

05-005

MULTI-CRITERIA EVALUATION OF ALTERNATIVES FOR THE INSTALLATION OF SHW AND AIR CONDITIONING OF A HEALTH CENTRE IN VALENCIA

Fuentes BARGUES, José Luis ⁽¹⁾; Aragonés-Beltrán, Pablo ⁽¹⁾; Espinosa García, Adrián ⁽¹⁾; Vivancos Bono, José Luis ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universitat Politècnica de València

The objective of the following communication is to carry out a technical-economic feasibility study of the installation of Sanitary Hot Water (SHW) and Air Conditioning of a 600 m² Health Centre located in the town of Valencia. Once the different alternatives have been considered, they will be selected and prioritised using the Analytic Hierarchy Process (AHP) technique. For that, a serie of criteria that affect the final decision making will be proposed, such as investment cost, operating cost, installation difficulty, maintenance difficulty and environmental pollution. The different alternatives will be evaluated and the results obtained will be assessed by a sensitivity analysis using the Superdecisions program to verify the robustness of the selection and prioritization of the alternatives.

Keywords: technical-economic feasibility; AHP; mutiple criteria decision making; sanitary hot water; air-conditioning

ANÁLISIS MULTICRITERIO DE ALTERNATIVAS DE INSTALACIÓN DE ACS Y CLIMATIZACIÓN EN UN CENTRO DE SALUD EN VALENCIA

El objetivo de la siguiente comunicación es la realización de un estudio de viabilidad técnico-económica de la instalación de Agua Caliente Sanitaria (ACS) y Climatización de un Centro de Salud de 600 m² de superficie situado en la localidad de Valencia. Una vez planteadas las diferentes alternativas se procederá a la selección y priorización de las mismas mediante la técnica Analytic Hierarchy Process (AHP). Para ello, serán propuestos una serie de criterios que afectan a la toma de la decisión final, como son el coste de inversión, el coste de explotación, la dificultad de instalación, la dificultad de mantenimiento y la contaminación del medio ambiente. Se evaluarán las diferentes alternativas y con los resultados obtenidos se realizará un análisis de sensibilidad mediante el programa Superdecisions para verificar la robustez de la selección y priorización de las alternativas.

Palabras clave: viabilidad técnico-económica; AHP; toma de decisiones multicriterio; agua caliente sanitaria, aire acondicionado

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



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

La Directiva Europea 2012/27/UE (Unión Europea 2012) sobre eficiencia energética 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 en la Unión Europea, y para contribuir de esta manera a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero,

Los sectores que realizan un mayor consumo de energía son aquellos sobre los que se deben centrar los mayores esfuerzos, siendo el sector del transporte y el sector de los edificios por su alto consumo donde más deben incidir las políticas de eficiencia energética (Unión Europea 2010).

Los centros hospitalarios tienen un consumo intensivo de energía (Singer y Tschudi 2009) debido, por un lado, a los equipos médicos que se precisan para desarrollar las actividades clínicas en las diferentes especialidades médicas y por otro lado, a las estrictas condiciones microclimáticas que se exigen en las diferentes áreas de los hospitales (renovaciones de aire y ventilación, mantenimiento de estrictas condiciones de temperatura y humedad relativa y sectorización en diferentes áreas del edificio) (Ascione et al. 2013).

En España se estima que en el año 2017 el consumo energético en los servicios sanitarios representó en torno al 8,4% del consumo total del sector servicios en España (IDAE 2019). Esta cifra pone de manifiesto la importancia y el notable impacto que pueden suponer las medidas de ahorro, tanto desde el punto de vista del diseño de las instalaciones como desde el punto de vista del uso de las mismas.

En España el diseño y mantenimiento de las instalaciones térmicas se realizan bajo el prisma del Código Técnico de la Edificación (CTE) (España 2006) y del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) (España 2007), los cuáles han ido adaptando los requisitos normativos posteriores sobre eficiencia energética, tanto a nivel europeo como nacional, pero siempre bajo un prisma de lograr un adecuado confort para los usuarios y a su vez reducir tanto el consumo de energía convencional como las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos.

El principal problema que se encuentran los gestores responsables de las instalaciones cuando tienen que implantar medidas de ahorro energético es decidir qué alternativas implantar, ya que hay que tener en cuenta diferentes criterios que hacen que la decisión no resulte fácil.

2. Objetivo

El objetivo de este estudio es la selección de un sistema de Climatización y de un sistema de Agua Caliente Sanitaria para un Centro de Salud en la localidad de Valencia.

La selección de la mejor alternativa se realizará utilizando varios criterios de decisión como son el coste de inversión, el coste de explotación, la dificultad de instalación, la dificultad de mantenimiento y la contaminación del medio ambiente, y utilizando para ello una técnica de decisión multicriterio cómo es el método AHP (Analytic Hierarchy Process).

