
								0,0003333	[12C2R4]	0,3333	0,001
								0	[13C2R4]	0,3333	0
			0	Sociedad	0,333	0	0	[11C3R4]	0,5	0	
								0	[12C3R4]	0,5	0

Índice de VALOR = 0,147

## Departamento 27

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,001249	0,25	0,005	0	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0	0	[11C1R1]	0,5	0,00
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,005	Proyectos con fondos privados	0,333	0,015	0,005	[11C2R1]	0,5	0,01
								0,01	[12C2R1]	0,5	0,02
			0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[11C3R1]	1	0,00	
Docencia	0,067154	0,25	0,269	0,07	Grado	0,333	0,21	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,21	[12C1R2]	0,5	0,42
				0,17	Posgrado	0,333	0,51	0,51	[11C2R2]	1	0,51
				0,029	Doctorado	0,333	0,08666	0,046662	[11C3R2]	0,3333	0,14
				0,039996	[12C3R2]	0,3333	0,12				
				0	[13C2R2]	0,3333	0,00				
Compromiso Interno	0,059375	0,25	0,238	0,13	Exterior UPC	0,5	0,26	0,26	[11C1R3]	1	0,26
				0,108	UPC	0,5	0,215	0,135	[11C2R3]	0,5	0,27
								0,08	[12C1R3]	0,5	0,16
Compromiso Externo	0,012806	0,25	0,051	0,027	Secundaria	0,333	0,08	0,08	[11C1R4]	1	0,08
				0,019	Profesional	0,333	0,05733	0	[11C2R4]	0,3333	0
								0	[12C2R4]	0,3333	0
								0,0573276	[13C2R4]	0,3333	0,172
			0,005	Sociedad	0,333	0,0165	0	[11C3R4]	0,5	0	
								0,0165	[12C3R4]	0,5	0,033

Índice de VALOR = 0,141

## Departamento 28

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,003746	0,25	0,015	0	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0	0	[11C1R1]	0,5	0,00
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,015	Proyectos con fondos privados	0,333	0,045	0,04	[11C2R1]	0,5	0,08
							0,005	[12C2R1]	0,5	0,01	
			0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[11C3R1]	1	0,00	
Docencia	0,045786	0,25	0,183	0,07	Grado	0,333	0,21	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,21	[12C1R2]	0,5	0,42
				0,06	Posgrado	0,333	0,18	0,18	[11C2R2]	1	0,18
				0,053	Doctorado	0,333	0,15998	0,016665	[11C3R2]	0,3333	0,05
						0	[12C3R2]	0,3333	0,00		
						0,143319	[13C2R2]	0,3333	0,43		
Compromiso Interno	0,02625	0,25	0,105	0	Exterior UPC	0,5	0	0	[11C1R3]	1	0,00
				0,105	UPC	0,5	0,21	0,125	[11C2R3]	0,5	0,25
								0,085	[12C1R3]	0,5	0,17
Compromiso Externo	0,040831	0,25	0,163	0,009	Secundaria	0,333	0,027	0,027	[11C1R4]	1	0,027
								0,0029997	[11C2R4]	0,3333	0,009
								0,3333	[12C2R4]	0,3333	1
								0,026664	[13C2R4]	0,3333	0,08
			0,033	Sociedad	0,333	0,1005	0	[11C3R4]	0,5	0	
						0,1005	[12C3R4]	0,5	0,201		

