

DEL PATRIMONIO AL DIAGNÓSTICO: PROPUESTA METODOLÓGICA HBIM-BEM PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS TRADICIONALES EN EXTREMADURA

FROM HERITAGE TO DIAGNOSIS: HBIM-BEM METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR THE EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY IN TRADITIONAL BUILDINGS IN EXTREMADURA

Mailen Stephany Álvarez Rojas⁽¹⁾, Jose Manuel Lorenzo Gallardo⁽²⁾, Marta Lucas Bonilla⁽³⁾, María Beatriz Montalbán Pozas⁽⁴⁾

¹ Universidad de Extremadura, Cáceres, España, mailenstar@unex.es

² Universidad de Extremadura, Cáceres, España, jlorenzor@unex.es

³ Universidad de Extremadura, Cáceres, España, malucasb@unex.es

⁴ Universidad de Extremadura, Cáceres, España, bmpozas@unex.es

RESUMEN

Este estudio presenta una propuesta metodológica basada en el uso de herramientas BIM para el análisis energético en edificaciones de arquitectura tradicional. Se trabaja sobre modelos HBIM previamente levantados mediante láser escáner y nubes de puntos de tres edificios ubicados en la región de Extremadura: el Palacio Carvajal (Cáceres), una casa de pescadores (Herrera de Alcántara) y el Colegio General Navarro (Badajoz).

La investigación se centra en evaluar la eficiencia energética de los edificios, a través de dos etapas. En la primera, se optimiza el modelo BIM para garantizar la coherencia geométrica y constructiva, aspectos fundamentales para lograr un diagnóstico preciso. En esta etapa se tiene en cuenta tanto la volumetría como la caracterización energética detallada de los componentes constructivos, empleando una biblioteca de materiales propia.

En la segunda etapa, se realiza un análisis energético que convierte los modelos BIM en BEM, a través de varias herramientas BIM especializadas. Esto permite comparar resultados, evaluar el rendimiento de estas y generar diagnósticos energéticos individualizados para cada edificio.

Como aporte principal, se plantea un flujo de trabajo ordenado y consistente para el análisis energético de arquitectura tradicional mediante HBIM BEM, con potencial aplicación en procesos de rehabilitación patrimonial. Este proceso busca ofrecer a las administraciones una herramienta técnica para la toma de decisiones informadas en futuras intervenciones.

Palabras clave: Arquitectura Tradicional, Eficiencia energética, Metodología BIM, HBIM, BEM.

ABSTRACT

This study presents a methodological proposal based on the use of BIM tools for energy analysis in buildings of traditional architecture. The work is carried out using HBIM models previously generated through laser scanning and point clouds of three buildings located in the Extremadura region: the Carvajal Palace (Cáceres), a fishermen's house (Herrera de Alcántara), and the General Navarro School (Badajoz).

The research focuses on evaluating the energy efficiency of these buildings through two main stages. In the first stage, the BIM model is optimized to ensure geometric and constructive consistency—fundamental

aspects for achieving an accurate diagnosis. This stage considers both the volumetry and the detailed energy characterization of the building components, using a custom material library.

In the second stage, an energy analysis is conducted by converting the BIM models into BEM models using various specialized BIM tools. This allows for the comparison of results, the evaluation of tool performance, and the generation of individualized energy diagnostics for each building.

As a main contribution, the study proposes an organized and consistent workflow for the energy analysis of traditional architecture through HBIM-BEM, with potential application in heritage rehabilitation processes. This process aims to provide public administrations with a technical tool for informed decision-making in future interventions.

Keywords: Traditional Architecture, Energy Efficiency, Methodology BIM, HBIM, BEM.

1. INTRODUCCIÓN

Arquitectura tradicional y sus desafíos

La arquitectura tradicional, es en esencia, una de las expresiones más auténticas de como el ser humano ha aprendido con el paso del tiempo a habitar el mundo que le rodea (Rudofsky, 1964) . Esta arquitectura forma un conjunto de soluciones constructivas desarrolladas a lo largo del tiempo por comunidades locales de manera empírica, sin la intervención de arquitectos como los conocemos en la actualidad y que se transmitieron de generación en generación. De este modo, estas soluciones se han ido adaptando a las condiciones climáticas, geográficas, sociales y económicas de cada territorio. (Maldonado & Cossio, 2011)

Esta arquitectura permite su adaptación al medio y la zona donde sea desarrollada, a través del uso de materiales locales cercano al lugar de construcción (piedra, barro, madera, cal, entre otros) junto con las técnicas constructivas transmitidas. Estas construcciones no solo cumplen funciones habitacionales, también reflejan historia, valores culturales, modos de vida y conocimientos ancestrales arraigados en cada comunidad. (Guerrero Baca, 2010). A diferencia de la arquitectura contemporánea, que busca estandarizar la construcción por medio de materiales industriales(Vargas Febres 2021).

