

01-019

## **PROPOSAL OF A METHOD FOR THE SELECTION OF ENERGY SAVING PROJECTS PORTFOLIO IN HOSPITALS BASED ON AHP**

Aragonés Beltrán, Pablo; Chaparro González, Fidel Vicente; Carrillo Gallego,  
Francisco Javier

Universitat Politècnica de València

Comfort conditions and activities that appears in hospitals are much stricter than those which are possible to find in other kind of buildings, involving higher quality standards and an intensive use of different facilities. From an economic point of view, saving energy measures that are proposed for hospitals can be divided in two big groups: those which pretend to renew traditional systems (heating installations, air conditioning systems, electric transformers, ...) and those whose aim is to save energy and implant renewable energy systems (facilities automatic management, combined heat and power systems, variable frequency drivers, PV and thermal power, building's thermal envelope renewal, ...). Many saving energy measures that are proposed require high economic investments and entail benefits and risk that hospitals managers must take into account in order to prioritize the measures with respect to multiple criteria. This report proposes the AHP (Analytic Hierarchy Process) as a useful tool for this managers in order to help them to take the decision in systematic and methodological way.

**Keywords:** *Saving energy measures; Project portfolio selection; AHP; Multicriteria decision analysis*

## **PROCESO DE SELECCIÓN DE CARTERA DE PROYECTOS DE AHORRO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS HOSPITALARIOS BASADO EN EL MÉTODO AHP**

Las condiciones de confort y actividades que se realizan en los edificios de uso hospitalario son más exigentes que en otros edificios, requiriendo unos altísimos estándares de calidad, y un uso continuo de las instalaciones. Desde un punto de vista técnico, las medidas de ahorro energético (MAEs) que se proponen para los hospitales se pueden agrupar en dos grandes bloques: las orientadas a la mejora y renovación de las instalaciones del edificio (sustitución de enfriadoras, de luminarias, renovación de transformadores, ...) y las orientadas a la mejora de la eficiencia energética e implantación de sistemas de energía renovable (automatización de la gestión de las instalaciones, trigeneración, instalación de variaciones de frecuencia, instalaciones solares, mejora de la envolvente térmica, ...) Muchas de las MAEs que se proponen precisan fuertes inversiones y tienen beneficios y riesgos que hacen que los gerentes y responsables técnicos tengan que establecer una prioridad entre las MAEs, teniendo en cuenta múltiples criterios. Este trabajo se propone la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para ayudar a estos responsables a tomar una decisión de modo más sistemático y trazable.

**Palabras clave:** *Medidas de ahorro energético; Selección de cartera de proyectos; AHP; Análisis Multicriterio de decisiones*

Correspondencia: Pablo Aragonés Beltrán aragones@dpi.upv.es

## 1. Introducción

La Unión Europea, a través de la Directiva Europea 2012/27/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2012 (que modifica a las 2009/125/CE y 2010/30/UE) expresa su preocupación por la *“creciente dependencia de las importaciones energéticas y la escasez de recursos energéticos, así como la necesidad de limitar el cambio climático y superar la crisis económica.”* Esta Directiva apuesta por la eficiencia energética como uno de los medios para mejorar el abastecimiento y reducir el consumo de energía primaria y las importaciones en la UE, y para contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las políticas de eficiencia energética deben ir centradas en aquellos sectores que hagan un uso intensivo de la energía para obtener de esta forma los mayores ahorros en los consumos energéticos y emisiones. En este sentido, el sector de los edificios supone actualmente el 40% del consumo de energía final de la Unión Europea (Unión Europea, 2010) y, junto con el sector del transporte, constituye el foco principal de actuación de las políticas de eficiencia energética.

La UE dispone actualmente de 24 millones de metros cuadrados edificadas a lo largo de diferentes tipologías de edificios, y el 65% de dicha cantidad es aportado por los países más poblados de la UE, lo que supone un consumo total de 450 millones de TEP (Toneladas Equivalentes de Petróleo) anuales experimentando una evolución alcista del 0,6% anual. Aunque tan sólo un 25% del suelo edificado es destinado a un fin no residencial privado (comercios, hoteles, hospitales, escuelas u oficinas), éstos serán los que requieran en torno al 50% del total de inversiones en eficiencia energética en edificios, debido a que los edificios del sector servicios consumen una mayor cantidad de energía específica para fines de climatización e iluminación en comparación con los edificios residenciales (AIE, 2014).

Los hospitales europeos abarcan el 7% de la superficie total de edificios no residenciales y el 10% del consumo energético de este tipo edificios en la UE, por lo que la aplicación de medidas de eficiencia energética en los centros hospitalarios supondría un ahorro energético y económico significativo dentro del conjunto de edificios del sector servicios. Además, esta tipología de centros presenta una serie de características propias que los hacen idóneos para la aplicación de proyectos de ahorro energético: son consumidores de grandes cantidades de distintos tipos de energía (electricidad, combustibles fósiles, agua), sus consumos son relativamente estables en el tiempo pues presentan unos niveles de ocupación muy altos y están operativos todas las horas del día durante los 365 días del año, en ellos existen instalaciones centralizadas de climatización y además sus consumos siguen una tendencia alcista debido, principalmente, a que los servicios y confort demandados son cada vez mayores y a que el uso de equipos de electro-medicina va en aumento (Carrillo, 2014).