Índice de VALOR = 0,117

## Departamento 29

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,025808	0,25	0,103	0	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0	0	[11C1R1]	0,5	0,00
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,103	Proyectos con fondos privados	0,333	0,31	0,305	[11C2R1]	0,5	0,61
								0,005	[12C2R1]	0,5	0,01
			0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[11C3R1]	1	0,00	
Docencia	0,02969	0,25	0,119	0,02	Grado	0,333	0,06	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,06	[12C1R2]	0,5	0,12
				0,017	Posgrado	0,333	0,05	0,05	[11C2R2]	1	0,05
				0,082	Doctorado	0,333	0,24664	0,06666	[11C3R2]	0,3333	0,20
						0,089991	[12C3R2]	0,3333	0,27		
						0,089991	[13C2R2]	0,3333	0,27		
Compromiso Interno	0,111875	0,25	0,448	0,335	Exterior UPC	0,5	0,67	0,67	[11C1R3]	1	0,67
				0,113	UPC	0,5	0,225	0,035	[11C2R3]	0,5	0,07
								0,19	[12C1R3]	0,5	0,38
Compromiso Externo	0,005855	0,25	0,023	0	Secundaria	0,333	0	0	[11C1R4]	1	0
								0	[11C2R4]	0,3333	0
				4E-04	Profesional	0,333	0,00133	0,0013332	[12C2R4]	0,3333	0,004
								0	[13C2R4]	0,3333	0
			0,023	Sociedad	0,333	0,069	0	[11C3R4]	0,5	0	
						0,069	[12C3R4]	0,5	0,138		

Índice de VALOR = 0,173

## Departamento 30

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor	
Investigación	0,004163	0,25	0,017	0,017	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,05	0,05	[11C1R1]	0,5	0,10	
								0	[12C1R1]	0,5	0	
				0	Proyectos con fondos privados	0,333	0	0	[11C2R1]	0,5	0,00	
								0	[12C2R1]	0,5	0,00	
			0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[11C3R1]	1	0,00		
Docencia	0,041485	0,25	0,166	0,062	Grado	0,333	0,185	0,03	[11C1R2]	0,5	0,06	
								0,155	[12C1R2]	0,5	0,31	
				0,04	Posgrado	0,333	0,12	0,12	[11C2R2]	1	0,12	
				0,064	Doctorado	0,333	0,19331	0,016665	[11C3R2]	0,3333	0,05	
						0,176649	[12C3R2]	0,3333	0,53			
						0	[13C2R2]	0,3333	0,00			
Compromiso Interno	0,081875	0,25	0,328	0,17	Exterior UPC	0,5	0,34	0,34	[11C1R3]	1	0,34	
				0,158	UPC	0,5	0,315	0,165	[11C2R3]	0,5	0,33	
						0,15	[12C1R3]	0,5	0,30			
Compromiso Externo	0,011377	0,25	0,046	0,043	Secundaria	0,333	0,13	0,13	[11C1R4]	1	0,13	
				0,002	Profesional	0,333	0,00667	0	[11C2R4]	0,3333	0	
								0,006666	[12C2R4]	0,3333	0,02	
						0	[13C2R4]	0,3333	0			
			0	Sociedad	0,333	0	0	[11C3R4]	0,5	0		
							0	[12C3R4]	0,5	0		

Índice de VALOR = 0,139

## Departamento 31

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,129454	0,25	0,518	0,308	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,925	0,425	[11C1R1]	0,5	0,85
								0,5	[12C1R1]	0,5	1
				0,043	Proyectos con fondos privados	0,333	0,13	0,065	[11C2R1]	0,5	0,13
								0,065	[12C2R1]	0,5	0,13
			0,167	Publicaciones y patentes	0,333	0,5	0,5	[11C3R1]	1	0,50	
Docencia	0,047589	0,25	0,19	0,088	Grado	0,333	0,265	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,265	[12C1R2]	0,5	0,53
				0	Posgrado	0,333	0	0	[11C2R2]	1	0,00
				0,102	Doctorado	0,333	0,30664	0,063327	[11C3R2]	0,3333	0,19
						0,186648	[12C3R2]	0,3333	0,56		
						0,056661	[13C2R2]	0,3333	0,17		
Compromiso Interno	0,12875	0,25	0,515	0,26	Exterior UPC	0,5	0,52	0,52	[11C1R3]	1	0,52
				0,255	UPC	0,5	0,51	0,355	[11C2R3]	0,5	0,71
						0,155	[12C1R3]	0,5	0,31		
Compromiso Externo	0,050366	0,25	0,201	0,096	Secundaria	0,333	0,289	0,289	[11C1R4]	1	0,289
				0,01	Profesional	0,333	0,03	0,0036663	[11C2R4]	0,3333	0,011
								0,0009999	[12C2R4]	0,3333	0,003
						0,0253308	[13C2R4]	0,3333	0,076		
			0,095	Sociedad	0,333	0,286	0,2575	[11C3R4]	0,5	0,515	
						0,0285	[12C3R4]	0,5	0,057		