A pesar de carecer de normativa o documentación técnica detallada, la arquitectura tradicional se considera un modelo primitivo de sostenibilidad y desarrollo de eficiencia energética que integraba de forma pasiva en su construcción soluciones que minimizan el impacto ambiental, optimiza los recursos disponibles y promueve una relación en armonía con el entorno(Tillería González 2010). Su estudio y conservación no solo es importante desde una perspectiva potencialmente patrimonial, sino que también ofrece lecciones importantes para el diseño arquitectónico contemporáneo, especialmente en el contexto actual de crisis energética y cambio climático (De Hoz Onrubia, 2021).

Gestión de la arquitectura tradicional y la metodología BIM

Actualmente, el interés y el desafío de recuperar y revalorizar este tipo de arquitectura desde una perspectiva energética ha crecido, tanto en el ámbito académico como en las políticas públicas. Sin embargo, las intervenciones presentan restricciones técnicas que exigen un enfoque más riguroso y cuidadoso, para evitar comprometer su integridad de carácter patrimonial (Angulo Angulo, 2024).

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar metodologías como BIM (Building Information Modeling), que permiten realizar un seguimiento detallado de las edificaciones de arquitectura tradicional y evaluar su comportamiento energético, teniendo en cuenta ciertas consideraciones específicas sobre la modelación y los datos que deben incluirse en el proceso(Nieto et al. 2017).

Especialidades HBIM y BEM como flujo de trabajo

Para integrar este tipo de arquitectura en esta gran metodología se abordan dos especialidades (Prado Costa, Mizrahy Cuperschmid, & Oliveira Neves, 2024). La primera, encargada de gestionar construcciones de tipo histórico, en donde no solo representan puntualmente la geometría del edificio, sino que también se integra la información sobre sus materiales, sistemas constructivos y condiciones de uso; se denomina HBIM (Heritage Building Information Modeling) y la forma de captar la información de este tipo de construcciones se basa en el uso de laser escáner 3D y nubes de puntos con gran precisión que permite el levantamiento de la geometría y el estado de conservación de los edificios históricos y a partir de estos datos, se pueden generar modelos HBIM.(Bulgarelli-Bolaños, Hernández-Salazar, and Pinto-Puerto 2020)

Por otra parte, desde la especialidad de análisis energético BEM (Building Energy Modeling), se busca estimar el consumo energético de las edificaciones a partir de las simulaciones enfocadas en la geometría y componentes de instalaciones de las construcciones, teniendo en cuenta parámetros de entrada que complementen la información de su contexto, como pueden ser las condiciones climáticas, los horarios de funcionamiento de los edificios, las condiciones climáticas, entre otros.(Pérez Fajardo 2019) (Prada Hernández 2014).

Interoperabilidad HBIM a BEM

La interoperabilidad entre las especialidades HBIM y BEM representa un desafío significativo en la digitalización y organización de la arquitectura tradicional que se han estudiado durante los últimos años (Asdrubali, Manzo, and Grazieschi 2021). Su integración requiere superar barreras técnicas como la compatibilidad entre formatos de archivo, la complejidad de los modelos y la necesidad de una formación adecuada de los equipos de trabajo que hacen parte de los proyectos(Nieto et al. 2017).

De esta manera, se busca la creación de flujos de trabajo integrados, los cuales pretenden generar un puente entre las diferentes herramientas BIM, por medio del uso de formatos abiertos como “IFC” (Industry Foundation Classes) el cual permite compartir modelos BIM entre diferentes softwares y “gbXML” (Green Building XML) que está diseñado para transferir datos hacia motores de simulación energética.(Asdrubali et al. 2021) La correcta implantación de este tipo de recursos depende también de las buenas prácticas de modelado y coherencia constructiva a la hora su digitalización, reduciendo los errores y mejorando la calidad de los datos exportados(Angulo 2024)

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Desarrollar y validar una propuesta metodológica basada en un flujo de trabajo que permite la integración HBIM a BEM para la evaluación de la eficiencia energética en edificaciones de arquitectura tradicional de la región de Extremadura, con el fin de contribuir a su diagnóstico técnico y el apoyo a procesos de rehabilitación en construcciones con características similares o patrimoniales a las entidades competentes.

2.2 Objetivos Específicos

- Optimizar el modelado HBIM de edificaciones tradicionales mediante el ajuste geométrico preciso y la caracterización térmica de elementos, utilizando una biblioteca de materiales basada en sistemas constructivos locales.
- Aplicar herramientas BIM especializadas para convertir los modelos HBIM a BEM, que permitan aplicar simulaciones energéticas comparativas para desarrollar diagnósticos individuales en cada caso de estudio.
- Identificar los alcances y limitaciones de la aplicación del proceso metodológico aplicado, con el fin de ofrecer a las administraciones una herramienta técnica para la toma de decisiones informadas en futuras intervenciones.

