

05-004

OPTIMISATION OF CO2 EMISSIONS FROM THE CONSTRUCTION OF HEALTHCARE BUILDINGS USING 6D BIM TECHNOLOGY

Sánchez-Barroso Moreno, Gonzalo ⁽¹⁾; *González-Domínguez, Jaime* ⁽¹⁾; *Aunión-Villa, Juan* ⁽²⁾; *García-Sanz-Calcedo, Justo* ⁽¹⁾; *López-Rodríguez, Fernando* ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Extremadura, ⁽²⁾ Universidad San Pablo CEU

Building Information Modeling (BIM) technology enables building management by working collaboratively. BIM facilitates communication between the different agents involved in a project, from the initial drafting and modelling, to management throughout the building's life cycle. Therefore, preparing the energy model of a building is highly advisable. The aim of this work is to analyze the viability of using BIM 6D technology to optimize CO2 emissions derived from the construction of healthcare buildings. The methodology used was focused on developing an energy model of a health centre in a commercial software based on BIM to analyse and contrast the results obtained. The health centre project analysed had a built area of 1,000 m². The results showed that the use of the BIM methodology allows decisions to be made in the project phase that increase the sustainability of the building throughout its life cycle. It was also detected that the 6D model is usually made and delivered to the owner when a construction project is finished, losing some of the functionality related to the optimization of the design in the project phase.

Keywords: energy efficiency; sustainability; BIM; healthcare engineering

OPTIMIZACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO2 DERIVADAS DE LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS SANITARIOS MEDIANTE TECNOLOGÍA BIM 6D

La tecnología Building Information Modeling (BIM) permite mediante el trabajo de forma colaborativa la gestión de la construcción. BIM facilita la comunicación entre los distintos agentes que intervienen en un proyecto, desde la redacción y modelaje inicial, a la gestión durante todo el ciclo de vida del edificio. Por lo tanto, preparar el modelo energético de un edificio es muy aconsejable. El objetivo de este trabajo es analizar la viabilidad de utilizar la tecnología BIM 6D para optimizar las emisiones de CO2 derivadas de la construcción de edificios sanitarios. La metodología utilizada se centró en desarrollar un modelo energético de un centro de salud en un software comercial basado en BIM para analizar y contrastar los resultados obtenidos. El proyecto de centro de salud analizado tenía una superficie construida de 1.000 m². Los resultados mostraron que el uso de la metodología BIM permite tomar decisiones en fase de proyecto que incrementan la sostenibilidad del edificio a lo largo de su ciclo de vida. También se detectó que el modelo 6D se suele realizar y entregar al propietario cuando finaliza un proyecto de construcción, perdiendo parte de la funcionalidad relacionada con la optimización del diseño en fase de proyecto

Palabras clave: eficiencia energética; sostenibilidad; BIM; ingeniería hospitalaria

Correspondencia: Gonzalo Sánchez-Barroso Moreno gsm@unex.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 tecnología y los procesos relativos a *Building Information Modelling* (BIM) ofrecen una visión holística durante todo el ciclo de vida de un edificio y/o infraestructura (Candelario-Garrido, García-Sanz-Calcedo, & Reyes-Rodríguez, 2017). La tecnología BIM constituye un soporte especialmente útil tanto para diseñar soluciones ingenieriles y arquitectónicas durante la fase de proyecto, como para la construcción, explotación y deconstrucción de las mismas (Eadie *et al.*, 2013). Está comprobado que se agiliza la coordinación entre los agentes durante todas las fases, lo que mejora sustancialmente la calidad técnica de los resultados (Zamora-Polo *et al.*, 2019). La creación de modelos digitales y la capacidad para simular virtualmente el proceso constructivo permite la resolución de problemas durante la fase de proyecto, lo que se traduce en perfeccionamiento y optimización del flujo de trabajo en obra (Sánchez-Barroso *et al.*, 2020).

El potencial de BIM radica en la incorporación de información muy diversa a los elementos del modelo digital, lo que permite ampliar las posibilidades de trabajo y funcionalidades del BIM. Según para qué se utilice la información, se obtiene lo que se conoce como “Dimensiones BIM”. Charef, Alaka & Stephen (2018) llevaron a cabo una revisión de la bibliografía especializada para identificar las siguientes dimensiones BIM más allá de las espaciales: gestión del tiempo (4D), gestión de costes (5D), sostenibilidad (6D) y gestión del activo (7D).