Los proyectos de eficiencia energética en grandes edificios han tenido un gran impulso en España a lo largo de la última década, motivados por una parte por la obligatoriedad de cumplimiento el CTE (Código Técnico de la Edificación) y del RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios), que emanan de los documentos legislativos correspondientes como la Orden Ministerial FOM/1635/2013 (España, 2013), el Real Decreto 235/2013 (España, 2013) o el Real Decreto 238/2013 (España, 2013), y los cuales imponen nuevos requisitos de eficiencia energética y de uso de energías renovables en edificios, así como la obligatoriedad de emitir un certificado que califique energéticamente cada edificio.

Los hospitales españoles consumieron en el año 2013 y de forma agregada más de 17 millones de kWh de energía eléctrica y alrededor de 500 mil toneladas equivalentes de

petróleo de energía térmica, lo que supone el 20% del consumo energético de los edificios del sector servicios nacional (IDAE, 2013). Por esta razón, las medidas de ahorro energético en hospitales pueden resultar eficaces y reducir un gasto que se podría reinvertir en la mejora de la calidad de la asistencia sanitaria, aportando beneficios sociales, económicos y medioambientales.

## 2. Objetivo

Aunque los proyectos de ahorro y eficiencia energética en grandes edificios como centros hospitalarios presentan un carácter novedoso en nuestro país, no lo son tanto en otros países del entorno europeo como Inglaterra, Suecia o Alemania, donde se vienen implementando desde hace ya más de dos décadas con resultados positivos. No obstante, los métodos y criterios empleados para la selección de los proyectos respondían originalmente de manera casi única a aspectos económicos (CADDET, 1997). De hecho, los modelos de decisión utilizados para la selección de los proyectos de eficiencia y rehabilitación energética en edificios, cuando estos comenzaron a cobrar protagonismo, eran bastante sencillos y no utilizaban métodos de decisión multicriterio para su resolución.

Para que los proyectos de eficiencia energética ofrezcan todo su potencial estos deben ser implantados de manera programada y organizada bajo la línea de actuación de un plan director que permita la obtención de los beneficios originalmente buscados y garantice su viabilidad financiera, pues la aplicación de este tipo de proyectos a complejos hospitalarios obliga a tener en cuenta una gran variedad de factores y comprometen un gran volumen de inversión económica.

La selección de los proyectos a implantar y el orden en el que estos deben ser ejecutados, constituye un problema de decisión complejo para los Gerentes y responsables técnicos de los centros hospitalarios, siendo por ello necesario el diseño de una herramienta rigurosa de ayuda a la decisión que permita a dichos decisores establecer una prioridad en la cartera de proyectos y que además sea capaz de contemplar aspectos más allá de los puramente económicos.

El presente trabajo tiene como principal objetivo *“el diseño de un método de ayuda a la decisión que permita a la Gerencia de un centro hospitalario establecer una prioridad entre los diferentes proyectos de ahorro energético que puedan ser propuestos para su ejecución en el edificio y con horizonte temporal determinado”*.

Para alcanzar tal objetivo se propone un análisis de los riesgos, costes, beneficios y oportunidades inherentes a cada uno de los proyectos, no sólo desde un punto de vista económico o técnico, sino también teniendo en cuenta otro tipo de factores que afectan muy directamente a su viabilidad. De esta forma, el método de ayuda a la decisión se convierte en una herramienta multicriterio que tiene en cuenta numerosos aspectos relativos al grupo de Medidas de Ahorro Energético (MAEs) que constituyen el conjunto de elección.

Para el desarrollo del método de decisión, objetivo de este trabajo, y su posterior aplicación a un centro hospitalario que constituya el caso de estudio, se hace uso de una de las técnicas de análisis multicriterio más conocidas actualmente, el Proceso Analítico Jerárquico según sus siglas en inglés AHP (Analytic Hierarchy Process) según sus siglas en inglés (Saaty, 1980). Dicha técnica presenta unos sólidos fundamentos teóricos corroborados con la experiencia práctica derivada de numerosos casos de estudio (Saaty, 2005, cap. 9), por lo que la utilización del método de decisión buscado dota a los responsables de la decisión de una herramienta rigurosa que les ayudaría a seleccionar las MAEs que deberían ser implantadas teniendo en cuenta múltiples criterios así como justificar sus decisiones ante los superiores jerárquicos y la Sociedad en general.