3. METODOLOGÍA

3.1 Casos de estudio

La presente investigación se desarrolla a partir de un flujo de trabajo estructurado para el análisis energético de edificaciones tradicionales mediante la integración de modelos HBIM con herramientas de simulación energética BEM. Esta metodología se aplica a tres casos de estudio representativos de la región de Extremadura: el Palacio Carvajal en Cáceres, una casa de pescadores en Herrera de Alcántara y el Colegio General Navarro en Badajoz. Estas construcciones, de tipologías y escalas diversas, permiten validar la versatilidad del enfoque propuesto, tanto por sus usos como por su extensión y complejidad.

En cuanto, al primer caso de estudio, la Casa de pescadores está ubicada en herra de Alcántara a unos 127msnm, un municipio del oeste de la provincia de Cáceres, a pocos metros del río Tago y la frontera con Portugal. Se muestra como una edificación sencilla, de una planta y con un área aproximada de 55 m². Se

considera de tipo residencial, cumpliendo con las necesidades de la época que, para este sector sería, suplir la vivienda para las familias que dependían de la actividad productiva de la pesca para sostenerse. Dentro de los materiales empleados en su construcción se destacan la piedra pizarra tanto en forjado como en muros, la madera tipo tanto en su carpintería interna como externa, así mismo para la estructura de la cubierta a dos aguas que se compone por teja cocida (Figura 16)



Figura 16 (izq) Localización y (der) vista general de la casa de pescadores. Fuente: (izq)Google Earth (der)Propia.

En el interior de la vivienda se observa una intervención realizada posteriormente a la fecha de construcción original, mediante la incorporación de dos espacios denominados “habitaciones” y baño, pero estos últimos espacios se muestran hechos con tabique hueco senillo recubierto con mortero aparentemente de cemento. (Figura 17) En cuanto a su emplazamiento, la vivienda se ubica sobre un terreno en pendiente que cubre la mitad de la altura de su fachada posterior, de esta manera se muestra contacto directo con el terreno.

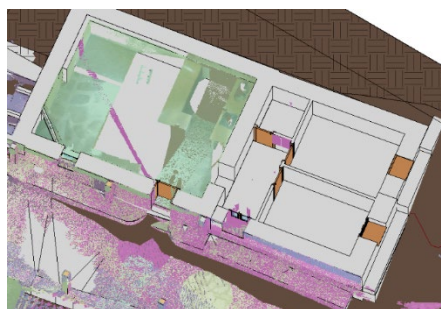


Figura 17. Distribución interior de la casa de pescadores

El siguiente caso de estudio, CEIP General Navarro, ubicado en el centro del municipio de Badajoz, es una construcción de arquitectura tradicional que data de los años 30, y es actualmente una institución educativa de primaria. En sus dos plantas más cubierta a múltiples aguas, cuenta un área aproximada de construcción de 1100 m². Los materiales que se destacan en esta construcción son el ladrillo cocido, la estructura en cubierta de madera, materiales que para su época de construcción se consideraban óptimos para desarrollar la construcción y a los cuales tenían facilidad. En cuanto a su desarrollo puede apreciarse la morfología simétrica del edificio y al interior la adaptación de algunos espacios para cumplir con la función educativa que aporta al territorio. Este edificio tiene una complejidad mayor en cuanto a modelado, por sus dimensiones y espacios internos (Figura 18).



Figura 18. (izq) Localización y (der) vista general Del Colegio General Navarro. Fuente: Google Earth.

Finalmente, el Palacio Carvajal, edificio histórico que data del siglo XV, ubicado en el centro histórico de la ciudad de Cáceres, en donde actualmente se desarrollan actividades de turismo por parte de las entidades locales. En él se muestran 3 plantas que rondan los 600 m² y puede considerarse más antiguo que los anteriores casos de estudio. Tiene una arquitectura más orgánica en cuanto a su construcción, adaptándose a las necesidades de una vivienda el cual fue su primer uso. Dentro de los materiales más relevantes de esta construcción se muestra la sillería en piedra de Gneis, la sillería en granito y la madera para sus carpinterías. Este edificio posee un patio interior tipo claustro que se conecta con la parte posterior del edificio que es un jardín bastante nutrido. La morfología de este edificio es atípica ya que no cuenta con una simetría o pautas de diseño marcadas (Figura 19).



Figura 19. (izq) Localización y (der) vista general del Palacio carvajal. Fuente: Google Earth.

3.2 Flujo de trabajo

En relación con los casos de estudio previamente expuestos, se considera fundamental establecer un flujo de trabajo que permita diagnosticar la eficiencia energética actual de edificaciones que pertenecen a la arquitectura tradicional, así como de aquellas que comparten características similares según su contexto regional. Este enfoque no solo busca evaluar el desempeño energético de los edificios existentes, sino también generar una base metodológica replicable para futuras intervenciones en patrimonio construido.

A través de la (Figura 20) se presenta el planteamiento de dicho flujo de trabajo. Este esquema integra herramientas y procesos compatibles con las metodologías BIM (Building Information Modeling) y BEM (Building Energy Modeling), permitiendo una evaluación precisa, interoperable y adaptada a las condiciones específicas de cada zona en la que están ubicados los edificios. La propuesta considera las herramientas de Autodesk Revit y Cyfe, tanto por la accesibilidad en el mercado de estas como el conocimiento técnico disponible, facilitando su aplicación en contextos académicos, profesionales y patrimoniales.