Aunque existe cierta controversia en el objetivo de cada dimensión, expertos coinciden en encasillar la evaluación de la sostenibilidad a la sexta dimensión (Yung & Wang, 2014; Wang *et al.*, 2014). Wong & Zhou (2015) recopilaron funcionalidades BIM relacionadas con el movimiento *Green* y las categorizaron según las fases del ciclo de vida de una construcción: 1) planificación y diseño, 2) construcción, 3) reparación y mantenimiento, 4) operación y 5) demolición. En la fase proyecto se toman decisiones estratégicas que tienen una repercusión enorme sobre la sostenibilidad de la construcción (Azhar *et al.*, 2008).

La integración de la sostenibilidad en el proceso de construcción busca descubrir estrategias de diseño arquitectónico e ingenieril que permitan optimizar el consumo energético del edificio proyectado con la intención de reducir su incidencia medioambiental negativa (Chang, Soebarto, & Zhao, 2016)

Los diferentes análisis que se pueden llevar a cabo con BIM para evaluar la sostenibilidad en fase proyecto permiten el perfeccionamiento y optimización de la localización y orientación de la construcción, envolvente del edificio, disposición de huecos para favorecer la iluminación natural, especificaciones técnicas de los equipos y sus instalaciones y elección de materiales de construcción sostenibles (Krygiel & Nies, 2008).

Lu *et al.* (2017) llevaron a cabo una revisión sistemática de la literatura y los *software* comerciales que tratan la integración de la tendencia de *Green Building* con la metodología BIM. Analizaron 92 artículos de revistas indexadas y 12 programas de ordenador comerciales para construir el “Triángulo Green BIM”. El resultado recoge en forma de triángulo la interrelación entre la fase del ciclo de vida del proyecto, los atributos verdes y los atributos BIM, proporcionando una visión completa del BIM que da soporte a *Green Buildings*. Se justifica, por tanto, la necesidad e idoneidad de combinar la tendencia *Green Building* con la metodología BIM.

Este enfoque combinado reportará enormes beneficios medioambientales debido a las mejoras de diseño que se pueden implantar tras el análisis la huella de carbono de la construcción y explotación de edificios (Mah *et al.*, 2011). El servicio asistencial prestado en los edificios sanitarios los excluye de determinadas medidas relativas a su desempeño energético y medioambiental. Las infraestructuras hospitalarias presentan un consumo energético enorme en comparación con otros edificios debido a las exigentes necesidades de

las instalaciones que sirven la actividad asistencial (García-Sanz-Calcedo, Gómez-Chaparro & Sánchez-Barroso, 2019; Sánchez-Barroso & García-Sanz-Calcedo, 2019).

El objetivo de este trabajo es analizar la viabilidad de utilizar la tecnología BIM para optimizar las emisiones de CO₂ derivadas de la construcción de edificios sanitarios. A priori se presume potencial de ahorro y mejora del desempeño del edificio y sus instalaciones. En definitiva, se busca incrementar la sostenibilidad de los hospitales manteniendo su nivel de condiciones asistenciales.

2 Metodología

La metodología utilizada se centró en desarrollar el modelo energético de un centro de salud en un software comercial basado en BIM para analizar las mejoras energéticas, económicas y medioambientales derivadas del cambio de diferentes equipos de la instalación de calefacción. El centro de salud analizado tenía una superficie construida de 1.000 m². La Fig. 1 esquematiza el proceso metodológico que se ha llevado a cabo para realizar este trabajo.

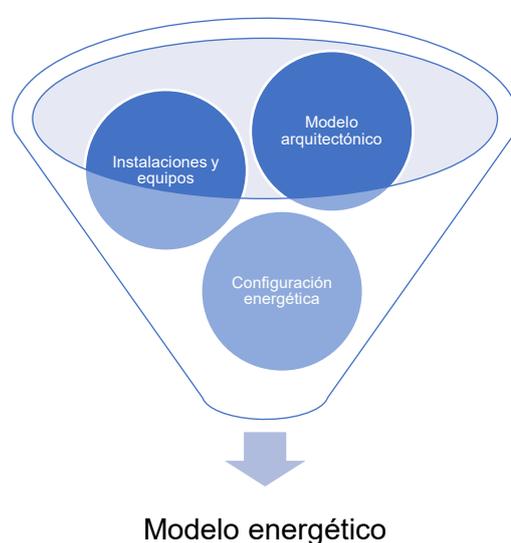


Fig. 1: Esquema de la metodología implementada.

El proceso comenzó con el desarrollo del modelo tridimensional del edificio. Dependiendo de lo avanzado que esté el diseño se puede llegar a un nivel de desarrollo (*Level of development*, LOD) mayor. El LOD permitió incluir ciertas características físicas de los elementos constituyentes del modelo: paramentos exteriores, tabiquería interior y puertas y ventanas.