El método de decisión elaborado ofrece, tras su aplicación al caso de estudio, una lista de MAEs ordenadas en función de la prioridad con la que deberían ser implantadas, siendo las más idóneas aquellas que supongan mayores beneficios y oportunidades, y comprometan menores costes y riesgos.

La solución al problema que se aborda en el presente trabajo supone una herramienta útil para la toma de decisiones sobre la priorización de la implantación de proyectos de ahorro energético en centros hospitalarios, mientras que la búsqueda de dicha solución constituye una oportunidad para la investigación en la aplicación de los Métodos de Decisión Multicriterio a problemas de decisión reales y complejos, y más concretamente a problemas de decisión relativos a proyectos de eficiencia energética en grandes edificaciones.

### **3. Metodología aplicada al caso de estudio**

#### **3.1. Breve descripción del método AHP**

El AHP es un conocido método de toma de decisiones multicriterio, propuesto por Th Saaty en 1980 (Saaty, 1980). Según su autor, el método constituye una teoría de la medida relativa de criterios intangibles para el análisis de decisiones. Se basa en la descomposición del problema de decisión en varios niveles de tal modo que se establece una jerarquía con relaciones unidireccionales entre cada uno de los niveles. El nivel más alto de la jerarquía está formado por el objetivo del problema. En el siguiente nivel se sitúan los criterios, tangibles e intangibles, y subcriterios, en base a los cuales se valorarán las alternativas, las cuales forman el nivel más bajo de la jerarquía. AHP utiliza comparaciones pareadas para asignar pesos a los elementos de cada nivel, midiendo su importancia relativa mediante la escala 1-9 de Saaty y finalmente calcula la prioridad global correspondiente a los elementos del último nivel que son las alternativas del proceso de decisión (Saaty,2008). El método también calcula un ratio de consistencia asociado a cada matriz de comparaciones pareadas para verificar la coherencia del DM. AHP está reconocido actualmente como una de las técnicas de ayuda a la toma de decisiones multicriterio discretas más utilizadas (Wallenius et al. 2008)

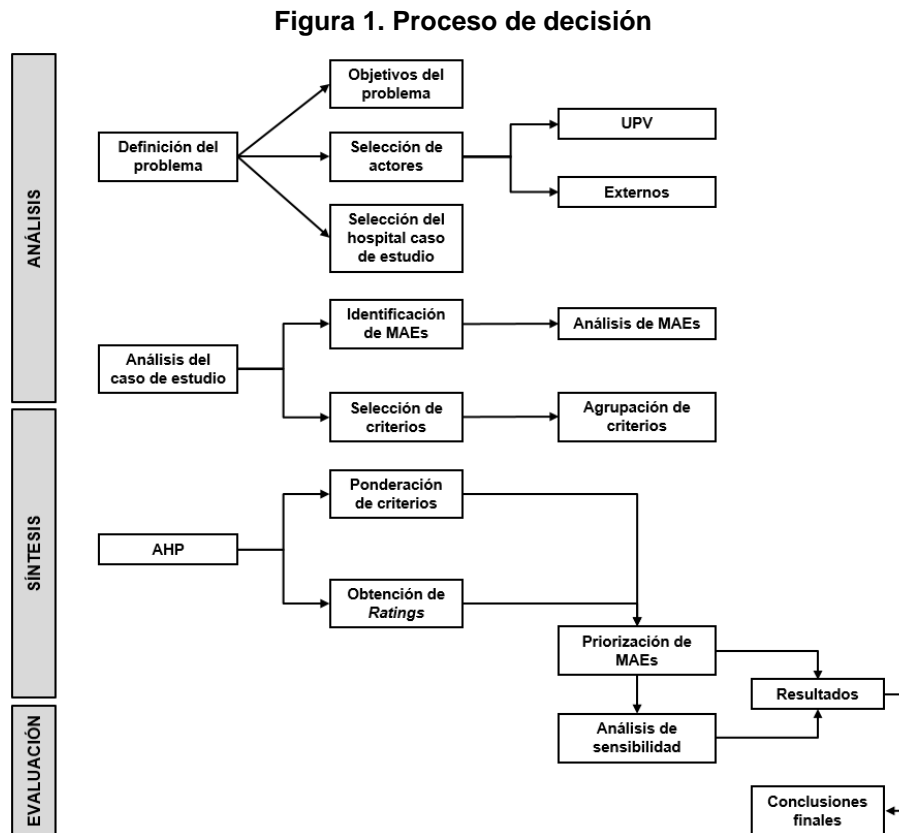
#### **3.2. Definición del problema**

La subjetividad es inherente a cualquier proceso de toma de decisiones (Belton y Stewart, 2002), (Saaty y Peniwati, 2008), por ello es esencial identificar a la persona o grupo de personas responsables de la decisión. En este trabajo el proceso se desarrolla con la ayuda del grupo de analistas, miembros de la Universitat Politècnica de València (UPV), autores de este trabajo, que actuarán como facilitadores del proceso y el grupo de decisores, formado por miembros del Instituto de Ingeniería Energética de la UPV y también por el Director Técnico de un complejo hospitalario con gran experiencia en el desarrollo e implantación de proyectos de ahorro energético en hospitales.