Este método fue desarrollado en 1980 por T. Saaty (Saaty 1980) y es una de las técnicas de decisión multicriterio discretas más utilizadas (Wallenius et al. 2008), siendo su campo de aplicación muy diverso (Ho y Ma 2018; Darko et al 2018). Algunos ejemplos de su aplicación se pueden ver en los trabajos de *Al-Harbi* (2001) sobre aplicaciones en Project Management, en el trabajo de *Aragonés-Beltrán, Moya de los*

Reyes y Cerezo Vicente (2014) donde los autores realizan un estudio comparativo de técnicas MCDA para la selección de instalaciones en edificios de viviendas, en el trabajo de Aragonés-Beltrán *et al.* (2014) donde se utiliza el método para la selección de un proyecto de una central solar térmica o para la selección del mejor emplazamiento para infraestructuras hidráulicas, como una minicentral hidráulica de caudal fluyente (Fuentes-Bargues y Ferrer-Gisbert 2015).

3. Metodología

El método AHP (Analytic Hierarchy Process) fue propuesto por T. Saaty en 1980 y se basa en el hecho que la complejidad inherente a todo proceso de toma de decisiones multicriterio se puede resolver mediante la descomposición jerárquica del problema en su objetivo, criterios y subcriterios de decisión y alternativas.

En cada nivel jerárquico se le pide al decisor que establezca juicios entre los elementos del mismo nivel (criterios o alternativas) mediante comparaciones pareadas. Para valorar la intensidad de estos juicios se utiliza una escala de comparación que adopta valores entre 1 y 9. Las matrices generadas son recíprocas y a partir de los juicios que emite el decisor se calculan las prioridades de los elementos. Estas prioridades se agregan de modo aditivo para obtener una prioridad final de las alternativas. Todos los detalles del método se pueden encontrar en (Saaty 1980) y (Saaty 1994).

Este método ha sido utilizado en el campo hospitalario como herramienta para la toma de decisiones en diferentes campos (Schmidt *et al.* 2015), como por ejemplo para la priorización de la cartera de proyectos en complejos hospitalarios (Aragonés-Beltrán, Chaparro-González y Carrillo-Gallego 2015), o para seleccionar los mejores emplazamientos para desfibriladores en lugares públicos en la ciudad de Valencia (Ekmekci *et al.* 2017) o para el asesoramiento en el diagnóstico de cáncer de próstata (Liberatore *et al.* 2003).

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

4. Caso de Estudio

4.1. Descripción

El caso de estudio de la presente comunicación es un Centro de Salud situado en el bajo de un edificio de viviendas en la esquina entre la calle Bilbao y la calle Maximiliano Thous de Valencia (Figura 2), perteneciente al Departamento de Salud Valencia-La Fe.

De acuerdo al uso horario y a la ocupación del centro de salud, a las temperaturas de la ciudad de Valencia en verano e invierno, a la orientación del edificio y a las características de los elementos constructivos de los cerramientos y de los huecos, se determinó la demanda de refrigeración y de calefacción y de ACS (Tabla 1). Estos valores han sido el punto de partida para la selección de los equipos de climatización y de generación de ACS que conforman las diferentes alternativas que se analizan en este estudio.

Tabla 1. Demanda de refrigeración y calefacción y ACS del caso de estudio

Potencia máxima refrigeración (Agosto)	72,5 kW
Potencia máxima calefacción (Enero)	60,9 kW
Demanda diaria ACS	426 l/d
Demanda Bruta Anual ACS	8.947 kWh