Se definieron los paramentos exteriores con una transmitancia térmica de 0,8 W/(m²·K), tanto para muro exterior como para cubierta. A la tabiquería interior se le asignó una transmitancia térmica de 1,47 W/(m²·K). Se empleó carpintería de aluminio para las puertas, con una transmitancia térmica de 3,7 W/(m²·K) y para las ventanas de 2,9 W/(m²·K).

Los equipos instalados para climatización fueron diferentes para satisfacer calefacción o refrigeración. La calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) se ejecutó mediante caldera de condensación de gas natural de 125 kWt y la refrigeración mediante enfriadoras de 100 kWf.

A continuación, se relacionó dicho modelo con los datos climatológicos al asociarlo al emplazamiento donde se ubicará. Se eligió la ciudad de Badajoz para albergar este centro sanitario. Puede realizarse incluso la integración urbana del edificio si se disponen de datos

del entorno y tener en cuenta así la proyección de sombras.

En este punto fue posible realizar el análisis energético del edificio gracias a la inclusión de características técnicas a los elementos físicos, del ambiente exterior (sol, localización, condiciones ambientales, etc.) y su interacción con las mismas. Se llevó a cabo un análisis energético mediante *Green Building Studio*®. Se consideró como un tipo de edificio "Hospital" con una vida útil del edificio de 50 años para realizar las estimaciones. Las pérdidas térmicas por ventilación se obviaron. Se consideró un término de energía eléctrica de 0,11 €/kWh y para el combustible, de 0,0087 €/MJ.

Los factores de conversión empleados para la energía eléctrica y el gas natural son los oficiales para España. Se tomó un valor medio para la comercializadora de 0.24 kg CO₂eq/MWh calculado en función del *mix* energético nacional para 2018. Para el gas natural se tomó 0,203 kgCO₂eq/kWh.

Se llevó a cabo un análisis de la situación inicial para compararla, posteriormente, con los resultados de una segunda iteración en la que se variaron las especificaciones técnicas de los equipos de la instalación de calefacción. En el análisis alternativo se propuso disminuir la capacidad de la caldera y el tamaño de las bombas para el circuito de impulsión de calefacción y ACS. La comparativa se realizó en cuanto a consumos energéticos, costes económicos derivados y huella de carbono generada de la explotación del edificio.

3 Resultados

3.1 Análisis comparativo de consumo energético

La Fig. 2 muestra el consumo energético que supone anualmente el funcionamiento del centro sanitario. Por un lado, en el caso base, el consumo anual de energía eléctrica es de 55.859,84 kWh, mientras que el de energía térmica es 33.609,52 kWh. Por otro lado, en el caso mejorado, ambos consumos descienden. El consumo anual eléctrico es de 55.440,89 kWh y el de combustible, de 30.565,77 kWh. Se consigue una disminución del consumo energético global de 3.462,70 kWh al año, de los que 418,95 kWh son de electricidad y 3.043,75 kWh son del combustible.

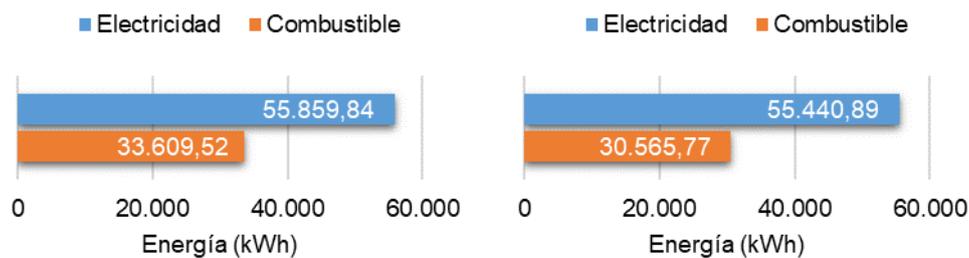


Fig. 2: Consumo de energía final en el caso base (izquierda) y en el caso mejorado (derecha).

Desglosando estos consumos anuales de energía final para los usos de demanda eléctrica, se obtiene la Fig. 3. Se puede comprobar que la iluminación y la refrigeración mantienen el nivel de consumo en ambos casos, siendo 26.184,30 kWh y 19.201,82 kWh, respectivamente. Sin embargo, el ahorro energético se aprecia en el consumo eléctrico del equipamiento general, que pasa de 10.473,72 kWh en el caso base a 10.054,77 kWh en el caso mejorado. Esta disminución del 4% del consumo viene derivada del cambio del equipo de bombeo para el circuito de ACS y calefacción.

