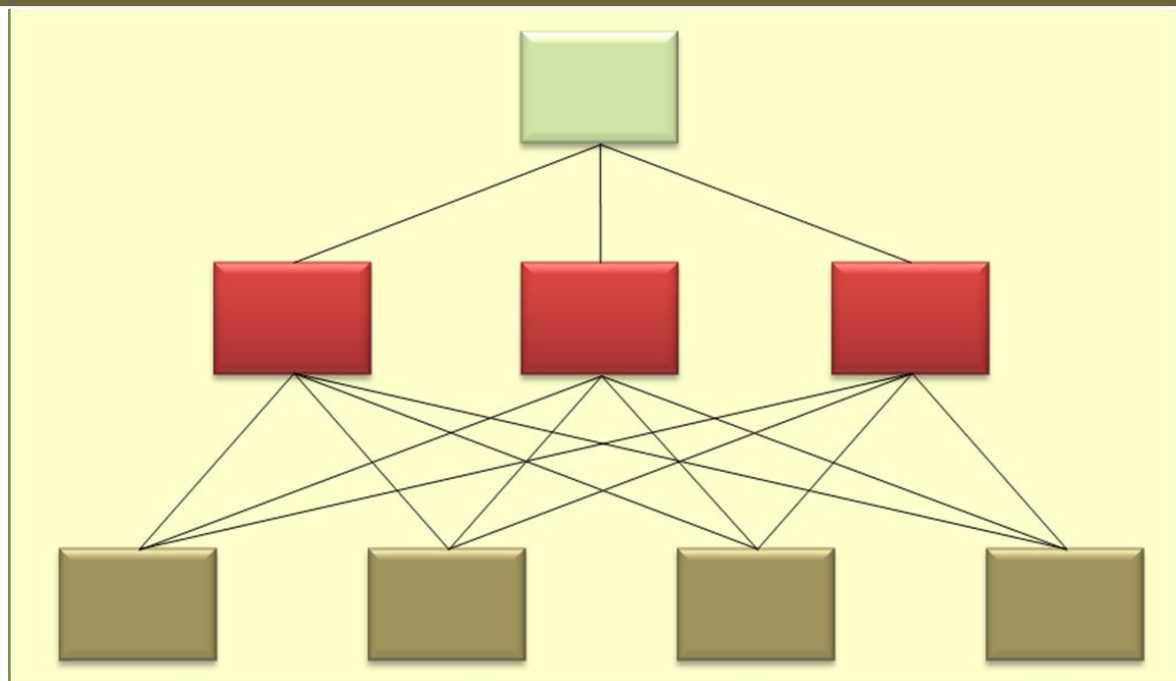




LA DECISIÓN MULTICRITERIO; APLICACIÓN EN LA SELECCIÓN DE OFERTAS COMPETITIVAS EN EDIFICACIÓN



PROYECTO FINAL DE MÁSTER

Alumna

Almudena Casañ Pérez

Tutores

D. José Luis Ponz Tienda

D. Oscar Hugo Bustos Chocomeli

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	5
1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVO Y METODOLOGÍA	7
2. LA TOMA DE DECISIONES	9
2.1. INTRODUCCIÓN A LA TOMA DE DECISIONES	9
2.2. LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO VS MONOCRITERIO	12
2.3. LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO: RECORRIDO HISTÓRICO	17
3. EL ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP) CON MÚLTIPLES CRITERIOS.	25
3. EL ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP) CON MÚLTIPLES CRITERIOS.	25
3.1. ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA.....	26
3.2. DETERMINACIÓN DE PRIORIDADES	30
3.3. DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA.....	36
4. LA DECISION MULTICRITERIO EN LA SELECCIÓN DE OFERTAS COMPETITIVAS.....	43
4.1. INTRODUCCIÓN	43
4.2. ESTADO DEL ARTE	43
4.3. DETERMIANCIÓN DE CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE OFERTAS COMPETITIVAS	45
5. APLICACIÓN PRÁCTICA DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO EN LA PONDERACIÓN DE CRITERIOS Y SELECCIÓN DE OFERTAS COMPETITIVAS	53
5.1. CASO DE APLICACIÓN	59
5.1.1. INFORMACIÓN LICITACIÓN	59
5.1.2. ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA	61
5.1.3. DETERMINACIÓN DE PRIORIDADES	64
5.2. POSIBILIDADES DE APLICACIÓN	79
6. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	85
6.1. CONCLUSIONES Y REFLEXIONES.....	85
6.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	88
BIBLIOGRAFÍA	89
ÍNDICE DE FIGURAS.....	93
ÍNDICE DE FÓRMULAS	94
ÍNDICE DE GRÁFICOS	94

ÍNDICE DE TABLAS.....	94
ANEXO I. CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS DE OFERTAS COMPETITIVAS IDENTIFICADOS EN LA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	
ANEXO II. PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO. APLICACIÓN PARA EL CÁLCULO DE PRIORIDADES POR EL MÉTODO DE APROXIMACIÓN	
APLICACIÓN INFORMÁTICA	
ESTUDIO DE CASO	
ANEXO III. POSIBILIDADES DE APLICACIÓN	
ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA	
DETERMINACIÓN DE LAS PRIORIDADES	

AGRADECIMIENTOS

En este espacio deseo expresar mi agradecimiento a las personas, que de un modo u otro, han estado presentes durante la realización de esta Tesina y concretamente:

- A José Luis Ponz Tienda y Oscar Hugo Bustos Chocomeli, tutores de esta tesina, por su dedicación, ayuda y motivación. Este trabajo es fruto de sus recomendaciones, correcciones y aportaciones, que me han servido de orientación y guía.
- A Fernando Casañ (que despertó mi interés por la edificación) y M^a Carmen Pérez, por la educación que me han brindado y el respaldo en la continuación de mi formación profesional.
- A Fernando Miguel Casañ y Fernando Martínez, por sus consejos y su apoyo incondicional. Por respaldarme en mis decisiones y por animarme a conseguir mis metas.

1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVO Y METODOLOGÍA

El proceso para seleccionar la oferta más favorable de entre un conjunto de ofertas competitivas para la adjudicación de un determinado proyecto o contrato, consiste en valorar objetivamente unos criterios ponderados previamente establecidos, seleccionando aquella que obtiene una mayor puntuación. Este método tradicional, que se emplea tanto en las Administraciones públicas como en el sector privado, presenta algunas carencias:

- Los criterios considerados en ocasiones son insuficientes para valorar y comparar de forma adecuada las ofertas.
- La ponderación de los criterios se realiza mediante reparto de puntos. Los puntos se asignan a cada criterio aleatoriamente, según la importancia que se considera que tiene el criterio, o la que de manera arbitraria o discrecional se le da.
- No hay un sistema que regule y justifique la puntuación que se asigna a cada criterio, ni que determine la consistencia de la ponderación.
- No se emplea el mismo método de evaluación para todos los criterios. Hay criterios que se evalúan de forma subjetiva (criterios cualitativos) y otros mediante fórmulas (criterios cuantitativos).
- Además de las carencias técnicas que presenta el método, hay que destacar la falta de transparencia y manipulabilidad existente en los procesos concursales.

Con el fin de hacer frente a las carencias mencionadas del método actual, para la selección de ofertas competitivas, se propone el empleo de un Método de Toma de Decisiones Multicriterio, el Proceso de Toma de decisiones Analítico Jerárquico.

Los Métodos de Toma de Decisiones Multicriterio, ofrecen grandes posibilidades de utilización para la resolución de todo tipo de problemas. Aportando durante todo el proceso rigor científico y transparencia en las decisiones tomadas. Actualmente la utilización de estos métodos en la resolución de problemas o tomas de decisiones en edificación es prácticamente nula, debido al desconocimiento que se tiene de sus metodologías y sus posibilidades de aplicación.

El objetivo de esta Tesina es dar a conocer los Procesos de Toma de Decisiones Multicriterio, y más concretamente en método Analítico Jerárquico, para su aplicación en la selección de ofertas competitivas en edificación, tanto en el sector público como privado.

Para llevar a cabo este objetivo:

- Se profundizará en la toma de decisiones, sus orígenes y evolución.
- Se analizarán y compararán los diferentes métodos para la toma de decisiones de criterio único y los métodos de toma de decisiones multicriterio.
- Se hará un recorrido histórico desde la aparición del primer problema de decisión multicriterio, hasta el estado actual de la metodología de toma de decisiones multicriterio.
- Se describirán las características del Proceso Analítico Jerárquico (AHP), y se explicará en profundidad su metodología diseñando a tal efecto una aplicación informática para su aplicación.
- Se compararán e identificarán las carencias del método de selección de ofertas competitivas actual y se analizarán las ventajas que aporta el Proceso Analítico Jerárquico.
- Se hará una revisión bibliográfica de los diferentes problemas de decisión multicriterio abordados con el método de toma de decisiones Analítico Jerárquico y se profundizará en los problemas de selección de ofertas competitivas, resueltos con esta metodología.
- Se revisarán los pliegos de condiciones de diferentes licitaciones para analizar y enumerar los criterios considerados, reflexionando sobre las carencias observadas.
- A partir de la revisión se establecerán una serie de criterios, que de manera general se deberían emplear en la mayoría de proyectos para poder comparar las ofertas. Estos criterios se presentarán a través de una jerarquía.
- Se realizará un “estudio de caso” empleando el Proceso Analítico Jerárquico.
- Para la obtención de las prioridades de los criterios, subcriterios y alternativas se emplea la aplicación informática diseñada con software comercial.
- Finalmente se incluirán unas Conclusiones y futuras líneas de investigación resultado de la investigación objeto de esta tesina final de Máster.

2. LA TOMA DE DECISIONES

2.1. INTRODUCCIÓN A LA TOMA DE DECISIONES

La vida de las personas se fundamenta en torno a las decisiones que deben tomar frente a las situaciones cotidianas que se les plantean, tanto en el ámbito profesional como en el personal.

En la antigüedad los seres humanos tomaban decisiones biológicas, decisiones muy simples de las cuales dependía su existencia (comer o no comer). Conforme se iba desarrollando la vida humana, esas decisiones no eran suficientes y surgió la toma de decisiones culturales, que se caracteriza porque se transmitían de generación en generación (utilizar los huesos de un animal para la elaboración de herramientas, la carne para alimentarse y la piel para abrigo). Posteriormente apareció la figura del especialista en tomar decisiones, estas personas (generales, sacerdotes y reyes) tomaban tanto las decisiones que les afectaban a ellos como las que afectaban al grupo. Con la aparición del especialista decisor, surgieron los modelos mágicos y demoníacos, que consistían en basar las decisiones en los designios de los dioses (los brujos o sacerdotes se basaban en la lectura de las tripas de un animal para determinar el resultado de la batalla, y en función de sus consejos los generales decidían si salir a luchar o no). (Gross 2010).

Es en la antigua Grecia (s. V a.C.) cuando aparece por primera vez el concepto de toma de decisiones racionales, que se basaban en el uso del razonamiento y la lógica¹. Grandes filósofos como Aristóteles y Platón, promulgaron que el rasgo que permitía distinguir a los seres humanos de los animales era su capacidad para decidir ante las situaciones que se les plantean, haciendo uso de la razón. En la Edad Media la toma de decisiones racionales pierde fuerza ante la fuerte influencia de los modelos mágicos, basados en las creencias religiosas. Esta situación se mantiene hasta la llegada del Renacimiento, cuando surge el concepto de toma de decisiones científicas, y que continúa estudiándose y desarrollándose a día de hoy. (Gross 2010). Es por ello que podemos afirmar que la toma de decisiones es un problema contemporáneo que se ha abordado en numerosas ocasiones a lo largo de la historia.

Actualmente, el proceso de toma de decisiones comprende las 5 primeras fases de cualquier proceso de resolución de problemas, el cual está compuesto por 7 etapas:

¹ **Lógica.** Ciencia formal que estudia los principios de la demostración e inferencia válida. Deriva del griego antiguo λογική (*logike*), que significa «dotado de razón, intelectual, dialéctico, argumentativo», que a su vez viene de λόγος (*logos*), «palabra, pensamiento, idea, argumento, razón o principio». (Lógica def. Wikipedia 2012)

Lógica. La lógica es la ciencia del pensamiento correcto. (McCall s.f.)

definición del problema, identificación de las alternativas, determinación de los criterios, evaluación de las alternativas, elección de una opción, implementación de la decisión y evaluación de los resultados. (Toskano Hurtado 2005)

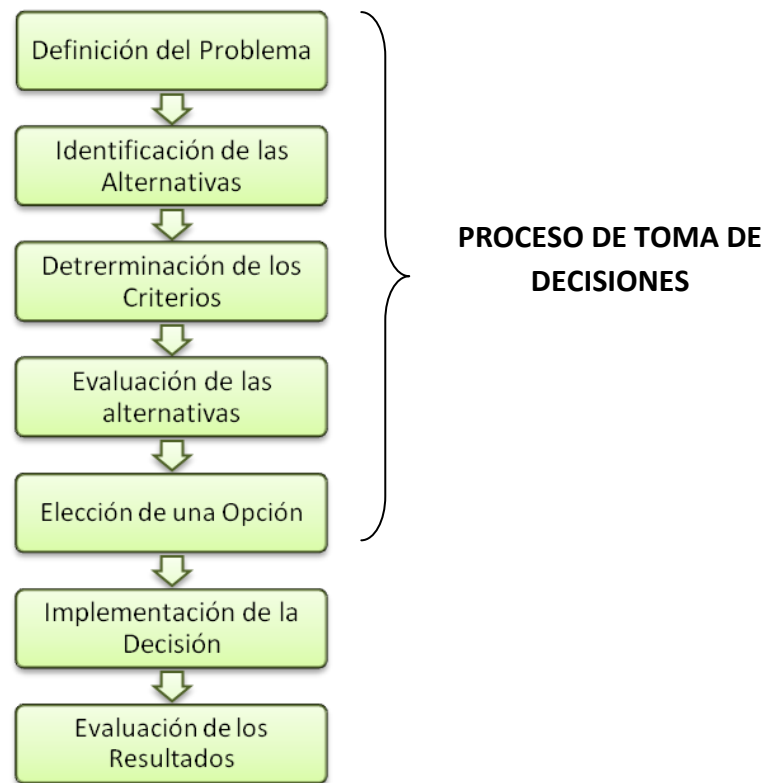


Figura 1. PROCESO DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Las 5 etapas que componen el proceso de toma de decisiones, a su vez se agrupan en dos subprocesos, la Estructuración y el Análisis del problema.

ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA

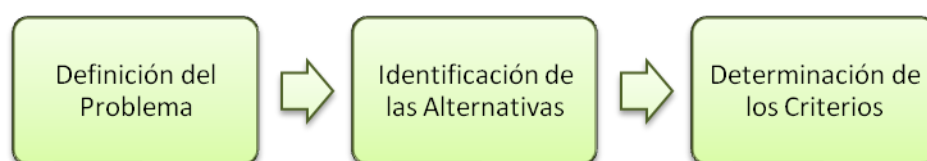


Figura 2. ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA

En la fase de Estructuración se define el problema a abordar, se indican las posibles alternativas y se determina el criterio o criterios a tener en cuenta (términos que se tratarán en el punto siguiente), estableciendo de esa forma si el problema a abordar va a ser de criterio único (solo se considera un criterio) o de criterios múltiples (se consideran como mínimo dos criterios).

Una vez concluida la fase de estructuración se pasa a la fase de análisis y estudio, trabajo necesario para la toma de las decisiones. En esta fase se evalúan las alternativas para posteriormente elegir la mejor opción.

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

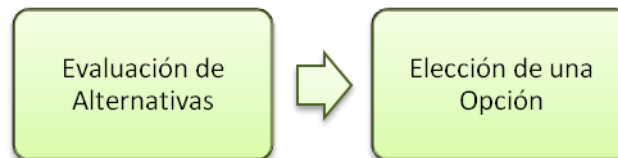


Figura 3. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

El análisis puede realizarse de forma cualitativa o cuantitativa. Se considera que el análisis es cualitativo cuando este se basa fundamentalmente en la intuición², experiencia y razonamiento de aquellos que participan en el proceso de elección, debido a que los datos de que se dispone son confusos e incompletos.

Se realiza un análisis cuantitativo cuando las decisiones se basan en hechos y datos relacionados con el problema, a partir de los cuales se establecen relaciones matemáticas en las que describen los objetivos, restricciones y relaciones existentes en el problema.

Tras realizar el análisis se procederá a la elección de la mejor alternativa de las que se han hallado, que no por ser la mejor implica que sea la solución óptima al problema.

La bondad de la alternativa seleccionada dependerá de los datos empleados durante todo el proceso de toma de decisión. Puede establecerse la siguiente clasificación, según los datos considerados:

² **Intuición.** Del latín *intueri* «mirar hacia dentro» o «contemplar», es un concepto de la Teoría del conocimiento aplicado también en la epistemología que describe el conocimiento que es directo e inmediato, sin intervención de la deducción o del razonamiento, siendo considerado como evidente. ([Intuición def. Wikipedia 2012](#))

Intuición. Conocimiento inmediato de una cosa, idea o verdad, sin el concurso de razonamientos. ([Diccionario Enciclopédico Vox 1 2009](#))

- Toma de decisiones bajo certidumbre: se conocen todos los datos de forma (determinista).
- Toma de decisiones bajo riesgo: los datos son descritos mediante relaciones de probabilidad.
- Toma de decisiones bajo incertidumbre: cuando no se puede determinar el peso o relevancia de los datos considerados.

De esta manera se puede afirmar que cualquier proceso de decisión lleva implícito un determinado riesgo dependiendo de los datos considerados durante todo el proceso de decisión. A mayor objetividad y precisión en la información a considerar, menor riesgo supondrá la decisión tomada.

Por tanto en una decisión se deben tener en cuenta todos los factores que pueden influir, establecer comparaciones entre las distintas alternativas que se presentan y plantear los posibles escenarios que se pueden dar, para de esta forma tener una previsión de los efectos que la decisión que se va a tomar ocasionará en el futuro. Una vez considerados todos estos aspectos se decidirá la mejor opción dentro de lo posible.

2.2. LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO VS MONOCRITERIO

Los problemas de toma de decisiones durante mucho tiempo se han abordado desde la perspectiva monocriterio (un único criterio de decisión), pero este planteamiento poco a poco ha ido perdiendo protagonismo en beneficio de la perspectiva multicriterio (diversos criterios, a menudo en conflicto).

El planteamiento clásico de los Problemas de Toma de Decisiones, se fundamenta en abordarlos considerando un único criterio de decisión. Este planteamiento se formula mediante una única función, llamada función objetivo y una serie de restricciones, que representan los recursos que son limitados y que influyen en la decisión. Para obtener la solución al problema de decisión planteado, la función objetivo se optimiza mediante técnicas matemáticas (maximizar, minimizar), respetando las limitaciones establecidas por las restricciones y se obtiene la mejor solución posible (solución óptima). (Caballero y Romero s.f.)

La formulación monocriterio ofrece una visión reducida, y un poco forzada o no natural de la realidad. En primer lugar la limitación más evidente que presenta es que el decisor solo considera un criterio para tomar su decisión, lo que condiciona el resultado, ya que no se valoran otros criterios importantes que pueden entrar en conflicto con el que se ha escogido para tomar la decisión, que suele ser el recurso más limitado. En la mayoría de problemas que se nos plantean, tanto los más sencillos

aparentemente como los más complejos, hay más de un criterio que condiciona la elección. (Caballero y Romero s.f.)

En segundo lugar hay que tener en cuenta la limitación que suponen las restricciones. Estas son fijas e inquebrantables lo que condiciona la solución y se aleja de la realidad, ya que a veces la relajación o el no cumplimiento estricto de alguna restricción pueden mejorar considerablemente la solución obtenida. (Caballero y Romero s.f.)

Teniendo en cuenta estas limitaciones, podemos afirmar que era necesario establecer un método en el cual se tuvieran en cuenta diversos criterios para tomar una decisión y que las restricciones planteadas fueran menos estrictas, para poder abordar los problemas de decisión de forma más natural y flexible. Hablamos de los problemas de toma de decisiones multicriterio (Multicriteria Decision Making).

Estos problemas de decisión se caracterizan porque tienen en cuenta al menos dos criterios de decisión, que suelen ser en la mayoría de casos contradictorios (el beneficio de uno supone la penalización de otro) y al menos dos alternativas de decisión. Además permiten reflejar las preferencias del decisor o grupo de decisores y estas se tienen en cuenta durante el proceso de elección.

Los Métodos de Toma de Decisiones Multicriterio han desarrollado una terminología propia y común (Masud y Ravi 2008), que incluye conceptos tales como:

- **Alternativas:** son las posibles soluciones al problema de decisión, entre las cuales el decisor puede elegir.
- **Atributos:** son las características, rasgos, cualidades, o parámetros que describen cada una de las alternativas. El número de atributos que describe las alternativas será elegido por el decisor o grupo de elección.
- **Criterios:** son los parámetros que permiten reflejar las preferencias del decisor respecto a un atributo. Los criterios pueden presentarse de dos formas, criterios cuantitativos (evaluaciones numéricas) y cualitativos (no existe una unidad de medida, la medida es subjetiva).
- **Objetivos:** delimitan los deseos que se quieren satisfacer, indicando las direcciones de mejora según las preferencias del conjunto decisor. Pueden considerarse como ideales inalcanzables.
- **Metas:** reflejan los ideales alcanzables. La alternativa que recogerá los atributos establecidos y pueda satisfacer los criterios, acercándose al máximo a los objetivos establecidos.

Estos métodos de decisión se caracterizan por ser procesos de análisis cíclicos y de aprendizaje continuo, que tras obtener resultados, vuelven hacia atrás para cerciorarse

de que estos son adecuados. Generalmente en los procesos de Análisis de Decisión Multicriterio se pueden diferenciar las siguientes 7 etapas, sin que esto sea una norma inequívoca ([Sánchez López 2010](#)) :

1. Delimitación del Contexto de evaluación: En esta primera fase se determina el problema real de decisión al cual nos enfrentamos. Para ello, se deben establecer los objetivos relacionados con la decisión a tomar, pensar en las posibles alternativas y en las consecuencias o impactos de estas y expresar los deseos y las preocupaciones de las personas responsables en la toma de la decisión.

En el libro Making Hard Decisions with DecisionTools ([Clemen y Reilly 2004](#)) se propone la siguiente técnica basada en 8 pasos, para establecer el contexto de decisión:

- 1.-Hacer una lista de las cosas deseables.
- 2.- Identificar alternativas.
- 3.- Identificar problemas e inconvenientes.
- 4.- Predecir consecuencias.
- 5.- Identificar metas, restricciones y directrices.
- 6.- Considerar diferentes perspectivas.
- 7.- Determinar los objetivos estratégicos.
- 8.- Determinar los objetivos genéricos.

2. Identificación de los criterios de evaluación: en esta fase se establecen los criterios que se utilizarán para evaluar las distintas alternativas. Los criterios deben ser entendibles, operacionales, no redundantes e independientes. Hay diversos métodos que ayudan a la determinación de criterios, como “The WITI Test (Why Is It Important)”, que a partir de preguntas simples te descubre los criterios fundamentales.

3. Construcción de las escalas de evaluación: en esta etapa se determina la forma de medir o evaluar los criterios. Para ello se utilizan indicadores que pueden ser numéricos o indirectos o cualitativos, en el caso de que no sea posible establecer indicadores numéricos.

Los indicadores pueden ser de tres tipos:

Naturales, su uso es obvio y miden directamente el desempeño de un criterio dado. **Construidos**, se emplean para medir criterios complejos y subjetivos (maximizar, mejorar, reducir...).

Proxi, son medidas indirectas de desempeño que se utilizan cuando el criterio no puede medirse directamente mediante indicadores naturales ni construidos, y se

miden a través de criterios secundarios que afectan directamente al estudiado en cuestión.

4. Construcción de las funciones de valor: en esta fase se transforma el desempeño de cada criterio en valor, es decir, el valor que aporta al grupo de decisión ese criterio. La función de valor es una función matemática de dos variables (desempeño y valor). Existen diversos métodos para construir funciones de valor:

- Bisection Method. ([Tongerson 1958](#))
- Direct Rating y Curve Fitting ([Winterfeldt y Edwards 1986](#))
- The Eigenvalue Approach ([T. L. Saaty, The Eigenvalue approach 1969](#)) ()
- Difference Standard Sequences ([Krantz 1991](#))
- The MACBETH Approach ([Costa y Vansnick 1994](#))

5. Ponderar las escalas de evaluación: en la quinta fase se determina la influencia de cada criterio en la toma de la decisión. Esta parte es muy subjetiva porque cada uno de los componentes del grupo decisor puede tener una escala de valores distinta y dar una importancia distinta al mismo criterio.

6. Evaluar las opciones: una vez definidos los criterios con sus correspondientes escalas, funciones de valor y ponderaciones, llega la hora de tomar la decisión. Pero antes de elegir una alternativa de las posibles, debemos someter a juicio los resultados obtenidos. Podemos volver hacia atrás y realizar cambios para mejorar el desempeño de los criterios, para ver si de esa forma se modifican a mejor los resultados obtenidos. Con este análisis queda garantizado que los resultados obtenidos son mejores o como mínimo iguales que los obtenidos inicialmente. Esta forma de pensar y actuar recibe el nombre de *“Value-focused Thinking”* ([Keeney 1996](#)).

7. Realización del análisis de sensibilidad y robustez: en ésta última etapa, ya tenemos seleccionada la mejor alternativa, pero pueden surgir dudas debido a datos inciertos empleados durante todo el proceso de decisión. Es por ello que se puede repetir todo el proceso teniendo en cuenta distintos valores de los datos que nos crean incertidumbre. Si al concluir el proceso no aparece ninguna alternativa que supera la escogida inicialmente, daremos esta por buena. En caso de que aparezca una alternativa mejor, se deberá recopilar más información para precisar la información que nos causaba la incertidumbre y volver a realizar el proceso.

Los Métodos de Decisión Multicriterio se dividen en dos grupos, el Multicriterio Continuo o Multiobjetivo y la Decisión Multicriterio Discreta.