Figura 1. Metodología. Fuente: Elaboración propia

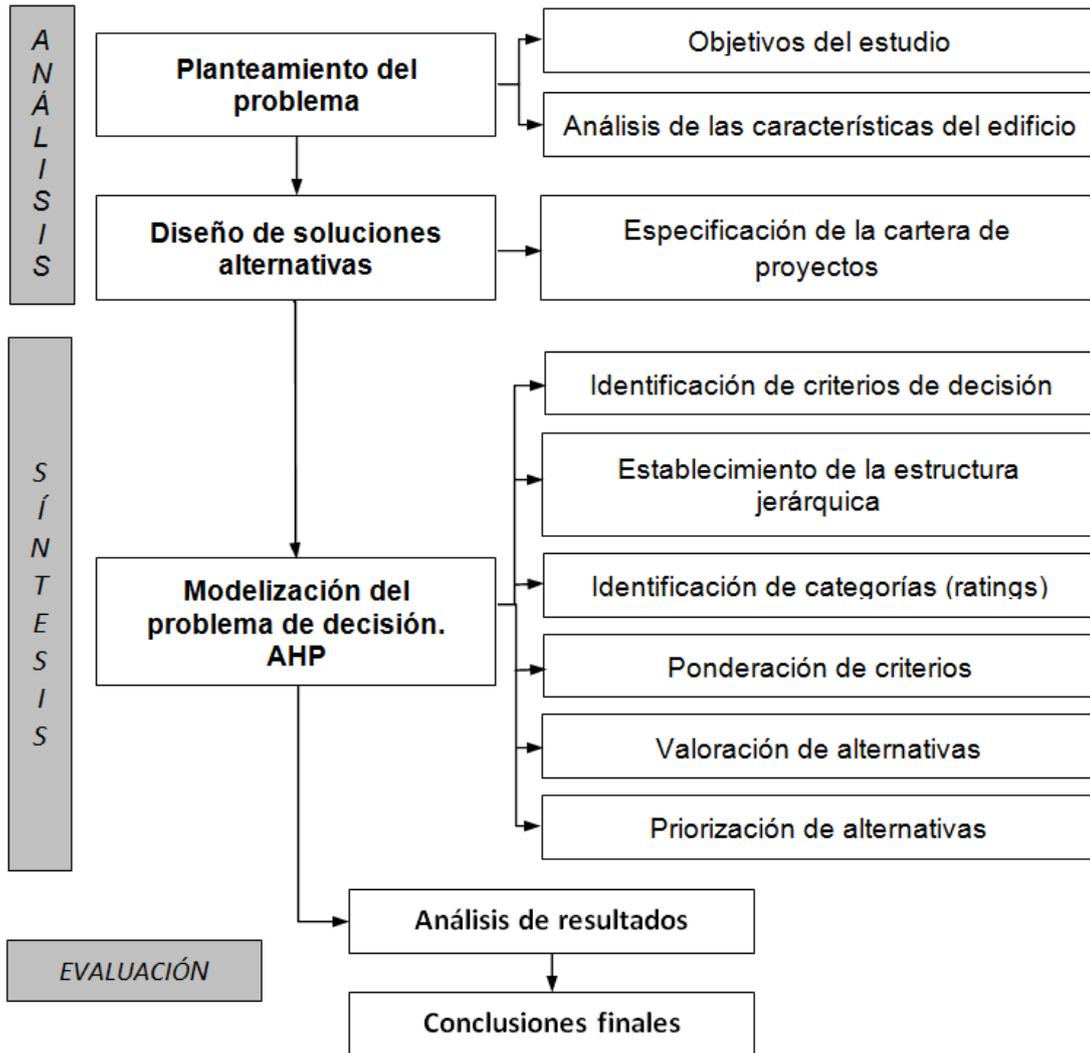
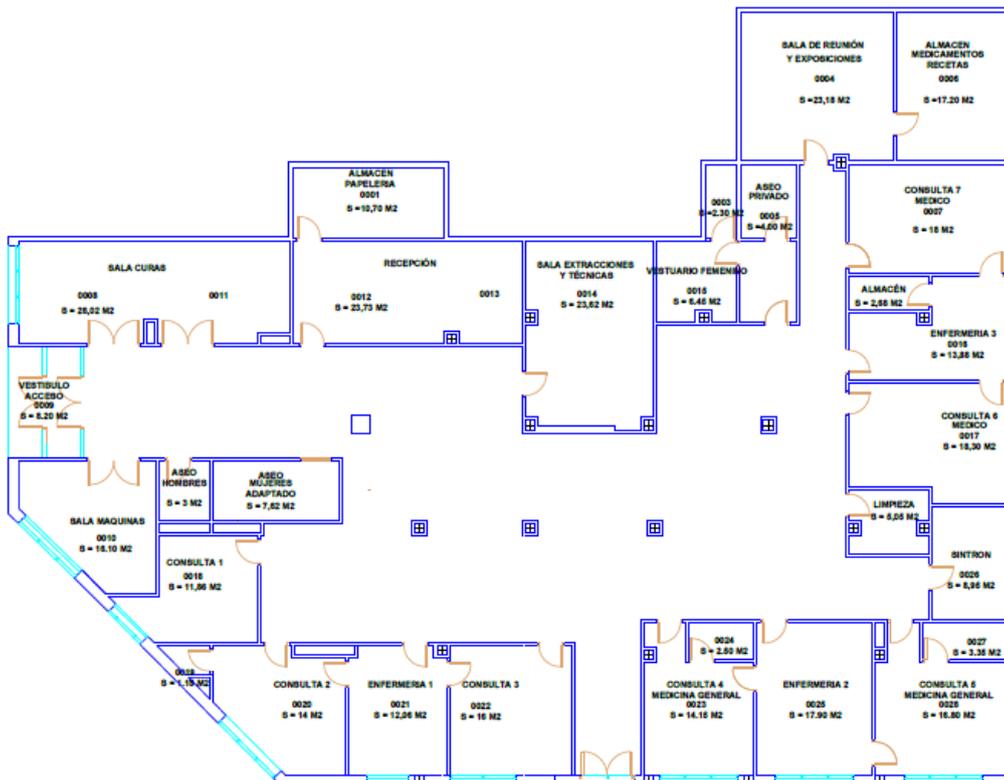


Figura 2. Emplazamiento del Centro de Salud de la calle Bilbao. Fuente: Google Maps



Figura 3. Distribución en planta. Fuente: Departamento de Salud Valencia-La Fé



4.2. Alternativas

Las alternativas de instalación propuestas para su análisis se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Alternativas de instalación para el caso de estudio