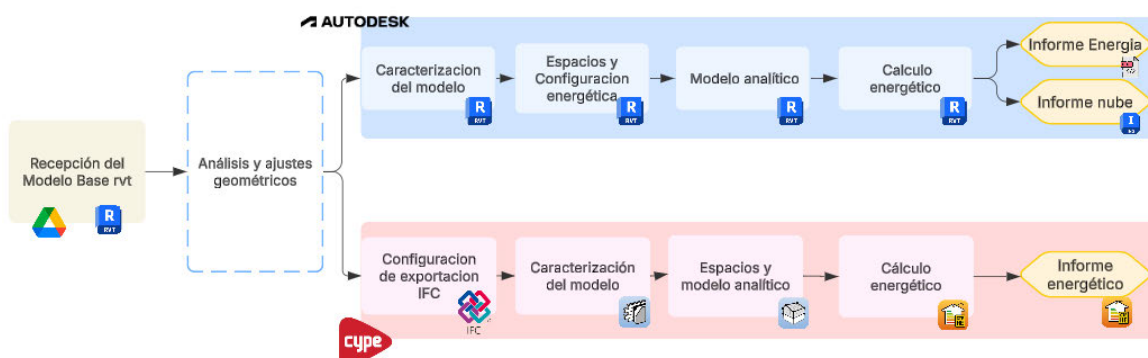


Figura 20. Flujo de trabajo para el Diagnóstico Energético BIM-BEM en la Arquitectura Tradicional

El flujo de trabajo propuesto, parte de un modelo base en formato RVT, el cual se recibe desde una plataforma colaborativa como Google Drive. Este modelo contiene la geometría arquitectónica del edificio junto con una nube de puntos levantada con láser escáner y sirve como punto de partida al ser un modelo HBIM (Heritage Building Information Modeling) y en posteriores pasos para el análisis energético. Antes de proceder con las simulaciones, se realiza una revisión y ajuste geométrico del modelo para asegurar su optimización, simplificación, precisión y compatibilidad con los procesos posteriores.

A partir de este punto, el flujo de trabajo se divide en dos caminos paralelos: uno utilizando la herramienta de Autodesk Revit® y otro utilizando las herramientas que ofrece la casa de CYPE Ingenieros®, por medio de sus aplicativos “Construction System”, “Analytical Model” “HE Therm Plus”. Ambos caminos permiten realizar un análisis energético completo, pero con enfoques y plataformas distintas, lo que favorece la interoperabilidad y la validación cruzada de resultados.

En el camino de Revit, se comienza con la caracterización del modelo, asignando propiedades térmicas y constructivas a los elementos arquitectónicos. Luego, se configuran los espacios y parámetros energéticos, definiendo zonas térmicas y condiciones de uso. A continuación, Revit genera un modelo analítico energético que representa el comportamiento térmico del edificio. Con este modelo, se ejecuta la simulación energética utilizando motores integrados como Carbon Insight, cuyo motor de cálculo es Energy Plus. Finalmente, se generan informes de consumo energético, emisiones y rendimiento, tanto en formato local como en la nube.

Por otro lado, el camino de CYPE comienza con la exportación del modelo RVT a formato IFC (Industry Foundation Classes), un estándar abierto que permite la interoperabilidad entre diferentes plataformas BIM. En CYPE, por medio del aplicativo “Construction System”, se realiza la caracterización del modelo importado, asignando propiedades térmicas a los elementos constructivos. Posteriormente, se definen los espacios y se genera un modelo analítico por medio del aplicativo “Analytical Model” el cual es compatible con los motores de cálculo de CYPE, el cual también se EnergyPlus que hace contraste con la normativa del CTE. La simulación energética se lleva a cabo a través del aplicativo “CYPETHERM HE Plus”, que permiten cumplir con normativas locales. Al finalizar, se obtiene un informe energético detallado con resultados de consumo, demanda y cumplimiento normativo.

Este enfoque dual, que combina HBIM (Heritage Building Information Modeling) y BEM (Building Energy Modeling), ofrece múltiples ventajas. Permite comparar resultados entre plataformas, mejorar la interoperabilidad entre equipos multidisciplinarios y brinda flexibilidad para adaptarse a diferentes licencias y niveles de conocimiento técnico. Además, la validación cruzada entre herramientas incrementa la confiabilidad de los resultados obtenidos.

4. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras la aplicación del flujo de trabajo propuesto para el diagnóstico energético en edificaciones de arquitectura tradicional. Este flujo, basado en metodologías BIM y BEM, fue implementado sobre tres casos de estudio mencionados anteriormente. Cada modelo fue desarrollado y optimizado en entorno HBIM, permitiendo su análisis energético mediante herramientas especializadas de Autodesk Revit junto con su plataforma virtual Insight, así como CYPE Therm HE Plus.