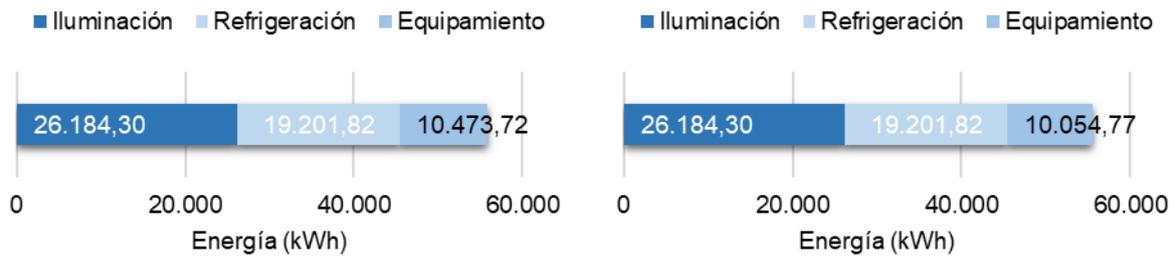


Fig. 3: Consumo desglosado de energía eléctrica para el caso base (izquierda) y caso mejorado (derecha).

El otro cambio que se propuso fue el de disminución de la potencia de la caldera. En la Fig. 4 se grafican los consumos desglosados de combustible antes y después de la sustitución. Se puede comprobar que el consumo energético de ACS se mantiene en ambos casos en 7.468,78 kWh, puesto que no se ha realizado ningún cambio. No obstante, la disminución del consumo se detecta en la calefacción que pasa de 26.140,74 kWh en el caso base a 25.225,81 kWh en el caso mejorado.

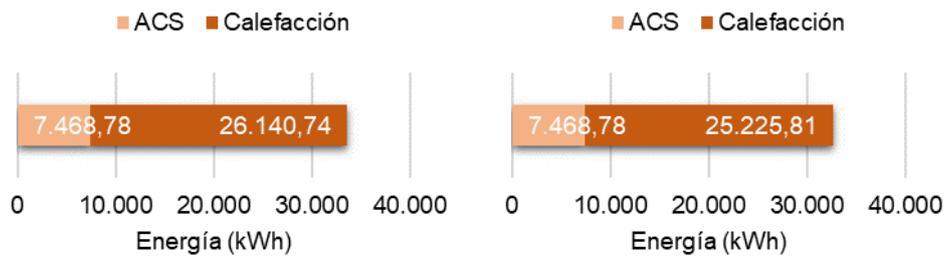


Fig. 4: Consumo desglosado de energía térmica para el caso base (izquierda) y para el caso mejorado (derecha).

3.2 Análisis comparativo de costes

La Fig. 5 muestra el coste económico total de energía eléctrica y combustible debido al funcionamiento a lo largo de un año del edificio. En ambos conceptos se detecta una disminución del coste. En primer lugar, para la electricidad que pasa de 6.144,58 € en el caso base a 6.098,50 € en el caso mejorado. En segundo lugar, para el combustible que en el caso base es 984,03 € y en el mejorado desciende a 957,24 €. En conjunto, el ahorro asciende a 72,87 € anuales.

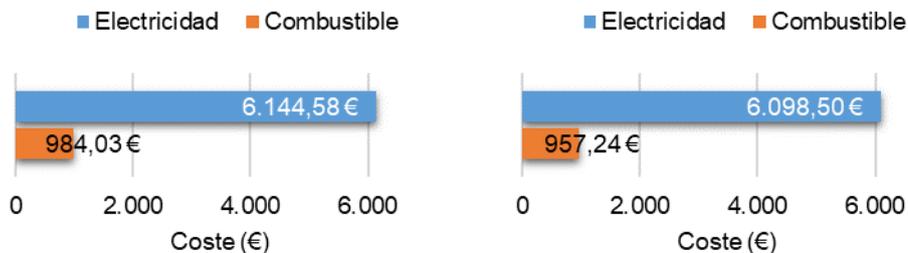


Fig. 5: Coste de energía final para el caso base (izquierda) y para el caso mejorado (derecha).

En la Fig. 6 se desglosan los costes de la energía eléctrica según los grupos de usos finales

que se han definido. De igual manera que para el consumo energético, la iluminación y refrigeración no sufren alteración, manteniéndose en 2.880,27 € y 2.112,20 € anuales, respectivamente. Es, por tanto, el concepto de equipamiento el que se ve beneficiado del cambio de equipos pasando de un coste anual de 1.152,11 € para el caso base a 1.106,02 € en el caso mejorado. El ahorro consiguiente es de 46,09 € anuales.