Para este trabajo y por razones de confidencialidad, no se especifica el hospital que se ha tomado como referencia, pero sí se exponen las medidas de ahorro energético que estaban en cartera en el momento de realizar el análisis. El hospital seleccionado se sitúa en una de las Comunidades Autónomas del corredor mediterráneo y está integrado en la red de hospitales de la Seguridad Social. Dicho hospital tiene más de veinte años de vida y supone un gran potencial de ahorro energético y, por tanto, de implantación de MAEs. Está constituido por varios edificios comunicados, con una superficie de más de 30.000 metros cuadrados, y que cubre la asistencia sanitaria de unos 200.000 habitantes. Además cuenta con una dotación de cerca de 300 camas y, dado el carácter general de los servicios que presta, cuenta con un gran número de equipos de electro-medicina como unidades de TAC (Tomografía Axial Computarizada), mamógrafos, ecógrafos, etc.

### 3.3. Proceso de decisión

El proceso de toma de decisiones ha seguido las etapas del método AHP, adaptado al caso de estudio, que se muestran en la Figura 1.



### 3.4. Identificación y análisis de alternativas

El grupo de alternativas que componen el conjunto de elección está constituido por las diferentes MAEs que son susceptibles de ser implantadas en el hospital que constituye el caso de estudio. A continuación se describen brevemente cada una de las MAEs:

- MAE 1-Sustitución de las enfriadoras actuales por enfriadoras condensadas por agua de alta eficiencia con tecnología *inverter*.
- MAE 2-Sustitución de las calderas de gasóleo por calderas de gas natural con quemador modulante y recuperadores de calor de humos.
- MAE 3-Sustitución de la tecnología de iluminación interior actual, basada principalmente en lámparas de fluorescencia y halógenas, por iluminación de tecnología LED.
- MAE 4-Sustitución de la tecnología de iluminación exterior actual, basada ésta lámparas de fluorescencia, vapor de sodio y halogenuros metálicos, por tecnología moderna de inducción magnética y LED.
- MAE 5-Sustitución del grupo de transformadores actuales por transformadores de alta eficiencia.
- MAE 6-Instalación de variadores de frecuencia en elementos del circuito secundario de climatización.
- MAE 7-Instalaciones de láminas anti-solares en las ventanas y otro tipo de huecos del edificio.

- MAE 8-Instalación de variadores de frecuencia y sonda de calidad de aire en las Unidades de Tratamiento de Aire.
- MAE 9-Instalación de una central de trigeneración en autoconsumo.
- MAE 10-Instalación de paneles solares fotovoltaicos para autoconsumo.
- MAE 11- Instalación solar térmica para la producción de ACS (Agua Caliente Sanitaria).

### **3.5. Selección, agrupación y ponderación de criterios**

Tras las dos primeras reuniones con el equipo decisor se consideró seguir un enfoque basado en criterios de *Riesgos, Costes, Beneficios y Oportunidades*, los cuales deben ser comparados en una matriz de comparación pareada y ponderados para la obtención de sus pesos en el modelo de decisión. Estos cuatro grupos principales pueden ser considerados como los criterios del primer nivel jerárquico del modelo.

El siguiente paso fue realizar agrupaciones de segundo nivel y tercer nivel dentro de cada grupo principal. A continuación se describen los criterios que se utilizaron para la posterior evaluación de las alternativas.

#### **3.5.1. Criterios del grupo Riesgos**

##### **C1.1 Económicos**

C1.1.1 Precio del dinero. Riesgo de que se produzca una subida en los tipos de interés afectando por tanto a la rentabilidad de la inversión y al periodo de retorno de la misma

C1.1.2 IPC. Influencia de la tasa de influencia en el retorno de la inversión. Pretende evaluar el riesgo de que un aumento en la tasa de inflación general disminuya la rentabilidad de la inversión.

C1.1.3 Precio de la energía. Riesgo de que se produzcan reducciones significativas en el precio de la energía o combustible que consumen las instalaciones que conforman la MAE.

##### **C1.2 Energéticos**

C1.2.1 Demanda energética. Riesgo de que se produzca una disminución del consumo energético, ya sea por la disminución de la asistencia médica, por el cambio en las especialidades médicas, por el aumento de la eficiencia de los equipos de electro-medicina.

##### **C1.3 Legales**

C1.3.1 Legislación de apoyo a las energías renovables. Se pretende evaluar el riesgo de que se produzca una reducción del apoyo a las energías renovables que afecte a la política de primas o a su marco regulatorio, ya sea a nivel nacional o europeo.