Índice de VALOR = 0,356

## Departamento 32

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor	
Investigación	0,00333	0,25	0,013	0,002	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,005	0,005	[11C1R1]	0,5	0,01	
								0	[12C1R1]	0,5	0	
				0,012	Proyectos con fondos privados	0,333	0,035	0,035	[11C2R1]	0,5	0,07	
								0	[12C2R1]	0,5	0,00	
			0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[11C3R1]	1	0,00		
Docencia	0,053555	0,25	0,214	0,133	Grado	0,333	0,4	0	[11C1R2]	0,5	0,00	
								0,4	[12C1R2]	0,5	0,80	
				0	Posgrado	0,333	0	0	[11C2R2]	1	0,00	
				0,081	Doctorado	0,333	0,24331	0,03333	[11C3R2]	0,3333	0,10	
						0,209979	[12C3R2]	0,3333	0,63			
						0	[13C2R2]	0,3333	0,00			
Compromiso Interno	0,088125	0,25	0,353	0,13	Exterior UPC	0,5	0,26	0,26	[11C1R3]	1	0,26	
				0,223	UPC	0,5	0,445	0,125	[11C2R3]	0,5	0,25	
						0,32	[12C1R3]	0,5	0,64			
Compromiso Externo	0,046454	0,25	0,186	0,186	Secundaria	0,333	0,558	0,558	[11C1R4]	1	0,558	
								0	[11C2R4]	0,3333	0	
				0	Profesional	0,333	0	0	[12C2R4]	0,3333	0	
								0	[13C2R4]	0,3333	0	
				0	Sociedad	0,333	0	0	[11C3R4]	0,5	0	
						0	[12C3R4]	0,5	0			

Índice de VALOR = 0,191

## Departamento 33

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,001249	0,25	0,005	0	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0	0	[11C1R1]	0,5	0,00
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,005	Proyectos con fondos privados	0,333	0,015	0,005	[11C2R1]	0,5	0,01
								0,01	[12C2R1]	0,5	0,02
			0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[11C3R1]	1	0,00	
Docencia	0,035381	0,25	0,142	0,105	Grado	0,333	0,315	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,315	[12C1R2]	0,5	0,63
				0,023	Posgrado	0,333	0,07	0,07	[11C2R2]	1	0,07
				0,013	Doctorado	0,333	0,04	0,039996	[11C3R2]	0,3333	0,12
						0	[12C3R2]	0,3333	0,00		
						0	[13C2R2]	0,3333	0,00		
Compromiso Interno	0,05125	0,25	0,205	0	Exterior UPC	0,5	0	0	[11C1R3]	1	0,00
				0,205	UPC	0,5	0,41	0,15	[11C2R3]	0,5	0,30
						0,26	[12C1R3]	0,5	0,52		
Compromiso Externo	0,041735	0,25	0,167	0,115	Secundaria	0,333	0,345	0,345	[11C1R4]	1	0,345
								0,1073226	[11C2R4]	0,3333	0,322
				0,036	Profesional	0,333	0,10732	0	[12C2R4]	0,3333	0
								0	[13C2R4]	0,3333	0
0,016	Sociedad	0,333	0,049	0	[11C3R4]	0,5	0				
						0,049	[12C3R4]	0,5	0,098		