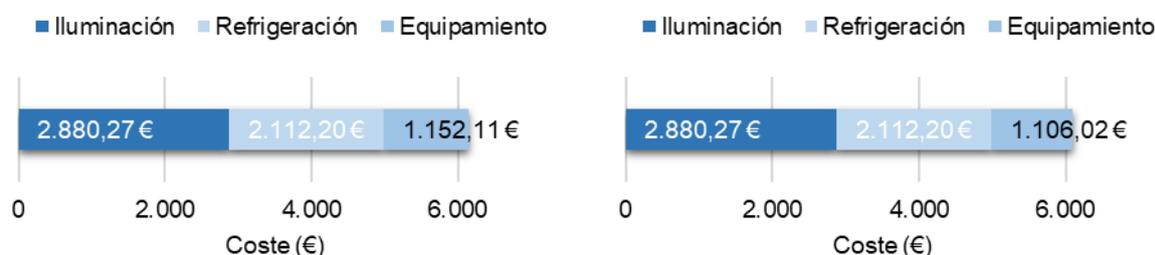


Fig. 6: Costes desglosados de energía eléctrica para el caso base (izquierda) y el caso mejorado (derecha).

La Fig. 7 indica los costes desglosados por usos finales del consumo de combustible. El consumo dedicado a satisfacer la demanda de ACS no se ve afectado y mantiene su coste anual en 218,67 € en ambos casos. Sin embargo, se experimenta un ahorro monetario en el concepto de calefacción de 26,78 € anuales con respecto a los 765,36 € del caso base.

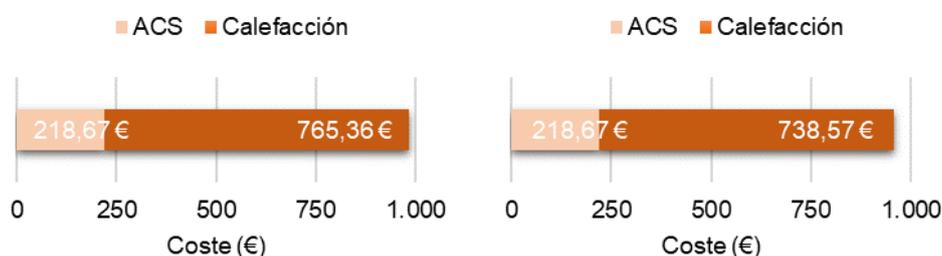


Fig. 7: Costes desglosados de combustible para el caso base (izquierda) y para el caso mejorado (derecha).

3.3 Análisis comparativo de emisiones de gases de efecto invernadero

Las emisiones derivadas del funcionamiento del edificio a lo largo del año separadas por su origen eléctrico o de combustible se muestran en la Fig. 8. Se estima que el consumo de energía eléctrica provoca la emisión de 13.406,362 kg CO₂eq para el caso base y de 13.305,814 kg CO₂eq para el caso mejorado. El uso del combustible, por su parte, pasa de emitir 6.822,733 kg CO₂eq en el caso base a 6.303,572 kg CO₂eq en el escenario mejorado.

El cómputo global de ambos conceptos asciende a 20,23 tCO₂eq para el caso base y 19,61 tCO₂eq para el caso mejorado. Anualmente, se evitaría emitir 619,71 kg CO₂eq con la mejora propuesta que, para el ciclo de vida previsto para el edificio, se estima que serían en torno a 30,96 toneladas de CO₂ equivalente no emitido a la atmósfera.

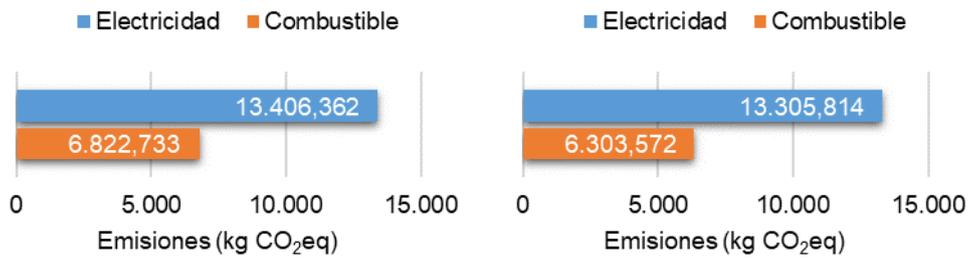


Fig. 8: Emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del uso de la energía para el caso base (izquierda) y el caso mejorado (derecha).