Estamos hablando de una Decisión Multicriterio Continua o Multiobjetivo, cuando la función objetivo toma un número infinito de valores y conduce a un número infinito de alternativas.

Cuando el número de alternativas de decisión es finito, estamos hablando de una Decisión Multicriterio Discreta. Los principales Métodos de Decisión Multicriterio Discreto son: Ponderación Lineal (Scoring), Utilidad Multiatributo (MAUT), Relaciones de Superación y el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) ([Toskano Hurtado 2005](#)).

- **Ponderación Lineal (Scoring):** se emplea cuando se dispone de poca información, en situaciones de incertidumbre. Es un método compensatorio que se basa en la asignación de pesos a los distintos criterios. Se representa una función de valor para cada una de las alternativas. Es un método fácil de utilizar y muy empleado.
- **Utilidad Multiatributo (MAUT):** en este método se representa una función de utilidad para cada atributo, posteriormente se agregan a una función multiatributo de forma aditiva o multiplicativa. Este método requiere un elevado nivel de información, por parte del decisor para poder construir la función de utilidad multiatributo.
- **Relaciones de Superación:** estos métodos se basan en las comparaciones binarias de alternativas, comparaciones dos a dos de las alternativas, criterio a criterio. En este grupo destaca el método ELECTRE (que se abordará en el siguiente punto) y el Método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation).
- **Proceso de Análisis Jerárquico (AHP):** este método consiste básicamente en descomponer un problema en una estructura jerárquica, con al menos 3 niveles básico (meta u objetivo, criterios y alternativas). Este método proporciona una visión general del problema y fácil de entender. Este método se tratará posteriormente en profundidad.

Tenemos una visión general del paradigma monocriterio y del multicriterio y de las ventajas que éste último ha aportado a los problemas de toma de decisión, respecto al planteamiento de criterio único. A continuación se va a exponer como poco a poco las aportaciones de científicos y economistas y los estudios e investigaciones en el campo económico y de elección social han dado origen al nacimiento de la Decisión Multicriterio como “ciencia normal”.

2.3. LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO: RECORRIDO HISTÓRICO

Como se ha expuesto en el punto anterior la característica más importante de la toma de decisión multicriterio, es que considera al menos dos criterios los cuales son al menos en principio contradictorios. No considera solo el criterio más restrictivo, permite tomar una decisión teniendo en cuenta todos los factores que influyen en ella. Esto permite reflejar, durante el proceso de elección, las preferencias de todos los individuos que participan en la decisión.

La metodología del análisis o toma de la decisión multicriterio no es novedosa ni ha surgido de un día para otro. Es el resultado de numerosas aportaciones, de índole científicas, que se han dado a lo largo de varios siglos. Vamos a realizar un recorrido, por los hechos más significativos que han marcado el camino de lo que hoy conocemos como Toma de Decisiones Multicriterio.

El primer problema de decisión multicriterio conocido, fue el propuesto por el químico inglés J. Priestley (1733-1804) a B. Frankling (1706-1790) ([Fernández Barberis y Escribano Ródenas s.f.](#)) y entra en la categoría que hoy se conoce como métodos compensatorios, dentro de los problemas multicriterio discretos. Como respuesta a éste problema, en 1772 B. Franklin indicó en una carta una metodología de resolución que él llamaba “álgebra moral o prudencial”. Esta metodología se basaba en asignar pesos subjetivos a los diferentes criterios que influyen en la decisión. Se caracterizaba por tener en cuenta una pluralidad de puntos de vista.

La pluralidad de puntos de vista, de opiniones y preferencias es la base de los procesos de elección o votación y es en este campo, donde se realizaron aportaciones importantes al análisis de decisión multicriterio. La teoría de la votación orientada a la selección social, pertenece al campo de las ciencias políticas y matemáticas. Estudia las reglas que rigen como pueden expresar sus deseos los votantes y como se agregan estos deseos para llegar a un resultado final. La aplicación más conocida es la elección social (jurados, política, premios), pero también se emplea en la resolución de problemas complejos. Podemos destacar las aportaciones de Ramón LLull, Nicolas Cusanos, el Marqués de Caritat de Condorcet y el Caballero Jean-Charles de Borda.

Ramón LLull (1232-1316) introdujo el concepto de comparación binaria, para resolver el problema de agregación de preferencias individuales. La comparación binaria se basa en comparar entre pares de elementos y establecer una relación entre ellos ([Fernández Barberis y Escribano Ródenas s.f.](#)).

Nicolas Cusanus (1401-1464) con el fin de resolver el problema de agregaciones individuales, introdujo el método de puntuaciones (scoring method). Además introdujo el cálculo unitario para derivar la función de utilidad total para la sociedad a partir de los intereses personales de los individuos de una comunidad, inspirado en Bentham

([Fernández Barberis y Escribano Ródenas s.f.](#)). La función de utilidad mide a través de una expresión matemática, la relación entre dos variables, la cantidad de servicios o bienes consumidos por un individuo y el grado de satisfacción que dicho consumo le proporciona. Históricamente se comprendió que para describir el comportamiento racional de los consumidores, el porqué de sus decisiones económicas, era esencial estudiar sus preferencias teniendo en cuenta que estas son subjetivas e individuales. La función de utilidad permitió representar y describir estas preferencias.

Hacia 1780 Marie Antonie Nicolas de Caritat, Marqués de Condorcet (1743-1794) propuso un procedimiento de consenso muy similar al análisis multicriterio, el cual publicó en su obra *Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix* ([Condorcet 1785](#)), con el fin de abordar la problemática que surgía en un tribunal en el momento de decidir la culpabilidad de un individuo. Buscaba la reflexión científica en el ámbito de las ciencias humanas.

El Marqués Caritat de Condorcet y el Caballero Jean-Charles de Borda (1733-1799) son considerados como los creadores de los sistemas de votación, siendo Borda menos teórico que Condorcet. Los trabajos presentados en 1784-1785 a la Academia de las Ciencias por Borda, sobre sistemas de votación hicieron que las memorias de Condorcet fueran discutidas. Finalmente la Academia de las Ciencias eligió el método de elección social propuesto por Borda, que era más simple.

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, se produjo un gran impulso en la problemática multicriterio gracias a la investigación económica. El punto de vista científico y gran parte de los aspectos prácticos del análisis de decisión multicriterio se fundamentan en trabajos y teorías económicas, como la teoría de la economía del bienestar y la teoría de la utilidad.

La economía del bienestar es una rama del pensamiento económico que se propone incrementar el bienestar total o la utilidad total existente en una Sociedad, maximizando la eficiencia económica con la cantidad de recursos disponibles ([wikipedia 2011](#)). Está basada en gran parte en el óptimo de Pareto y tuvo bastante ímpetu a principios de s. XX.

La teoría de la utilidad se basa en el estudio del comportamiento de los agentes económicos, según las necesidades que quieran satisfacer. Francis Ysidro Edgeworth (1845-1926) conocido como el economista utilitario, se preocupó por la maximización de la utilidad de los diferentes agentes competidores en la economía, para lo cual propuso la creación de curvas de indiferencia (líneas de igualdad de utilidad) para cada agente y posteriormente derivar la curva que represente el conjunto óptimo de Pareto. ([wikipedia 2012](#)).

Vilfredo Federico Dámaso Pareto (1848-1923) proporcionó la definición de optimalidad que pasó a constituir el paradigma subyacente en los problemas de

decisión. Considerando que no existe el óptimo absoluto, sino que para que un agente mejore otro debe empeorar ([Barabara-Romero y Pomerol 1997](#)).

A partir de su aportación es fácil derivar un concepto fundamental en los Análisis de Decisión Multicriterio, el concepto de **dominancia**, el cual se aplica a los criterios considerados en la toma de la decisión y describe la condición preferente que unos criterios tiene sobre otros. El criterio o los criterios dominantes o de mayor peso, son los que condicionaran en mayor medida la decisión y la solución adoptada. Esta puede o no ser la óptima, pero será la que se ajuste en mayor medida a la satisfacción de los criterios dominantes.

En los años veinte, cabe destacar la influencia que tubo la **Teoría de Juegos** en el desarrollo del Análisis de Decisión Multicriterio. Es un área de la matemática aplicada que utiliza modelos para estudiar interacciones en estructuras formalizadas de incentivos (juegos) y llevar a cabo procesos de decisión. Estudia las estrategias óptimas así como el comportamiento previsto y observado de los individuos en los juegos. Se emplean para resolver situaciones en las que el comportamiento de un individuo, depende de las acciones tomadas por el resto. ([wikipedia 2006](#))

Los padres de la Teoría de Juegos fueron Felix Edouard Justin Emile Borel (1871-1956) y John Von Neumann (1903-1957). Se considera a Borel como el iniciador de la teoría psicológica de juegos, pero el nacimiento de lo que hoy se conoce como Teoría de Juegos se remonta a un trabajo que éste publicó en 1921. Aunque Borel fue el iniciador, muchos historiadores suelen atribuir el origen de la Teoría de Juegos a un artículo de Neumann, que presentó oralmente en 1926 y publicó en 1928. Tras la publicación de este artículo, Neumann junto a Oskar Morgensten publicaron un libro ampliando los resultados de Neuman, *Theory of Games and Economic Behavior* ([Von Neumann y Morgentern 1944](#)). Un ejemplo muy conocido de la aplicación de la Teoría de Juegos a la vida real es el dilema del prisionero, popularizado por Albert W. Tucker. El dilema del prisionero tiene muchas implicaciones que permiten comprender la naturaleza de la cooperación humana y demuestra que el egoísmo del individuo perjudica al grupo.

La teoría de juegos o análisis de problema de conflictos, constituye el soporte metodológico de problemas de decisión con más de un actor. Esta es la estructura que presentan los problemas de votación, elección social y decisiones en grupo.

Entrando en la década de los cincuenta, nos centramos en el año 1951, el cual destaca por los conceptos aportados por la escuela americana. Dentro de las aportaciones realizadas, cabe reseñar la labor de Tjalling Koopmans, Harold William Kuhn, Albert William Tucker y K. J. Arrow ([Barabara-Romero y Pomerol 1997](#)).

Tjalling Koopmans (1910-1985) introdujo el concepto de vector eficiente, considerado como una nueva visión del óptimo de Pareto, en su artículo *Analysis of production as an efficient combination of activities* ([Koopmans 1951](#)). Consideró que un vector input-output es eficiente, si y sólo si, se cumplen dos condiciones:

- Fijando los inputs, el aumento de un output solo es posible con la disminución de algún otro output. (Eficiencia con orientación output).
- Fijando los outputs, el aumento de un input solo es posible con la disminución de algún otro input. (Eficiencia con orientación input).

Harold William Kuhn (1925) y Albert William Tucker (1905-1995) abordaron el problema de criterios múltiples en programación lineal. Con su concepto de problema del vector máximo permitieron que la optimización multiobjetivo pudiese convertirse en una disciplina propia ([Fernández Barberis y Escribano Ródenas s.f.](#)).

K. J. Arrow formuló el Teorema de Imposibilidad ([Arrow 1951](#)) , el cual se refiere a la imposibilidad lógica de construir funciones de bienestar social (o utilidad colectiva) a partir de las preferencias o funciones de utilidad individuales de los individuos. Esto se debe a que cualquier elección personal se basa en 5 axiomas ([Barabara-Romero y Pomerol 1997](#)):

1. **Universalidad:** sean cuales sean las ordenaciones adoptadas por los criterios, la función de elección social es capaz de funcionar.
2. **Unanimidad o de Pareto:** cuando hay unanimidad sobre una elección, la sociedad ratifica esa elección.
3. **Independencia respecto a las alternativas irrelevantes:** la elección entre dos opciones a y b, solo depende de la opinión sobre estas dos y no de opiniones sobre otras opciones.
4. **Transitividad:** la relación social de preferencia es transitiva. Este axioma somete a la sociedad a las mismas exigencias de racionalidad que a sus miembros.
5. **Totalidad:** la relación entre dos opciones es total ($a > b$; $b > a$; $a = b$).

El único proceso de elección social que puede cumplir estos 5 axiomas, son los procesos dictatoriales. Si el dictador escoge “a” toda la población debe hacer lo mismo. El Teorema de la Imposibilidad fue inesperado para la sociedad democrática y ha suscitado numerosos estudios y discusiones.

Es en los años sesenta cuando los conceptos básicos del Análisis de Decisión Multicriterio fueron considerados explícitamente por primera vez. La decisión multicriterio se individualiza con su propia terminología y centrándose en la problemática de elegir una alternativa cuando existen criterios múltiples. Surgieron gran número de modelos que hoy consideramos como clásicos y entre los que podemos destacar: la Programación por Metas o Goal Programming, el Método ELECTRE y el Método Interactivo STEP.

- **La Programación por Metas o Goal Programming** (1961) de Abraham Charnes y William Cooper, se encuentra dentro del conjunto de **métodos con información**. Es decir, aquellos métodos en los que antes de formular el modelo se dispone de información y se intenta que la resolución se ajuste a las preferencias expresadas por el decisor. La Programación por Metas aporta un concepto de solución en problemas multicriterio modelizados por medio de técnicas de programación lineal. Con este método se determinan soluciones satisfactorias para el decisor, que no por ello óptimas, según los límites o metas (goals) marcados previamente por éste. ([Barabara-Romero y Pomerol 1997](#))
- **El Método ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la Réalité)** surgió en Francia en 1968 y el primero en abordarlo fue Roy (ELECTRE I). Existen diversas versiones del Método ELECTRE (I, II, III, IV, IS) y en todas ha participado Roy, bien como autor único (ELECTRE I y III) o como coautor (ELECTRE II, IV y IS). El Método ELECTRE se fundamenta en las *Relaciones de Superación* “surclassement”, concepto originado en la empresa francesa SEMA, la cual se dedicaba a la investigación en el campo de las matemáticas. El método ELECTRE se clasifica dentro de los métodos de decisión multicriterio discreta. La versión I y IV están orientadas a la selección y el resto a la ordenación de las alternativas. La versión II y sobretodo la III incorporan conceptos de la teoría de los conjuntos difusos. ([Barabara-Romero y Pomerol 1997](#)).
- **El Método Interactivo STEP**, inicialmente conocido como POP, fue propuesto por Benayoun y Tergny en 1969 y surgió, al igual que el Método ELECTRE en el seno de la empresa SEMA. El Método STEP es un método interactivo para la Programación Lineal Multiobjetivo. ([Barabara-Romero y Pomerol 1997](#))

Es la década de los setenta la que se considera como punto oficial de partida del Análisis de Decisión Multicriterio. Se realizan las primeras conferencias sobre Análisis de decisión multicriterio, en las que se presentan los trabajos y las investigaciones realizadas durante los años sesenta, para conocimiento y discusión de las mismas.

La primera reunión científica dedicada al análisis multicriterio, tuvo lugar en el La Haya en 1970, durante la celebración del VIII Congreso de Programación Matemática. En ésta reunión tuvieron gran acogida las propuestas de Bernad Roy y los dos primeros métodos multicriterio interactivos, el de Benayoun y Tergny y el propuesto por Geoffrion (que publicaría posteriormente, en 1972, en un artículo con la colaboración de Dyer y Feinberg). ([Barabara-Romero y Pomerol 1997](#))

En 1972 en la Universidad de Columbia (California del Sur) Cochrane y Zeleny organizaron una reunión dedicada exclusivamente a la Toma de Decisiones Multicriterio (Multiple Criteria Decision Making), la cual llevaba por título “*First International Conference on Multiple Criteria Decision Making*”. A esta conferencia asistieron alrededor de 200 delegados y se presentaron más de sesenta trabajos sobre

decisión multicriterio. Entre los asistentes había jóvenes científicos (de edades cercanas a los 30 años) que presentaban los resultados de sus tesis doctorales, entre los que se puede destacar a Dyer, Ignizio, Ijiri, Keeney, Steuer, Yu y Zeleny. También participaron figuras consagradas como Churchman, Evans, Fishburn, Roy y Zadeh. A partir de este congreso se produjo el despegue de los métodos de decisión multicriterio y se constituye el paradigma de la decisión multicriterio como “ciencia normal” con la publicación de las actas del congreso en 1973, por Cochrane y Zeleny. Es también durante el congreso cuando se acuerda constituir el “Special Interest Group on Multiple Criteria Decision Making”. ([Barabara-Romero y Pomerol 1997](#))

Podemos destacar las siguientes aportaciones durante la década de los setenta:

- 1976-1977 Bernard Roy plantea y defiende la necesidad de Desoptimizar la Investigación Operativa. ([Barabara-Romero y Pomerol 1997](#))
- 1977 Keen introduce el concepto de “hombre aprehensivo” (aprehensive man). El hombre aprehensivo es aquel que se preocupa por el futuro, tiene una visión global de la realidad, es capaz de reconocer las oportunidades, confía en su experiencia, es reactivo frente a lo incierto y busca una solución satisfactoria, no la óptima. ([Fernández Barberis y Escribano Ródenas s.f.](#))
- 1975 se produce la bifurcación dentro de la idea principal del paradigma multicriterio con la aparición de distintas líneas de investigación. Por una parte está la escuela francófona (Brans, Jacques-Lagrèze, Roy, Rubens, Vansnick, Vincke...) dedicada a la investigación en el campo del multicriterio discreto, las relaciones de superación y las preferencias del decisor. Por otra parte la corriente norteamericana que se divide a su vez entre los partidarios de la utilidad aditiva (Keeney y Raïffa) y los pragmáticos que utilizan diferentes métodos (Saaty, Yoon, Zeleny, Zionts, etc.). Y por otro lado hay una corriente de investigadores europeos (Rietveld, Paelink y Wallenius) que introducen otros métodos multicriterio basados en las alternativas y/o criterios.
- Ese mismo año se fundó la organización “The European Working Group on Multicriteria Decision Aid”, la cual se reúne semestralmente para realizar reuniones de trabajo. ([Fernández Barberis y Escribano Ródenas s.f.](#))
- 1976 Keeney y Raïffa publican el Método de la Utilidad Multiatributo (MAUT), en el que se trata el tema de las preferencias. Este método trata, a partir de la información aportada por el decisor, determinar la forma de medir la utilidad que le aportan las distintas alternativas para cada criterio y así obtener una valoración de la utilidad agregada de todos los criterios. Este tema había sido planteado previamente por Leontief (1947), Debreu (1960) y Fishburn (1965 y 1970). ([Barabara-Romero y Pomerol 1997](#))

- En 1979 se constituye la actual “International Society on Multiple Criteria Decision Making” con Stanley Zionts como primer presidente, que anteriormente se fundó como “Special Interest Group on Multiple Criteria Decision Making” (www.mcdmsociety.org s.f.). Actualmente está formada por unos 1700 miembros pertenecientes a 97 países. Esta organización desde su fundación realiza reuniones bianuales, y cada una se celebra en una ciudad del mundo. El próximo congreso se realizará en Málaga del 17 al 21 de junio de 2013 y será la vigesimosegunda edición.

En la década de los ochenta además de la implantación de la informática en los métodos de análisis multicriterio, se produjeron otros hechos y aportaciones que cabe reseñar ([Barabara-Romero y Pomerol 1997](#)):

- A la Escuela Europea y Americana, se sumó la escuela del Pacífico, en la que podemos destacar a personalidades como Takeda, Seo, Sawaragi, Tabucanon y Chankong.
- En 1980 el matemático Thomas L. Saaty desarrolló el **Método Analítico Jerárquico AHP** (Analytic Hiererchy Process), el cual se trata en profundidad en el siguiente punto.
- En 1984 Brans formula el **Método PROMETHEE** (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations). Es uno de los métodos más recientes dentro de la categoría de los métodos de *Relaciones de Superación* y se usa principalmente para la resolución de problemas de ubicación.
- La introducción de la informática en el desarrollo de la decisión multicriterio, es el hecho más importante a destacar en estos años, permitiendo la implantación de los métodos interactivos propuestos en la década de los setenta y la aparición de nuevas metodologías de decisión multicriterio. Hoy en día la aplicación práctica de los métodos de decisión multicriterio no se puede imaginar sin la utilización de las herramientas informáticas, que tanto facilitan y agilizan los cálculos. Hay multitud de programas informáticos especializados en los distintos métodos de decisión multicriterio, aunque no todos ellos son de libre acceso. A través de la página oficial de la Sociedad Internacional de Decisión Multicriterio (International Society on Multiple Criteria Decision Making) se puede acceder al link de los distintos programas de Toma de Decisiones Multicriterio que actualmente existen, y muchos de ellos son gratuitos si su uso se dedica para investigación o docencia.

En la actualidad los distintos Métodos de Toma de Decisiones Multicriterio no se aplican únicamente al campo de la economía, sino que su uso se ha extendido en mayor o menor medida a otras disciplinas como pueden ser educación (planificación académica), medioambiente (la gestión forestal, eliminación de residuos), sanidad,

industria, recursos humanos (gestión de recursos humanos), construcción, transporte, planificación de la producción y programación, entre otros.

3. EL ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP) CON MÚLTIPLES CRITERIOS.

Con el fin de abordar problemas en los que hay que tener en cuenta diversos criterios y un número finito de alternativas (Problemas Multicriterio Discretos), Tomas L. Saaty propuso una nueva metodología, el Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process AHP) (T. L. Saaty 1980). Éste método de toma de decisiones multicriterio se caracteriza porque descompone y organiza el problema de forma visual en una estructura jerárquica. Mediante comparaciones por pares (criterio a criterio; subcriterio a subcriterio; alternativa a alternativa) determina la importancia e influencia de los factores que componen el problema, emitiendo juicios de valor que permiten comparar con la misma escala criterios cuantitativos y cualitativos. Además permite verificar la consistencia de los juicios de valor, aportando mayor seguridad en la toma de la decisión.

El método Analítico Jerárquico combina los dos enfoques fundamentales de resolución de problemas, el enfoque deductivo y el enfoque de sistemas. El enfoque deductivo se centra en el estudio de las partes, y en el Análisis Jerárquico esto se corresponde a la descomposición en partes del problema y la estructuración en una jerárquica, viendo cómo interactúan las distintas partes entre sí. El enfoque de sistemas consiste en considerar la situación como un todo, en el Proceso Analítico Jerárquico se realiza mediante la sintetización de los resultados de cada parte, para ver el impacto que tiene en el problema global.

El Análisis Jerárquico busca mejorar la calidad del Proceso de Toma de Decisiones, dotando de rigor científico cada fase del proceso. Incorpora aspectos del pensamiento humano cualitativos (definir el problema y establecer la jerarquía) y cuantitativos (expresar juicios y preferencias de manera concisa).

Emplea escalas numéricas para reflejar pensamientos, juicios e intuiciones, así como para medir con el mismo criterio cualidades tangibles e intangibles. Las escalas numéricas ayudan a reflejar valoraciones o juicios que debido a su complejidad no se pueden expresar correctamente con palabras.

Los resultados numéricos permiten reflejar matices muy sutiles entre las distintas soluciones posibles, aportando racionalidad y lógica al proceso de decisión. La elección tomada queda completamente justificada al basarnos en los resultados numéricos, favoreciendo la objetividad y la transparencia del proceso.

La objetividad de la decisión tomada se ve reforzada debido a que en el Método Analítico Jerárquico se tienen en cuenta las opiniones de todas las persona que

intervienen en la decisión, tanto al definir el problema y establecer la jerarquía, como en la emisión de juicios y valoraciones.

Para resolver un problema de decisión, en el cual debemos escoger una de las alternativas que se nos plantean, mediante el empleo de Proceso Analítico Jerárquico, las fases a seguir son las siguientes reflejadas en la figura 4.

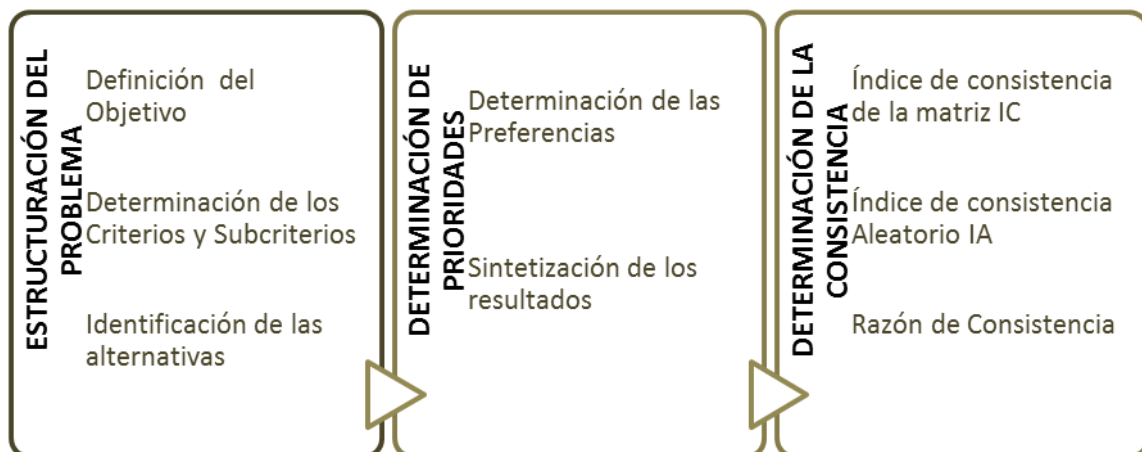


Figura 4: FASES DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO

3.1. ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA

La representación jerárquica, ayuda a comprender y visualizar todo los elementos de un problema, agruparlos según su importancia e influencia en conjuntos a distintos niveles, comprender las relaciones que existe entre ellos y como cada elemento afecta a la totalidad del problema.