C1.3.2 Legislación de apoyo a la eficiencia energética. Evaluación del riesgo de que se produzca una reducción significativa en la legislación y marco regulatorio de las políticas de apoyo a la eficiencia energética, ya sea a nivel nacional o europeo.

C1.3.3 Legislación medioambiental. Riesgo de que se produzca una reducción de las políticas de conservación medioambiental, ya sea a nivel nacional o europeo.

#### C1.4 Tecnológicos

C1.4.1 Dificultad de implementación de la MAE. Pretende evaluar el grado de dificultad para implementar la MAE, ya sea por la complejidad de la ejecución, porque conlleve la suspensión de algún servicio médico, etc.

C1.4.2. Evaluación prematura de la tecnología. Riesgo de que la tecnología se desarrolle más rápidamente de lo esperado y aparezcan nuevos equipos con un mayor rendimiento energético, dejando obsoletas las instalaciones que constituyen la MAE.

C1.4.3 Fiabilidad de las instalaciones. Pretende evaluar la fiabilidad de las instalaciones que constituyen la MAE en función de la frecuencia de averías y su consiguiente interrupción del servicio.

#### 3.5.2. Criterios del grupo Costes

C2.1 Costes de inversión. Referido a los costes de diseño, ejecución y financiación necesarios para la implantación de MAE.

C2.2 Costes de operación y mano de obra. Costes derivados del funcionamiento de las instalaciones y de la mano de obra que las operan.

C2.3. Costes de mantenimiento. Costes derivados del correcto mantenimiento de las instalaciones que constituyen la MAE.

#### 3.5.3. Criterios del grupo de Beneficios

##### C3.1 Medioambientales

C3.1.1 Reducción de las emisiones contaminantes. Grado de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y otras emisiones gaseosas potencialmente peligrosas para el medioambiente, derivado de la implantación de la MAE.

C3.1.2 Reducción de residuos. Grado de reducción de los residuos sólidos o líquidos, derivado de la implantación de la MAE.

##### C3.2 Rentabilidad económica

C3.2.1 TIR. Evalúa la idoneidad de la Tasa Interna de Retorno de la MAE a implantar.

C3.2.2 Payback. Idoneidad del valor del Payback (tiempo de retorno de la inversión).

C3.2.3 VAN. Idoneidad del Valor Actual Neto derivado de la implantación de la MAE.

#### 3.5.4. Criterios del grupo de Oportunidades

C4.1 Existencia de subvenciones para la implantación de la MAE.

C4.2 Grado de experiencia y conocimiento. Grado de conocimiento de la tecnología de la MAE así como experiencia previa en el uso de dichas tecnologías por parte del personal del hospital encargado de su operación y mantenimiento.

C4.3 Reducción del consumo energético. Potencial directo de reducción del consumo energético por parte del hospital que aporta la implantación de la MAE, en función del tipo de energía y cantidad consumida de la misma.

C4.4 Sinergia con otras instalaciones o MAEs. Pretende evaluar el grado de sinergias positivas que podrían surgir con otras instalaciones gracias a la implementación de la MAE.

#### 3.6. Resultados de la ponderación

En la Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4, se presentan los resultados de la ponderación de los diferentes criterios que participan en el modelo de decisión, siendo el peso global de

cada uno de ellos el que determina el grado de influencia del criterio sobre el *goal*, es decir, sobre la priorización de las MAEs.

**Tabla 1. Ponderación de criterios del grupo de Riesgos.**

	Criterio	Código	Peso Local	Peso local del SUBGRUPO	Peso GRUPO	PESO GLOBAL
<b>ECONÓMICOS</b>	Precio del dinero	C1.1.1	18,3 %	28,8 %		2,7 %
	IPC	C1.1.2	7,5 %			1,1 %
	Precio de la energía	C1.1.3	74,2 %			10,9 %
<b>ENERGÉTICOS</b>	Demanda energética	C1.2.1	100 %	6,4 %	51,3 %	3,3 %
<b>LEGALES</b>	Legislación energías renovables	C1.3.1	20 %	54,8 %		5,2 %
	Legislación eficiencia energética	C1.3.2	68,3 %			17,7 %
	Legislación medioambiental	C1.3.3	11,7 %			3 %
<b>TECNOLÓGICO</b>	Dificultad de implementación	C1.4.1	20 %	14,3 %		1,5 %
	Evolución prematura de la tecnología	C1.4.2	11,7 %			0,9 %
	Fiabilidad de las instalaciones	C1.4.3	68,3 %			5 %

**Tabla 2. Ponderación de criterios del grupo de Costes.**

Criterio	Código	Peso Local	Peso GRUPO	PESO GLOBAL
Costes de inversión	C2.1	68,3 %		17,3 %
Costes de operación y mano de obra	C2.2	11,7 %	25,3 %	3%
Costes de mantenimiento	C2.3	20 %		5,1 %