Id	Alternativa	Descripción
A1.1	Climatización mediante splits y ACS: 50% Solar + 100% Convencional caldera gas natural.	<p>Se trata de una instalación de climatización (calefacción/refrigeración) mediante un sistema Multisplit, que permite la combinación de hasta siete unidades interiores por cada unidad exterior, reduciendo las necesidades de espacio en la fachada exterior.</p> <p>Esta solución se ha desarrollado a partir de equipos de Mitsubishi Electric y se compone de 26 unidades interiores modelo MSZ-AP25VG, 1 unidad interior modelo MSZ-AP42VG, 1 unidad exterior modelo MXZ-4F80VF, 2 unidades exteriores modelo MXZ-4F72VF y 5 unidades exteriores modelo MXZ-3F68VF.</p> <p>Para satisfacer el 50% de la demanda de ACS mediante energía solar térmica (mínimo exigido en el CTE para la zona de Valencia) se instalan tres placas solares de Baxi Calefacción modelo STS 200 2.5 y elementos de conexión y soporte correspondientes y una caldera convencional de apoyo capaz de soportar el 100% de la demanda de ACS, en este caso una caldera de gas natural de Baxi Calefacción modelo Platinum Compaxt 26/26 F ECO, con un depósito acumulador de la marca GEISER INOX de doble pared modelo GX6 S600.</p>
A1.2	Climatización mediante splits y ACS: 50% Solar + 100% Convencional caldera de pellets.	<p>El sistema de climatización es el que se ha descrito en la alternativa A1.1.</p> <p>La instalación de ACS mediante solar térmica es la misma que en la alternativa A1.1.</p> <p>La caldera de pellets para el suministro de la demanda de ACS es el modelo CBP MATIC 18 de Baxi Calefacción, con un depósito acumulador de la marca GEISER INOX de doble pared modelo GX6 S600.</p>
A2.1	Climatización mediante conductos y ACS: 50% Solar + 100% Convencional caldera gas natural.	<p>Se trata de un sistema de climatización en donde la unidad interior se ubica en el falso techo y a través de conductos y de difusores se distribuye el aire en las diversas estancias.</p> <p>Esta solución se ha desarrollado a partir de equipos de Mitsubishi Electric y se compone de 1 unidad interior PEAD-M100JA, 3 unidades interiores PEAD-M71JA, 1 unidad interior PEAD-M60JA y 10 unidades interiores PEAD-M50JA, 1 unidad exterior modelo MXZ-4F80VF, 2 unidades exteriores modelo MXZ-4F72VF y 5 unidades exteriores modelo MXZ-3F68VF.</p> <p>El sistema de generación de ACS es el que se ha descrito en la alternativa A1.1.</p>
A2.2	Climatización mediante conductos y ACS: 50% Solar + 100% Convencional caldera de pellets.	<p>El sistema de climatización es el que se ha descrito en la alternativa A2.1.</p> <p>El sistema de generación de ACS es el que se ha descrito en la alternativa A1.2.</p>
A3	Climatización mediante splits y ACS mediante aerotermia.	<p>El sistema de climatización es el que se ha descrito en la alternativa A1.1.</p> <p>La aerotermia basa su funcionamiento en extraer energía del ambiente mediante una bomba de calor hacia un intercambiador donde se genera el ACS que se almacena en un depósito hasta su consumo.</p> <p>En este caso la instalación de aerotermia estará compuesta</p>

		<p>por una unidad exterior modelo PUIHZ-FRP71VHA y un Hidrobox Dúo EH EHST20C-VM2C, ambos equipos de Mitsubishi Electric. Además será necesario un depósito acumulador de la marca GEISER INOX de doble pared modelo GX6 S600.</p>
A4	<p>Climatización mediante conductos y ACS mediante aerotermia.</p>	<p>El sistema de climatización es el que se ha descrito en la alternativa A2.1. El sistema de aerotermia es el que se ha descrito en la alternativa A3.</p>
A5.1	<p>Climatización mediante splits y máxima aportación mediante solar térmica para ACS y caldera de apoyo mediante gas natural.</p>	<p>El sistema de climatización es el que se ha descrito en la alternativa A1.1. La máxima aportación solar para ACS cumpliendo todos los requisitos normativos sería del 69%, que se conseguiría con la instalación de ocho placas solares de Baxi Calefacción modelo STS 200 2.5. En los meses de verano la energía solar disponible será mayor a la demanda necesaria por lo que se taparan parcialmente los paneles de la instalación. La caldera de apoyo será de gas natural de la marca Baxi Calefacción modelo PlatinumCompaxt 26/26 F ECO, con un depósito acumulador de la marca GEISER INOX de doble pared modelo GX6 S400.</p>
A5.2	<p>Climatización mediante splits y máxima aportación mediante solar térmica para ACS y caldera de apoyo mediante caldera de pellets.</p>	<p>El sistema de climatización es el que se ha descrito en la alternativa A1.1. La máxima aportación solar para ACS cumpliendo todos los requisitos normativos sería del 69%, que se conseguiría con la instalación de ocho placas solares de Baxi Calefacción modelo STS 200 2.5. En los meses de verano la energía solar disponible será mayor a la demanda necesaria por lo que será necesario el tapado parcial de los paneles de la instalación. La caldera de apoyo será de pellets para el suministro de la demanda de ACS es el modelo CBP MATIC 18 de Baxi Calefacción, con un depósito acumulador de la marca GEISER INOX de doble pared modelo GX6 S400.</p>
A6.1	<p>Climatización mediante conductos y máxima aportación mediante solar térmica para ACS y caldera de apoyo mediante gas natural.</p>	<p>El sistema de climatización es el que se ha descrito en la alternativa A2.1. El sistema de generación de ACS será el que se ha descrito en la alternativa A5.1.</p>
A6.2	<p>Climatización mediante conductos y máxima aportación mediante solar térmica para ACS y caldera de apoyo mediante caldera de pellets.</p>	<p>El sistema de climatización es el que se ha descrito en la alternativa A2.1. El sistema de generación de ACS será el que se ha descrito en la alternativa A5.2.</p>

4.3. Criterios

Los criterios que consideraron los expertos fueron los siguientes:

- C1: Costes de inversión/instalación. Este criterio se refiere a los costes de adquisición e instalación de los diferentes sistemas de ACS y climatización.
- C2: Dificultad de instalación. Este criterio se refiere a la mayor o menor complejidad a la hora de instalar los sistemas adquiridos, dado que el centro de salud está en funcionamiento.