Las jerarquías se dividen en dos grupos, estructurales y funcionales. Las estructurales organizan las partes constitutivas del problema en orden descendente de acuerdo con sus características estructurales, analizan la complejidad descomponiendo un elemento en grupos estos en subgrupos y así sucesivamente. Las jerarquías funcionales descomponen un elemento en sus partes constituyentes, de acuerdo con sus relaciones esenciales. Las jerarquías funcionales lineales, son las empleadas en el Proceso de Análisis Jerárquico, en las que se puede descender o ascender de forma lineal de un nivel a otro. (T. L. Saaty 1997)

Para poder organizar un problema de decisión en una jerarquía, hay que conocer a fondo el problema que se está tratando, las posibles opciones que tenemos, los elementos que nos afecta en la decisión y el fin al que queremos llegar. Es positivo que

en la realización de la jerarquía participen diversas personas, conocedoras del problema a tratar, ya que pueden aportar consideraciones y puntos de vista diferentes, según como considere cada persona el problema.

Los niveles mínimos que presentará una jerarquía son 3: el objetivo o meta del problema, los criterios y las alternativas.

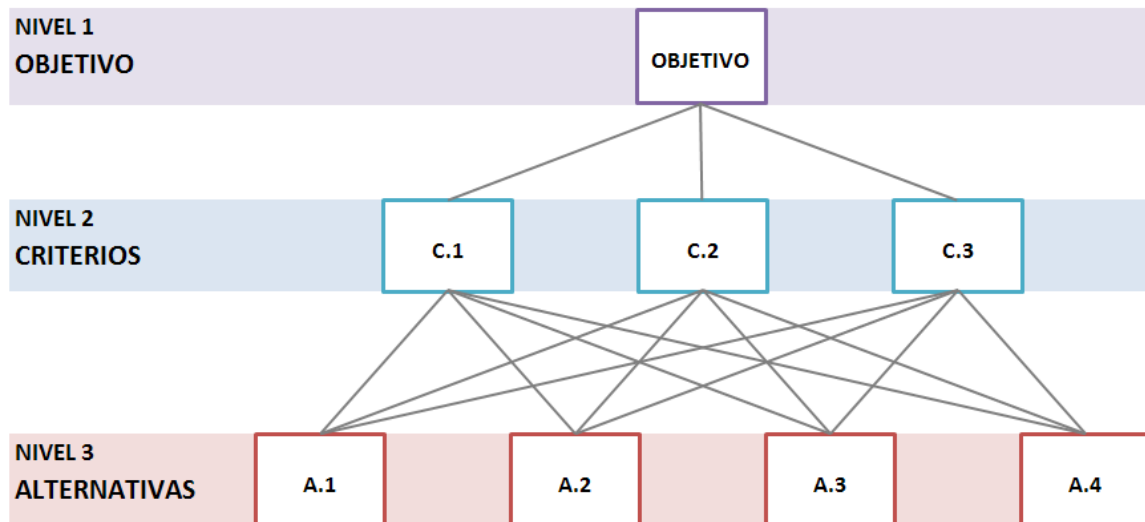


Figura 5. JERARQUÍA

Definición del Objetivo

El objetivo o meta del problema describe lo que el decisor o grupo de decisores quiere alcanzar, al escoger entre una de las alternativas que se plantean.

En la jerarquía el objetivo se sitúa en el nivel superior, independiente del resto de niveles y elementos (criterios, subcriterios y alternativas).

Determinación de los criterios y subcriterios

Los criterios representan los factores que el decisor o grupo de decisores, consideran que son esenciales para analizar el problema. Se pueden representar los criterios en un único nivel de la jerarquía, pero si es necesario detallarlos mejor, se pueden insertar tantos niveles como sean necesarios, de criterios subalternos (subcriterios) entre las alternativas y la fila superior de criterios.

Los criterios o subcriterios se comparan entre sí, mediante comparaciones pareadas (dos a dos), para determinar cómo influyen en el elemento superior (criterio-objetivo; subcriterio-criterio). Hay que tener en cuenta que el número de elementos para los

que se realiza la comparación relativa no debe superar el valor 7 ± 2 , el “número mágico”³ (Miller 1956).

Los elementos de un nivel inferior se deben relacionar al menos con un elemento del nivel superior, que sirve para evaluar el impacto relativo de los criterios del nivel inferior sobre el superior y sobre el conjunto del problema. En función de cómo se comparen los subcriterios en relación con los criterios del nivel superior, podemos diferenciar entre jerarquías completas e incompletas.

Cuando los subcriterios de un nivel se comparan entre si, en función de todos los criterios del nivel superior, estamos ante una **jerarquía completa** (T. L. Saaty 1997). La figura 6 muestra un ejemplo de jerarquía completa de 4 niveles, en la que podemos observar que todos los subcriterios están relacionados con todos los criterios.

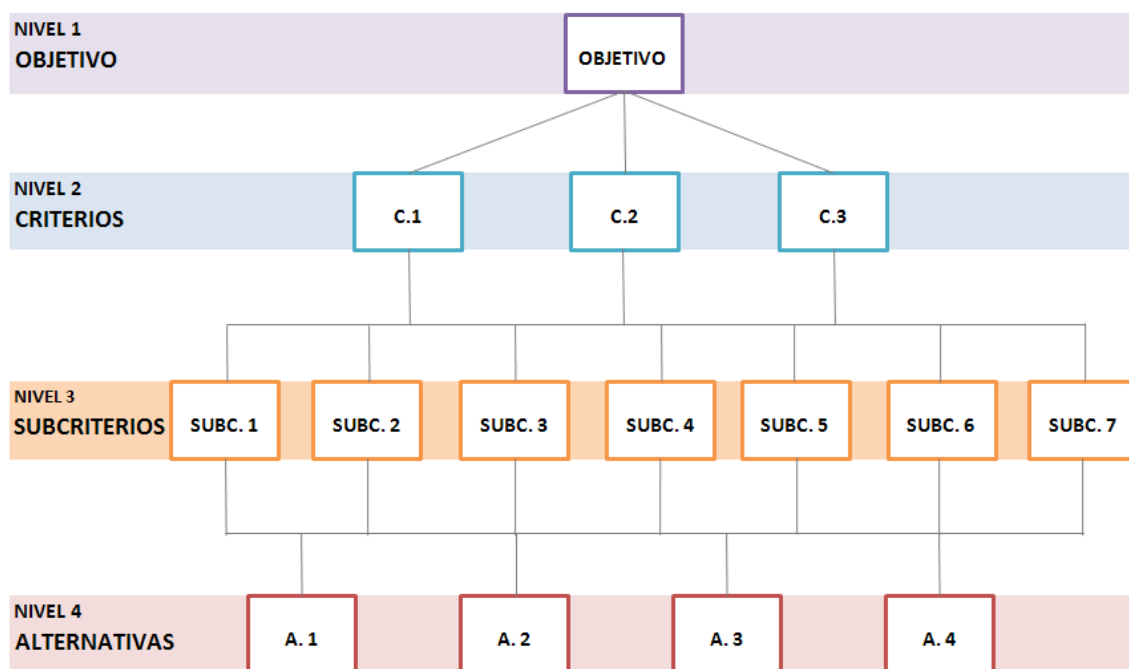


Figura 6. JERARQUÍA COMPLETA DE 4 NIVELES

Cuando los subcriterios no se comparan en función de todos los criterios del nivel superior, decimos que tenemos una jerarquía incompleta (T. L. Saaty, Como Analizar y Estructurar Jerarquías 1997). Los subcriterios se comparan en función al criterio principal al cual pertenecen y con el resto de subcriterios que pertenecen al mismo criterio.

³ George A. Miller afirma que la memoria a corto plazo (donde se encuentra nuestra capacidad para procesar información), tiene una capacidad de almacenamiento, que está entre 5 y 9, es decir 7 más menos 2.

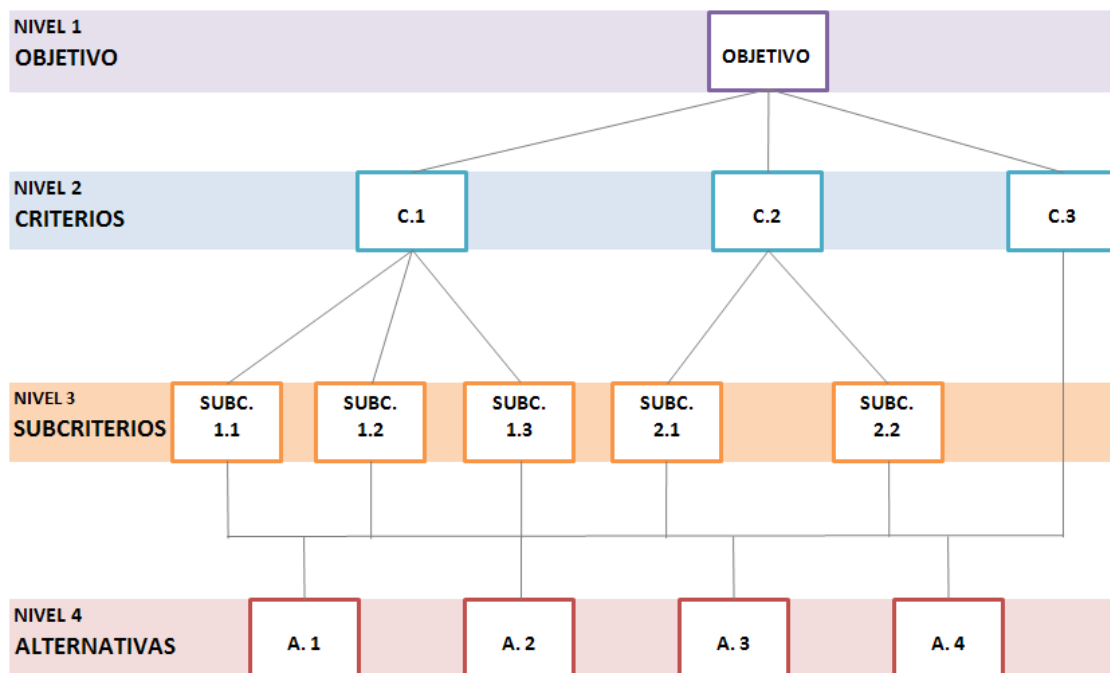


Figura 7. JERARQUÍA INCOMPLETA DE 4 NIVELES

Tal y como se muestra en la Figura 7, los subcriterios en este caso no se compararán todos entre sí en función de todos los criterios. Los subcriterios que sirven para analizar más detalladamente el criterio 1 (SUBC. 1.1, SUBC. 1.2 y SUBC. 1.3) se compran entre sí mediante comparaciones pareadas, en función del criterio 1. Lo mismo ocurre con los subcriterios del criterio 2 (SUBC. 2.1 y 2.2).

Las jerarquías no son rígidas ni cerradas. Si una vez concluida la jerarquía nos damos cuenta de que hay algún criterio o subcriterio que no hemos considerado o que necesitamos insertar más niveles para analizar bien un criterio, podemos realizar los cambios necesarios. Las jerarquías son flexibles.

Identificación de las alternativas

Las alternativas son las posibles soluciones al problema que estamos tratando. Entre las que debemos escoger una, que nos permita cumplir nuestro objetivo o acercarnos lo más posible a él. La elección no implica que la alternativa elegida sea la óptima para resolver el problema, pero sí la mejor de entre todas las que disponemos para satisfacer nuestro objetivo.

Se sitúan en el nivel inferior de la jerarquía, bajo los niveles de criterios y subcriterios.

Se comparan las alternativas por pares, en función de los criterios y subcriterios considerados en la jerarquía. De este modo podremos saber cuál es la alternativa que mejor se adapta a nuestro objetivo.

3.2. DETERMINACIÓN DE PRIORIDADES

Una vez representado el problema de decisión a través de una jerarquía, debemos determinar las prioridades de los criterios, subcriterios y alternativas. El primer paso para establecer las prioridades, es realizar comparaciones por pares de los criterios, subcriterios y alternativas. Estas comparaciones reflejan la preferencia que cada elemento tiene sobre otro en relación con el elemento situado en el nivel inmediatamente superior.

Tras determinar las preferencias de todos los elementos, se sintetizan los resultados y obtendremos un número único que determina las prioridades de cada uno de los elementos (subcriterios, criterios y alternativas). Con estos resultados ya podemos tomar una decisión, y escoger la alternativa que presente la prioridad mayor. (T. L. Saaty 1997)

Determinación de las preferencias

La preferencia de los elementos, se determina basándonos en juicios sobre la importancia relativa que tiene un elemento sobre otro, al compararlo con un elemento del nivel superior. Al realizar las comparaciones, dependiendo de la experiencia de la persona que emite el juicio, de los datos que dispone, del conocimiento que tiene del problema y de su intuición, se obtendrán valoraciones distintas.

Por este motivo, es importante que el establecimiento de los juicios se haga considerando la opinión de diversas personas, que representen puntos de vista distintos, pero no totalmente extremos ya que sería muy complicado llegar a un acuerdo. Las opiniones se pueden debatir en una sesión en la que todos los integrantes del grupo de decisión estén presentes y participen dando su valoración, obteniendo resultados fruto de un consenso total o mayoría tras una votación. Otra forma, en la que se elimina el debate, es expresar las opiniones individuales en un cuestionario. Se obtienen los valores finales agregando todas las opiniones individuales, a través de la realización de una media geométrica⁴.

Para comparar la importancia relativa de un elemento sobre otro, respecto de la propiedad, se emiten juicios de valor que se expresan de forma numérica. Estas equivalencias (juicio de valor – número), se determinan en la escala fundamental del AHP, propuesta por Saaty (Tab.1).

⁴ La media geométrica de los valores, se obtiene al multiplicar todos los valores y calcular la raíz n-énima igual al número de participantes que han dado su opinión.

Tabla 1. ESCALA FUNDAMENTAL PARA COMPARACIONES POR PARES DE SAATY (T. L. Saaty 1997)

CALIFICACIÓN NUMÉRICA	ESCALA VERBAL DE LA PREFERENCIA	DEFINICIÓN
1	Igual	Ambos elementos son de igual importancia.
3	Moderada	Moderada importancia de un elemento sobre otro.
5	Fuerte	Importancia fuerte de un elemento sobre otro
7	Muy Fuerte	Importancia demostrada de un elemento sobre otro.
9	Extrema	Importancia absoluta de un elemento sobre otro
2,4,6,8	Términos medios	Valores intermedios, que se emplean para expresar preferencias que se encuentran entre dos de las anteriormente indicadas.
2	Igual – Moderada	Importancia entre igual y moderada de un elemento sobre otro.
4	Moderada- Fuerte	Importancia entre moderada y fuerte de un elemento sobre otro.
6	Fuerte – Muy Fuerte	Importancia entre fuerte y muy fuerte de un elemento sobre otro.
8	Muy Fuerte- Extrema	Importancia entre muy fuerte y extrema de un elemento sobre otro.

La escala de preferencias está formada por 9 juicios de valor, que van de desde el 1 al 9, siendo los números 2, 4, 6, y 8 utilizados para establecer juicios intermedios.

La mejor forma de representar las comparaciones es a través de una matriz, que refleja de forma simple cuales son los elementos dominantes y los dominados. Esta matriz recibe el nombre de *matriz de comparaciones pareadas*.

La matriz **A** de comparaciones pareadas es un matriz cuadrada **$n \times n$** , en la que a_{ij} , expresa la preferencia en valor numérico, del elemento de la fila *i* cuando se compara con el elemento de la columna *j*, para $i= 1, 2, 3,...n$ y $j= 1, 2, 3,...n$. por lo que cuando $i=j$ el valor de $a_{ij} = 1$, pues se está comparando el elemento consigo mismo.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \vdots & 1 \end{pmatrix}$$

Figura 8. MATRIZ DE COMPARACIONES PAREADAS

Para la elaboración de la matriz, el Proceso Analítico Jerárquico se basa en 4 axiomas (Toskano Hurtado 2005):

Axioma 1: Reciprocidad. Se refiere a la condición de los juicios recíprocos.

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

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \vdots & 1 \end{pmatrix}$$

Figura 9. MATRIZ DE COMPARACIONES PAREADAS. JUCIOS RECÍPROCOS

Axioma 2: Homogeneidad. Los elementos que se comparan son del mismo orden, magnitud o nivel jerárquico.

Axioma 3: Dependencia. Existe dependencia jerárquica entre los elementos de dos niveles consecutivos

Axioma 4: Consistencia. Cuando la matriz de comparaciones pareadas es perfectamente consistente se cumple que: $a_{ij} = a_{ik}/a_{jk}$ para i, j y $k = 1, 2, 3...n$.

Para rellenar la matriz, primero completaremos la diagonal, toda con números 1, ya que se está comparando cada elemento consigo mismo. Posteriormente se rellenarán lo huecos que quedan por encima de la diagonal con los valores de la escala de Saaty. El número de comparaciones a realizar para rellenar estos huecos se obtiene con la siguiente fórmula:

$$((n \times n) - n)/2 \quad n = \text{número de elementos comparados}$$

Fórmula 1. COMPARACIONES NECESARIAS PARA RELLENAR UNA MATRIZ

Las casillas que quedan por debajo de la diagonal son los recíprocos de los valores situados por encima de la diagonal.

Una vez completada la matriz de comparaciones pareadas, procedemos a sintetizar los juicios reflejados en ella, para de esa forma obtener un único valor numérico que determine la prioridad de cada elemento comparado.

Sintetización de los resultados

Para obtener las prioridades a partir de los juicios dados en la matriz de comparaciones $m \times m$, vamos a emplear **un método de aproximación**. El primer paso es obtener la *matriz normalizada*, para ello sumaremos los valores de cada columna y dividiremos cada casillero de la columna por el sumatorio de esta.

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{C.1} & \text{C.2} & \dots & \text{C.M} \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \vdots & 1 \end{matrix} \end{matrix}$$

C.1, C.2,....C.M = Columnas

Se corresponderán a los criterios, subcriterios o alternativas comparadas.

$\sum C.1; \sum C.2; \dots ; \sum C.M$
Sumatorios de los elementos de cada columna.

$\sum C.1 \quad \sum C.2 \quad \dots \quad \sum C.M$

Figura 10. SUMATORIO DE LOS ELEMENTOS DE CADA UNA DE LAS COLUMNAS

$$N = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{C.1} & \text{C.2} & \dots & \text{C.M} \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} 1/\sum \text{C.1} & a_{12}/\sum \text{C.2} & \dots & a_{1n}/\sum \text{C.M} \\ a_{21}/\sum \text{C.1} & 1/\sum \text{C.2} & \dots & a_{2m}/\sum \text{C.M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1}/\sum \text{C.1} & a_{m2}/\sum \text{C.2} & \dots & 1/\sum \text{C.M} \end{pmatrix} & = & \begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1m} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{m1} & n_{m2} & \dots & n_{mm} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Figura 11. MÁTRIZ DE COMPARACIONES PAREADAS NORMALIZADA

Tras obtener la matriz normalizada, se obtiene la prioridad relativa de cada uno de los elementos comparados, promediando cada una de las filas de la matriz normalizada.

$$N = \begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1m} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{m1} & n_{m2} & \dots & n_{mm} \end{pmatrix} \begin{matrix} \longrightarrow (n_{11} + n_{12} + \dots + n_{1m}) / m = P_1 \\ \longrightarrow (n_{21} + n_{22} + \dots + n_{2m}) / m = P_2 \\ \longrightarrow \vdots = \vdots \\ \longrightarrow (n_{m1} + n_{m2} + \dots + n_{mm}) / m = P_m \end{matrix}$$

Promedios **Prioridades**

m = Total de elementos a comparar.

Figura 12. DETERMINACIÓN DE LAS PRIORIDADES

En el caso de jerarquías en las que hay criterios y subcriterios (Fig. 7), las prioridades de los criterios se determinan en función del objetivo y tienen los valores más grandes. Posteriormente se realizarán las matrices de comparaciones de los subcriterios que están relacionados con un determinado criterio. Obtendremos las prioridades relativas de cada subcriterio y para determinar cómo afectan al objetivo se multiplicará la prioridad de cada subcriterio por la prioridad del criterio correspondiente.

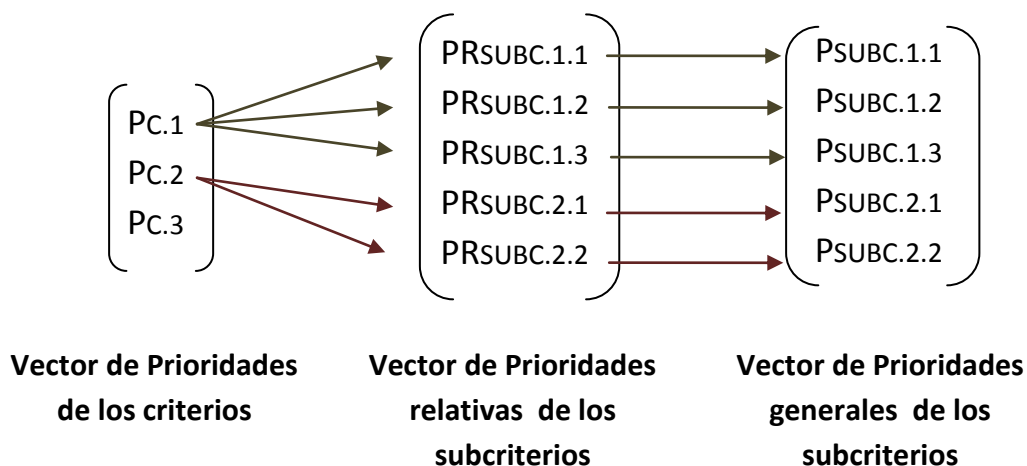


Figura 13. OBTENCIÓN DE PRIORIDADES RELATIVAS Y GENERALES

Para determinar la prioridad de cada una de las alternativas, se deberán hacer tantas matrices de comparación como subcriterios haya además de los criterios, en el caso de que estos no estén desglosados en subcriterios. Después se obtendrá la prioridad relativa de cada alternativa respecto al criterio/ subcriterio correspondiente.

Se obtendrá la prioridad general de cada alternativa respecto al criterio/ subcriterio correspondiente, multiplicando la prioridad relativa por la prioridad general del criterio/subcriterio con el que se compara.

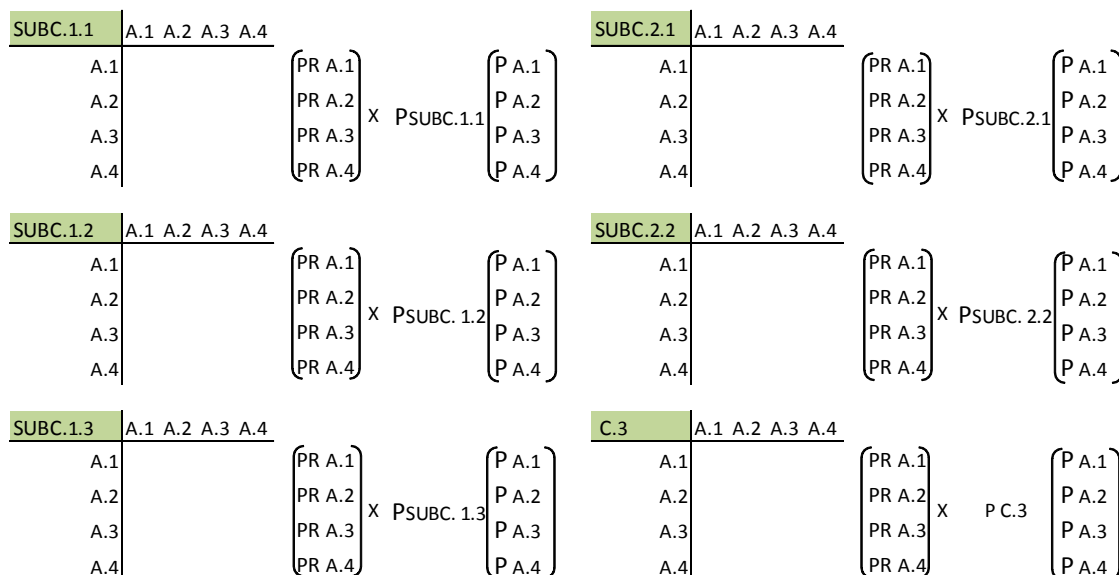


Figura 14. DETERMINACIÓN DE LAS PRIORIDADES DE LAS ALTERNATIVAS

Finalmente sumamos todas las prioridades de cada alternativa y obtenemos la prioridad de cada una de ellas respecto al objetivo.

SUBC.1.1	SUBC.1.2	SUBC.1.3	SUBC.2.1	SUBC.2.2	C.3.	PRIORIDAD
P A.1	P A.1	P A.1	P A.1	P A.1	P A.1	$\sum P A.1$
P A.2	P A.2	P A.2	P A.2	P A.2	P A.2	$\sum P A.2$
P A.3	P A.3	P A.3	P A.3	P A.3	P A.3	$\sum P A.3$
P A.4	P A.4	P A.4	P A.4	P A.4	P A.4	$\sum P A.4$

Figura 15. PRIORIDAD TOTAL DE LAS ALTERNATIVAS

3.3. DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA

Tras determinar las prioridades de los elementos, debemos tener la seguridad de que los resultados obtenidos son válidos para tomar decisiones. Estos resultados derivan de los juicios de valor emitidos en las comparaciones, los cuales pueden ser consistentes o no. Hay que tener en cuenta que la consistencia perfecta es muy difícil de obtener y es de esperar un cierto grado de inconsistencia al establecer las comparaciones. (T. L. Saaty 1997)

En una matriz que sea totalmente consistente se debe cumplir que $a_{ij} = a_{ik} / a_{jk}$ para i, j y $k = 1, 2, 3...m$. Esta propiedad requiere que todas las columnas de una matriz sean dependientes. Las columnas en cualquier matriz de comparación 2×2 son totalmente dependientes, por lo que siempre son consistentes.

Para el resto de matrices $m \times m$ es muy probable que haya un cierto grado de inconsistencia. El Proceso Analítico Jerárquico permite medir la inconsistencia de los juicios a través de la *proporción o razón de consistencia*. Para matrices de 3 por 3 el valor de la proporción de consistencia no debe superar el 5%, no superará el 9% en el caso de matrices de 4 por 4 y para el resto de matrices será del 10% o menor.

Cuando más cerca estemos de los valores anteriormente citados, más consistentes serán los juicios establecidos en las comparaciones pareadas. Si superamos estos valores, quiere decir que los juicios son inconsistentes y aleatorios, por lo que se deben repasar y corregir.