**Tabla 3. Ponderación de criterios del grupo Beneficios.**

	<b>Criterio</b>	<b>Código</b>	<b>Peso Local</b>	<b>Peso de cada subgrupo</b>	<b>Peso GRUPO</b>	<b>PESO GLOBAL</b>
<b>MEDIOAMBIENTALE</b>	Reducción de las emisiones contaminantes	C3.1.1	75 %	12,5 %		<b>1,7 %</b>
	Reducción de residuos	C3.1.2	25 %			<b>0,6 %</b>
<b>RENTABILIDAD</b>	TIR	C3.2.1	25,8 %	87,5 %	17,9 %	<b>4,1 %</b>
	Payback	C3.2.2	63,7 %		<b>10 %</b>	
	VAN	C3.2.3	10,5 %		<b>1,6 %</b>	

**Tabla 4. Ponderación de criterios del grupo de Oportunidades.**

	<b>Criterio</b>	<b>Código</b>	<b>Peso Local</b>	<b>Peso GRUPO</b>	<b>PESO GLOBAL</b>
	Existencia de subvenciones	C4.1	20,1 %	5,4 %	<b>1,1 %</b>
	Grado de experiencia y conocimiento	C4.2	10,3 %		<b>0,6 %</b>
	Reducción del consumo energético	C4.3	63 %		<b>3,4 %</b>
	Sinergias con otras instalaciones	C4.4	6,6 %		<b>0,4 %</b>

### 3.7. Valoración de las MAEs

En este trabajo el número de alternativas que se presenta es bastante numeroso (mayor de 7). En este caso Saaty sugiere la valoración de las alternativas mediante el uso de *Ratings*. Los ratings se utilizan para valorar cada una de las alternativas, independientemente del resto, en función de unas categorías definidas previamente para cada criterio y a las cuales se les debe de asignar una intensidad de preferencia. (por ejemplo: excelente, bueno, medio, malo y muy malo).

Las categorías se valoran mediante una matriz de comparación para obtener las prioridades de las mismas. Se usa el modo ideal. La idealización de las prioridades de las categorías

consiste en asignar el valor 1 a la categoría que mayor peso distributivo haya obtenido, y los valores proporcionales en tanto por uno al resto de categorías.

En este caso de estudio, se han diseñado tres categorías que servirán para la valoración de todas las alternativas con respecto a cada criterio:

- Nivel ALTO: La MAE satisface el criterio con el máximo nivel.
- Nivel MODERADO: La MAE satisface el criterio con un nivel medio.
- Nivel BAJO: La MAE satisface mínimamente el criterio.

Para la realización de los cálculos se ha utilizado el software *Super Decisions*. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

**Figura 2. Valoración de alternativas con respecto a criterios del grupo de Riesgos.**

	Priorities	Totals	C1.1.1 0.052623	C1.1.2 0.021630	C1.1.3 0.213376	C1.2.1 0.064471	C1.3.1 0.100869	C1.3.2 0.344968	C1.3.3 0.058989	C1.4.1 0.028588	C1.4.2 0.016718	C1.4.3 0.097769
MAE1	0.074332	0.551694	MODERADO	BAJO	ALTO	MODERADO	BAJO	MODERADO	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO
MAE2	0.076821	0.570167	MODERADO	BAJO	ALTO	ALTO	BAJO	MODERADO	BAJO	MODERADO	MODERADO	BAJO
MAE3	0.119234	0.804953	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO
MAE4	0.110369	0.819157	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO
MAE5	0.097121	0.720828	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
MAE6	0.107176	0.795463	MODERADO	BAJO	MODERADO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO	MODERADO
MAE7	0.134735	1.000000	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
MAE8	0.078137	0.579929	MODERADO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	BAJO	MODERADO	BAJO	MODERADO	MODERADO	MODERADO
MAE9	0.050039	0.371391	ALTO	BAJO	ALTO	ALTO	ALTO	MODERADO	MODERADO	ALTO	MODERADO	ALTO
MAE10	0.070726	0.524927	MODERADO	BAJO	ALTO	MODERADO	ALTO	MODERADO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO
MAE11	0.081311	0.603488	MODERADO	BAJO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO

**Figura 3. Valoración de alternativas con respecto a criterios del grupo de Costes.**

	Priorities	Totals	C2.1 0.683340	C2.2 0.116850	C2.3 0.199810
MAE1	0.041188	0.329165	ALTO	MODERADO	MODERADO
MAE2	0.061000	0.487495	ALTO	BAJO	BAJO
MAE3	0.082377	0.658330	MODERADO	BAJO	BAJO
MAE4	0.125130	1.000000	BAJO	BAJO	BAJO
MAE5	0.125130	1.000000	BAJO	BAJO	BAJO
MAE6	0.082377	0.658330	MODERADO	BAJO	BAJO
MAE7	0.082377	0.658330	MODERADO	BAJO	BAJO
MAE8	0.112629	0.900095	BAJO	BAJO	MODERADO
MAE9	0.037533	0.299952	ALTO	ALTO	MODERADO
MAE10	0.125130	1.000000	BAJO	BAJO	BAJO
MAE11	0.125130	1.000000	BAJO	BAJO	BAJO