- C3: Mantenimiento técnico de los sistemas. Este criterio se refiere a la dificultad y al esfuerzo en la revisión de cada sistema.
- C4: Costes de explotación. Este criterio se refiere a los costes de la energía consumida en hacer funcionar los sistemas adquiridos.
- C5: Contaminación del medio ambiente. Este criterio se refiere a las emisiones perjudiciales para el medio ambiente emitidas por los sistemas adquiridos.

En la Tabla 3 se muestran las unidades y la forma de medir cada una de las alternativas respecto a cada criterio.

Tabla 3. Criterios, unidades en los que se miden y objetivo a lograr

Criterios	Unidades	Objetivo (Max/Min)
C1: Costes de inversión/instalación	€	Min
C2: Dificultad de instalación	Ratings	Max
C3: Mantenimiento Técnico	Ratings	Max
C4: Costes de explotación	Ratings	Max
C5: Contaminación del medio ambiente	Ratings	Max

Las categorías (y el rating asociado) para la valoración del criterio C2 Dificultad de instalación se indican en la Tabla 4.

Tabla 4. Categorías para valorar el criterio C2

Categorías	Ratings
Muy fácil (Tanto el sistema de ACS como el sistema de climatización son fáciles de instalar)	1
Fácil (El sistema de ACS tiene una dificultad media de instalar y el sistema de climatización es sencillo)	0,9
Medio-Fácil (El sistema de ACS es difícil de instalar y el sistema de climatización es sencillo)	0,7
Medio-Difícil (El sistema de ACS es fácil de instalar y el sistema de climatización es complejo)	0,4
Difícil (El sistema de ACS tiene una dificultad media de instalar y el sistema de climatización es complejo)	0,2
Muy difícil (Tanto el sistema de ACS como el sistema de climatización son difíciles de instalar)	0,1

Las categorías (y el rating asociado) para la valoración del criterio C3 Mantenimiento técnico de los sistemas se indican en la Tabla 5.

Tabla 5. Categorías para valorar el criterio C3

Categorías	Ratings
Muy fácil (Tanto el sistema de climatización como el sistema de ACS tienen un mantenimiento sencillo)	1
Fácil (El sistema de ACS tiene un mantenimiento medio y el sistema de climatización es sencillo)	0,9
Medio-Fácil (El sistema de ACS es tiene un mantenimiento complejo y el sistema de climatización es sencillo)	0,7
Medio-Difícil (El sistema de ACS tiene un mantenimiento sencillo y el sistema de climatización es complejo)	0,4
Difícil (El sistema de ACS tiene un mantenimiento medio y el sistema de climatización es complejo)	0,2
Muy difícil (Tanto el sistema de climatización como el sistema de ACS tienen un mantenimiento complejo)	0,1

Para el criterio C4 Costes de Explotación, y a pesar de que se trata de un criterio cuantitativo, se van a utilizar los Ratings para su valoración. El motivo es que se trata de un criterio cuyas diferencias entre las distintas alternativas son muy ligeras, pero esas ligeras diferencias a lo largo del período de vida útil de la instalación pueden suponer un ahorro económico considerable, y los ratings permiten realizar una

discriminación más exacta. En la Tabla 6 se indican las categorías para la evaluación del criterio C4.

Tabla 6. Categorías para valorar el criterio C4

Categorías	Ratings
Costes entre 13.000 € y 14.000 €	1
Costes entre 14.000 € y 15.000 €	0,9
Costes entre 15.000 € y 16.000 €	0,8
Costes entre 16.000 € y 17.000 €	0,7

Para el criterio C5 Contaminación del medio ambiente se ha analizado la cantidad de kg CO₂ que generan cada una de las alternativas y se evaluarán mediante ratings, con las categorías definidas en la Tabla 7.

Tabla 7. Categorías para valor el criterio C5

Categorías	Ratings
Emisión entre 33000 y 35000 kgCO ₂	1
Emisión entre 35000 y 37000 kgCO ₂	0,9
Emisión entre 37000 y 39000 kgCO ₂	0,8
Emisión entre 39000 y 41000 kgCO ₂	0,7
Emisión entre 41000 y 43000 kgCO ₂	0,6

5. Resultados

5.1 Ponderación de los criterios

La ponderación de los criterios se realiza estableciendo, para cada nivel y subnivel jerárquico, matrices recíprocas de comparación pareada, a partir de las cuáles, siguiendo lo establecido en el método AHP, se obtienen las prioridades.

