

Metodología BIM e IFC en la mejora de la eficiencia energética de la arquitectura en madera del suroeste europeo

BIM information exchange for improving energy efficiency in buildings based on wooden construction systems in the European Southwest

Salvador Gilabert-Sanz 

Universitat Politècnica de Catalunya. salvador.gilabert@upc.edu

Alberto Sánchez Riera 

Universitat Politècnica de Catalunya. alberto.sanchez.riera@upc.edu

Jose-Vicente Oliver-Villanueva 

Universitat Politècnica de València. joolvil@upv.es

Melchor Monleón Domènech

Arquitecto. mel@ctav.es

Ernest Redondo Domínguez 

Universitat Politècnica de Catalunya. ernesto.redondo@upc.edu

Received 2023-08-29

Accepted 2024-03-27



To cite this article: Gilabert-Sanz, Salvador, Alberto Sánchez Riera, Jose-Vicente Oliver-Villanueva, Melchor Monleón Domènech, and Ernest Redondo Domínguez. "BIM information exchange for improving energy efficiency in buildings based on wooden construction systems in the European Southwest." *VLC arquitectura* 11, no. 1 (April 2024): 139-165. ISSN: 2341-3050. <https://doi.org/10.4995/vlc.2024.20244>

Resumen: El presente trabajo aborda el desarrollo de un proceso metodológico y diseño arquitectónico sostenible a partir del intercambio de información entre modelos constructivos realizados con la metodología BIM (*Building Information Modelling*) y los programas de certificación energética más comunes. Este traspaso de información constructiva ha resultado ser históricamente una tarea manual a la que el diseñador ha debido enfrentarse, a menudo, a partir de la generalización y simplificación de los modelos energéticos. Este escrito describe una metodología y aplicación web gratuita de desarrollo propio (IMIP-appweb), que permite la lectura de la información contenida en ficheros IFC y GBXML, e incorpora de forma automatizada los datos necesarios en el modelo energético, facilitando su calificación, contribuyendo a su evaluación, a la mejora de su rendimiento energético y, consecuentemente, a la reducción de su huella de carbono. La aplicación ha sido evaluada exitosamente a partir de los casos de estudio y pruebas piloto llevadas a cabo en el transcurso del proyecto IMIP (*Innovative Eco-Construction System Based on Interlocking Modular Insulation Wood & Cork-Based Panels*), simulados energéticamente con la ayuda de la herramienta. Esta aproximación supone una nueva estrategia en la lucha contra el cambio climático ya que: (a) reduce los tiempos de trabajo en los procesos de certificación energética; (b) facilita la interacción entre distintos modelos digitales promoviendo una toma de decisiones más informada en materia de diseño ambiental, que ha de contribuir finalmente a reducir el impacto de los edificios públicos y privados en el Sudoeste Europeo.

Palabras clave: arquitectura sostenible; BIM; IFC; construcción en madera; eficiencia energética.

Abstract: This paper addresses the development of a methodological process and sustainable architectural design through the exchange of information between construction models created using the Building Information Modelling (BIM) methodology and the most common energy certification programs. Historically, this transfer of constructive information has been a manual task that the designer has had to face, often through the generalization and simplification of the energy models. This document describes a methodology and a proprietary free web application (IMIP-webapp), which enables the reading of information contained in IFC and GBXML files, and incorporates, in an automated manner, the necessary data into the energy model, facilitating its rating, contributing to its evaluation, improving its energy performance, and, consequently, reducing its carbon

footprint. The application has been successfully evaluated based on case studies and pilot tests conducted over the course of the IMIP project (Innovative Eco-Construction System Based on Interlocking Modular Insulation Wood & Cork-Based Panels), simulated energetically with the assistance of the tool. This approach represents a new strategy in the fight against climate change as it: (a) reduces the working time in energy certification processes; (b) facilitates the interaction between different digital models promoting a more informed decision-making process in environmental design, which ultimately should contribute to reducing the impact of public and private buildings in Southwestern Europe.

Keywords: sustainable architecture; BIM; IFC; timber construction; energy efficiency.

INTRODUCCIÓN

El presente escrito se enmarca dentro de un proyecto de investigación más amplio denominado IMIP (*Innovative Eco-Construction System Based on Interlocking Modular Insulation Wood & Cork-Based Panels*), financiado por la Unión Europea a través de su programa Interreg SUDOE, que tiene como objetivo reducir las emisiones de CO₂ y gases de efecto invernadero (GEI) a partir de la adopción de tecnologías avanzadas en arquitectura y construcción sostenible basada en el uso de la madera y otros recursos forestales renovables del sur de Europa. Surge como respuesta a la evidencia de la emergencia climática, que ha supuesto nuevos desafíos en todos los campos de nuestra sociedad, especialmente en el ámbito de la construcción y el diseño arquitectónico, obligado a afrontar con celeridad nuevos retos en materia de eficiencia energética y de minimización de los recursos empleados.¹ En dicho proyecto se han venido construyendo en España y Portugal distintas pruebas piloto a partir de paneles prefabricados de madera y corcho, diseñados y fabricados durante el transcurso de la investigación. Para ello se empleó la metodología BIM, ampliamente utilizada en los procesos de diseño, construcción y operación,² al proporcionar una plataforma integral para la optimización, planificación y ejecución de este tipo de proyectos de forma más eficaz y eficiente.³ Sin embargo, el traspaso de información constructiva entre los programas BIM y los de calificación/simulación energética no es sencilla y ha resultado históricamente una tarea manual a la que el