**Figura 4. Valoración de alternativas con respecto a criterios del grupo de Beneficios.**

	Priorities	Totals	C3.1.1 0.093750	C3.1.2 0.031250	C3.2.1 0.225999	C3.2.2 0.557363	C3.2.3 0.091638
MAE1	0.070688	0.398666	MODERADO	BAJO	MODERADO	ALTO	ALTO
MAE2	0.073190	0.412778	MODERADO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO
MAE3	0.069035	0.389341	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO
MAE4	0.118448	0.668022	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
MAE5	0.132528	0.747431	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	MODERADO
MAE6	0.069035	0.389341	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO
MAE7	0.058408	0.329409	BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MODERADO
MAE8	0.118448	0.668022	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
MAE9	0.088656	0.500000	MODERADO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	MODERADO
MAE10	0.132528	0.747431	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	MODERADO
MAE11	0.069035	0.389341	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO

**Figura 5. Valoración de alternativas con respecto al grupo de Oportunidades.**

	Priorities	Totals	C4.1 0.201103	C4.2 0.103183	C4.3 0.629553	C4.4 0.066161
MAE1	0.152519	0.849828	MODERADO	ALTO	ALTO	BAJO
MAE2	0.087003	0.484775	BAJO	ALTO	MODERADO	BAJO
MAE3	0.087003	0.484775	BAJO	ALTO	MODERADO	BAJO
MAE4	0.087003	0.484775	BAJO	ALTO	MODERADO	BAJO
MAE5	0.087003	0.484775	BAJO	ALTO	MODERADO	BAJO
MAE6	0.087003	0.484775	BAJO	ALTO	MODERADO	BAJO
MAE7	0.061725	0.343928	BAJO	ALTO	BAJO	MODERADO
MAE8	0.058756	0.327387	BAJO	ALTO	BAJO	BAJO
MAE9	0.146228	0.814776	MODERADO	MODERADO	ALTO	MODERADO
MAE10	0.087003	0.484775	BAJO	ALTO	MODERADO	BAJO
MAE11	0.058756	0.327387	BAJO	ALTO	BAJO	BAJO

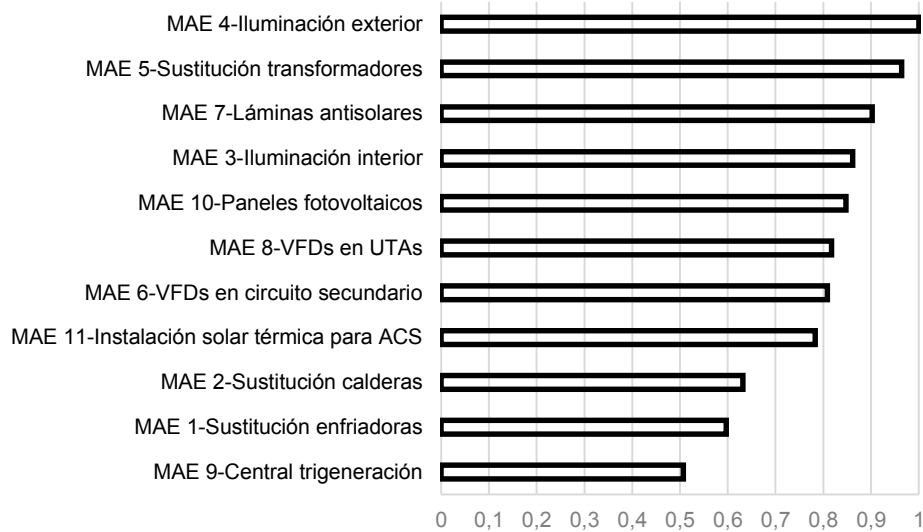
### 3.8. Resultados finales

Las prioridades de las alternativas con respecto a cada grupo principal de criterios (RCBO) así como con respecto a la priorización global se muestran en la siguiente tabla de forma idealizada, significando esto último que aquella alternativa que recibe una prioridad por valor de 1 es la más idónea.