El proceso Analítico Jerárquico determina la *proporción de consistencia o razón de consistencia* como el cociente entre el Índice de Consistencia real de la matriz estudiada y el Índice de Consistencia Aleatorio.

$$CR = \frac{IC}{IA}$$

IC = Índice de Consistencia

IA = Índice de Consistencia Aleatorio

Fórmula 2. RAZÓN DE CONSISTENCIA

Veamos cómo se calculan cada uno de los índices de consistencia.

Índice de consistencia de la matriz a estudiar IC

Cuando una matriz A es totalmente consistente, el valor de la suma normalizada de cada una de sus filas y el valor de la suma de los elementos de cada una de las columnas, son recíprocos. Al multiplicarlos obtendremos la unidad.

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{C.1} & \text{C.2} & \dots & \text{C.M} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{C.1} \\ \text{C.2} \\ \vdots \\ \text{C.M} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} \rightarrow (1 + a_{12} + \dots + a_{1m}) / m \\ \rightarrow (a_{21} + 1 + \dots + a_{2m}) / m \\ \rightarrow \vdots \\ \rightarrow (a_{m1} + a_{m2} + \dots + 1) / m \end{matrix}$$

$$\sum C.1 \times ((1 + a_{12} + \dots + a_{1m}) / m) = 1$$

$$\sum C.2 \times ((a_{21} + 1 + \dots + a_{2m}) / m) = 1$$

$$\sum C.M \times ((a_{m1} + a_{m2} + \dots + 1) / m) = 1$$

Figura 16. RECIPROCIDAD MATRIZ CONSISTENTE

Si obtenemos la matriz normalizada de A (matriz N), siendo A totalmente consistente, observamos que todas las columnas son iguales. Por tanto el valor de cada elemento de la columna es igual a la suma normalizada de su fila correspondiente.

$$\begin{array}{c}
 \mathbf{N} = \begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} & \cdots & n_{1m} \\ n_{21} & n_{22} & \cdots & n_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{m1} & n_{m2} & \cdots & n_{mm} \end{pmatrix} \quad \rightarrow \quad \begin{array}{l} n_{11} = n_{12} = \cdots = n_{1m} \\ n_{21} = n_{22} = \cdots = n_{2m} \\ n_{m1} = n_{m2} = \cdots = n_{mm} \end{array} \\
 \\
 \downarrow \\
 \begin{array}{l} \mathbf{n}_{11} = (n_{11} + n_{12} + \cdots + n_{1m}) / m \\ \mathbf{n}_{12} = (n_{21} + n_{22} + \cdots + n_{2m}) / m \\ \mathbf{n}_{m1} = (n_{m1} + n_{m2} + \cdots + n_{mm}) / m \end{array}
 \end{array}$$

Figura 17. MATRIZ NORMALIZADA TOTALMENTE CONSISTENTE

Al igual que pasaba con la matriz antes de ser normalizada, la suma normalizada de cada una de sus filas y la suma de los elementos de cada una de las columnas, son recíprocos.

Si sumamos los resultados obtenidos al multiplicar el sumatorio de cada columna por su fila normalizada, obtenemos el valor m , igual al orden de la matriz, es decir igual al número de elementos comparados en la matriz. Este valor es conocido como λ_{\max} (lambda máx).

$$\begin{array}{l}
 \sum C.1 \times ((n_{11} + n_{12} + \cdots + n_{1m}) / m) = \\
 \sum C.2 \times ((n_{21} + n_{22} + \cdots + n_{2m}) / m) = \\
 \vdots \\
 \sum C.M \times ((n_{m1} + n_{m2} + \cdots + n_{mm}) / m) =
 \end{array}
 \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline 1 \\ \hline \vdots \\ \hline 1 \\ \hline \end{array}
 \xrightarrow{\Sigma / m} \boxed{m = \lambda_{\max}}$$

Figura 18. OBTENCIÓN DE LAMBDA MÁX

Cuando una matriz no es consistente λ_{\max} es mayor a m y cuando más se aleje del valor m , mayor será el valor obtenido en el Índice de Consistencia.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1} \quad m: \text{Total de elementos comparados}$$

Fórmula 3. ÍNDICE DE CONSISTENCIA

Índice de Consistencia Aleatoria IA

El índice de Consistencia Aleatoria, es el Índice de Consistencia de una matriz de comparaciones pareadas $m \times m$, en la que se han realizado las comparaciones de forma aleatoria. El valor del índice varía según el número de elementos que se comparan. Además según la publicación consultada se reflejan distintos valores para el índice aleatorio de consistencia del mismo tipo de matriz, tal y como podemos observar en las tablas 2,3 y 4:

Tabla 2. ÍNDICE DE CONSISTENCIA ALEATORIO (T. L. Saaty 1997)

Nº de Elementos Comparados	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Índice Aleatorio de Consistencia	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45

Tabla 3. ÍNDICE DE CONSISTENCIA ALEATORIO (Toskano Hurtado 2005)

Nº de Elementos Comparados	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Índice Aleatorio de Consistencia	0	0	0,58	0,89	1,11	1,24	1,32	1,4	1,45

Tabla 4. ÍNDICE DE CONSISTENCIA ALEATORIO (Masud y Ravi 2008)

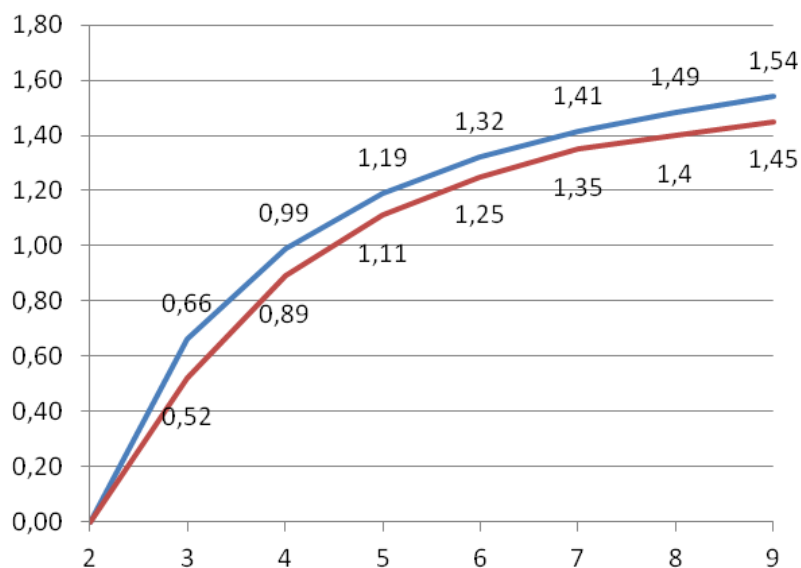
Nº de Elementos Comparados	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Índice Aleatorio de Consistencia	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Otra forma de determinar el índice de Consistencia Aleatorio es mediante la siguiente fórmula (Toskano Hurtado 2005):

$$IA = \frac{1,98 (m - 2)}{m} \quad m: \text{Total de elementos comparados}$$

Fórmula 4. ÍNDICE DE CONSISTENCIA ALEATORIA

Al comparar los resultados obtenidos con la fórmula 4 y los reflejados en las diferentes tablas 2, 3 y 4, vemos una diferencia considerable en los resultados.



<i>m</i>	2	3	4	5	6	7	8	9
$(1,98 \times (m-2))/m$	0	0,66	0,99	1,19	1,32	1,41	1,49	1,54
<i>IA</i>	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45

Gráfico 1. VALORES FÓRMULA 4 VS VALORES LA TABLA 2

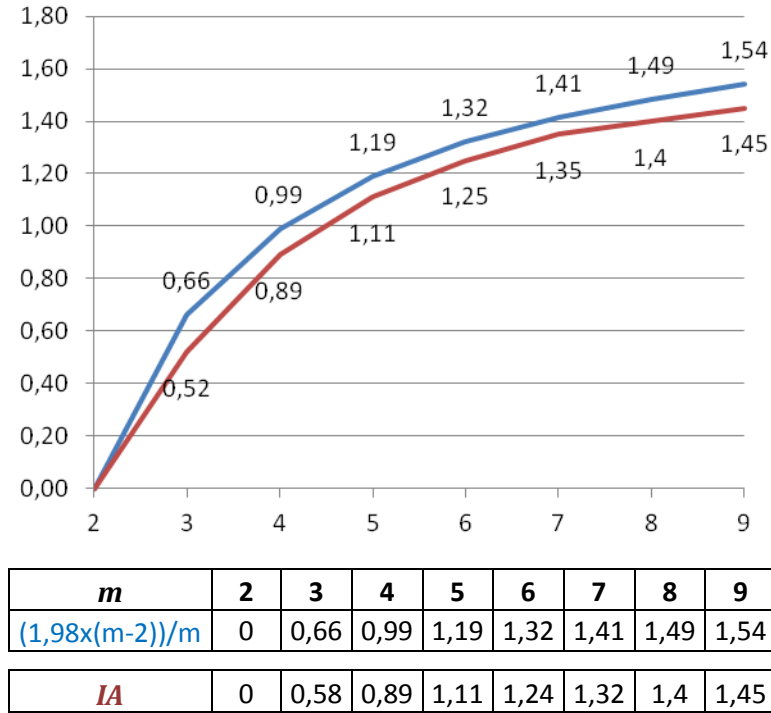


Gráfico 2. VALORES FÓRMULA 4 VS VALORES LA TABLA 3

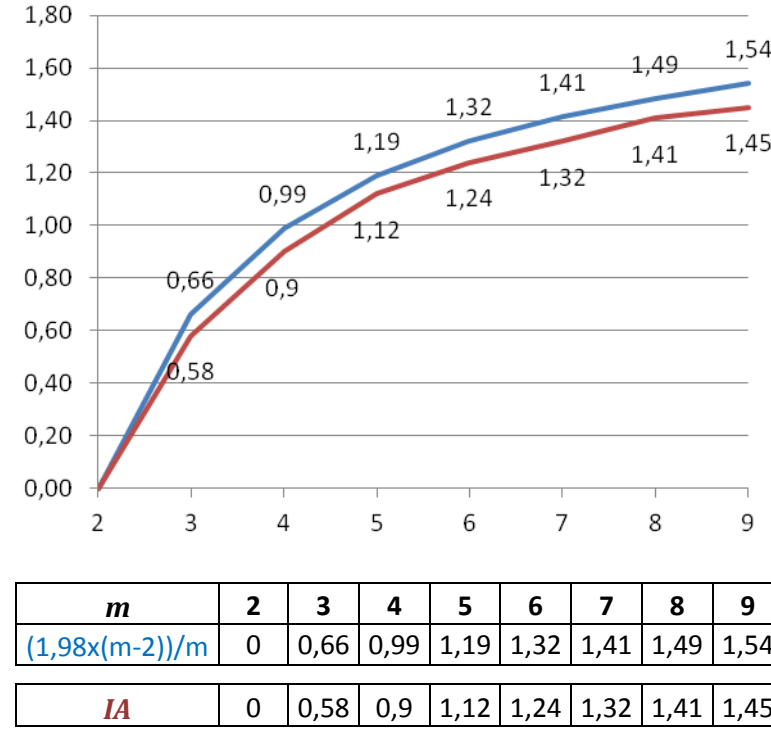


Gráfico 3. VALORES FÓRMULA 4 VS VALORES LA TABLA 4

Determinación de la Razón de Consistencia RC

Una vez obtenido el índice de consistencia **IC** y el Índice Aleatorio de Consistencia **IA**, podemos calcular la Razón de Consistencia en (o **CR**, Consistency Ratio). Los resultados obtenidos al realizar el cociente pueden ser $CR \leq 0,10$ o $CR > 0,10$.

Cuando el resultado es mayor que 0,10 significa que los juicios establecidos en la matriz de comparaciones pareadas son inconsistentes, por lo que las prioridades obtenidas no son válidas para tomar una decisión y el decisor o grupo de decisores debe reconsiderar los juicios establecidos.

Para valores de CR iguales o menores a 0,10 se considera que la consistencia de las comparaciones es aceptable, por lo que las prioridades obtenidas son válidas y justificadas, para tomar una decisión.

Para matrices de 3x3 la Razón de Consistencia deberá ser $\leq 0,05$ para obtener una consistencia aceptable. En el caso de matrices de 4x4 la Razón de Consistencia deberá ser $\leq 0,09$.

4. LA DECISION MULTICRITERIO EN LA SELECCIÓN DE OFERTAS COMPETITIVAS

4.1. INTRODUCCIÓN

El método habitual para comparar ofertas competitivas y seleccionar la más adecuada, tanto en licitaciones de la administración pública, como en empresas privadas, se basa en establecer una serie de criterios y determinar su peso relativo.

El peso de los criterios se establece a través de una puntuación totalmente aleatoria según la importancia que se considera que tiene cada criterio o la que se quiere otorgar a estos. No existe un método que justifique la asignación de puntos a cada criterio, ni que garantice la objetividad ni la consistencia del peso asignado. Tampoco se puede garantizar la transparencia ni la ausencia de manipulabilidad en el proceso. Además cuando se procede a comparar las distintas alternativas u ofertas presentadas hay criterios que se evalúan mediante fórmulas matemáticas (precio ofertado, baja ofertada, plazo de ejecución, plazo de redacción del proyecto...) y otros de forma subjetiva (calidad, diseño, proceso constructivo...).

El Proceso Analítico Jerárquico permite analizar todos los criterios con la misma escala, tanto los criterios cualitativos como los cuantitativos. Permite determinar el peso de los criterios considerados de forma menos aleatoria, mediante la comparación por pares, emitiendo juicios de valor sobre la importancia de unos criterios respecto a otros en relación al objeto o criterio con que se comparan. Estos juicios se representan de forma numérica (del 1 al 9). Otro aspecto importante del proceso Analítico Jerárquico es que permite comprobar la consistencia de los juicios emitidos para garantizar que los resultados obtenidos serán válidos. Además presenta los problemas de forma visual y permite realizar simulaciones y modificaciones de forma rápida.

En este capítulo se realiza una revisión de la bibliografía en la cual se emplea el Proceso Analítico Jerárquico para la selección de ofertas competitivas. Se propone un listado de criterios a emplear de forma general en el estudio de ofertas competitivas, tras la revisión de los criterios establecidos en artículos, una tesis doctoral y diversos pliegos de prescripciones técnicas.

4.2. ESTADO DEL ARTE

Se han analizado diferentes documentos que abordan problemas de toma de decisiones multicriterio aplicando el Proceso Analítico Jerárquico. La tipología de problemas que se pueden abordar y resolver aplicando el Proceso Analítico Jerárquico son prácticamente infinitas. Vemos distintos ejemplos de aplicación:

- La medición de la competitividad entre municipios. (A. Berumen y Llamazares Redondo 2007).
- La determinación de la ubicación óptima de un edificio. (Osorio Gómez y Orejuela Cabrera 2008), (Alvarez Alonso, Arquedo Hidalgo y Martínez Izquierdo 2011).
- El análisis de riesgo de proyectos. (Martínez Jiménez y De La Torre Cuesta s.f.).

A continuación se establece una relación de documentación en la cual se aplica el Proceso Analítico Jerárquico concretamente a la selección de ofertas competitivas.

Revisión Bibliográfica

- **Multicriteria Analysis with Fuzzy Pairwise Comparision.** (Deng 1999)

En el artículo se aborda el empleo del Proceso Analítico Jerárquico aplicando números fuzzy, en la comparación de tres ofertas competitivas para el mantenimiento de los edificios Públicos del Gobierno local de Monash en Victoria (Australia), respecto a 4 criterios.

- **Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings.** (Hsieh, Lu y Tzeng 2004)

En este artículo se determina el peso de los criterios considerados para la selección de alternativas de planificación y diseño, de un edificio público de oficinas en Taipei. El peso de los criterios se determina empleando el Proceso Analítico Jerárquico, teniendo en cuenta la opinión del grupo de propietarios, de un grupo de expertos y de un grupo usuarios. Además la subjetividad de las opiniones y la variación de resultados se analiza aplicando números fuzzy a los términos de preferencia.

- **Improving AHP for construction with an adaptive AHP approach (A³).** (Lin, Wang y Yu 2007)

En este artículo se determinan una serie de criterios para estudiar diferentes ofertas competitivas, para la ejecución de un edificio público en Taiwán. Para determinar el peso de los criterios considerados se aplica el Proceso Analítico Jerárquico y se propone un nuevo método para determinar la consistencia de los resultados (A³).

- **Aplicación de las Técnicas AHP y ANP, de análisis multicriterio de decisiones, a la selección y ponderación de criterios en las adjudicaciones de los contratos públicos de obra.** (Pastor Ferrando 2007)

En esta tesis se aborda el tema de la selección y ponderación de criterios para la realización de licitaciones públicas. Se ha realizado un exhaustivo estudio de bibliografía, para analizar el marco legal de la contratación Pública, y determinar una serie de criterios que se pueden emplear para el análisis de alternativas en las adjudicaciones de contratos públicos. Tras el estudio realizado, establece una lista con 21 criterios y posteriormente aborda dos casos en los que se tienen en cuenta estos 21 criterios. Emplea los métodos de decisión multicriterio, Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y Proceso Analítico de Redes (ANP), para determina el peso relativo de cada uno de los criterios considerados para cada caso y comparar los resultados obtenidos con cada método.

4.3. DETERMINACIÓN DE CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE OFERTAS COMPETITIVAS

Para comparar ofertas competitivas y seleccionar la más ventajosa, empleando el Proceso Analítico Jerárquico, el proceso a seguir, tras tener claro el objetivo (seleccionar la oferta más ventajosa según la necesidades determinadas), es determinar los criterios que se van a emplear para analizar las distintas alternativas.

Partimos de la premisa de que cada proyecto de edificación es único y que en cada caso hay que considerar diferentes aspectos. Pero por lo general hay ciertos criterios que se deben considerar en la mayoría de proyectos, para el estudio de las diferentes propuestas que se presenten.

Con el fin de orientarnos en la elección de los criterios que vamos a considerar de forma general en la mayoría de proyectos, se han consultado distintas fuentes de información que abordan los criterios de adjudicación que se deben emplear tanto en proyectos generales como en proyectos concretos.

Han sido diversas las fuentes consultadas para analizar los criterios que se emplean en la selección de ofertas competitivas, artículos de investigación, tesis de doctorado, pliegos de condiciones administrativas particulares de licitaciones en administración pública y pliegos de condiciones particulares de concursos de empresa privada. Los criterios considerados en cada documento se recogen en el anexo I.

Artículos de investigación

- Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings. (Hsieh, Lu y Tzeng 2004)
- Improving AHP for construction with an adaptive AHP approach (A³). (Lin, Wang y Yu 2007)

Tesis doctoral

- Aplicación de las Técnicas AHP y ANP, de análisis multicriterio de decisiones, a la selección y ponderación de criterios en las adjudicaciones de los contratos públicos de obra. (Pastor Ferrando 2007)

Pliegos de condiciones administrativas particulares de licitaciones en administración pública

Se han analizado 15 Pliegos de Condiciones administrativas Particulares, 10 pliegos de licitaciones mediante concurso abierto y 5 pliegos en licitaciones mediante concurso negociado. El objeto de contrato ha sido distinto en los pliegos estudiados:

Procedimiento Abierto.

- Dirección de obras y coordinación de seguridad y salud.
- Rehabilitación y adopción de mejoras energéticas en edificios, sustitución de carpinterías exteriores, y adecuación de fachadas para mejorar la eficiencia energética.
- Redacción del Proyecto de Ejecución y los proyectos específicos de instalaciones, la dirección de la obra, dirección de la ejecución de la obra, la coordinación de seguridad y salud, y la legalización de las instalaciones del edificio sobre rasante.
- Adjudicación de parcela municipal para la ejecución de V.P.P.G.
- Ejecución de obras: Edificio cultural de usos múltiples.
- Reconstrucción estructural y habilitación del patio de cristales de la casa consistorial.
- Obras de reurbanización y adecuación de la Plaza del Ángel y adyacentes.
- Obras de consolidación y rehabilitación estructural de antigua harinera, para infraestructura sociocultural.

Procedimiento Negociado

- Obras de habilitación de local para vestuarios de zona deportiva.
- Obras para la rehabilitación integral y adecuación de la planta baja del edificio protegido destinado al hogar del jubilado.
- Obras para la sustitución de la conducción de agua potable, reposición de aceras y eliminación de barreras arquitectónicas.
- Obras para la adecuación del consultorio médico (09/12/2011). Órgano de contratación: Ayuntamiento de Real.

Pliegos de condiciones particulares de licitaciones de empresa privada

Se ha podido acceder a un pliego de prescripciones de empresa privada.

El objeto de la licitación corresponde a la ejecución de las obras necesarias para la habilitación de los locales técnicos de fluidos y eléctricos, así como la obra civil necesaria para el funcionamiento de la Estación Depuradora de Aguas Residuales.

Analizados los criterios de adjudicación considerados en cada caso, según las necesidades, y los criterios propuestos para aplicar de manera general en proyectos, se observa que:

- Hay criterios que se repiten en la mayoría de pliegos: precio, plazo de ejecución, mejoras ofertadas y el volumen de mano de obra, estudio del proyecto (en menor medida).
- Los criterios a tener en cuenta para el estudio de las ofertas son insuficientes en diversos casos (se consideran 3 criterios).
- En general el nivel de detalles o descripción de los criterios es escaso.
- Dentro de un mismo criterio se consideran una serie de características o condiciones y no se determina como se va valorar cada una de ellas.
- No se observa ninguna pauta o norma para establecer el peso de los diferentes criterios. Las puntuaciones son totalmente aleatorias.

Tras el análisis de los criterios y en base a estas reflexiones, propongo una lista con 7 criterios generales (primer nivel de criterios), que a su vez se descomponen en 27 subcriterios (segundo nivel de criterios). El número de subcriterios empleados para analizar cada criterio, varía en función de las características que se consideran necesarias para describir y descomponer un determinado criterio. Además, debido a la

necesidad de analizar en profundidad y por partes un determinado subcriterio, este se divide en 4 subcriterios (tercer nivel de criterios).

C 1	PRECIO OFERTADO
SC 1.1	Presupuesto.
SC 1.1.1	Movimiento de tierras. Cimentación. Estructura.
SC 1.1.2	Fachadas. Particiones. Cubiertas.
SC 1.1.3	Revestimientos. Aislamientos e Impermeabilizaciones.
SC 1.1.4	Instalaciones.
SC 1.2	Baja ofertada.

C 2	PROGRAMA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO Y CONTROL
SC 2.1	Plazo.
SC 2.2	Programación (Gantt, duración actividades, actividades críticas, camino crítico).
SC 2.3	Equipos y Recursos Humanos.
SC 2.4	Justificación de los rendimientos.
SC 2.5	Gestión y Control del proyecto.

C 3	CONOCIMIENTO DEL PROYECTO
SC 3.1	Estudio y Revisión documental del Proyecto.
SC 3.2	Entorno del proyecto. Molestias e interferencias.
SC 3.3	Descripción del proceso constructivo.
SC 3.4	Alternativas y mejoras técnicas propuestas.

C 4	CALIDAD
SC 4.1	Plan de Control de Calidad.
SC 4.2	Medios para el control de calidad.
SC 4.3	Calidad de los materiales.
SC 4.4	Presupuesto.

C 5	SEGURIDAD Y SALUD
SC 5.1	Estudio de Seguridad y Salud.
SC 5.2	Medios para el control de la Seguridad y Salud.
SC 5.3	Presupuesto.

C 6	MEDIOAMBIENTE
SC 6.1	Memoria de Gestión de Residuos.
SC 6.2	Presupuesto.
SC 6.3	Mejora de la eficiencia energética.

C 7	EMPRESA
SC 7.1	Antigüedad.
SC 7.2	Experiencia de la empresa en proyectos similares.
SC 7.3	Experiencia del equipo designado al proyecto en obras similares.
SC 7.4	Equipo asignado a al proyecto. Organigrama.
SC 7.5	Medios materiales y maquinaria propios.
SC 7.6	Subcontratas necesarias para la ejecución del proyecto.

Una vez determinados los criterios a considerar, para comparar las ofertas competitivas y seleccionar la más adecuada a las necesidades, el siguiente paso es representar el problema de forma jerárquica.

Los niveles del esquema jerárquico serán los siguientes:

- Objetivo.
- Criterios de primer nivel (7 criterios).
- Criterios de segundo nivel (27 subcriterios).
- Criterios de tercer nivel (4 subcriterios).
- Alternativas (ofertas).