Índice de VALOR = 0,130

## Departamento 34

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,034549	0,25	0,138	0,032	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,095	0,095	[11C1R1]	0,5	0,19
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0	Proyectos con fondos privados	0,333	0	0	[11C2R1]	0,5	0,00
								0	[12C2R1]	0,5	0,00
			0,107	Publicaciones y patentes	0,333	0,32	0,32	[11C3R1]	1	0,32	
Docencia	0,052861	0,25	0,211	0,115	Grado	0,333	0,345	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,345	[12C1R2]	0,5	0,69
				0	Posgrado	0,333	0	0	[11C2R2]	1	0,00
				0,097	Doctorado	0,333	0,28997	0,026664	[11C3R2]	0,3333	0,08
				0,086658	[12C3R2]	0,3333	0,26				
				0,176649	[13C2R2]	0,3333	0,53				
Compromiso Interno	0,045625	0,25	0,183	0	Exterior UPC	0,5	0	0	[11C1R3]	1	0,00
				0,183	UPC	0,5	0,365	0,19	[11C2R3]	0,5	0,38
								0,175	[12C1R3]	0,5	0,35
Compromiso Externo	0,040321	0,25	0,161	0,111	Secundaria	0,333	0,334	0,334	[11C1R4]	1	0,334
				1E-04	Profesional	0,333	0,00033	0	[11C2R4]	0,3333	0
								0,0003333	[12C2R4]	0,3333	0,001
								0	[13C2R4]	0,3333	0
			0,05	Sociedad	0,333	0,15	0	[11C3R4]	0,5	0	
							0,15	[12C3R4]	0,5	0,3	

Índice de VALOR = 0,173

## Departamento 35

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,051615	0,25	0,206	0,027	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,08	0,08	[11C1R1]	0,5	0,16
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,176	Proyectos con fondos privados	0,333	0,53	0,07	[11C2R1]	0,5	0,14
								0,46	[12C2R1]	0,5	0,92
			0,003	Publicaciones y patentes	0,333	0,01	0,01	[11C3R1]	1	0,01	
Docencia	0,049392	0,25	0,198	0,06	Grado	0,333	0,18	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,18	[12C1R2]	0,5	0,36
				0,023	Posgrado	0,333	0,07	0,07	[11C2R2]	1	0,07
				0,114	Doctorado	0,333	0,3433	0,026664	[11C3R2]	0,3333	0,08
				0,213312	[12C3R2]	0,3333	0,64				
				0,103323	[13C2R2]	0,3333	0,31				
Compromiso Interno	0,058125	0,25	0,233	0,08	Exterior UPC	0,5	0,16	0,16	[11C1R3]	1	0,16
				0,153	UPC	0,5	0,305	0,125	[11C2R3]	0,5	0,25
								0,18	[12C1R3]	0,5	0,36
Compromiso Externo	0,02467	0,25	0,099	0,098	Secundaria	0,333	0,294	0,294	[11C1R4]	1	0,294
				8E-04	Profesional	0,333	0,00233	0	[11C2R4]	0,3333	0
								0,0023331	[12C2R4]	0,3333	0,007
								0	[13C2R4]	0,3333	0
			0	Sociedad	0,333	0	0	[11C3R4]	0,5	0	
							0	[12C3R4]	0,5	0	

Índice de VALOR = 0,184

## Departamento 36

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor	
Investigación	0,01665	0,25	0,067	0,043	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,13	0,13	[11C1R1]	0,5	0,26	
								0	[12C1R1]	0,5	0	
				0	Proyectos con fondos privados	0,333	0	0	[11C2R1]	0,5	0,00	
								0	[12C2R1]	0,5	0,00	
			0,023	Publicaciones y patentes	0,333	0,07	0,07	[11C3R1]	1	0,07		
Docencia	0,064657	0,25	0,259	0,117	Grado	0,333	0,35	0,02	[11C1R2]	0,5	0,04	
								0,33	[12C1R2]	0,5	0,66	
				0,14	Posgrado	0,333	0,42	0,42	[11C2R2]	1	0,42	
				0,002	Doctorado	0,333	0,00667	0,006666	[11C3R2]	0,3333	0,02	
						0	[12C3R2]	0,3333	0,00			
						0	[13C2R2]	0,3333	0,00			
Compromiso Interno	0,01875	0,25	0,075	0	Exterior UPC	0,5	0	0	[11C1R3]	1	0,00	
				0,075	UPC	0,5	0,15	0,15	[11C2R3]	0,5	0,30	
								0	[12C1R3]	0,5	0,00	
Compromiso Externo	0,014902	0,25	0,06	0	Secundaria	0,333	0	0	[11C1R4]	1	0	
				0	Profesional	0,333	0	0	[11C2R4]	0,3333	0	
								0	[12C2R4]	0,3333	0	
								0	[13C2R4]	0,3333	0	
				0,06	Sociedad	0,333	0,179	0	[11C3R4]	0,5	0	
								0,179	[12C3R4]	0,5	0,358	