En este caso de estudio, los juicios fueron emitidos por un experto en climatización a través de un cuestionario. A partir de estos juicios se elaboró la matriz de juicios que se muestra en la Tabla 8. En esta tabla se muestra también la media geométrica de los valores en cada fila y su normalización, que son las prioridades obtenidas por el método aproximado de la media geométrica. A continuación, se verificó la consistencia de los juicios emitidos por el decisor y se comprobó que estaba dentro del rango admisible por el método AHP.

Tabla 8: Valores de la comparación de criterios

	C1	C2	C3	C4	C5	y _i	w _i
C1	1	5	7	1	5	2,809	0,373
C2	0,2	1	3	0,2	5	0,903	0,120
C3	0,143	0,333	1	0,143	3	0,459	0,061
C4	1	5	7	1	8	3,086	0,410
C5	0,2	0,2	0,333	0,125	1	0,278	0,037

5.2. Valoración de las alternativas

En la Tabla 9 se muestran las valoraciones de las alternativas para cada uno de los criterios. Estas valoraciones se trasladan a los ratings según las categorías definidas en el apartado 4.3. Para el criterio C1 coste de inversión, el experto estimó que su prioridad era inversamente proporcional al coste de inversión calculado en €. Por esta razón se normalizó la inversa de cada uno de los costes de inversión asociados a cada alternativa. Los resultados se muestran en la Tabla 10 que es la matriz de decisión, donde se reflejan los pesos de los criterios y las prioridades asociadas a cada una de las alternativas para cada uno de los criterios. Dado que se está empleando el método de Ratings, estas prioridades están referidas en cada criterio a su ideal. Es decir, la alternativa con el Rating mejor (más preferido) tiene valor 1 y las prioridades del resto

de alternativas muestran en tanto por uno cuánto cada alternativa se aleja del Rating ideal.

Tabla 9. Valoración de las alternativas según los diferentes criterios

Alternativas	C1 (€)	C2	C3	C4 (€)	C5 (Kg CO ₂)
A1.1	49.345	Fácil	Fácil	13.469	34.813
A1.2	51.465	Fácil	Medio-Fácil	13.532	33.806
A2.1	58.914	Difícil	Difícil	16.346	42.140
A2.2	61.034	Difícil	Muy Difícil	16.409	41.134
A3	48.186	Muy fácil	Muy fácil	13.186	33.574
A4	57.755	Medio-Difícil	Medio-Difícil	16.064	40.901
A5.1	59.426	Medio-Fácil	Fácil	13.349	34.324
A5.2	61.546	Medio-Fácil	Medio-Fácil	13.405	33.668
A6.1	68.995	Muy difícil	Difícil	16.227	41.651
A6.2	71.115	Muy difícil	Muy difícil	16.283	40.995

Tabla 10. Matriz de decisión

Criterios y Pesos	C1	C2	C3	C4	C5	SUMA	IDEAL
	0,373	0,12	0,061	0,41	0,037		
Alternativas							
A1.1	0,977	0,9	0,9	1	1	0,974	0,973
A1.2	0,936	0,9	0,7	1	1	0,947	0,946
A2.1	0,818	0,2	0,2	0,7	0,6	0,650	0,650
A2.2	0,789	0,2	0,1	0,7	0,6	0,634	0,633
A3	1,000	1	1	1	1	1,001	1,000
A4	0,834	0,4	0,4	0,7	0,7	0,697	0,696
A5.1	0,811	0,7	0,9	1	1	0,888	0,887
A5.2	0,783	0,7	0,7	1	1	0,866	0,865
A6.1	0,698	0,1	0,2	0,7	0,6	0,594	0,593
A6.2	0,678	0,1	0,1	0,7	0,7	0,584	0,583

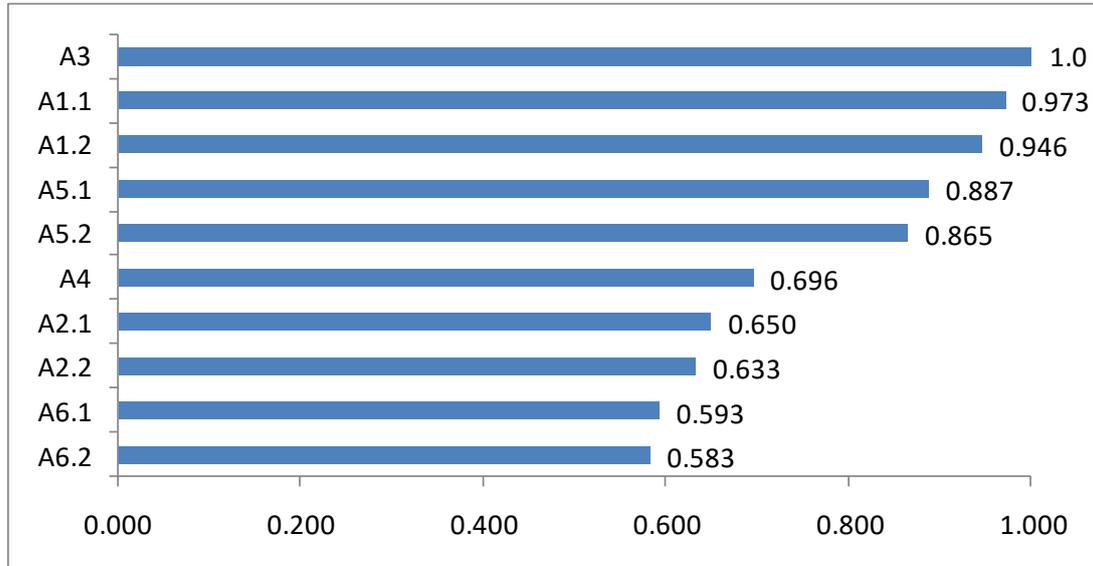
5.3. Priorización de las alternativas

A partir de la matriz de decisión, se realiza una agregación mediante suma ponderada. En la Figura 4 se muestran las prioridades finales de las alternativas.