4.1 Casa de Pescadores- Herrera de Alcántara

La Casa de Pescadores, ubicada en Herrera de Alcántara, representa un ejemplo de vivienda tradicional de pequeña escala (aproximadamente 55 m²), actualmente deshabitada y con potencial de rehabilitación para fines turísticos. Su arquitectura responde a las características constructivas del siglo anterior, con materiales locales como muros de pizarra, carpinterías de madera con vidrio simple y cubierta de teja cerámica sobre estructura de madera.

Para su análisis energético, como se muestra en la Figura 21 se optimizó un modelo BIM en Autodesk Revit con un nivel de desarrollo (LOD) 250. Se realizaron ajustes geométricos esenciales, como la eliminación del terreno, corrección de uniones entre elementos constructivos y limpieza de duplicados. Posteriormente, el modelo fue exportado a formato IFC para su análisis paralelo en herramientas de CYPE, junto con el ajuste de propiedades térmicas y la generación del modelo analítico para la simulación.

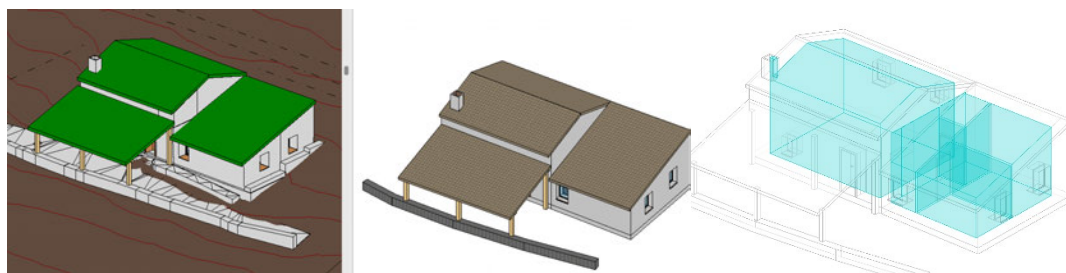


Figura 21. (izq) Modelo nativo HBIM, (centro) Modelo optimizado para simulación (der) Modelo analítico extraído del modelo optimizado de la casa de pescadores. Fuente: Propia

La envolvente térmica fue caracterizada con materiales representativos del sistema constructivo original: muros de pizarra con vegetación adosada, ventanas sin aislamiento térmico y cubierta tradicional. La zonificación térmica se definió en tres espacios: una zona principal que integra cocina y salón; un baño; y dos habitaciones añadidas. Dado que el edificio no se encuentra en uso, no se asignaron cargas internas ni horarios de ocupación. De esta manera, se genera un modelo analítico como se muestra en la Figura 21.

Los resultados obtenidos muestran una diferencia significativa entre ambas herramientas. En Revit como se muestra en la (Figura 22), la demanda energética total estimada fue de 405 kWh/m²/año, mientras que en CYPE se muestra en 206,31 kWh/m²/año para calefacción y 20,25 kWh/m²/año para refrigeración, como se muestra en la Figura 23.

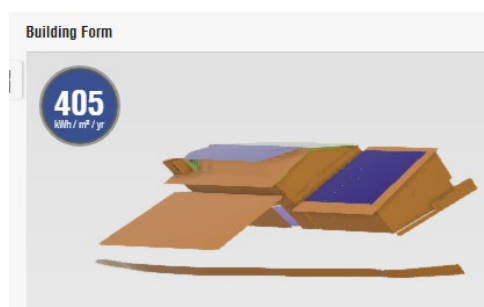


Figura 22. Resultado de demanda energética para la casa de pescadores en la plataforma Autodesk Insight. Fuente Propia

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
< 7,7 A 7,7-17,9 B 17,9-32,4 C 32,4-54,2 D 54,2-99,8 E 99,8-108,8 F ≥ 108,8 G	< 7,8 A 7,8-12,6 B 12,6-19,5 C 19,5-30,0 D 30,0-36,9 E 36,9-45,4 F ≥ 45,4 G
206,31 G	20,25 D
Demanda de calefacción[kWh/m ² ·año]	Demanda de refrigeración[kWh/m ² ·año]

Figura 23. Informe de certificación energética en la sección de demanda por calefacción y refrigeración de Cype Therm He Plus.

No se evaluó el consumo de energía primaria ni las emisiones de CO₂, ya que el estudio se centró exclusivamente en el comportamiento de la envolvente térmica. Tampoco se asignó una etiqueta energética oficial, aunque los valores obtenidos indican un bajo rendimiento térmico, característico de edificaciones tradicionales sin intervención.

4.2 Colegio General Navarro-Badajoz

El CEIP General Navarro, ubicado en la ciudad de Badajoz, es una edificación de carácter educativo con una superficie aproximada de 1.100 m². Su arquitectura responde a los principios constructivos tradicionales de los años 30, con muros de ladrillo cocido revestidos con mortero, forjados terminados en baldosa de barro cocido y una cubierta de teja cerámica sobre estructura de madera. Actualmente, el edificio continúa en uso como institución educativa.