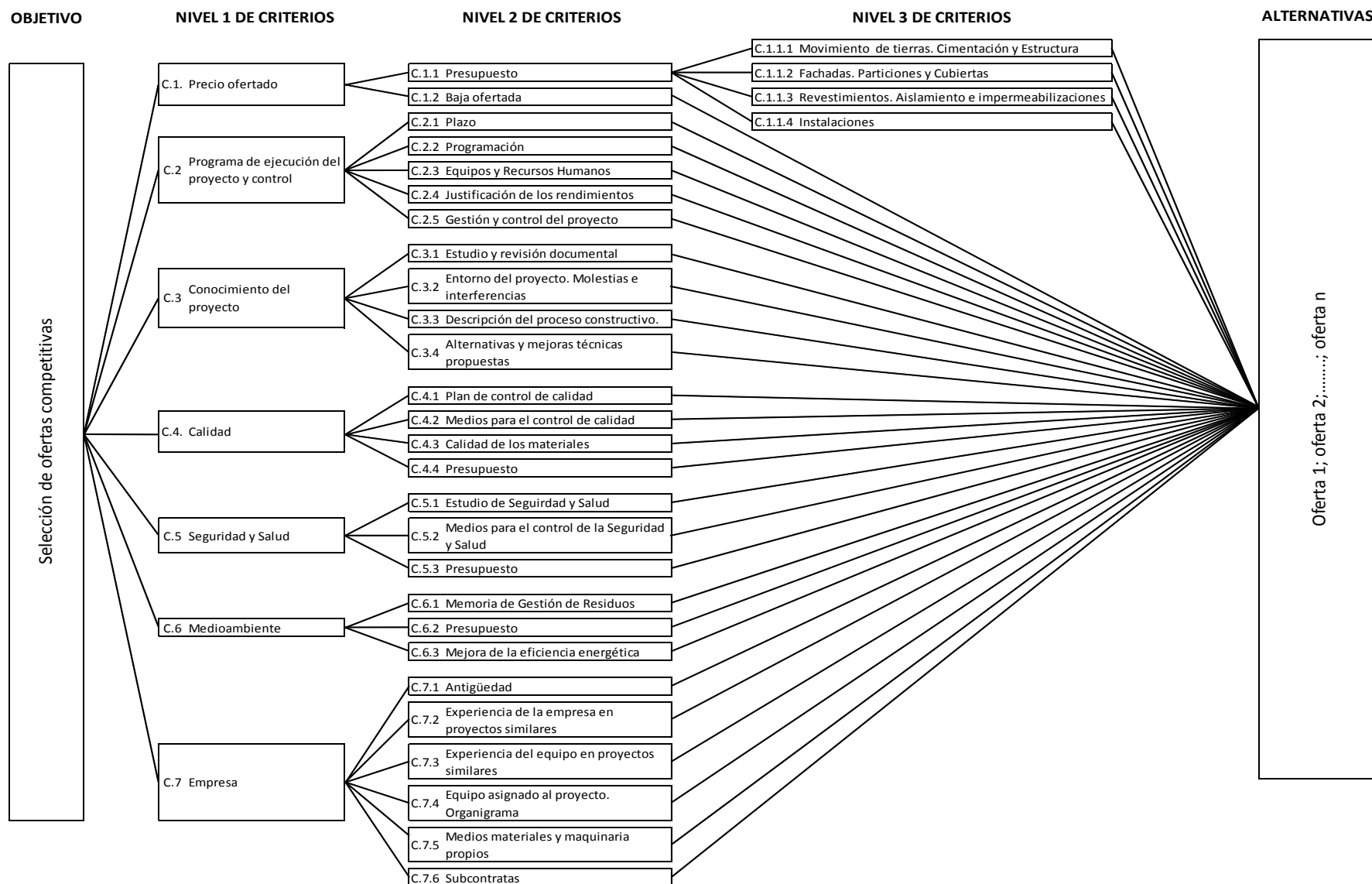


Figura 19. ORGANIZACIÓN JERÁRQUICA DEL PROBLEMA. JERARQUÍA INCOMPLETA

Una vez representado el problema de forma jerárquica se procedería a determinar el peso de cada criterio, para después poder comparar las alternativas en función de cada criterio y determinar cuál es la mejor alternativa. El peso de cada uno de los criterios y los subcriterios serán distintos en cada proyecto que se aplique, así como la descripción o características de cada uno de los criterios o subcriterios.

5. APLICACIÓN PRÁCTICA DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO EN LA PONDERACIÓN DE CRITERIOS Y SELECCIÓN DE OFERTAS COMPETITIVAS

Se proceder a aplicar del Proceso de Toma de Decisiones Analítico Jerárquico en la ponderación de criterios y la selección de ofertas competitivas, para determinar el peso de los criterios establecidos en una licitación del Ayuntamiento de Buñol y posteriormente a comparar entre las distintas ofertas, para determinar la prioridad de cada una de ellas. La licitación objeto de estudio es: *La adjudicación de una parcela urbana para la ejecución de Viviendas de Protección Pública de régimen General (V.P.P.G.)* en la localidad de Buñol (Valencia).

Se escoge esta licitación debido a:

- La posibilidad que ofrece para determinar el peso de criterios y subcriterios.
- Que el número de criterios es mayor a 5 y menor a 9.
- Que el peso de todos los criterios salvo 1, se determina mediante juicios de valor.
- El presupuesto no era uno de los criterios contemplados.

Para la resolución del problema mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) existe Software profesional, como es el Expert Choice (www.expertchoice.com), desarrollado por Dr. Ernest H. Forman en 1983. También existen aplicaciones en Software Comercial (Microsoft Excel), como la diseñada por Klaus Goepel ([Goepel 2012](#)).

La aplicación del Software Comercial de Klaus Goepel, obtiene las prioridades de los criterios, empleando el método de cálculo de prioridades exacto. Este método consiste en obtener el principal vector propio de la matriz original (matriz de comparaciones pareadas), elevando la matriz a una potencia suficientemente elevada, para obtener un resultado suficientemente preciso, posteriormente se suman las filas y se normaliza el resultado ([T. L. Saaty 1997](#)).

La aplicación de Goepel está compuesta por 10 hojas:

Hoja 1: Summary

En esta hoja se deben rellenar los siguientes campos:

- Número de criterios a considerar (n de 4 a 8)
- Número de participantes (N de 1 a 7)
- La descripción del objetivo del problema (Objective).
- Indicar el autor y fecha.
- La descripción de cada uno de los criterios a considerar.
- p: indicar valor de 0 a 7, para obtener las prioridades según los juicios que se quieran considerar. Opinión de todos los participantes ($p=0$) o de cada uno de ellos de forma individual ($p=1; 2; 3; 4; 5; 6; 7$).

En esta hoja se reflejarán una vez completados los datos necesarios en las hojas posteriores:

- El valor de Lambda.
- La razón de consistencia.
- La matriz de comparaciones pareadas (según el valor indicado en p).
- Las prioridades, indicadas en %.

n: determinación del número de criterios a considerar.

N: determinación del nº de participantes.

p: =0 obtención de prioridades considerando la opinión de todos los participantes.

p: = 1; 2;3;4;5;6;7 obtención de resultados según la valoración del participante que se indique en la casilla.

AHP Analytic Hierarchy Process (multiple inputs)

K. Goepel Version 11.12.2012 <http://bpmsg.com>
Only input data in the light green fields and worksheets!

n= Number of criteria (3 to 8)
N= Number of Participants (1 to 7)
p= selected Participant (0=consol.) 2 7

sheet Input Fields (green)

Objective

Author
Date

Table	Element	Comment	Weights
	Stakeholder	Comment 1	6,8%
	Financial	Comment 2	39,3%
	Strategic	Comment 3	46,0%
	Other Criteria	Comment 4	7,9%
			0,0%
			0,0%
			0,0%
			0,0%

Eigenvalue	lambda	<input type="text" value="4,043"/>
Consistency Ratio	CR	<input type="text" value="1,6%"/>

Matrix	Stakeholder	Financial	Strategic	Other Criteria	0	0	0	0	normalized principal Eigenvector
Stakeholder	1	1/5	1/9	1	0	0	0	0	6,84%
Financial	5	1	1	5	0	0	0	0	39,27%
Strategic	9	1	1	5	0	0	0	0	46,04%
Other Criteria	1	1/5	1/5	1	0	0	0	0	7,85%
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,00%
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,00%
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,00%
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,00%

Figura 20. HOJA DE CÁLCULO 1 (GOEPEL): SUMMARY

Hoja 2 a 8: Input 1 a Input 7

En cada una de estas hojas los participantes expresan su opinión sobre las preferencias de unos criterios sobre otros y expresan la intensidad de la preferencia de forma numérica empleando la escala de Saaty. Se rellenan las casillas verdes para expresar las preferencias. Tras rellenar las casillas verdes se rellena de forma automática la matriz de comparaciones pareadas.

Element	Comment
1 Stakeholder	Comment 1
2 Financial	Comment 2
3 Strategic	Comment 3
4 Other Criteria	Comment 4
5 0	0
6 0	0
7 0	0
8 0	0

Element		More Important	Intensity (1-9)
A	B		
1	Stakeholder compared with { Financial Strategic Other Criteria	B	5
2		B	9
3		A	1
4			
5	Financial compared with { Strategic Other Criteria	A	1
6		A	5
7			
8			
9	Strategic comp. with { Other Criteria	A	5
10			
11			
12			
13	comp. with {		
14			
15			
16			
17	vs {		
18			
19	vs {		
20			

Name: Participant 1
Date: 07/04/2012

Intensity of importance	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another
5	Strong Importance	Experience and judgment strongly favor one element over another
7	Very strong importance	One element is favored very strongly over another, it dominance is demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation

2,4,6,8 can be used to express intermediate values, 1.1, 1.2, etc. for elements that are very close in importance

Matrix 1

	Stakeholder	Financial	Strategic	Other Criteria	5	6	7	8
1	Stakeholder	1	1/5	1/9	1	0	0	0
2	Financial	5	1	5	0	0	0	0
3	Strategic	9	1	5	0	0	0	0
4	Other Criteria	1	1/5	1/5	1	0	0	0
5		0	0	0	0	1	0	0
6		0	0	0	0	0	1	0
7		0	0	0	0	0	0	1
8		0	0	0	0	0	0	0

Figura 21. HOJA DE CÁLCULO 2 A 8 (GOEPEL): INPUT 1 A INPUT7

Hoja 9: multInp

En esta hoja de cálculo, se obtiene la matriz de comparaciones pareada que recoge las preferencias de todos los participantes. Para ello se emplea la media geométrica. El número de participantes y criterios que se refleja en esta hoja, corresponde a los indicados en la primera hoja Summary. En esta hoja no hay que insertar ningún dato, los datos necesarios se han introducido en las hojas anteriores.

Consolidated:
Matriz de comparaciones pareadas resultante de tener en cuenta las preferencias determinadas por cada uno de los participantes. Calculada empleando la **media geométrica**.

geometric mean:
$$b_{\bar{y}} = (a_{1\bar{y}} \cdot a_{2\bar{y}} \cdots a_{k\bar{y}})^{\frac{1}{k}}$$

1 = k number of participants
4 = n number of criteria

Consolidated								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1/5	1/9	1	0	0	0	0
2	5	1	1	5	0	0	0	0
3	9	1	1	5	0	0	0	0
4	1	1/5	1/5	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1

Participant 1 07/04/2012								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1/5	1/9	1	0	0	0	0
2	5	1	1	5	0	0	0	0
3	9	1	1	5	0	0	0	0
4	1	1/5	1/5	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1

Participant 2 Date								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	0	0	0	0
2	1	1	1	1	0	0	0	0
3	1	1	1	1	0	0	0	0
4	1	1	1	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1

Participant 3 01/04/2012								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	0	0	0	0
2	1	1	1	1	0	0	0	0
3	1	1	1	1	0	0	0	0
4	1	1	1	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1

Participant 4 01/04/2012								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	0	0	0	0
2	1	1	1	1	0	0	0	0
3	1	1	1	1	0	0	0	0
4	1	1	1	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1

Participant 5 01/04/2012								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	0	0	0	0
2	1	1	1	1	0	0	0	0
3	1	1	1	1	0	0	0	0
4	1	1	1	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1

Participant 6 01/04/2012								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	0	0	0	0
2	1	1	1	1	0	0	0	0
3	1	1	1	1	0	0	0	0
4	1	1	1	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1

Participant 7 01/04/2012								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	0	0	0	0
2	1	1	1	1	0	0	0	0
3	1	1	1	1	0	0	0	0
4	1	1	1	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1

Figura 22. HOJA DE CÁLCULO 9 (GOEPEL): MULTINP

Hoja 10: multInp

La hoja 10 muestra los cálculos realizados, para obtener la prioridad de cada criterio, empleando el *método de cálculo exacto* (se realizan 12 iteraciones). Además se indica la consistencia de los juicios emitidos, a través de la Razón de Consistencia *CR*. En esta hoja no se debe insertar ningún dato, los cálculos se realizan a partir de la “*matriz consolidate*”, obtenida en la hoja 9.

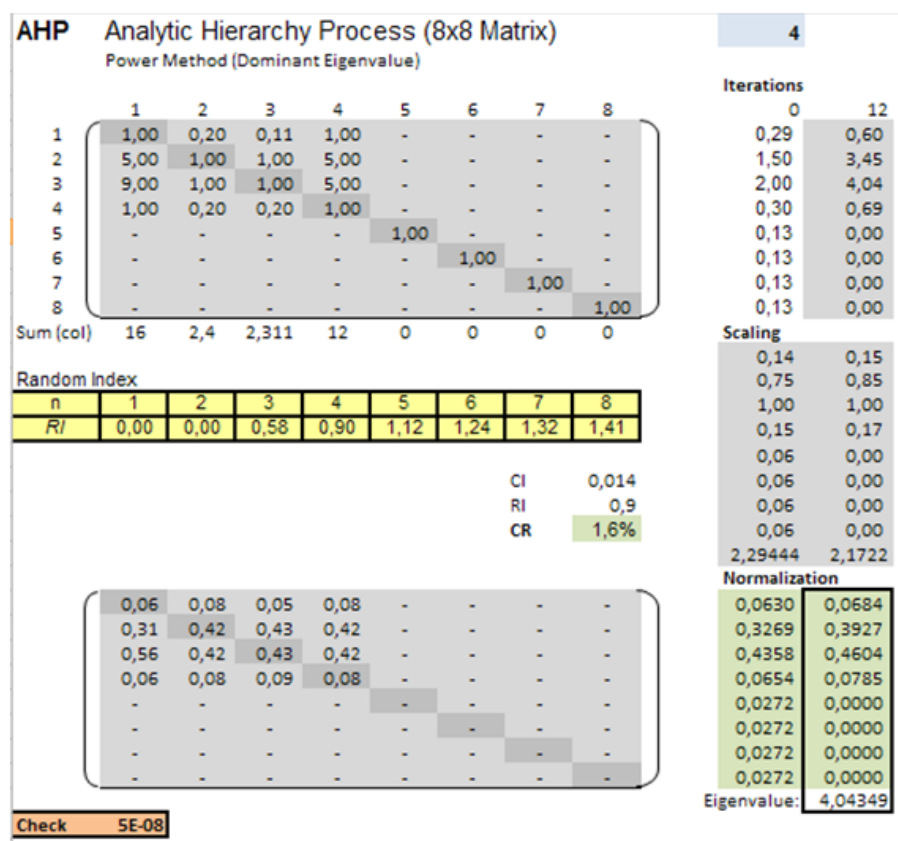


Figura 23. HOJA DE CÁLCULO 10 (GOEPEL): CÁLCULO DE PRIORIDADES EMPLEANDO EL MÉTODO EXCATO

Esta aplicación solo permite determinar el peso de un máximo de 8 criterios empleando el *método de cálculo exacto*. No permite obtener el peso de los subcriterios, en el caso de que sea necesario considerar subcriterios, ni se puede determinar la prioridad de las diferentes alternativas.

Para el estudio de caso, es necesaria una aplicación que permita obtener el peso de criterios y subcriterios y la prioridad de las diferentes alternativas. La aplicación de Klaus Goepel, solo permite obtener la prioridad de 8 criterios, pero no podríamos determinar la prioridad de los subcriterios ni de las alternativas.

Con el fin de poder obtener en la misma aplicación el peso de los criterios, subcriterios y alternativas y además calcular los pesos, empleando el *método de cálculo de aproximación* presentado en la tesina (véase apartado 3.1.), se ha diseñado una aplicación con Software Comercial (Microsoft Excel).

La aplicación diseñada (véase Anexo II), permite determinar la prioridad de hasta 9 criterios, y 81 subcriterios (9 subcriterios por cada uno de los criterios). Permite obtener el peso o prioridad de las diferentes alternativas (sin limitaciones). Además, para determinar el peso de los criterios, subcriterios y alternativas, se puede considerar la opinión de hasta 8 personas (aunque puede aumentar sin limitaciones).

5.1. CASO DE APLICACIÓN

5.1.1. INFORMACIÓN LICITACIÓN

Adjudicación de una parcela urbana para la ejecución de Viviendas de Protección Pública de Régimen General (V.P.P.G.) en la localidad de Buñol (Valencia).

El objeto del contrato es la construcción de un número mínimo de 20 viviendas (el 80% con una superficie útil superior a 70m² e inferior a 90m² y el 20% con una superficie útil menor de 70m² o superior a 90m²). El número mínimo de plazas de garaje será de 1 por vivienda y 1 por cada 200m² de local o fracción superior a 100m².

El precio del solar se valora en **623.025,97€**, el 15% del precio de venta de la edificación.

Se estima un precio de venta de **4.153.506,48€**, teniendo en cuenta que la edificación consta de:

- 24 viviendas de 85 m² de s. útil. Total superficie 2.040,00 m² a 1.174,90 €/m².
- S. útil locales 640m² a 1.174,90€/m².

- 24 trasteros de 8m². Total 192 m² a 1.174,90 x 0,60€/m².
- 28 plazas de aparcamiento de 25m². Total 700m² a 1.174,90 x 0,60€/m².

Criterios de adjudicación

Los criterios de adjudicación que se tuvieron en cuenta en el momento de la realización del concurso fueron los siguientes:

- Menor plazo de Ejecución. (Hasta 4 puntos)
- Mejor aprovechamiento de los solares con estudio pormenorizado de la distribución de las viviendas, con identificación del número de viviendas y su superficie, destino de los bajos, nº de aparcamientos y otras consideraciones de interés. (Hasta 10 puntos)
- Mejores características de los materiales con indicación de la calidad de los mismos, tratamiento singular en los elementos comunes, mejoras en la urbanización, definido todo ello en una Memoria de Calidades. (Hasta 7 puntos)
- Mejoras en materia de sostenibilidad, ahorro energético y domótica, respecto a las legalmente exigibles. (Hasta 3 puntos)
- Instalación de Calefacción. (Hasta 5 puntos)
 - Preinstalación. (2 puntos)
 - Preinstalación y Caldera. (3,5 puntos).
 - Completa. (5 puntos)
- Instalación de gas doméstico. (Hasta 3 puntos)
- Instalación de aire acondicionado. (Hasta 3 puntos)
- Instalación de audiovisuales, alarma, etc. (Hasta 3 puntos)

El concurso se adjudicó a la empresa Tecton Habitat, S.L., por un importe de 635.000, 00€, con arreglo a las clausulas del pliego de prescripciones técnicas y el de cláusulas administrativas que rigen el contrato. ([DOCV. Num 5809/18.07.2008 2008](#))

No se ha podido acceder a la documentación de la mesa de contratación de esta licitación. Se ha solicitado por escrito al Ayuntamiento de Buñol, información sobre las empresas que se presentaron al concurso y la puntuación que obtuvo cada una de las empresas en cada criterio, así como la puntuación que obtuvo la empresa adjudicataria, pero no se ha

obtenido respuesta. Debido a la dificultad e imposibilidad de acceder a los datos de la mesa de contratación, se procede a realizar una simulación con un total de 6 ofertas (Tabla 5).

Tabla 5. SIMULACIÓN PONDERACIÓN DE OFERTAS

	OFERTA 1	OFERTA 2	OFERTA 3	OFERTA 4	OFERTA 5	OFERTA 6
Plazo de Ejecución	3	4	3,5	3,75	3	3,5
Aprovechamiento	8,5	10	9,5	7	7,5	8
Mejoras Calidad	6	6,5	7	4,5	4	5,5
Mejoras Sostenibilidad, ahorro energético y domótica	2,25	2,5	2,75	2,5	3	1,75
Instalación calefacción	2 Preinst.	5 (Completa)	3,5 (Preinst. y Caldera)	3 (Preinst. y Caldera)	2,5 Preinst.	4,5 (Completa)
Instalación gas doméstico	2	3	2,5	3	2	1,5
Instalación aire acondicionado	1,5	3	3	3	2	2,5
Instalación audiovisuales, alarma, etc.	1,5	2,75	3	2	1	2,5
TOTAL	26,75	36,75	34,75	28,75	25	29,75

Según la puntuación obtenida, la Oferta 2 será la empresa adjudicataria con un total de 36,75 puntos.

5.1.2. ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA

El objetivo por el cual estamos aplicando el Proceso Analítico Jerárquico es:

- *Seleccionar la oferta más adecuada, para la adjudicación de parcela municipal para la ejecución de viviendas de Protección Pública de Régimen General (V.P.P.G.).*

El problema se descompone para su análisis en **8 Criterios y 3 Subcriterios**:

Criterios

C.1.-Menor plazo de ejecución de las Obras.

C.2.- Aprovechamiento del Solar: nº de viviendas y superficie, destino de los bajos, nº de aparcamientos y otros.

C.3.- Mejoras calidad de los materiales. Memoria de calidad.

C.4.- Mejoras en sostenibilidad, ahorro energético y domótica.

C.5.-Instalación de calefacción.

C.6.- Instalación de gas doméstico.

C.7.- Instalación de Aire Acondicionado.

C.8.- Instalación de Audiovisuales, alarmas, etc.

Subcriterios

C.5.1.- Preinstalación.

C.5.2.- Preinstalación y Caldera.

C.5.3.- Instalación Completa.

Las alternativas entre las cuales debemos comparar y elegir la mejor, para la adjudicación de la parcela municipal, son 6 (Oferta 1; Oferta 2; Oferta 3; Oferta 4; Oferta 5; Oferta 6).

Definidos e identificados el objetivo, los criterios y subcriterios, y las alternativas, se procede a representar de forma visual el problema a través de una estructura jerárquica. La jerarquía que representa el problema se denomina jerarquía incompleta.

OBJETIVO

NIVEL 1 DE CRITERIOS

NIVEL 2 DE CRITERIOS

ALTERNATIVAS

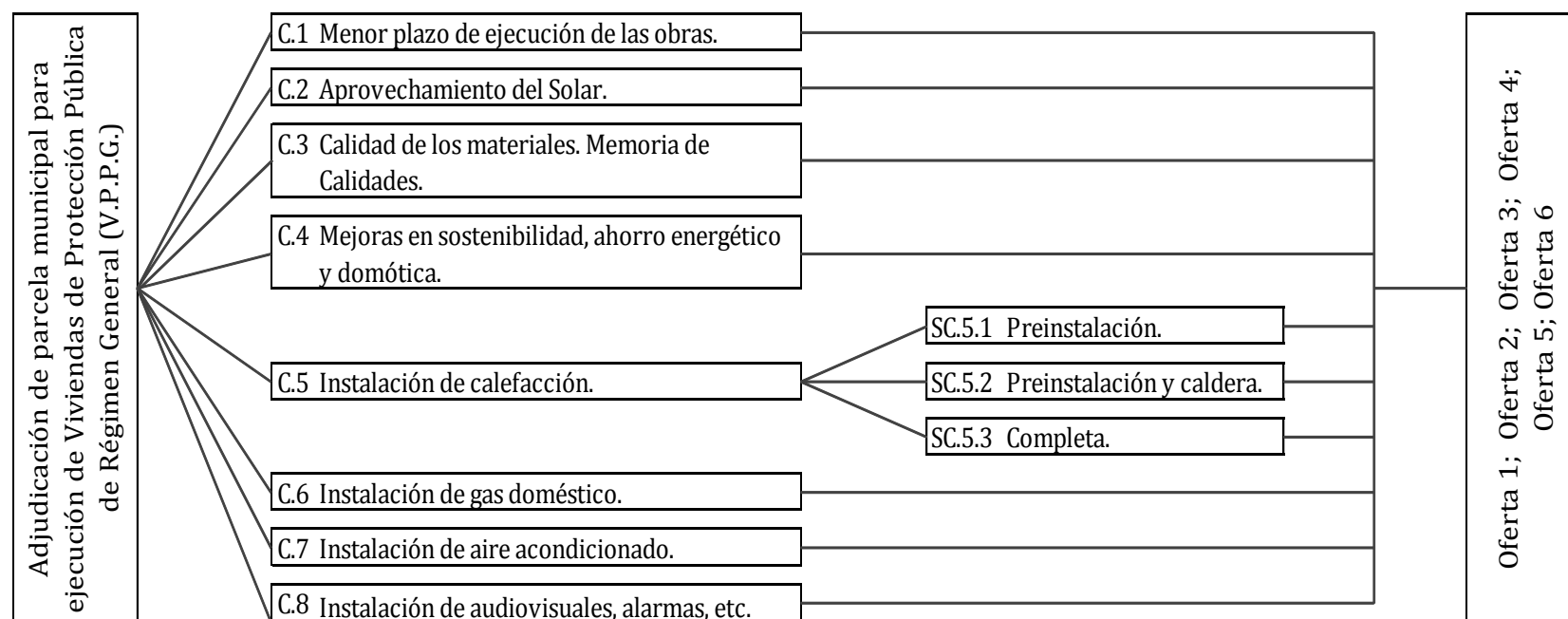


Figura 24. ORGANIZACIÓN JERÁRQUICA ESTUDIO DE CASO. JERARQUÍA INCOMPLETA

5.1.3. DETERMINACIÓN DE PRIORIDADES

- Prioridad Criterios y Subcriterios

El peso de los criterios y subcriterios se ha determinado a través de comparaciones pareadas, emitiendo juicios de valor que se traducen en una escala del 1 al 9 (Escala de Preferencias de Saaty).

Los juicios emitidos en las comparaciones de los criterios y subcriterios reflejan mi parecer, teniendo en cuenta la puntuación que se otorgó a cada criterio y subcriterio en el Pliego de Prescripciones Técnicas (véase apartado 5.1.1.).

Para obtener las prioridades se ha empleado la aplicación informática diseñada con software comercial (véase Anexo II).