Desglosando las emisiones de GEI para los usos de energía eléctrica, se obtiene la Fig. 9. Las emisiones debidas a iluminación y refrigeración permanecerán constantes en ambos escenarios, siendo 6,28 tCO₂eq y 4,61 tCO₂eq, respectivamente. En la parte de equipamiento es donde se reduce, pasado de 2.513,693 kg CO₂eq en el caso base de 2.413,145 kg CO₂eq en el caso mejorado. La mejora medio ambiental se cifra en 100,55 kg CO₂eq anuales, que suponen 5,03 toneladas de CO₂eq al final de su vida útil.

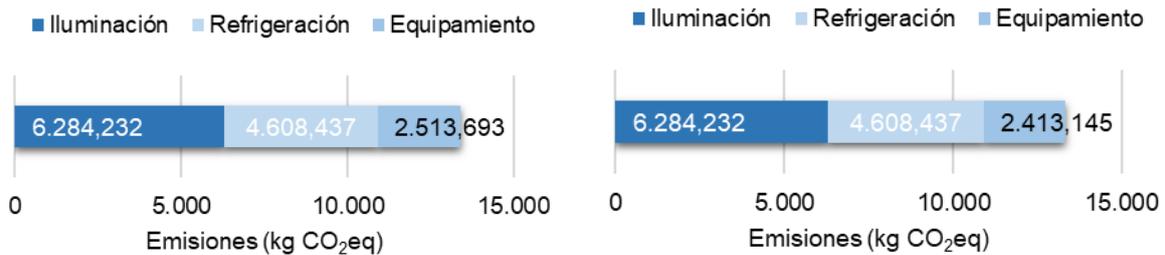


Fig. 9: Emisiones desglosadas de gases de efecto invernadero derivadas del consumo de energía eléctrica para el caso base (izquierda) y el caso mejorado (derecha).

El desglose de emisiones según usos del combustible se muestra en la Fig. 10. Al igual que en los análisis comparativos anteriores, las emisiones de GEI derivadas de preparar ACS permanecen invariables en ambos casos, siendo 1.516,163 kg CO₂eq. El cambio de equipos permite disminuir las emisiones derivadas de la calefacción desde 5.306,570 kg CO₂eq a 4.787,409 kg CO₂eq. La disminución supone evitar emitir a la atmósfera 519,16 kg CO₂eq anualmente que, durante la vida útil del edificio asciende a 25,96 toneladas de CO₂eq.

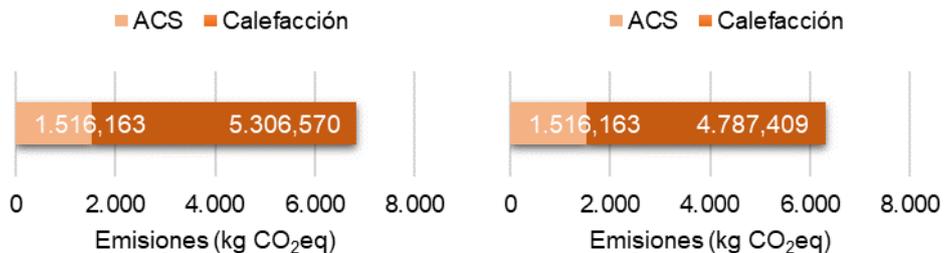


Fig. 10: Emisiones desglosadas de gases de efecto invernadero derivadas del consumo de

combustible para el caso base (izquierda) y el caso mejorado (derecha).

3.4 Análisis comparativo global

En la Fig. 11 se muestra el reparto porcentual de cada uso final de la energía, su coste monetario asociado y las emisiones derivadas para el caso base a la izquierda y el caso mejorado a la derecha de cada pareja. Se puede comprobar un menor peso porcentual en los conceptos de calefacción y equipamiento general, que son los que han mejorado su eficiencia. El resto representa un mayor peso en la situación mejorada puesto que mantienen su valor dentro de un cómputo global inferior.