Para su análisis energético, se empleó un modelo BIM en Autodesk Revit con un nivel de desarrollo (LOD) 250. Durante el proceso de optimización, el cual es más complejo que el anterior, se realizaron ajustes geométricos significativos, incluyendo la simplificación de geometría, limpieza de elementos duplicados,

eliminación de componentes no relevantes para la simulación, corrección de uniones entre elementos constructivos y unificación de espesores en los muros. El modelo fue posteriormente exportado a formato IFC para su análisis paralelo en herramientas de CYPE y en paralelo se generó un modelo analítico para la simulación dentro de la plataforma de Autodesk Insigh (Figura 24)



Figura 24. (izq) Modelo nativo HBIM, (centro) Modelo optimizado para simulación (der) Modelo analítico extraído del modelo optimizado del Colegio General navarro. Fuente: Propia

La caracterización energética de la envolvente se basó en los materiales originales del edificio. La zonificación térmica se definió en función de los espacios funcionales del colegio que arroja alrededor de 46 habitaciones. Las condiciones de uso se establecieron según el horario escolar habitual, lo que implica una ocupación intermitente durante el día en días laborables. El análisis se realizó considerando la zona climática C, conforme a la normativa española.

Con las mismas rutas de simulación aplicadas al anterior caso de estudio. En Revit, la demanda energética total estimada fue de 229,58 kWh/m²/año, como se muestra en la Figura 25. En el caso de CYPE, aunque inicialmente no se generó un informe de certificación energética, sí se obtuvieron resultados parciales de simulación que muestran una energía total del edificio de 159.762,92 kWh. En cuanto a la energía total de la fuente, se registraron 511.049,70 kWh. Estos valores permiten tener una primera aproximación al comportamiento energético del edificio, aunque no se haya generado una certificación formal. La ausencia del informe puede deberse a limitaciones en la configuración del uso del edificio o a incompatibilidades de modelado, que aún se están revisando (Figura 26).

Durante el modelado y la simulación se identificaron algunas dificultades técnicas, principalmente relacionadas con la correcta unión entre muros y forjados, así como la necesidad de homogeneizar espesores de muros para garantizar la coherencia del modelo analítico. La comparación entre herramientas evidenció diferencias en la forma de interpretar los datos geométricos y energéticos, lo que refuerza la importancia de validar los modelos antes de la simulación.

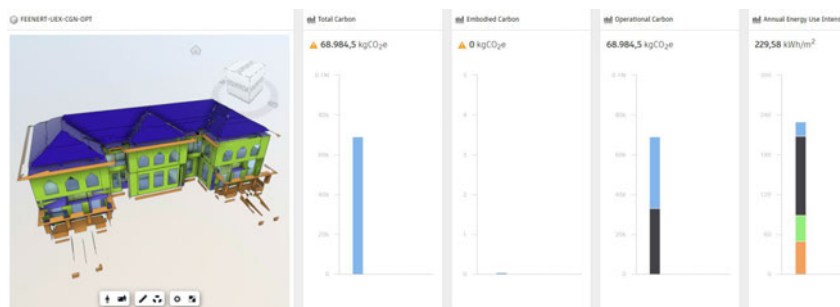


Figura 25. Resultado de demanda energética para el Colegio General Navarro en la plataforma Autodesk Carbon Insigh. Fuente: Propia

No se evaluó el consumo de energía primaria ni las emisiones de CO₂, ya que el estudio se centró exclusivamente en el comportamiento de la envolvente térmica. Tampoco se obtuvo una etiqueta energética oficial, aunque los valores obtenidos reflejan un rendimiento térmico mejorable, especialmente considerando el uso educativo del edificio.

Energía del sitio y de la fuente

	Energía total [kWh]	Energía por superficie total construida [kWh/m ²]	Energía por superficie edificada acondicionada [kWh/m ²]
Energía total del sitio	159762.92	59,70	80.68
Energía del sitio neto	159762.92	59,70	80.68
Energía total de la fuente	511049.70	190.98	258.09
Energía de fuente neta	511049.70	190.98	258.09

Figura 26. Informe de consumo extraído de Cype Therm HE plus para el Colegio General Navaro. Fuente: Propia.

4.3 Palacio Carvajal- Cáceres

El Palacio Carvajal, situado en el centro histórico de Cáceres, es una edificación patrimonial del siglo XV que actualmente alberga funciones administrativas y turísticas bajo la gestión del ayuntamiento. Con una superficie aproximada de 650 m² distribuidos en tres plantas, el edificio presenta una envolvente compuesta por muros de sillería de granito y piedra gneis, revestidos con mortero, por lo menos en su interior, forjados terminados en baldosa de barro cocido y cubierta de teja cocida sobre estructura de madera.