Prioridad criterios

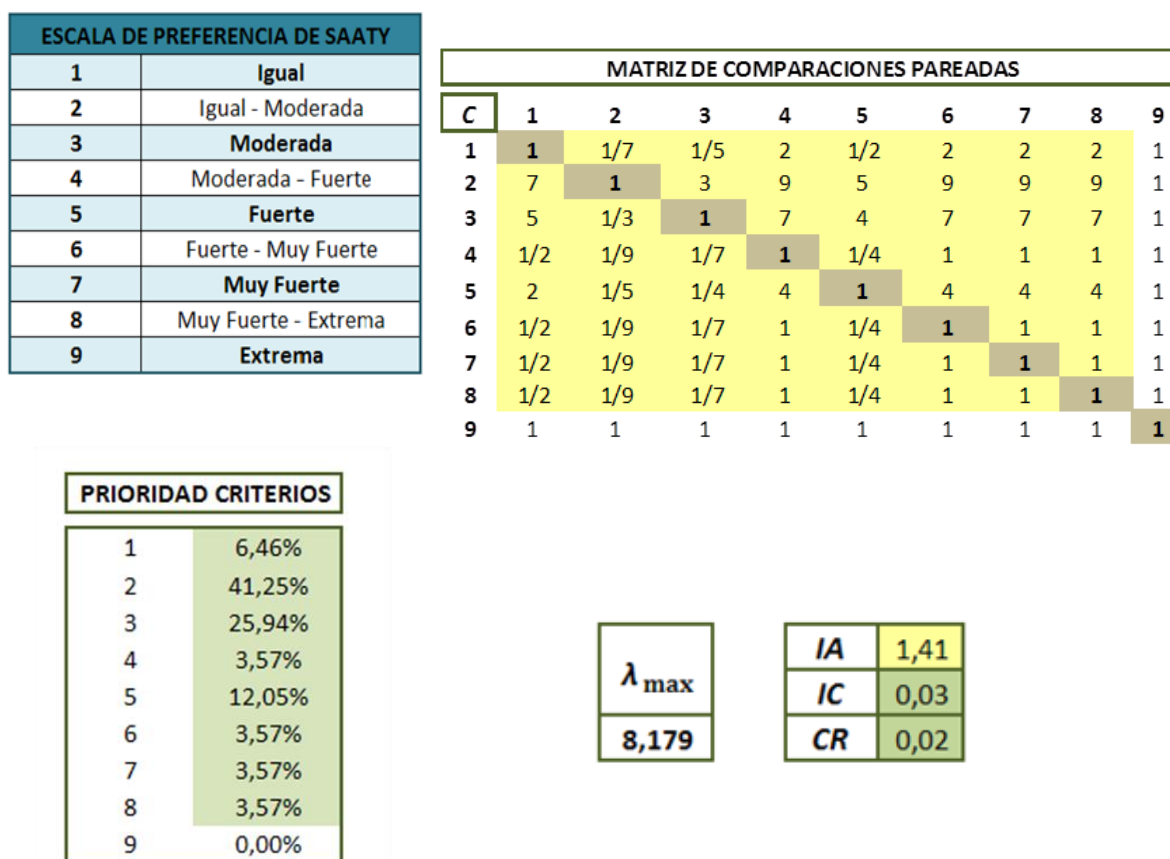


Figura 25. PRIORIDAD CRITERIOS

Prioridad Subcriterios

ESCALA DE PREFERENCIA DE SAATY	
1	Igual
2	Igual - Moderada
3	Moderada
4	Moderada - Fuerte
5	Fuerte
6	Fuerte - Muy Fuerte
7	Muy Fuerte
8	Muy Fuerte - Extrema
9	Extrema

MATRIZ DE COMPARACIONES PAREADAS									
SC	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1/3	1/8	1	1	1	1	1	1
2	3	1	1/5	1	1	1	1	1	1
3	8	5	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1

PRIORIDAD GENERAL SUBCRITERIOS	
C.5	
1	0,93%
2	2,24%
3	8,88%
4	0,00%
5	0,00%
6	0,00%
7	0,00%
8	0,00%
9	0,00%

λ_{\max}
3,0445

IA	0,58
IC	0,02
CR	0,04

Figura 26. PRIORIDAD GENERAL SUBCRITERIOS

La razón de consistencia en los juicios emitidos al comprar los criterios y subcriterios, es inferior al límite establecido en cada caso ($CR \leq 0,10$ para 8 criterios, $CR \leq 0,05$ para 3 subcriterios), por lo que los juicios emitidos son coherentes y los resultados obtenidos válidos.

En la tabla 6 se ordenan los criterios y subcriterios de mayor a menor prioridad.

Tabla 6. ORDENACIÓN CRITERIOS Y SUBCRITERIOS EN FUNCIÓN DE SU PRIORIDAD

CRITERIOS
C.2 Aprovechamiento de solar. (41,25%)
C.3 Calidad de los materiales. Memoria de calidades. (25,94%)
C.5 Instalación de calefacción. (12,05%)
C.1 Menor plazo de ejecución de las obras. (6,46%)
C.4 Mejoras en sostenibilidad, ahorro energético y domótica. (3,57%)
C.6 Instalación de gas doméstico. (3,57%)
C.7 Instalación de aire acondicionado. (3,57%)
C.8 Instalación de audiovisuales, alarma, etc. (3,57%)
SUBCRITERIOS
SC.5.3 Instalación completa. (8,88%)
SC.5.2 Preinstalación y caldera. (2,24%)
SC.5.1 Preinstalación. (0,93%)

El criterio que mayor peso tiene es el de Aprovechamiento del solar, seguido del criterio de calidad y del criterio de la instalación de calefacción. El orden de importancia de los criterios es el mismo que el que se presentaba en el Pliego de Condiciones y al igual que en el Pliego, los criterios 4, 6, 7 y 8 tienen el mismo peso.

Tabla 7. ORDENACIÓN CRITERIOS Y SUBCRITERIOS EN FUNCIÓN DE SU PRIORIDAD, OBTENIDA MEDIANTE AHP Y PONDERACIÓN CLÁSICA

CRITERIOS	PONDERACIÓN AHP	PONDERACIÓN CLÁSICA
C.2 Aprovechamiento de solar.	41,25%	10
C.3 Calidad de los materiales. Memoria de calidades.	25,94%	7
C.5 Instalación de calefacción.	12,05%	5
C.1 Menor plazo de ejecución de las obras.	6,46%	4
C.4 Mejoras en sostenibilidad, ahorro energético y domótica.	3,57%	3
C.6 Instalación de gas doméstico.	3,57%	3
C.7 Instalación de aire acondicionado.	3,57%	3
C.8 Instalación de audiovisuales, alarma, etc.	3,57%	3
SUBCRITERIOS		
SC.5.3 Instalación completa.	8,88%	5
SC.5.2 Preinstalación y caldera.	2,24%	3,5
SC.5.1 Preinstalación.	0,93%	2

Tras establecer las prioridades de los criterios y subcriterios se procede a comparar las 6 ofertas presentadas, para determinar el peso de cada una de ellas. Las ofertas se comparan en función de cada criterio (cuando no están descompuestos en subcriterios) y en función de cada subcriterio.

La oferta que obtenga el mayor peso, será a la que se le adjudique la parcela, para la construcción de viviendas de Protección Pública de Régimen General.

- Prioridad Alternativas

Al igual que el peso de los criterios y subcriterios, la prioridad de las alternativas se ha determinado a través de comparaciones pareadas, emitiendo juicios de valor que se traducen en una escala del 1 al 9 (Escala de Preferencias de Saaty). La prioridad de cada alternativa al compararla con cada criterios/subcriterio se ha establecido bajo mi criterio y teniendo en cuenta las preferencias que reflejaban las puntuaciones establecidas en cada caso.

El peso de las alternativas se obtiene con la aplicación informática diseñada con el software comercial (véase Anexo II).