Los resultados indican que la mejor alternativa para la climatización del Centro de Salud de la Calle Bilbao de Valencia es la combinación 3, compuesta por un sistema de aerotermia para la generación de ACS y por un sistema por Splits para la climatización.

Tal y cómo se puede observar en la Figura 4, la puntuación de la alternativa A3 para cada uno de los criterios de manera independiente es la ideal, por eso resulta a nivel global la más adecuada. Sin embargo, tanto la combinación A1.1, con un sistema de placas solares y una caldera de gas natural cubriendo cada sistema un 50% de la demanda para el ACS y un sistema por Splits para la climatización, como la combinación A1.2, con un sistema de placas solares y caldera de pellets cubriendo cada sistema un 50% de la demanda para el ACS y un sistema por Splits para la climatización, son opciones muy adecuadas, ya que se encuentran cercanas al ideal.

Figura 4. Prioridad de las alternativas

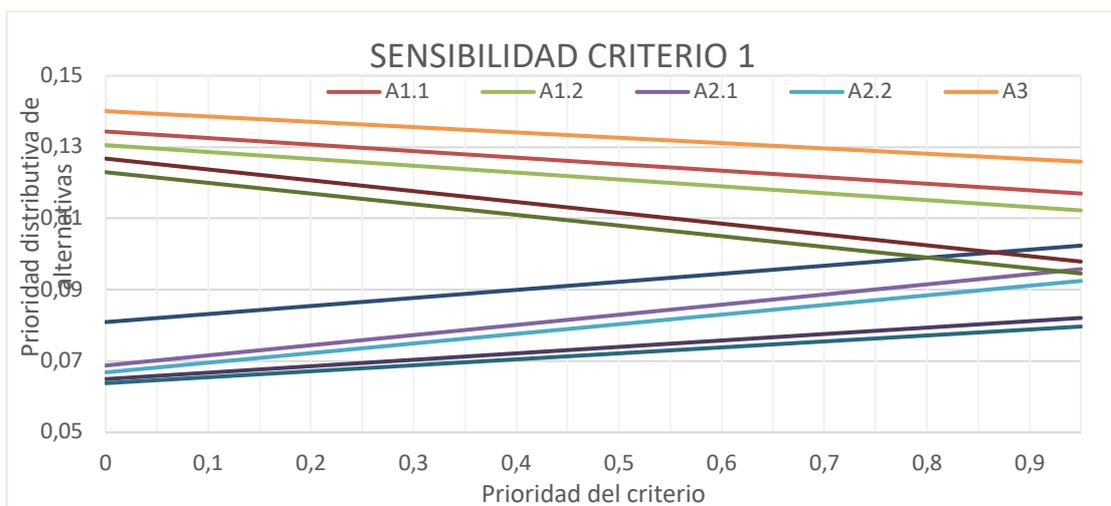


5.4. Análisis de Sensibilidad

Para finalizar, se ha realizado un análisis de sensibilidad mediante el software Superdecisions con objeto de que comprobar de qué manera afecta la variación de la prioridad otorgada a cada criterio en la prioridad de selección de cada alternativa. El software Superdecisions es habitual en la resolución de problemas de tomas de decisiones con AHP (Aragonés-Beltrán et al. 2014; Aragonés-Beltrán, Chaparro-González y Carrillo-Gallego 2015).

El análisis de sensibilidad muestra que la valoración de las alternativas es muy estable, y que las alternativas más destacadas lo siguen siendo a pesar de la modificación en la prioridad de los criterios. Esto es debido a que las combinaciones 1.1, 1.2 y 3 son muy dominantes sobre las demás. A modo de ejemplo se muestra en la Figura 5 la variación de las alternativas según la variación de la prioridad del criterio C1 Costes de inversión/instalación.

Figura 5. Sensibilidad del criterio C1: Costes de inversión/instalación.



6. Conclusiones

La aplicación del método AHP no constituye una novedad científica, en cambio su utilización para la selección de alternativas técnica y económicamente viables y similares sí que puede considerarse algo novedoso, ya que en muchas situaciones se

seleccionan los sistemas técnicos a instalar por costumbre del proyectista o por desconocimiento de nuevos sistemas por parte de las empresas instaladoras. AHP es una técnica sencilla de aplicar y aporta rigor y trazabilidad al proceso de toma de decisiones.