**Tabla 6. Prioridades idealizadas de las MAEs.**

	Subred de RIESGOS	Subred de de COSTES	Subred de BENEFICIOS	Subred de OPORTUNIDADES	GLOBAL
<b>MAE 1-Sustitución enfriadoras</b>	0,551694	0,329165	0,533381	1	<b>0,597129</b>
<b>MAE 2-Sustitución calderas</b>	0,570167	0,487495	0,552262	0,57044	<b>0,631375</b>
<b>MAE 3-Iluminación interior</b>	0,884953	0,65833	0,520905	0,57044	<b>0,861538</b>
<b>MAE 4-Iluminación exterior</b>	0,819157	1	0,893757	0,57044	<b>1</b>
<b>MAE 5-Sustitución transformadores</b>	0,720829	1	1	0,57044	<b>0,963764</b>
<b>MAE 6-VFDs en circuito secundario</b>	0,795463	0,65833	0,520905	0,57044	<b>0,80847</b>
<b>MAE 7-Láminas antisolares</b>	1	0,65833	0,440722	0,404703	<b>0,902693</b>
<b>MAE 8-VFDs en UTAs</b>	0,579929	0,900095	0,893757	0,38524	<b>0,817261</b>
<b>MAE 9-Central trigeneración</b>	0,371391	0,299952	0,668958	0,958755	<b>0,507235</b>
<b>MAE 10-Paneles fotovoltaicos</b>	0,524927	1	1	0,57044	<b>0,847594</b>
<b>MAE 11-Instalación solar térmica para ACS</b>	0,603488	1	0,520905	0,38524	<b>0,783014</b>

**Figura 6. Prioridades ideales globales de las MAEs.**



#### 4. Conclusiones y desarrollos futuros

Mediante este trabajo se ha desarrollado una herramienta metodológica, basada en AHP, para priorizar las Medidas de Ahorro Energético propuestas para su implantación en grandes centros hospitalarios, constituyendo cada una de ellas un proyecto de ahorro y eficiencia energética que pretende ser ejecutado por la Gerencia del centro con un horizonte temporal determinado.

En el caso de estudio se observa que, según los expertos consultados, hay un grupo de cuatro criterios que son los que más peso tienen en relación con el resto y juntos suman casi el 47% de la importancia y que son: el riesgo de cambios en la legislación de eficiencia energética (C1.3.2), los costes de inversión (C2.1), el precio de la energía (C1.1.3) y el payback (C3.2.2). Respecto a las MAEs cabe concluir que se deberían implantar de modo prioritario la renovación del alumbrado exterior e interior, la sustitución de transformadores y la colocación de láminas antisolares en cerramientos acristalados.

Aunque la aplicación del método AHP no constituye una novedad científica, su aplicación en el campo de la gestión hospitalaria sí es una novedad. El análisis de los criterios de decisión y la propuesta de valoración de las alternativas puede suponer una ayuda eficaz, rigurosa y trazable para que los gerentes y responsables de las instalaciones técnicas de los hospitales puedan realizar un plan director de implantación de Medidas de Ahorro Energético.

Muchas medidas de este tipo no se implantan por la incertidumbre que tiene su viabilidad, tanto económica como técnica y por los riesgos que lleva su implantación. Este trabajo es una primera aproximación al problema. Durante su realización se ha comprobado que se puede mejorar el modelo teniendo en cuenta las interacciones e influencias cruzadas entre los elementos del sistema (criterios y alternativas). Por tanto queda mucho desarrollo futuro en esta investigación.

## 5. Referencias

- Agencia Internacional de la Energía (2014). *World Energy Investment Outlook 2014-Special Report*. Informe diseñado y dirigido por Fatih Birol, economista jefe de la Agencia Internacional de la Energía.
- Belton, V., & Stewart, T. J. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach* (p. 372). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- CADDET(1997). *Saving energy with Energy Efficiency in Hospitals*. Folleto.
- Carrillo, F. J. (2014). *Diseño de un método de evaluación y selección de cartera de proyectos de ahorro energético en complejos hospitalarios basado en la técnica AHP*. Proyecto Fin de Carrera dirigido por los doctores Pablo Aragonés Beltrán y Fidel Chaparro González. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- España. Orden Ministerial FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico en la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. *Boletín Oficial del Estado*, 12 de septiembre de 2013, núm. 219, pp. 67137-67206.
- España. Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. *Boletín Oficial del Estado*, 13 de abril de 2013, núm. 89, pp. 27548-27562.
- España. Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por el Real Decreto 1027/3007, de 20 de julio. *Boletín Oficial del Estado*, 13 de abril de 2013, núm. 89, pp. 27563-27593.
- IDAE (2013). Informe anual de consumos energéticos. Año 2013. Consumo de Energía Final: Sector Servicios. Obtenido el 18 de abril de 2015 desde <http://www.idae.es/index.php/idpag.802/relcategoria.1368/relmenu.363/mod.pags/mem.detalle>.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process* (p. 287). McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (2005). The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making. En J. Figueira, S. Greco & M. Ehrgott (Eds), *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys* (pp. 345-405). New-York: Springer.
- Saaty, T. L. (2006). Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes. *European Journal of Operational Research*, 168(2), 557–570.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83.
- Saaty, T. L., & Peniwati, K. (2008). Group Decision Making: Drawing out an Reconciling Differences.
- Unión Europea. Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 18 de junio de 2010, núm. 153, pp. 13-35.
- Unión Europea. Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 14 de noviembre de 2012, núm. 315, pp. 1-56.