El modelo BIM fue desarrollado en Autodesk Revit con un nivel de desarrollo (LOD) 250. Durante el proceso de modelado se realizaron múltiples ajustes geométricos: simplificación de geometría que no aplica para la simulación como los muros del jardín interior, limpieza de elementos duplicados y niveles innecesarios, corrección de uniones entre muros y forjados, unificación de espesores de muros y ajustes en la cubierta. El modelo fue exportado a formato IFC para su análisis en herramientas de CYPE y en paralelo se generó un modelo analítico para la simulación dentro de la plataforma de Autodesk Insight (Figura 27)

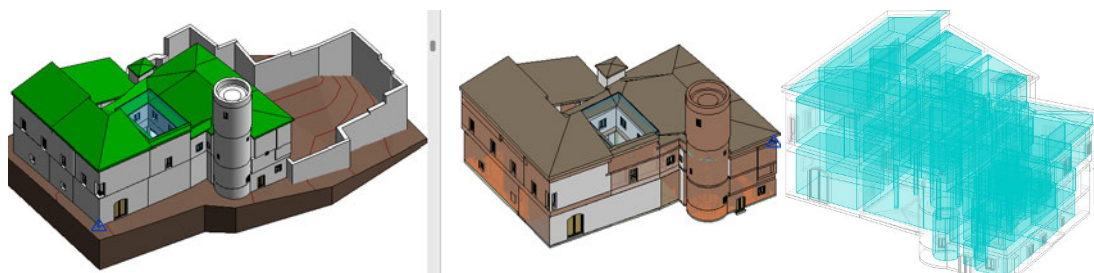


Figura 27. (izq) Modelo nativo HBIM, (centro) Modelo optimizado para simulación (der) Modelo analítico extraído del modelo optimizado del Palacio Carvajal. Fuente: Propia

La caracterización energética se centró en la envolvente térmica original, y la zonificación térmica se definió en función de los espacios funcionales del edificio, aproximadamente 32 habitaciones. Las condiciones de uso se establecieron como ocupación en horario laboral de lunes a viernes, en línea con su uso administrativo actual. El análisis se realizó bajo la zona climática C, conforme a la normativa española.

Se intentó aplicar el flujo de trabajo en ambas rutas: Autodesk Revit (Insight) y CYPE Therm HE Plus. Sin embargo, en ambos casos se presentaron dificultades técnicas que impidieron obtener resultados completos. En Revit Insight, la simulación no arrojó resultados de demanda energética, únicamente un valor de huella de carbono, posiblemente debido a problemas de georreferenciación del modelo o a errores en la definición de niveles y zonas térmicas. En CYPE, tampoco se generó el informe de certificación energética. Esta situación se atribuye a la complejidad e irregularidad del modelo, el exceso de niveles superpuestos, la fragmentación de elementos constructivos y la falta de continuidad en la envolvente, lo que impide al motor de cálculo interpretar correctamente el modelo analítico (Figura 28).

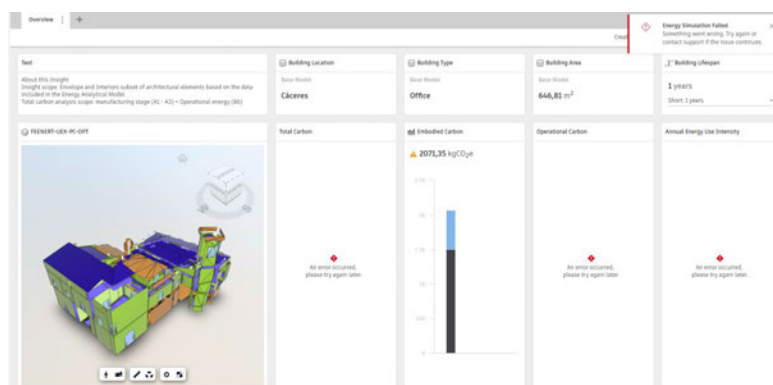


Figura 28 Resultado de demanda energética para el Palacio Carvajal en la plataforma Autodesk Carbon Insight. Fuente: Propia.

5. CONCLUSIONES

La aplicación del flujo de trabajo HBIM-BEM en edificaciones tradicionales de Extremadura ha evidenciado tanto el potencial como las limitaciones de las herramientas digitales actuales para el diagnóstico energético de este tipo de arquitectura tradicional con potencial patrimonial. La investigación ha demostrado que la complejidad geométrica, la morfología irregular y la diversidad constructiva de los edificios tradicionales representan un reto significativo para la generación de modelos analíticos válidos y funcionales en las simulaciones energéticas.

Uno de los hallazgos más relevantes es que la calidad del modelado HBIM influye directamente en la capacidad de las plataformas para generar simulaciones energéticas coherentes. La necesidad de simplificar geometrías, corregir uniones entre elementos, unificar espesores y eliminar niveles innecesarios fue constante en los tres casos de estudio. Estas tareas, aunque necesarias, requieren un conocimiento técnico avanzado y una comprensión profunda del comportamiento constructivo original del edificio.