Prioridad Alternativas respecto Criterio 1

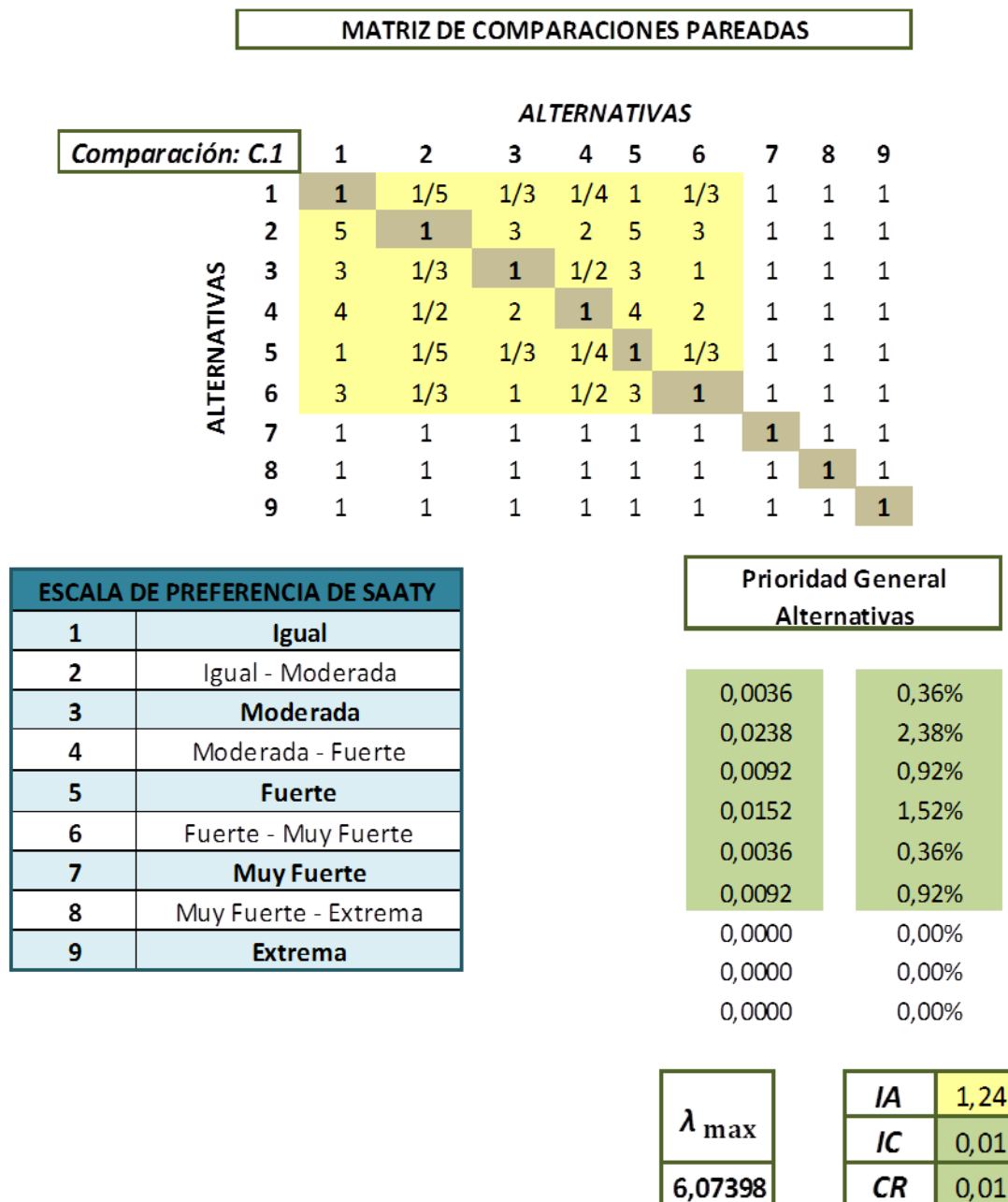


Figura 27. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ CRITERIO 1

Prioridad Alternativas respecto Criterio 2

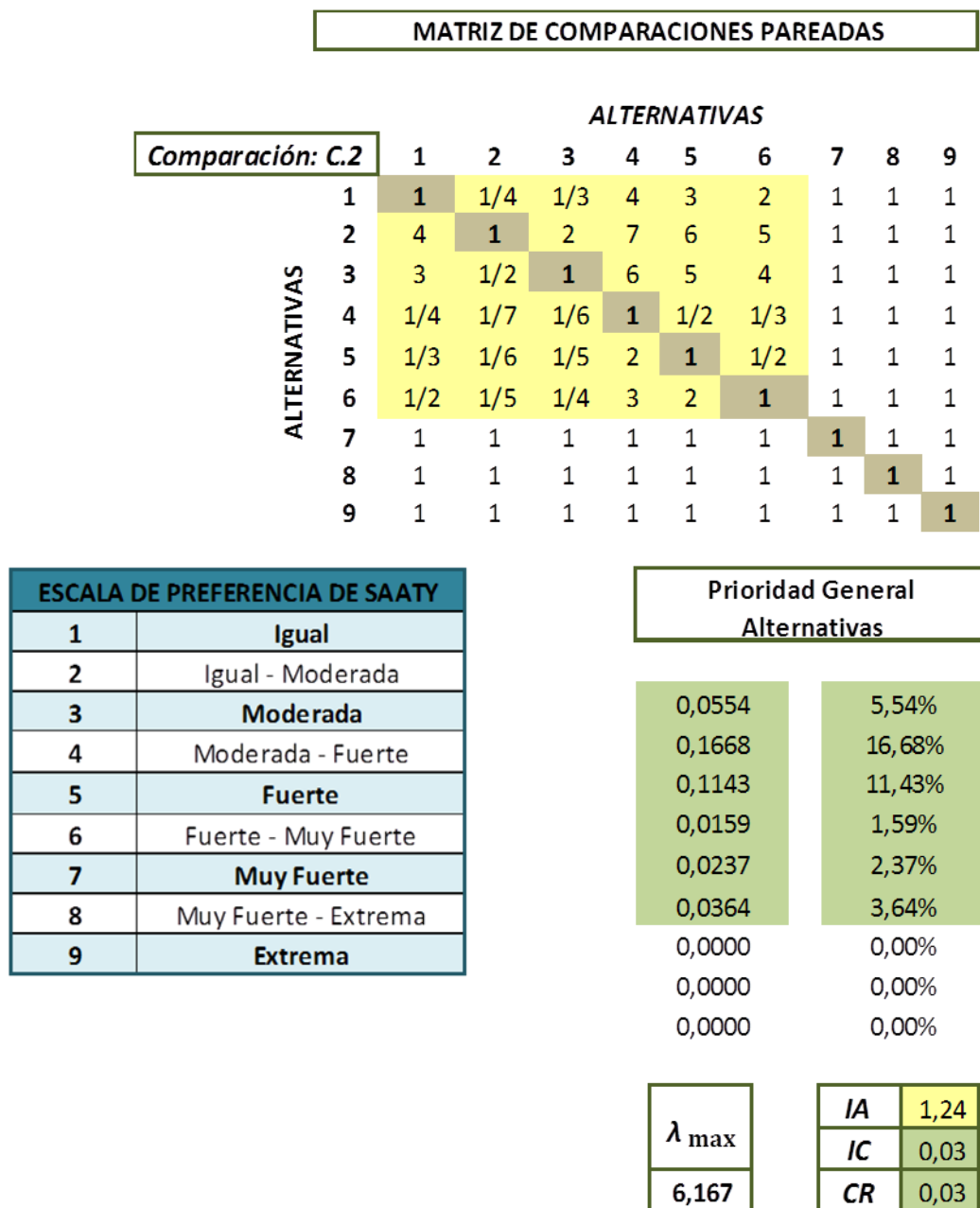


Figura 28. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ CRITERIO 2

Prioridad Alternativas respecto Criterio 3

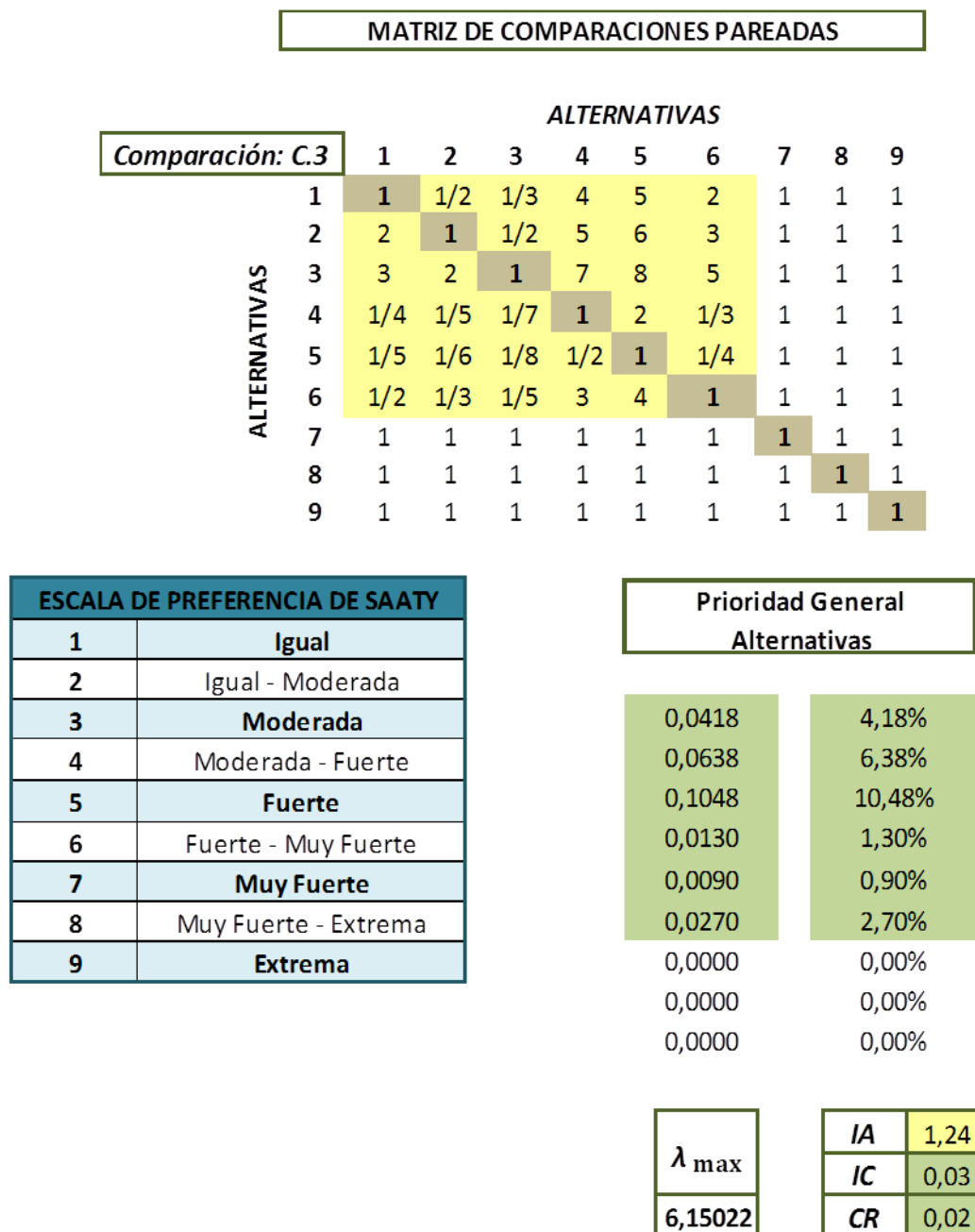


Figura 29. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ CRITERIO 3

Prioridad Alternativas respecto Criterio 4

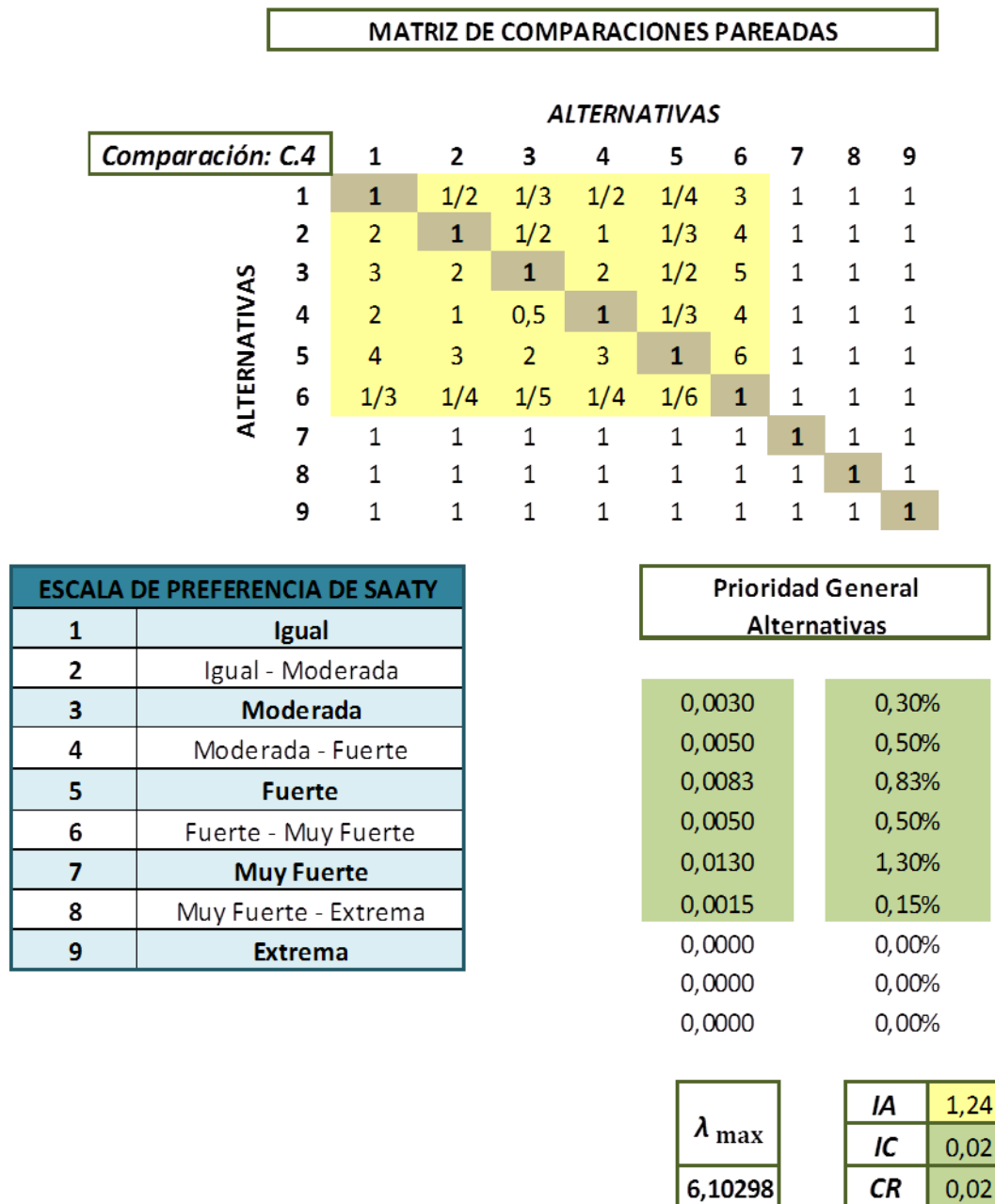


Figura 30. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ CRITERIO 4

Prioridad Alternativas respecto Subcriterio 5.1

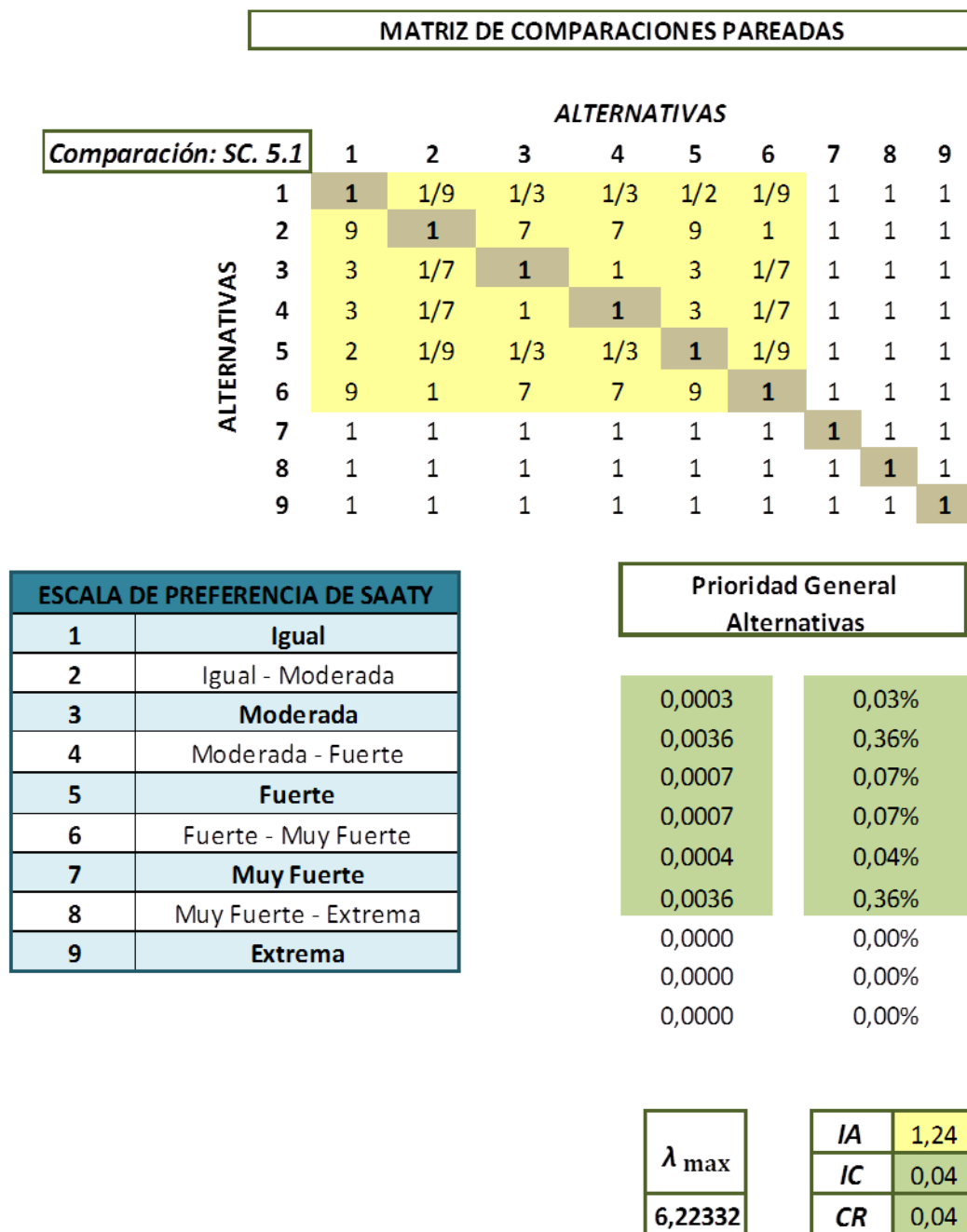


Figura 31. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ SUBCRITERIO 5.1

Prioridad Alternativas respecto Subcriterio 5.2

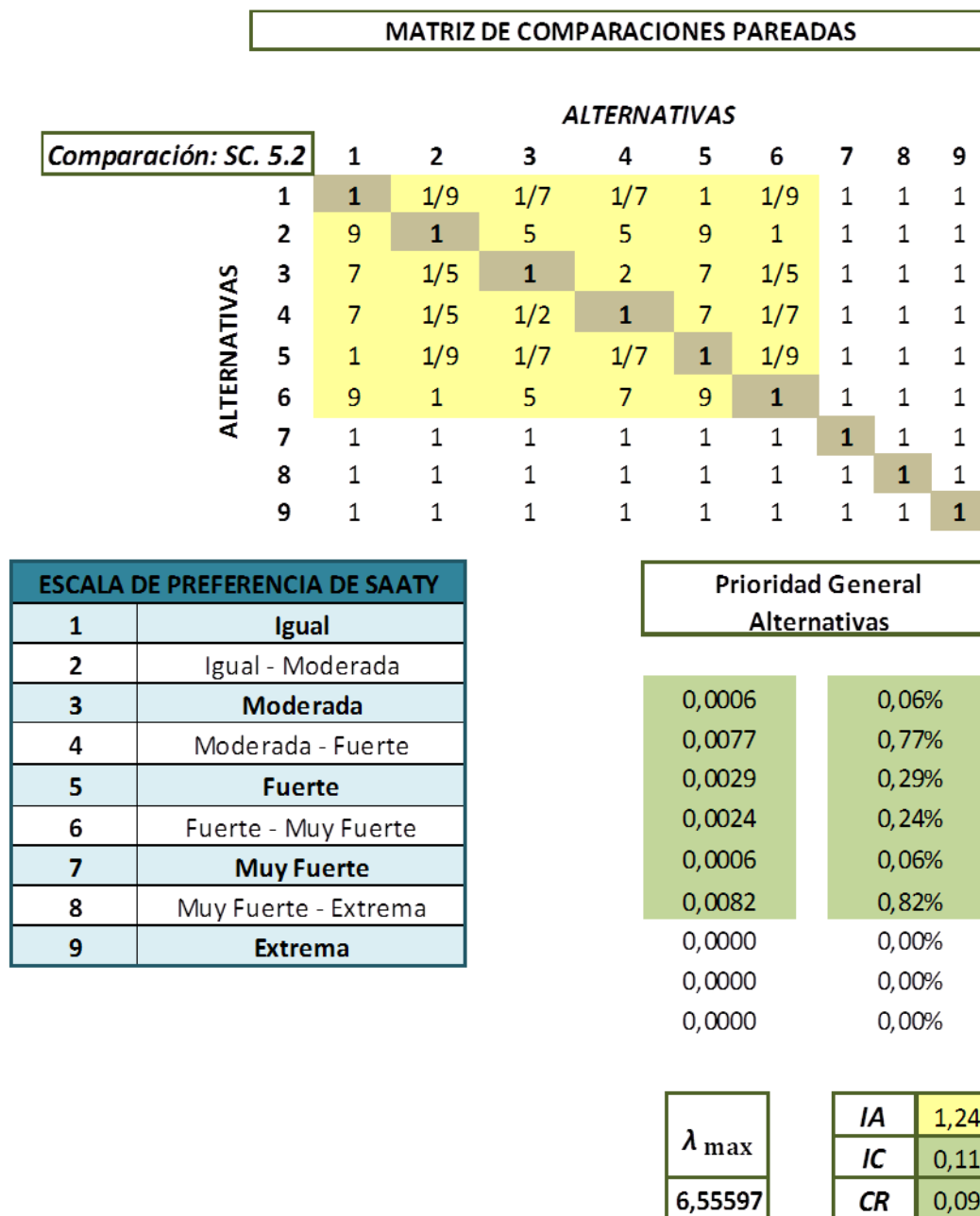


Figura 32. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ SUBCRITERIO 5.2

Prioridad Alternativas respecto Subcriterio 5.3

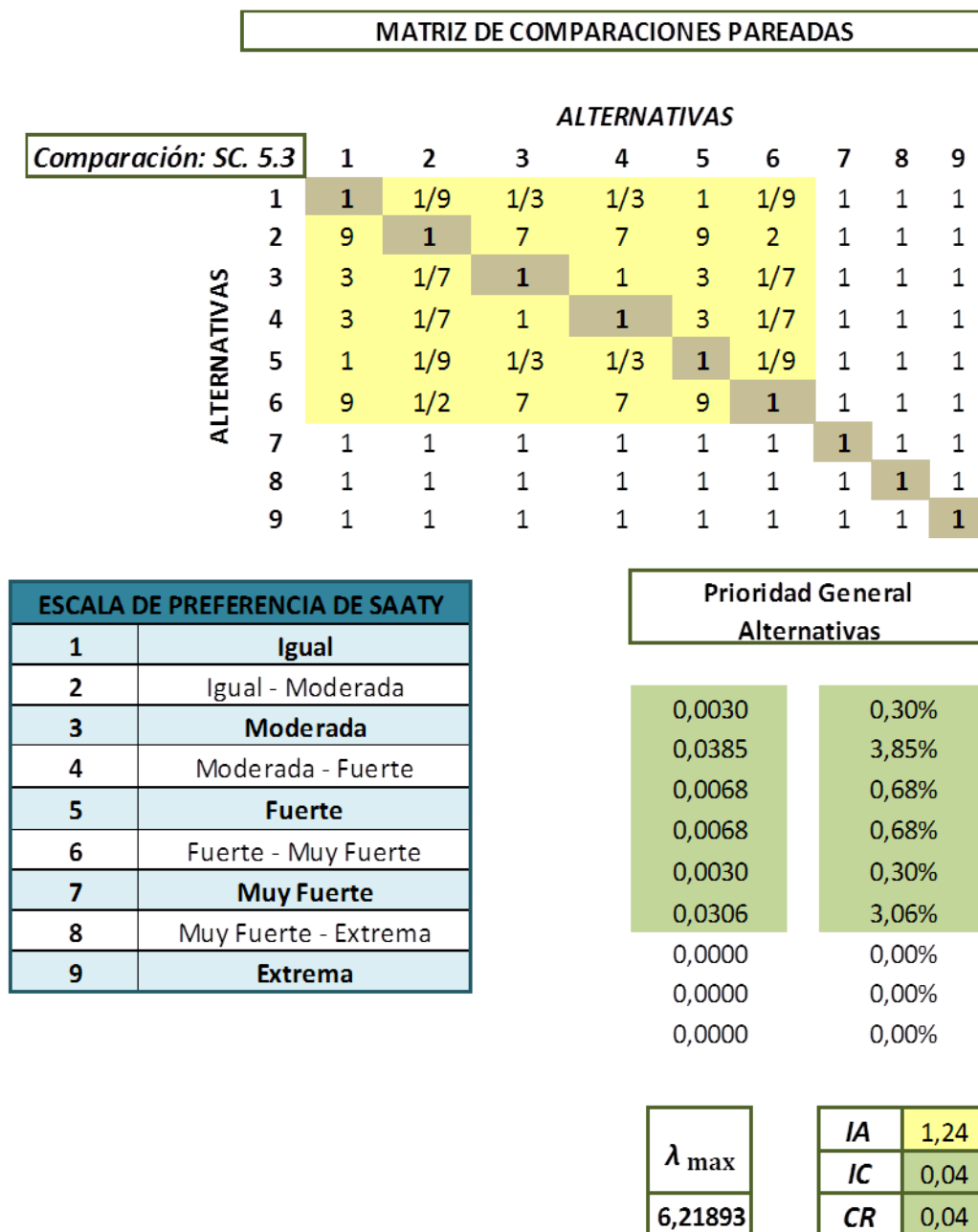


Figura 33. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ SUBCRITERIO 5.3

Prioridad Alternativas respecto Criterio 6

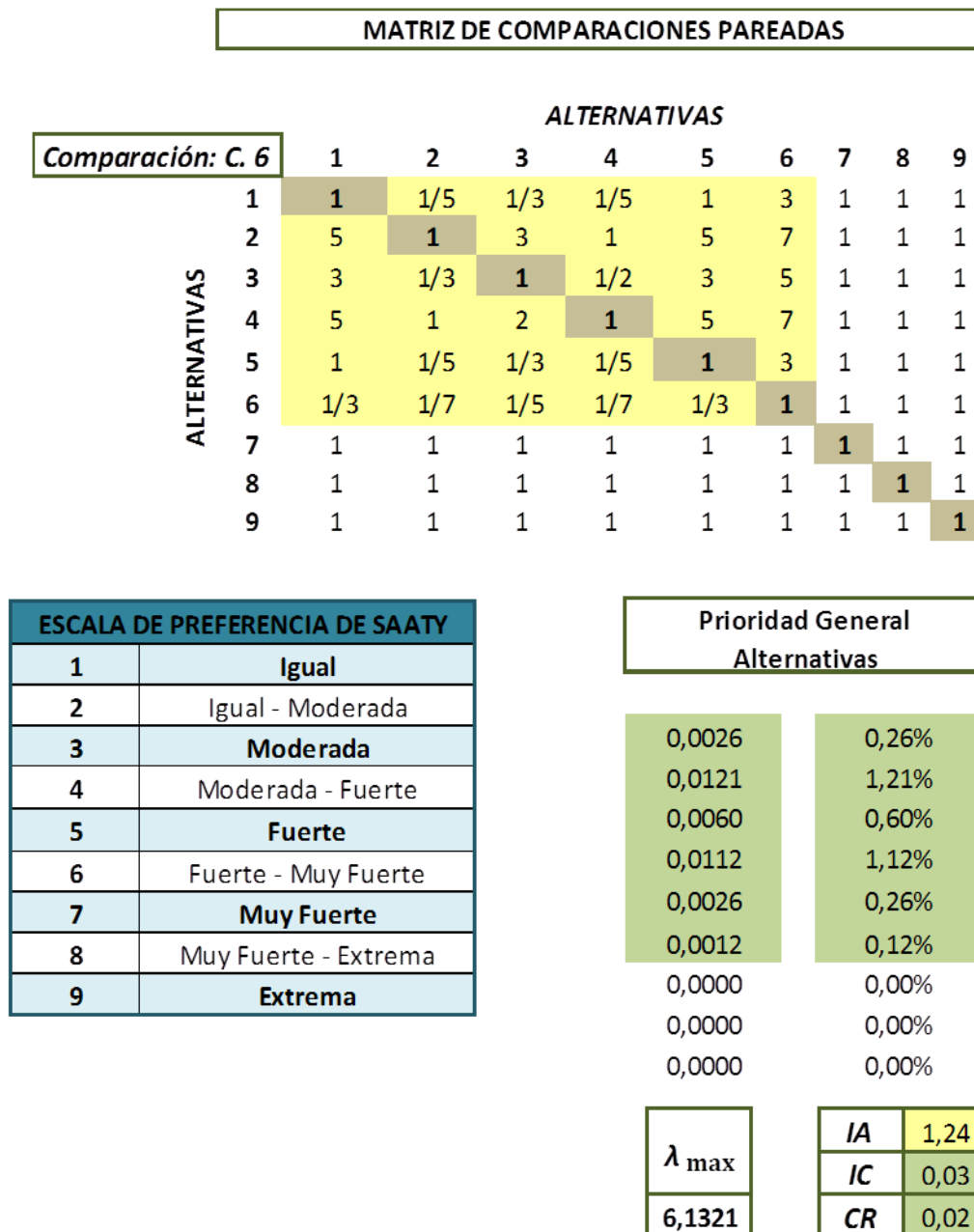


Figura 34. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ CRITERIO 6

Prioridad Alternativas respecto Criterio 7

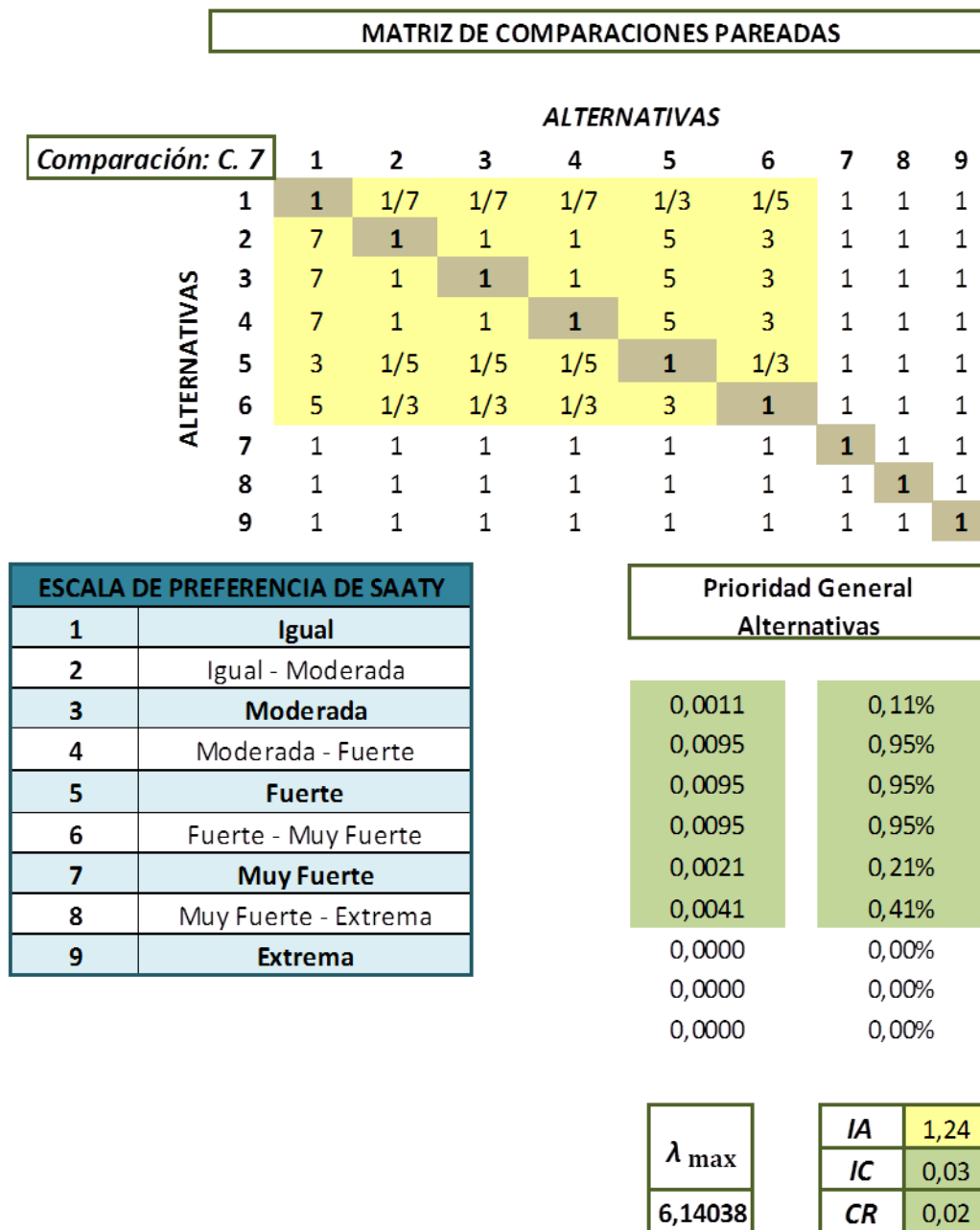


Figura 35. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ CRITERIO 7

Prioridad Alternativas respecto Criterio 8

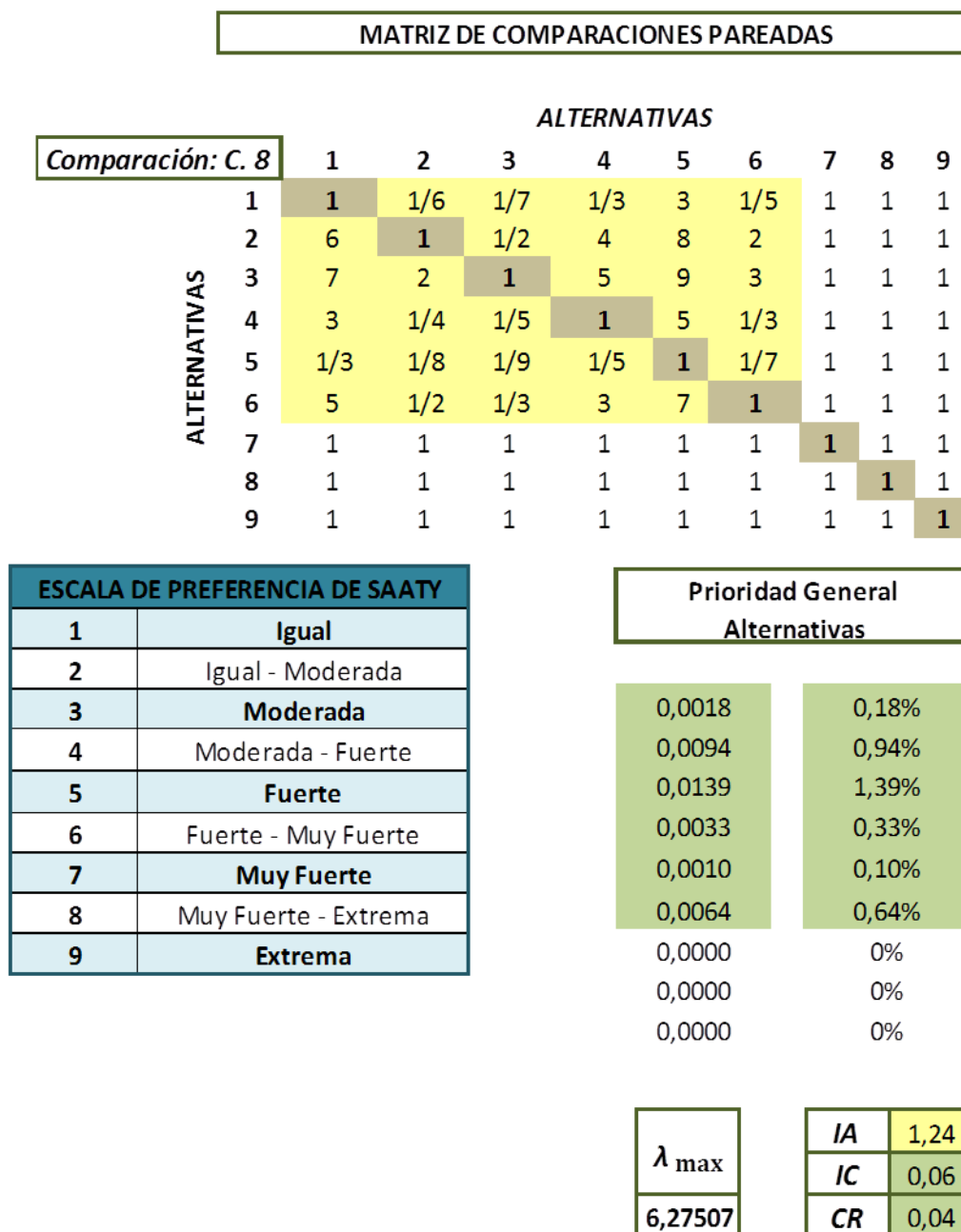


Figura 36. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ CRITERIO 8

La razón de consistencia en los juicios emitidos al comprar las alternativas respecto a cada criterio y subcriterios, es inferior al límite establecido ($CR \leq 0,10$ para 6 criterios,) por lo que los juicios emitidos son coherentes y los resultados obtenidos válidos.

Tras obtener la prioridad general de las alternativas en cada criterio/subcriterio, se procede a obtener la Prioridad Total de cada alternativa, sumando la prioridad general que han obtenido en cada criterio/subcriterio.

PRIORIDAD GENERAL DE LAS ALTERNATIVAS										
	C. 1	C. 2	C. 3	C. 4	SC. 5.1	SC. 5.2	SC. 5.3	C. 6	C.7	C.8.
1	0,0036	0,0554	0,0418	0,0030	0,0003	0,0006	0,0030	0,0026	0,0011	0,0018
2	0,0238	0,1668	0,0638	0,0050	0,0036	0,0077	0,0385	0,0121	0,0095	0,0094
3	0,0092	0,1143	0,1048	0,0083	0,0007	0,0029	0,0068	0,0060	0,0095	0,0139
4	0,0152	0,0159	0,0130	0,0050	0,0007	0,0024	0,0068	0,0112	0,0095	0,0033
5	0,0036	0,0237	0,0090	0,0130	0,0004	0,0006	0,0030	0,0026	0,0021	0,0010
6	0,0092	0,0364	0,0270	0,0015	0,0036	0,0082	0,0306	0,0012	0,0041	0,0064
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
8	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

PRIORIDAD TOTAL
ALTERNATIVAS

Oferta 1	0,1133	11,33%	
Oferta 2	0,3401	34,01%	
Oferta 3	0,2765	27,65%	
Σ Filas	Oferta 4	0,0831	8,31%
→	Oferta 5	0,0589	5,89%
	Oferta 6	0,1282	12,82%
		0,0000	0,00%
		0,0000	0,00%
		0,0000	0,00%

Figura 37. PRIORIDAD TOTAL DE LAS ALTERNATIVAS

En las comparaciones de las alternativas, se ha observado que aquellas que tenían la misma puntuación en un determinado criterio/subcriterio, han obtenido el mismo peso aplicando el Proceso Analítico Jerárquico. También se ha obtenido el mismo orden de preferencia de las alternativas en los diferentes criterios/subcriterios, que reflejaban las puntuaciones aleatorias, al aplicar el Método Jerárquico.

En la tabla 8 se ordenan de mayor a menor los las alternativas según la Prioridad Total obtenida.

Tabla 8. ORDENACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE MAYOR A MENOR PRIORIDAD TOTAL

ALTERNATIVAS
Oferta 2 (34,01%)
Oferta 3 (27,65%)
Oferta 6 (12,82%)
Oferta 1 (11,33%)
Oferta 4 (8,31%)
Oferta 5 (5,89%)

Al comparar las distintas alternativas empleando el Proceso Analítico Jerárquico se ha obtenido el mismo orden de preferencia que se reflejaba la puntuación aleatoria. Hay que tener en consideración que al realizar las comparaciones, las valoraciones expresadas han tenido en cuenta la preferencia que reflejaban las puntuaciones aleatorias. La oferta 2 es la alternativa que presenta una preferencia mayor (34,01%), seguida de la oferta 3 (27,65%) y la oferta 6 (12,82%).

Tabla 9. ORDENACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS EN FUNCIÓN DE LA PRIORIDAD OBTENIDA MEDIANTE AHP Y PONDERACIÓN CLÁSICA

ALTERNATIVAS	PONDERACIÓN AHP	PONDERACIÓN CLÁSICA
Oferta 2	34,01%	36,75
Oferta 3	27,65%	34,75
Oferta 6	12,82%	29,75
Oferta 1	11,33%	28,75
Oferta 4	8,31%	26,75
Oferta 5	5,89%	25

La empresa a la cual se le adjudicará la parcela municipal, para la construcción de las Viviendas de Protección de Régimen General, es la que presenta la Oferta 2 con una prioridad de 34,01%.

5.2. POSIBILIDADES DE APLICACIÓN

El Proceso Analítico Jerárquico se puede aplicar para resolver infinidad de problemas de temática diferente. En esta tesina se ha empleado para la selección de ofertas competitivas, para dar a conocer sus posibilidades en este uso, y demostrar que puede salvar las carencias que se observan en el modelo tradicional tanto en la ponderación de los criterios como en la comparación de las ofertas.

Algunas de las aplicaciones que podría tener el Proceso Analítico Jerárquico, relacionadas con la edificación, pueden ser:

- La realización de tasaciones de bienes inmuebles.
- La comparación de proveedores (materiales, subcontratas).
- La elección de soluciones constructivas.
- La comparación de viviendas, para seleccionar la adecuada a las necesidades establecidas.
- La determinación de la mejor situación de una edificación.
- La comparación de oportunidades de negocio en la selección de inversiones
- La selección y distribución de recursos humanos en proyectos de construcción.

Como curiosidad y ejemplo de aplicación distinta a la abordada en este trabajo, se ha colaborado con un compañero del Máster de Planificación y Gestión en la Ingeniería Civil, Tomás Ortolá, y se ha aplicado el Proceso Analítico Jerárquico en su trabajo.

Tras el estudio de bibliografía, Tomás en su trabajo "*Basis of a suitable procedural model for the architecture-engineering-construction industry*", identifica las características comunes que presentan 5 modelos de producción (LPDS, B. Aggteleky, Ulrich & Eppinger, NASA y Pahl & Beitz) y la presencia de estas características en cada modelo, determinada mediante una escala Linkert⁵. Tras analizar los modelos de producción, establece un modelo Canónico para la industria de la arquitectura-ingeniería-construcción, que presenta las características comunes que recogen los 5 modelos. La presencia de cada criterio en el modelo canónico, está representada con los valores de la Escala Linkert y refleja el juicio de Tomás.

El objetivo de aplicar el método de Análisis Jerárquico en este trabajo, era comprobar que los juicios emitidos por Tomás eran consistentes, y los resultados obtenidos válidos. Para ello se han estudiado los 5 modelos por separado, determinando la prioridad de cada característica en cada modelo. Posteriormente se ha determinado la prioridad de cada característica en el modelo propuesto, el modelo canónico y se han comparado con este, los 5 modelos como alternativas (véase anexo III).

⁵ La **Escala de tipo Likert** (también denominada **método de evaluaciones sumarias**) es una escala psicométrica comúnmente utilizada en cuestionarios, y es la escala de uso más amplio en encuestas para la investigación, principalmente en ciencias sociales. Al responder a una pregunta de un cuestionario elaborado con la técnica de Likert, se especifica el nivel de acuerdo o desacuerdo con una declaración (elemento, ítem o reactivo o pregunta). La escala se llama así por Rensis Likert, quien publicó en 1932 un informe donde describía su uso. ([Wikipedia 2012](#))

Como resultado de la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico en la tabla 10 se determina la prioridad de cada criterio en cada uno de los modelos. En la tabla 11 se determina la prioridad de los criterios en el modelo canónico aplicando el Proceso Jerárquico.