Índice de VALOR = 0,115

## Departamento 37

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor	
Investigación	0,044539	0,25	0,178	0,035	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,105	0,105	[11C1R1]	0,5	0,21	
								0	[12C1R1]	0,5	0	
				0	Proyectos con fondos privados	0,333	0	0	[11C2R1]	0,5	0,00	
								0	[12C2R1]	0,5	0,00	
			0,143	Publicaciones y patentes	0,333	0,43	0,43	[11C3R1]	1	0,43		
Docencia	0,038432	0,25	0,154	0,082	Grado	0,333	0,245	0	[11C1R2]	0,5	0,00	
								0,245	[12C1R2]	0,5	0,49	
				0	Posgrado	0,333	0	0	[11C2R2]	1	0,00	
				0,072	Doctorado	0,333	0,21665	0,023331	[11C3R2]	0,3333	0,07	
						0,089991	[12C3R2]	0,3333	0,27			
						0,103323	[13C2R2]	0,3333	0,31			
Compromiso Interno	0,040625	0,25	0,163	0	Exterior UPC	0,5	0	0	[11C1R3]	1	0,00	
				0,163	UPC	0,5	0,325	0,17	[11C2R3]	0,5	0,34	
								0,155	[12C1R3]	0,5	0,31	
Compromiso Externo	0,016733	0,25	0,067	0,067	Secundaria	0,333	0,201	0,201	[11C1R4]	1	0,201	
				0	Profesional	0,333	0	0	[11C2R4]	0,3333	0	
								0	[12C2R4]	0,3333	0	
								0	[13C2R4]	0,3333	0	
				0	Sociedad	0,333	0	0	[11C3R4]	0,5	0	
								0	[12C3R4]	0,5	0	

Índice de VALOR = 0,140

## Departamento 38

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,019148	0,25	0,077	0,02	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,06	0,06	[I1C1R1]	0,5	0,12
								0	[I2C1R1]	0,5	0
				0	Proyectos con fondos privados	0,333	0	0	[I1C2R1]	0,5	0,00
								0	[I2C2R1]	0,5	0,00
			0,057	Publicaciones y patentes	0,333	0,17	0,17	[I1C3R1]	1	0,17	
Docencia	0,063545	0,25	0,254	0,173	Grado	0,333	0,52	0,24	[I1C1R2]	0,5	0,48
								0,28	[I2C1R2]	0,5	0,56
				0	Posgrado	0,333	0	0	[I1C2R2]	1	0,00
				0,081	Doctorado	0,333	0,24331	0,023331	[I1C3R2]	0,3333	0,07
						0,109989	[I2C3R2]	0,3333	0,33		
						0,109989	[I3C2R2]	0,3333	0,33		
Compromiso Interno	0,076875	0,25	0,308	0,055	Exterior UPC	0,5	0,11	0,11	[I1C1R3]	1	0,11
				0,253	UPC	0,5	0,505	0,325	[I1C2R3]	0,5	0,65
								0,18	[I2C1R3]	0,5	0,36
Compromiso Externo	0,038129	0,25	0,153	0,153	Secundaria	0,333	0,458	0,458	[I1C1R4]	1	0,458
								0	[I1C2R4]	0,3333	0
				0	Profesional	0,333	0	0	[I2C2R4]	0,3333	0
								0	[I3C2R4]	0,3333	0
				0	Sociedad	0,333	0	0	[I1C3R4]	0,5	0
								0	[I2C3R4]	0,5	0