Asimismo, se identificó una fuerte dependencia de las plataformas utilizadas. Autodesk Revit e Insight, por un lado, y CYPE Therm HE Plus, por otro, ofrecen enfoques distintos que no siempre convergen en resultados comparables. La interoperabilidad entre ambas rutas, aunque posible mediante formatos como IFC, se ve limitada por la forma en que cada software interpreta la geometría, los materiales y las condiciones de uso. Esto refuerza la importancia de validar los modelos antes de la simulación y de establecer criterios comunes de modelado y caracterización energética.

En cuanto a los resultados, se observaron diferencias significativas entre las herramientas, especialmente en edificaciones con mayor complejidad como el Palacio Carvajal. En algunos casos, no fue posible obtener informes completos de certificación energética debido a errores de modelado, problemas de georreferenciación o incompatibilidades normativas. Esto pone de manifiesto la necesidad de seguir desarrollando metodologías específicas para el patrimonio construido, que consideren sus particularidades y permitan una integración más fluida con los motores de cálculo actuales.

Finalmente, el estudio confirma que el flujo de trabajo propuesto no solo permite identificar oportunidades de mejora en las edificaciones de arquitectura tradicional, sino que también ofrece a las administraciones públicas una herramienta técnica robusta para la toma de decisiones informadas en procesos de conservación y rehabilitación energética.

AGRADECIMIENTOS

Esta comunicación se acoge dentro del proyecto 0083 FEENERT_4_E y está cofinanciada por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional FEDER a través del Programa Interreg V-A España-Portugal (POCTEP) 2014-2020".

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Angulo Angulo, E. C. (2024). METODOLOGÍA HBIM APLICADA AL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO. RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental, 1-16. doi: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n11-158>
- De Hoz Onrubia, J. (7 de 2021). Arquitectura tradicional y sostenibilidad. Arquitectura industrial e insostenibilidad. revista PH. doi: <https://doi.org/10.33349/2021.104.4984>
- Guerrero Baca, L. (2010). La herencia de la arquitectura tradicional. Alarife, 8-26. doi: ISSN 1657-6101
- Maldonado, L., & Cossio, V. L. (2011). El patrimonio arquitectónico construido con tierra. Las aportaciones historiográficas y el reconocimiento. Informes de la Construcción, 71-80. doi: <https://doi.org/10.3989/ic.10.062>
- Prado Costa, A., Mizrahy Cuperschmid, A. R., & Oliveira Neves, L. (2024). HBIM and BEM association: Systematic literature review. Journal of Cultural Heritage, 551-561. doi: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.01.008>
- Rudofsky, B. (1964). Architecture without architects. New York: Doubleday.
- Angulo, Edinson Christofer Angulo. 2024. "HBIM Methodology Applied to Architectural Heritage." *Revista de Gestão Social e Ambiental* 18(11):e09878. doi: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n11-158>
- Asdrubali, Francesco, Manuel Manzo, and Gianluca Grazieschi. 2021. "Interoperability between BIM and Building Energy Modelling – a Case Study." <https://doi.org/10.26868/25222708.2021.30849>
- Bulgarelli-Bolaños, Jose Pablo, Ileana Hernández-Salazar, and Francisco Pinto-Puerto. 2020. "Evolución de La Producción Científica Sobre Los Conceptos HBIM y Modelado 3D En La Gestión de Obras Patrimoniales." *Revista Tecnología En Marcha*. doi: <https://doi.org/10.18845/tm.v33i8.5512>
- Nieto, Enrique, Daniel Antón, Fernando Rico, and Juan José Moyano. 2017. "BIM Methodology in Building Engineering Degree: Workshop in Graphical Expression of Technologies Subject = Metodología BIM En El Grado de Edificación: Modelo de Taller En La Asignatura Expresión Gráfica de Tecnologías." *Building & Management* 1(1):38. doi: <https://doi.org/10.20868/bma.2017.1.3523>
- Pérez Fajardo, José Bernardo. 2019. "Integración de Modelos BIM En Rehabilitación Energética. Caso: Bloque 11, Fase II - La Verdellada." <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/17452>
- Prada Hernández, Andrea Victoria. 2014. "Interoperabilidad de La Modelación Energética de Edificaciones (BEM) Con El Modelado de Información de Construcción (BIM): Experiencia Con El Diseño de Un Edificio de Oficinas En Colombia Andrea Prada-Hernández, Universidad de Los And." Trabajo de grado - Maestría, Universidad de los Andes, Bogotá DC.
- Tillería González, Jocelyn. 2010. "LA ARQUITECTURA SIN ARQUITECTOS, ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE ARQUITECTURA VERNÁCULA." *Revista AUS* 8:12–15. <https://doi.org/10.4206/aus.2010.n8-04>
- Vargas Febres, Carlos Guillermo. 2021. "Reflexiones Sobre Arquitectura Vernácula, Tradicional, Popular o Rural." *Arquitectura y Urbanismo* XLII:146–63.