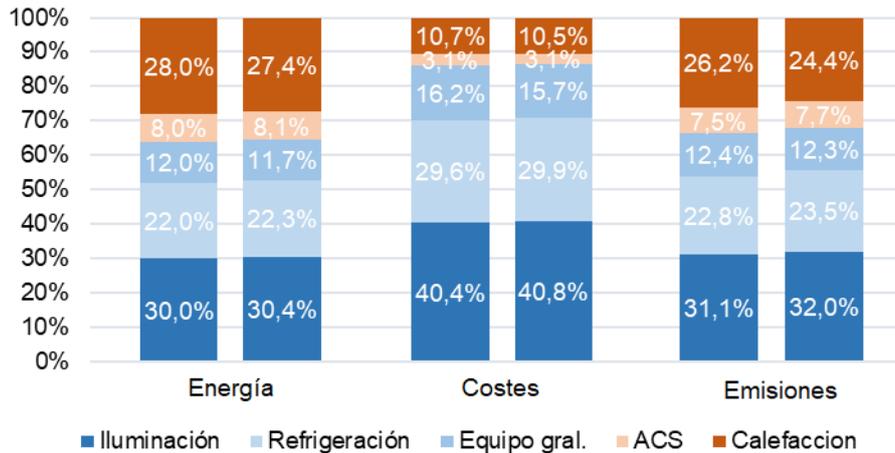


Fig. 11: Porcentaje de coste energético, monetario y medioambiental del caso base.

4 Discusión

Los programas BIM mejoran la usabilidad del cálculo del consumo energético de toda la construcción mediante procesos estandarizados y uso de parámetros como formas, patrones, materiales y condiciones climáticas. Todos estos parámetros son adquiridos de una base de datos externa que contiene información de estudios prácticos.

Los resultados de consumo de energía final obtenidos se encuentran en línea con los hallazgos de García-Sanz-Calcedo (2014), en los que cifraba en 86.01 kWh/m² de media para los centros de salud de Extremadura (España). Por lo que se puede afirmar que las estimaciones del software son acertadas y se han validado con los resultados de la bibliografía.

Los cambios entre los dos casos estudiados fueron relativos a los equipos de calefacción. Se han acotado de esta manera para detectar el potencial de la dimensión de sostenibilidad del universo BIM. Consecuentemente, el ahorro de costes de explotación no es muy abundante, pero sumado al ahorro en costes de inversión debido a la elección de equipos de especificaciones técnicas inferiores permitirá disminuir el *pay-back* del edificio. Además, instalar energías renovables como la solar térmica para satisfacer la demanda de ACS contribuye a diseñar una solución muy rentable económica y medioambientalmente (Sánchez-Barroso, González-Domínguez, & García-Sanz-Calcedo, 2020).

El LOD del modelo juega un papel crucial en la exactitud de las estimaciones de la huella de carbono. Sin embargo, el margen de maniobra para cambiar materiales o equipos por otros menos perjudiciales se ve reducido. Durante la fase de operación, el comportamiento y actividad de los ocupantes del edificio influye sobre el uso de la energía (Yang, Hu, Wu, & Zhao, 2018). Sin embargo, hay aplicaciones BIM de simulación que permiten evaluar la huella

de carbono del proceso constructivo y de su demolición (Peng, 2016).

El alcance de este tipo de estudios se puede ampliar incluso para llevar a cabo la comprobación para obtener la certificación LEED (Barnes & Castro-Lacouture, 2009; Azhar, Carlton, Olsen, & Ahmad, 2011). Por lo que, el potencial de esta línea de trabajo es enorme. Además, muchos autores están trabajando en nuevas tendencias para la optimización del proceso de uso de esta metodología como *Lean Construction* (Marhami, Jaapar, Ahmad Bari, & Zawawi, 2013), aunque su aplicación tiene determinadas implicaciones en la sostenibilidad (Song & Liang, 2011).

5 Conclusión

La implementación de los cambios de equipos provocó una disminución del consumo energético final de 3.462,70 kWh al año, de los que 418,95 kWh son de electricidad y 3.043,75 kWh son del combustible. Se consiguió una disminución del 4% del consumo eléctrico, asociado al concepto de equipamiento general, y un 3,5% del consumo de combustible, asociado a la calefacción.

En términos económicos, el ahorro anual en la factura eléctrica será de 46,09 € y de la compra de combustible de 26,78 €, que de manera conjunta suponen 72,87 €. Para un centro de salud de 1.000 m², se consigue evitar la emisión a la atmósfera de 619,71 kg CO₂eq al año, lo que supone 30,96 toneladas de CO₂ equivalente a lo largo del ciclo de vida del edificio.

Los resultados mostraron que el uso de la metodología BIM permite tomar decisiones en fase de proyecto que incrementan la sostenibilidad del edificio a lo largo de su ciclo de vida. También se detectó que el modelo 6D se suele realizar y entregar al propietario cuando finaliza un proyecto de construcción, perdiendo parte de la funcionalidad relacionada con la optimización del diseño en fase de proyecto.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y a la Consejería de Economía e Infraestructuras por el apoyo a este trabajo de investigación. Este estudio ha sido llevado a cabo a través del proyecto de investigación GR-18029 ligado al VI Plan Regional de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación de la Comunidad Autónoma de Extremadura 2017-2020.