Índice de VALOR = 0,198

## Departamento 39

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,043706	0,25	0,175	0,008	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0,025	0,025	[I1C1R1]	0,5	0,05
								0	[I2C1R1]	0,5	0
				0,167	Proyectos con fondos privados	0,333	0,5	0,17	[I1C2R1]	0,5	0,34
								0,33	[I2C2R1]	0,5	0,66
			0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[I1C3R1]	1	0,00	
Docencia	0,048558	0,25	0,194	0,03	Grado	0,333	0,09	0	[I1C1R2]	0,5	0,00
								0,09	[I2C1R2]	0,5	0,18
				0	Posgrado	0,333	0	0	[I1C2R2]	1	0,00
				0,164	Doctorado	0,333	0,49328	0,3333	[I1C3R2]	0,3333	1,00
						0	[I2C3R2]	0,3333	0,00		
						0,159984	[I3C2R2]	0,3333	0,48		
Compromiso Interno	0,045	0,25	0,18	0,15	Exterior UPC	0,5	0,3	0,3	[I1C1R3]	1	0,30
				0,03	UPC	0,5	0,06	0,06	[I1C2R3]	0,5	0,12
								0	[I2C1R3]	0,5	0,00
Compromiso Externo	0,000388	0,25	0,002	0	Secundaria	0,333	0	0	[I1C1R4]	1	0
								0	[I1C2R4]	0,3333	0
				0,002	Profesional	0,333	0,00467	0,0046662	[I2C2R4]	0,3333	0,014
								0	[I3C2R4]	0,3333	0
				0	Sociedad	0,333	0	0	[I1C3R4]	0,5	0
								0	[I2C3R4]	0,5	0

Índice de VALOR = 0,138

## Departamento 40

Requerimiento	Ivalor "REQ"	W Req.	Suma	Ivalor	Criterios	Wcriterio	Suma	Ivalor	Indicador	Peso Ind	F.valor
Investigación	0,078671	0,25	0,315	0	Proyectos competitivos Públicos	0,333	0	0	[11C1R1]	0,5	0,00
								0	[12C1R1]	0,5	0
				0,315	Proyectos con fondos privados	0,333	0,945	0,445	[11C2R1]	0,5	0,89
							0,5	[12C2R1]	0,5	1,00	
			0	Publicaciones y patentes	0,333	0	0	[11C3R1]	1	0,00	
Docencia	0,094346	0,25	0,377	0,1	Grado	0,333	0,3	0	[11C1R2]	0,5	0,00
								0,3	[12C1R2]	0,5	0,60
				0,13	Posgrado	0,333	0,39	0,39	[11C2R2]	1	0,39
								0,026664	[11C3R2]	0,3333	0,08
			0,148	Doctorado	0,333	0,44329	0,229977	[12C3R2]	0,3333	0,69	
							0,186648	[13C2R2]	0,3333	0,56	
Compromiso Interno	0,065625	0,25	0,263	0,115	Exterior UPC	0,5	0,23	0,23	[11C1R3]	1	0,23
								0,185	[11C2R3]	0,5	0,37
				0,148	UPC	0,5	0,295	0,11	[12C1R3]	0,5	0,22
Compromiso Externo	0,012321	0,25	0,049	0	Secundaria	0,333	0	0	[11C1R4]	1	0
								0	[11C2R4]	0,3333	0
				0,016	Profesional	0,333	0,047	0,0469953	[12C2R4]	0,3333	0,141
								0	[13C2R4]	0,3333	0
			0,034	Sociedad	0,333	0,101	0	[11C3R4]	0,5	0	
							0,101	[12C3R4]	0,5	0,202	

Índice de VALOR = 0,251