En el caso de estudio del sistema de climatización y del sistema de ACS del Centro de Salud de la calle Bilbao en Valencia, el método nos indica que la mejor alternativa es una instalación de climatización mediante un sistema multisplit y una instalación de ACS mediante aerotermia. Esta combinación resulta mejor desde todos los criterios de selección utilizados: costes de inversión, dificultad de instalación, coste de explotación, dificultad de mantenimiento y emisiones de CO₂ a la atmósfera.

7. Referencias

- Al-Harbi, K. M. A.-S. (2001). Application of the AHP in project management. *International Journal of Project Management*, 19(1), 19–27.
- Aragonés-Beltrán, P., Chaparro-González, F., Pastor-Ferrando, J.P., Pla-Rubio, A. (2014). An AHP (Analytic Hierarchy Process)/ANP (Analytic Network Process)-based multi-criteria decision approach for the selection of solar-thermal powerplant investment projects. *Energy* 66, 222–238.
- Aragonés-Beltrán, P., Moya de los Reyes, J. & Cerezo Vicente, A.C. (2014). Evaluación multicriterio de un sistema de producción de Agua Caliente Sanitaria para una vivienda unifamiliar. Estudio Comparativo. En 18th International Congress on Project Management and Engineering, Alcañiz, 16-18th July 2014, 372-384.
- Aragonés-Beltrán, P., Chaparro-González, F., Carrillo-Gallego, F.J. (2015). Proceso de selección de cartera de proyectos de ahorro energético en edificios hospitalarios basado en el método AHP. En 19th International Congress on Project Management and Engineering, Granada, 15-17th July, 213-225.
- Ascione, F. et al. (2013). Rehabilitation of the building envelope of hospitals: Achievable energy savings and microclimatic control on varying the HVAC systems in Mediterranean climates. *Energy and Buildings*, 60, pp.125–138.
- Código técnico de la edificación (CTE). (2006). [En línea]. Disponible en: <<https://www.codigotecnico.org/>>. Acceso: Marzo 2020.
- Darko, A., Chan, A. P. C., Ameyaw, E. E., Owusu, E. K., Pärn, E., & Edwards, D. J. (2018). Review of application of analytic hierarchy process (AHP) in construction. *International Journal of Construction Management*, 0(0), 1–17.
- Departamento de Salud de Valencia-La Fé. (2017). Pliego de cláusulas técnicas de la licitación "Trabajos de adecuación y ejecución de obras de reparación simple del centro de salud de Bilbao del Departamento de Salud Valencia La Fe". Descargado en Enero de 2018 de <https://www.contratacion.gva.es/WebContrataP/lstLicitaciones.jsp?MODULO=P&BUsCAR=Buscar&ORGANISMO=OR_S2301>.
- Ekmekci, E., Aragonés-Beltrán, P., Rodríguez de Sanabria Gil, R., & Topcu, I. (2017). A Decision Model for Determining Public Locations Suitable for Automated External Defibrillator (Aed) Deployment: a Case Study in City of Valencia. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 9(2), 151–166.
- España. (2007). Real Decreto 1027/2007, de 20 de Julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 207, 29 de Agosto de 2007, 35931-35984.
- Fuentes-Bargues, J.L. & Ferrer-Gisbert, P.S. (2015). Selecting small run-of-river hydropower plant by the analytic hierarchy process (AHP): A case study of Miño-Sil river basin, Spain. *Ecological Engineering*, 85, 307-316.

- Google Maps. [En línea]. Centro Auxiliar Bilbao. Disponible en: <<https://www.google.es/maps/place/Consultori+Auxiliar+Bilbao/@39.4873048,-0.3738027,301m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xd6046004a6cd30f:0xf0661eadc71c0d2b!8m2!3d39.4871921!4d-0.3727017>>. Acceso: Marzo 2020.
- Ho, W., & Ma, X. (2018). The state-of-the-art integrations and applications of the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 267(2), 399–414.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético (IDAE) (2019). Estudios, informes y estadísticas / Detalles de consumos del sector servicios (2017). Disponible en: <<https://www.idae.es/estudios-informes-y-estadisticas>>. Acceso: Marzo 2020.
- Liberatore, M. J., Myers, R. E., Nydick, R. L., Steinberg, M., Brown, E. R., Gay, R. & Powell, R. L. (2003). Decision counseling for men considering prostate cancer screening. *Computers & Operations Research*, 30(10), 1421–1434. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(02\)00186-7](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(02)00186-7)
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. Ed. Mc Graw-Hill.
- Saaty, T.L. (1994). *Fundamentals of decision making and priority theory with the AHP*. RWS Publications. Pittsburgh.
- Schmidt, K., Aumann, I., Hollander, I., Damm, K., & von der Schulenburg, J.-M. G. (2015). Applying the Analytic Hierarchy Process in healthcare research: A systematic literature review and evaluation of reporting. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 15(1), 112.
- Singer, B.C. & Tschudi, W.F. (2009). *High Performance Healthcare Buildings: A Roadmap to Improved Energy Efficiency*. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- 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, 1-56.
- Wallenius, J; Dyer, J.S; Fishburn, P.C; Steuer, R.E; Zionts, S & Deb, K. (2008). Multiple Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: Recent Accomplishments and What Lies Ahead. *Management Science* 54(7):1336-1349.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