6 Referencias

- Azhar, S., Carlton, W., Olsen, D., & Ahmad, I. (2011). Building information modelling for sustainable design and LEED rating analysis. *Automation Construction*, 217-224.
- Azhar, S., Nadeem, A., Mok, J., & Leung, B. (2008). Building information modelling (BIM): a new paradigm of visual interactive modelling and simultaion for construction projects. *1st International Conference on Construction in Developing Countries*. Karachi, Pakistan.
- Barnes, S., & Castro-Lacouture, D. (2009). BIM-enabled integrated optimization tool for LEED decisions. *ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering*.
- Candelario-Garrido, A., García-Sanz-Calcedo, J., & Reyes-Rodríguez, A. M. (2017). A quantitative analysis of the feaibility of 4D Planning Graphic Systems versus Conventional Systems in building projects. *Sustainable Cities and Society*, 35, 378-384.

- Chang, R. D., Soebarto, V., & Zhao, Z. Y. (2016). Facilitating the transition to sustainable construction: China's policies. *Journal of Cleaner Production*, 534-544.
- Charef, R., Alaka, H., & Stephen, E. (2018). Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. *Journal of Building Engineering*, 19, 242-257.
- Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., & McNiff, S. (2013). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. *Automation in Construction*, 36, 145–151.
- García-Sanz-Calcedo, J. (2014). Analysis of Energy Efficiency in Healthcare Buildings. *Journal of Healthcare Engineering*, 361-374.
- García-Sanz-Calcedo, J., Gómez-Chaparro, M., & Sánchez-Barroso, G. (2019). Electrical and thermal energy in private hospitals: Consumption indicators focused on healthcare activity. *Sustainable Cities and Society*, 101482.
- Krygiel, E., & Nies, B. (2008). *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modelling*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Ltd.
- Lu, Y., Wu, Z., Chang, R., & Li, Y. (2017). Building Information Modelling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions. *Automation in Construction*, 134-148.
- Mah, D., Manrique, J., Yu, H., Al-Hussein, M., & Nasser, R. (2011). House construction CO2 footprint quantification: a BIM approach. *Construction Innovation*, 161-178.
- Marhami, M. A., Jaapar, A., Ahmad Bari, N. A., & Zawawi, M. (2013). Sustainability through Lean Construction Approach: A literature review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 90-99.
- Peng, C. (2016). Calculation of a Building's Life Cycle Carbon Emissions Based on Ecotect and Building Information Modeling. *Journal of Cleaner Production*, 453-465.
- Sánchez-Barroso, G., & García-Sanz-Calcedo, J. (2019). Evaluation of HVAC Design Parameters in High-Performance Hospital Operating Theatres. *Sustainability*, 1493.
- Sánchez-Barroso, G., González-Domínguez, J., & García-Sanz-Calcedo, J. (2020). Potential Savings in DHW Facilities through the Use of Solar Thermal Energy in the Hospitals of Extremadura (Spain). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2658.
- Sánchez-Barroso, G., González-Domínguez, J., Badilla-Murillo, F., Aunión-Villa, J., García-Sanz-Calcedo, J., Carrasco-Amador, J. P., & Canito-Lobo, J. L. (2020). Implementing project-based learning through BIM technology. *International Conference of Educational Innovation in Building* (pp. 59-60). Madrid, Spain: Universidad Politécnica de Madrid.
- Song, L. G., & Liang, D. A. (2011). Lean construction implementation and its implication on sustainability: a contractor's case study. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 350-359.
- Wang, J., Ding, L., Zou, L., Zhang, L., Wang, G., & Liu, H. (2014). The Development Trend and Government Policies of Open BIM in China. *17th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real State*.
- Wong, J., & Zhou, J. (2015). Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. *Automation in Construction*, 156-165.
- Yang, X., Hu, M., Wu, J., & Zhao, B. (2018). Building-Information-Modeling Enabled Life Cycle Assessment, a Case Study on Carbon Footprint Accounting for a Residential Building

in China. *Journal of Cleaner Production*, 729-743.

Yung, P., & Wang, X. (2014). A 6D CAD model for the automatic assessment of building sustainability. *International Journal of Advanced Robotic Systems*.

Zamora-Polo, F., Martínez Sánchez-Cortés, M., Reyes-Rodríguez, A. M., & García-Sanz-Calcedo, J. (2019). Developing Project Managers' Transversal Competences Using Building Information Modelling. *Applied Science*, 4006.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