Tabla 10. PRIORIDAD DE LOS CRITERIOS Y SUBCRITERIOS EN LOS 5 MODELOS DE PRODUCCIÓN

		Selected PDP Models				
		(LPDS)	B. Aggteleky	Ulrich & Eppinger	NASA	Pahl & Beitz
Characteristics	Product development management	21,08%	10,27%	5,77%	14,77%	9,97%
	Front-end planning	21,08%	21,99%	14,77%	14,77%	21,84%
	Integrated product development	Set- Based Design	1,79%	0,66%	4,62%	0,47%
		Deep partnership with suppliers	0,70%	0,66%	4,62%	0,47%
		Customer Needs and Values	4,62%	0,66%	4,62%	1,40%
		改善 - KAIZEN	1,79%	0,66%	0,92%	0,47%
	Spiral Process	8,89%	21,99%	2,80%	14,77%	21,85%
	Modeling and Prototyping. "Parallelization"	2,56%	5,14%	14,77%	14,77%	9,97%
	Flexible Process	Harmonization	4,46%	0,88%	1,40%	0,96%
		Information management	1,49%	2,65%	1,40%	4,81%
	Modularization - Technology-Push Products	1,57%	2,40%	14,77%	2,80%	2,22%
	Problem - Solving Process Structure	21,08%	21,99%	14,77%	14,77%	21,84%
	Stage-Gate Process	8,89%	10,27%	14,77%	14,77%	4,61%

Tabla 11. PRIORIDAD DE LOS CRITERIOS Y SUBCRITERIOS DEL MODELOS CANÓNICO

			Canonical PM for AEC Industry
Characteristics	Product development management		22,29%
	Front-end planning		22,29%
	Integrated product development	Set- Based Design	1,75%
		Deep partnership with suppliers	1,75%
		Customer Needs and Values	5,26%
		改善 - KAIZEN	1,75%
		Spiral Process	
	Modeling and Prototyping. "Parallelization"		2,21%
	Flexible Process	Harmonization	5,27%
		Information management	1,76%
	Modularization - Technology-Push Products		4,45%
	Problem - Solving Process Structure		22,29%
	Stage-Gate Process		4,45%

En la tabla 12 se obtiene la prioridad total de cada uno de los modelos, al ser comparados, según las preferencias establecidas en los criterios del modelo canónico.

Tabla 12. PRIORIDAD TOTAL DE LOS 5 MODELOS DE PRODUCCIÓN (ALTERNATIVAS)

	PRIORIDAD TOTAL ALTERNATIVAS	
A.1 LPDS	0,4441	44,41%
A.2 B. Aggteleky	0,1417	14,17%
A.3 Ulrich & Eppinger	0,2292	22,92%
A.4 NASA	0,2694	26,94%
A.5 Pahl & Beitz	0,1437	14,37%
	0,0000	0,00%
	0,0000	0,00%
	0,0000	0,00%
	0,0000	0,00%

El modelo más apropiado para la ingeniería de la arquitectura-ingeniería-construcción, es según la prioridad obtenida, es el modelo LPDS con una prioridad del 44,41%.

Durante todo el proceso de determinación de prioridades, la consistencia de los juicios emitidos ha sido adecuada y por tanto los resultados obtenidos válidos.

Tras la obtención de las prioridades de los criterios de los modelos estudiados y del modelo canónico, con el Proceso Analítico Jerárquico, Tomás observó que el orden de preferencia de los criterios es el mismo que indican los valores de la escala Linkert. Los criterios que tenían el mismo número en la escala Linkert, han obtenido la misma prioridad. Se puede afirmar que las valoraciones realizadas por Tomás, empleando la escala Linkert, son consistentes y los resultados obtenidos adecuados.

6. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

6.1. CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Tras realizar la presente tesina, se tiene un mayor conocimiento de los Procesos de Toma de Decisiones. Se puede afirmar que la toma de decisiones ha estado siempre presente y que se ha abordado de distintas formas a lo largo de la Historia, evolucionando hasta llegar a la toma de decisiones basadas en el razonamiento, estudio y análisis de la información que se posee. La información disponible y el análisis de esta, ha supuesto que se reduzca el riesgo al tomar una decisión, pero no que desaparezca.

Al comparar los procesos de Toma de Decisiones Multicriterio y de Criterio Único, se ha llegado a la conclusión que el planteamiento multicriterio salva las limitaciones presentes en el planeamiento monocriterio, al considerar más de un criterio en la toma de la decisión, lo que permite tener en cuenta todos los aspectos que influyen en la decisión, y suprimir las restricciones, que eran rígidas e inflexibles y condicionaban la solución obtenida.

El recorrido histórico por los Procesos de Toma de Decisiones Multicriterio, ha permitido descubrir cómo se convierte La Toma de Decisiones Multicriterio en una ciencia (década de los 70), gracias a las aportaciones de índole científico aplicada a temas sociales y económicos, realizada durante varios siglos. A partir del nacimiento como ciencia, ha experimentado un gran desarrollo, potenciado por las aplicaciones informáticas, sin las que hoy en día la aplicación práctica de los métodos multicriterio no sería posible.

Se ha profundizado en el conocimiento de las características y metodología del Proceso Analítico Jerárquico y se tiene una visión general de las posibilidades que ofrece. Estudiando la metodología de cálculo del Proceso de Toma de Decisiones Analítico Jerárquico, concretamente la determinación de la consistencia, me ha inquietado el hecho de encontrarme diferentes valores para el Índice de Consistencia Aleatorio (IA), según la publicación o el autor. Además de estas diferencias, la obtención del Índice de consistencia Aleatorio mediante fórmula, da como resultado valores diferentes a los reflejados en las distintas publicaciones. Debido a la disparidad en los valores observados y sin haber podido esclarecer el porqué de estas diferencias, se ha decidido para la realización de la tesina emplear el Índice de Consistencia Aleatorio (IA) de la publicación más reciente ([Masud y Ravi 2008](#)), también empleado por K. Goepel en su aplicación informática.

Cabe reseñar, después de consultar diferentes pliegos de condiciones de licitaciones de la Administración Pública, que se ha observado la total libertad que cada Administración tiene para establecer los criterios que en su momento considera oportunos, sin que exista ninguna regla que marque unos criterios mínimos o comunes. Como ejemplo de la disparidad en la

determinación de criterios, se han observado pliegos que consideran únicamente 3 criterios para el estudio de un proyecto, los cuales son insuficientes, y otros como el empleado para el estudio de caso que considera 8 criterios y 3 subcriterios.

A modo orientativo y con el fin de determinar unos criterios generales y adecuados para el correcto análisis de proyectos de edificación, en la tesina se han propuesto una serie de criterios (7) y subcriterios de segundo nivel (27) y tercer nivel (4). Los criterios se han propuesto tras el estudio y consulta de artículos de investigación, tesis de doctorado, pliegos de condiciones administrativas particulares de licitaciones en administración pública y pliegos de condiciones particulares de concursos de empresa privada.

Además de la libertad para determinar los criterios, la determinación del peso de los mismos mediante reparto de puntos, es completamente aleatoria y libre, sin que exista ninguna pauta.

Al valorar los criterios de cada una de las alternativas, no se emplea siempre la misma escala. Si los criterios que se están analizando son cuantitativos, la puntuación se establece a través de fórmulas y si los criterios son cualitativos la puntuación se establece mediante juicios totalmente subjetivos. Además la puntuación otorgada cuando se trata de criterios cualitativos no se justifica de ningún modo, es completamente aleatoria.

En cuanto a los procesos de ponderación de las diversas ofertas, hay que destacar la falta de transparencia existente y por tanto la posible manipulabilidad que se puede dar. Es muy difícil por no decir imposible, acceder a la información de las mesas de contratación, para saber que puntuación ha obtenido cada oferta en cada uno de los criterios y como se ha determinado ese peso. En la página web de algunas Administraciones Públicas, como ejercicio de “transparencia” se puede consultar el acta de la mesa de contratación, pero en esta no se muestra la puntuación obtenida en todos los criterios. En el caso de criterios que dependen de juicio de valor, aparece la puntuación totalizada, sin determinar la puntuación que se obtiene en cada uno de los criterios. Cuando se trata de criterios que dependen de fórmulas matemáticas, sí que se desglosa la puntuación obtenida en cada uno de los criterios. En otras Administraciones Públicas la información de las mesas de contratación es privada y confidencial, si se desea consultar la información se debe solicitar por escrito y esperar respuesta, si la hay.

Con el fin de salvar las carencias que presenta el método actual de ponderación de criterios y selección de ofertas competitivas, se propone el empleo del Proceso Analítico Jerárquico, que por sus características y metodología, parece adecuado para la aplicación en la ponderación de criterios y la selección de ofertas competitivas. Tras aplicarlo el método Analítico Jerárquico en el “estudio de caso”, se puede afirmar que:

- Identificados el objetivo, los criterios, subcriterios y las alternativas, permite estructurar el problema visualmente a través de una jerarquía.
- Se han podido valorar todos los criterios y subcriterios (tanto cualitativos como cuantitativos) con la misma escala de valores (escala de preferencias de Saaty).
- El peso de los criterios, subcriterios y alternativas se han obtenido, aplicando el método Analítico Jerárquico, con la aplicación informática propuesta en esta tesina.
- La prioridad establecida para los criterios y subcriterios, está justificada con las valoraciones emitidas al realizar las comparaciones pareadas. No se establecen los pesos de manera arbitraria, que es lo que sucede en el método actual. El peso obtenido, es fruto de las preferencias establecidas al realizar las comparaciones de los criterios respecto al objetivo y de los subcriterios respecto al criterio con que se comparan.
- Lo mismo ocurre con el peso de las distintas alternativas. Se determina mediante juicios de valor que expresan la preferencia que cada alternativa tiene al compararla con el resto de alternativas en función de un determinado criterio o subcriterio. De esta forma queda justificada la prioridad que obtienen las alternativas.
- Los resultados obtenidos, quedan justificados gracias a la Razón de Consistencia, que indica si las comparaciones realizadas entre los distintos criterios, subcriterios y alternativas son coherentes ($CR \leq 0,1$) o si no son coherentes ($CR > 0,1$). En el caso de no ser coherentes, hay que revisar las valoraciones emitidas.
- Hay total transparencia en la determinación del peso de los criterios y subcriterios y alternativas. Se puede consultar la aplicación informática y ver las preferencias emitidas en cada una de las comparaciones. Y cómo se obtienen las prioridades.
- Las prioridades se pueden establecer teniendo en cuenta el criterio y opinión de más de una persona, como se refleja en la aplicación informática. En este caso las valoraciones se han establecido según mi criterio.
- Se ha obtenido el mismo orden en la preferencia de los criterios, subcriterios y alternativas, debido a que los juicios de valor en las comparaciones, se han emitido respetando la prioridad que reflejaban las puntuaciones aleatorias establecidas en el pliego de prescripciones técnicas (criterios y subcriterios) y en la simulación de la ponderación las ofertas.

Tras estas afirmaciones, se puede concluir que la metodología de Análisis Jerárquico es apropiada para la ponderación de criterios y la selección de ofertas competitivas, ya que se demuestra que salva las carencias presentes en el método actual.

Además de la aplicación objeto de estudio, se ha aplicado el Proceso Analítico Jerárquico, en el trabajo de Tomás Ortolá, con la finalidad de comprobar si los juicios emitidos, basados en una escala de valores diferente (Escala Linkert), eran consistentes y los resultados adecuados. **Con esta aplicación se ha demostrado las posibilidades que ofrece el método de Análisis Jerárquico, para su aplicación en otros campos relacionados con la edificación.**

6.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El estudio de las características y la metodología del Proceso Analítico Jerárquico, ha permitido descubrir las posibilidades que ofrece, para aplicarlo a la resolución de problemas y la toma de decisiones relacionadas con la edificación. Es por ello que se proponen las siguientes líneas de investigación:

- Realización de tasaciones de bienes inmuebles empleando el Proceso Analítico Jerárquico. Posibilidades que ofrece esta metodología respecto los métodos tradicionales de valoración de bienes inmuebles.
- Determinación de los criterios necesarios para el estudio adecuado de los proveedores (materiales, subcontratas), ponderación de los criterios y elección del proveedor más adecuado.
- Determinación de la mejor situación de una edificación, empleando el Proceso Analítico Jerárquico
- Estudio y comparación de oportunidades de negocio en la selección de inversiones, empleando el Proceso Analítico Jerárquico.
- Comparación de inmuebles según las características identificadas por los futuros usuarios.
- Selección y distribución de recursos humanos en proyectos de construcción, empleando el Proceso Analítico Jerárquico.
- Determinación de los parámetros a tener en cuenta, para la elección de la solución constructiva más adecuada.

BIBLIOGRAFÍA

A. Berumen, Sergio, y Francisco Llamazares Redondo. «La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente.» *Cuadernos de Administración* (Pontificia Universidad Javeriana) 20, nº 034 (julio-diciembre 2007): 65-78.

Alvarez Alonso, M., A. Arquedo Hidalgo, y E. Martínez Izquierdo. «Empleo del AHP (Proceso Analítico Jerárquico) incorporado en sig para definir el emplazamiento óptimo de equipamientos universitarios. Aplicación a un abiblioteca.» *El acceso a información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*, 2011: 579-595.

Arquero, A., M. Álvarez, y E. Martínez. «Decision Management Making by AHP (Analytical Hierarchy Process) through GIS data.» *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS* 7, nº 1 (Marzo 2009): 101-106.

Arrow, K. J. *Social Choice and Individual Values*. New-York: Wiley, 1951.

Barabara-Romero, Sergio, y Jean-Charles Pomerol. *Decisiones Multicriterio. Fundamentos Teóricos y Utilización Práctica*. Madrid: Servicio de publicaciones de la U.A.H., 1997.

Caballero, Rafael, y Carlos Romero. «Teoría de la Decisión Multicriterio: Un Ejemplo de Revolución Científica Kuhniana.» *Artículos de Investigación Operativa*. 9-15.

Clemen, Robert T., y Terence Reilly. *Making Hard Decisions with DecisionTools*. South-Western College, 2004.

Condorcet, Caritat de. «Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix.» 1875.

Costa, Bana e, y Vansnick. «The MACBETH Approach.» 1994.

Deng, Hepu. «Multicriteria Analysis with Fuzzy Pairwise Comparison.» *IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings*. Seoul, 1999. 726-731.

Diccionario Enciclopédico Vox 1. Larousse Editorial, S.L., 2009.

«DOCV. Num 5809/18.07.2008.» *Adjudicación. Enajenación de la parcela propiedad del Ayuntamiento de Buñol sita en Buñol, entre las calles de Ernesto Jiménez y Ruiz Pons, para la construcción de viviendas de protección pública. [2008/8684]*. 18 de Julio de 2008.

Fernández Barberis, Gabriela, y M^a del Carmen Escribano Ródenas. «La Ayuda a la Decisión Multicriterio: orígenes, evolución y situación actual.» Madrid.

Goepel, Klaus. «Business Performance Management.» 11 de Diciembre de 2012. <http://bpmmsg.com> (último acceso: 7 de Enero de 2013).

Gross, Manuel. www.manuelgross.blingo.com. 11 de Enero de 2010. <http://manuelgross.bligoo.com/content/view/700680/Breve-historia-de-las-formas-de-tomar-decisiones.html> (último acceso: Septiembre de 2012).

Hsieh, Ting-Ya, Shis-Tong Lu, y Gwo-Hshiung Tzeng. «Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection un public office buildings.» (ELSEVIER LTD and IPMA) Enero 2004: 573-574.

Keeney, Ralph. «Value-focused Thinking.» 1996.

Koopmans, Tjalling. *Analysis of production as an efficient combination of activities*. 1951.

Krantz. «Difference Standard Sequences.» 1991.

Lin, Chung.Chang, Wei-Ching Wang, y Wen-Der Yu. «Improving AHP for construction with an adaptative AHP approach (A3).» *ELSEVIER*, 2007: 180-187.

Martínez Jiménez, Luis, y Carmen De La Torre Cuesta. «Valoración de un proyecto utilizando el Proceso Jerárquico de Análisis.» Toledo: Área de Matemáticas. Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales. Universidad de Castilla - La Mancha.

Masud, Abu S. M., y A. Ravindran Ravi. «Multiple Criteria Decision Making.» En *Operations Research ang Management Science Handbook*, de A. Ravi Ravindran, 5-1-5-41. New York: CRC Press Taylor&Francis Group, 2008.

McCall, Raymond.

Miller, George a. «The Magical Number Seven Plus or Minus Two: Some Limits On Our Capacity For Processing Information.» *The Psychological Review*, 1956: 81-97.

Osorio Gómez, Juan Carlos, y Juan Pablo Orejuela Cabrera. «El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de Aplicación.» *Scientia et Tecnica* (Universidad Tecnológica de Pereira) 39 (Septiembre 2008): 247-252.

Pastor Ferrando, Juan Pascual. «Aplicación de las Técnicas AHP y ANP, de análisis multicriterio de decisiones, a la selección y ponderación de criterios en las adjudicaciones de los contratos públicos de obra.» Universitat Politècnica de Valencia, Febrero de 2007.

Saaty, Thoma L. *Toma De Decisiones Para Líderes:El proceso analítico jerárquico la toma de decisiones en un mundo complejo*. Pittsburgh: RWS Publications, 1997.

Saaty, Thomas L. «Como Analizar y Estructurar Jerarquías.» En *Toma de Decisiones Para Líderes. El Proceso Analítico Jerárquico en la Toma de Decisiones en un Mundo Complejo*, 43-51. Pittsburgh: RWS Publications, 1997.

Saaty, Thomas L. «Como establecer prioridades: Como calcular prioridades usando un método de aproximación.» En *Toma De Decisiones Para Líderes: El proceso analítico jerárquico la toma de decisiones en un mundo complejo*, de Thomas L. Saaty, 105-113. Pittsburgh: RWS Plublica, 1997.

Saaty, Thomas L. «Como establecer prioridades: como establecer prioridades usando el método exacto.» En *Toma De Decisiones Para Líderes: El proceso analítico jerárquico la toma de decisiones en un mundo complejo*, de Thomas L. Saaty, 113-116. Pittsburgh: RWS Publications, 1997.

—. «The Eigenvalue approach.» *The Eigenvalue approach*. 1969.

Saaty, Thomas L. «Toma de Decisiones Para Líderes: El proceso analítico jerárquico la toma de decisiones en un mundo complejo.» 121. Pittsburg: RWS Publication, 1997.

—. *Toma de Decisiones Para Líderes: El proceso analítico jerárquico la toma de decisiones en un mundo complejo*. Pittsburgh: RWS Publications, 1997.

Saaty, Tomas L. *Multicriteria decision Making:The Analytic Hierechy Process*. New York: McGraw Hill, 1980.

Sánchez López, Ramiro A. «El Análisis Multicriterio en la Práctica.» Julio de 2010. <http://analisismulticriterio.blogspot.com.es/> (último acceso: Julio de 2012).

Tongerson. «Bisection Method.» 1958.

Toskano Hurtado, Gérar Bruno. «El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) como Herramienta en la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores: Aplicación en la Selección del Proveedor para la Empresa Gráfica MYE S.R.L.» LIMA, 2005.

Von Neumann, John, y Oskar Morgentern. *Theory of Games and Economic Behavior*. 1944.

Wenfa, HU, YAO Wei, y ZHOU Ming. «Comprehensive Evaluation on Performance of Existing Residential Buildings Based on Fuzzy and Anañytic Hierarchy Process.» 2009.

wikipedia. 2012. <http://es.wikipedia.org/w/index.php?oldid=60055158> (último acceso: 1 de Octubre de 2012).

wikipedia. 2011. <http://es.wikipedia.org/w/index.php?oldid=60092258> (último acceso: 1 de Octubre de 2012).

wikipedia. 31 de Diciembre de 2006. <http://es.wikipedia.org/w/index.php?oldid=58756575> (último acceso: 22 de Septiembre de 2012).

Wikipedia. 2012. (último acceso: Septiembre de 2012).

Wikipedia. 2012. (último acceso: Septiembre de 2012).

Wikipedia. 2012. (último acceso: Septiembre de 2012).

Wikipedia. 28 de Noviembre de 2012. <http://es.wikipedia.org> (último acceso: 27 de Febrero de 2013).

Winterfeldt, y Edwards. «Direct Rating; Curve Fitting.» 1986.

www.expertchoice.com. *www.expertchoice.com* (último acceso: 18 de Enero de 2013).

www.mcdmsociety.org. (último acceso: Octubre de 2012).

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. PROCESO DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS.....	10
Figura 2. ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
Figura 3. ANÁLISIS DEL PROBLEMA	11
Figura 4: FASES DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO	26
Figura 5. JERARQUÍA.....	27
Figura 6. JERARQUÍA COMPLETA DE 4 NIVELES	28
Figura 7. JERARQUÍA INCOMPLETA DE 4 NIVELES	29
Figura 8. MATRIZ DE COMPARACIONES PAREADAS	32
Figura 9. MATRIZ DE COMPARACIONES PAREADAS. JUCIOS RECÍPROCOS	32
Figura 10. SUMATORIO DE LOS ELEMENMTOS DE CADA UNA DE LAS COLUMNAS.....	33
Figura 11. MÁTRIZ DE COMPARACIONES PAREADAS NORMALIZADA.....	34
Figura 12. DETERMINACIÓN DE LAS PRIORIDADES.....	34
Figura 13. OBTENCIÓN DE PRIORIDADES RELATIVAS Y GENERALES.....	35
Figura 14. DETERMINACIÓN DE LAS PRIORIDADES DE LAS ALTERNATIVAS.....	35
Figura 15. PRIORIDAD TOTAL DE LAS ALTERNATIVAS.....	36
Figura 16. RECIPROCIDAD MATRIZ CONSISTENTE	37
Figura 17. MATRIZ NORMALIZADA TOTALMENTE CONSISTENTE.....	38
Figura 18. OBTENCIÓN DE LAMBDA MÁX.....	38
Figura 19. ORGANIZACIÓN JERÁRQUICA DEL PROBLEMA. JERARQUÍA INCOMPLETA	50
Figura 20. HOJA DE CÁLCULO 1 (GOEPEL): SUMMARY	55
Figura 21. HOJA DE CÁLCULO 2 A 8 (GOEPEL): INPUT 1 A INPUT7	56
Figura 22. HOJA DE CÁLCULO 9 (GOEPEL): MULTINP	57
Figura 23. HOJA DE CÁLCULO 10 (GOEPEL): CÁLCULO DE PRIORIDADES EMPLEANDO EL MÉTODO EXCATO.....	58
Figura 24. ORGANIZACIÓN JERÁRQUICA ESTUDIO DE CASO. JERARQUÍA INCOMPLETA	63
Figura 25. PRIORIDAD CRITERIOS.....	64
Figura 26. PRIORIDAD GENERAL SUBCRITERIOS	65
Figura 27. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ CRITERIO 1	68
Figura 28. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ CRITERIO 2	69
Figura 29. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ CRITERIO 3	70
Figura 30. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ CRITERIO 4	71
Figura 31. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ SUBCRITERIO 5.1	72
Figura 32. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ SUBCRITERIO 5.2	73
Figura 33. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ SUBCRITERIO 5.3	74
Figura 34. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ CRITERIO 6	75
Figura 35. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ CRITERIO 7	76
Figura 36. PRIORIDAD GENERAL ALTERNATIVAS/ CRITERIO 8	77

Figura 37. PRIORIDAD TOTAL DE LAS ALTERNATIVAS	78
--	----

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 1. COMPARACIONES NECESARIAS PARA RELLENAR UNA MATRIZ	33
Fórmula 2. RAZÓN DE CONSISTENCIA.....	37
Fórmula 3. ÍNDICE DE CONSISTENCIA	39
Fórmula 4. ÍNDICE DE CONSISTENCIA ALEATORIA	40

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. VALORES FÓRMULA 4 VS VALORES LA TABLA 2	40
Gráfico 2. VALORES FÓRMULA 4 VS VALORES LA TABLA 3	41
Gráfico 3. VALORES FÓRMULA 4 VS VALORES LA TABLA 4	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. ESCALA FUNDAMENTAL PARA COMPARACIONES POR PARES DE SAATY (T. L. Saaty 1997).....	31
Tabla 2. ÍNDICE DE CONSISTENCIA ALEATORIO (T. L. Saaty 1997).....	39
Tabla 3. ÍNDICE DE CONSISTENCIA ALEATORIO (Toskano Hurtado 2005)	39
Tabla 4. ÍNDICE DE CONSISTENCIA ALEATORIO (Masud y Ravi 2008)	39
Tabla 5. SIMULACIÓN PONDERACIÓN DE OFERTAS.....	61
Tabla 6. ORDENACIÓN CRITERIOS Y SUBCRITERIOS EN FUNCIÓN DE SU PRIORIDAD	66
Tabla 7. ORDENACIÓN CRITERIOS Y SUBCRITERIOS EN FUNCIÓN DE SU PRIORIDAD, OBNTENIDA MEDIANTE AHP Y PONDERACIÓN CLÁSICA	66
Tabla 8. ORDENACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE MAYOR A MENOR PRIORIDAD TOTAL	79
Tabla 9. ORDENACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS EN FUNCIÓN DE LA PRIORIDAD OBTENIDA MEDIANTE AHP Y PONDERACIÓN CLÁSICA	79
Tabla 10. PRIORIDAD DE LOS CRITERIOS Y SUBCRITERIOS EN LOS 5 MODELOS DE PRODUCCIÓN	81
Tabla 11. PRIORIDAD DE LOS CRITERIOS Y SUBCRITERIOS DEL MODELOS CANÓNICO	82
Tabla 12. PRIORIDAD TOTAL DE LOS 5 MODELOS DE PRODUCCIÓN (ALTERNATIVAS)	82