INTRODUCTION

The present manuscript is part of a broader research project called IMIP (*Innovative Eco-Construction System Based on Interlocking Modular Insulation Wood & Cork-Based Panels*), funded by the European Union through its Interreg SUDOE program. The project aims to reduce CO₂ emissions and greenhouse gases (GHGs) through the adoption of advanced technologies in architecture and sustainable construction based on the use of wood and other renewable forest resources from Southern Europe. It arises in response to the evidence of the climate emergency, which has posed new challenges in all fields of our society, especially in the construction and architectural design sector, compelled to quickly address new challenges in energy efficiency and resource minimization.¹ Within this project, various pilot tests have been conducted in Spain and Portugal using prefabricated panels made of wood and cork, designed and manufactured during the course of the research. The Building Information Modelling (BIM) methodology was employed, widely utilized in design, construction, and operation processes,² providing a comprehensive platform for optimizing, planning, and executing such projects more effectively and efficiently.³ However, the transfer of construction information between BIM programs and energy qualification/simulation programs is not straightforward and has

diseñador ha debido enfrentarse, a menudo, a partir de la generalización y simplificación de los modelos energéticos.

Con el objetivo de facilitar este proceso, y constatar empíricamente la mejora y agilidad en los procesos de diseño de los edificios, su evaluación y certificación energética, en el presente artículo se describe el desarrollo de una metodología y una aplicación web (IMIP appweb) que permite la lectura de ficheros de intercambio de datos en formatos IFC 4 y GBXML, generados a partir de los modelos BIM, y su exportación directa a programas de certificación energética, tanto simplificada (CERMA) como general (HULC). La herramienta se ha desarrollado con el uso de código fuente abierto, lo que proporciona una alternativa a las soluciones propietarias, actuando de enlace entre el diseño BIM y el diseño medioambiental de manera abierta y gratuita. Se pretende así establecer un flujo de trabajo de mejora y eficiencia en el análisis energético de los proyectos, que contribuyan a una toma de decisiones más informada en términos de eficiencia energética, impacto ambiental, presupuesto de ejecución y beneficios sociales derivados. Su uso se extiende a la obra nueva y a las tareas de rehabilitación.

Los resultados obtenidos muestran que el uso de este tipo de estrategias, ofrece ventajas potenciales en los procesos de diseño ambiental, en tanto que facilita la interacción entre distintas disciplinas promoviendo una toma de decisiones más informada.

ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

El sector de la construcción en Europa es responsable del 40% de la energía consumida, del 35% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), del 50% de los materiales extraídos y del 30% del consumo de agua.⁴ El uso de la madera, ampliamente aceptado en el norte y este de Europa como principal estrategia para la descarbonización del sector de la construcción, se plantea como alternativa por su capacidad de almacenar carbono y ser fácilmente reutilizable.⁵ Así, el Comité Económico y Social europeo en su dictamen

historicamente ha sido una tarea manual, a menudo requiriendo a los diseñadores generalizar y simplificar los modelos energéticos.

Para facilitar este proceso y verificar empíricamente la mejora y agilidad en los procesos de diseño de los edificios, su evaluación y certificación energética, este artículo describe el desarrollo de una metodología y una aplicación web (IMIP appweb) que permite la lectura de ficheros de intercambio de datos en formatos IFC 4 y GBXML, generados a partir de los modelos BIM, y su exportación directa a programas de certificación energética, tanto simplificada (CERMA) como general (HULC). La herramienta se ha desarrollado utilizando código fuente de código abierto, lo que proporciona una alternativa a las soluciones propietarias, actuando como un enlace entre el diseño BIM y el diseño medioambiental de manera abierta y gratuita. El objetivo es establecer un flujo de trabajo para mejorar y aumentar la eficiencia energética en los proyectos, contribuyendo a una toma de decisiones más informada en términos de eficiencia energética, impacto ambiental, presupuesto de ejecución y beneficios sociales derivados. Su uso se extiende a la construcción nueva y a las tareas de rehabilitación.

Los resultados obtenidos demuestran que el uso de tales estrategias ofrece ventajas potenciales en los procesos de diseño ambiental, al facilitar la interacción entre diferentes disciplinas, promoviendo así una toma de decisiones más informada.

BACKGROUND AND STATE OF THE ART

The construction sector in Europe is responsible for 40% of the energy consumed, 35% of greenhouse gas (GHG) emissions, 50% of extracted materials, and 30% of water consumption.⁴ The use of wood, widely accepted in Northern and Eastern Europe, as the main strategy for decarbonizing the construction sector, is proposed as an alternative due to its ability to store carbon and be easily reusable.⁵ Thus, the European Economic and Social Committee in its opinion

sobre la «Construcción en madera para reducir el CO₂ en el sector de la construcción» afirma que, *el desarrollo y la innovación sobre materiales de construcción alternativos, fácilmente accesibles para las pymes son una herramienta importante para aprovechar el potencial de la construcción en madera.*⁶ Durante los últimos años se han desarrollado productos innovadores de madera transformada como la madera laminada (*Gluelam*) o los tableros contralaminados multicapa (*Cross Laminated Timber* o CLT), adecuados en estructuras de edificios en altura, gracias a sus propiedades físicas y a los beneficios ambientales que aportan. Por su parte, los sistemas modulares interconectados de paneles aislantes de madera y corcho pueden llegar a sustituir en parte a los sistemas tradicionales, generando beneficios técnicos, ambientales y socioeconómicos para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. Sin embargo, en el sur de Europa, concretamente, en el sur de Francia, España y Portugal se encuentra todavía en fases muy incipientes de desarrollo y es poco habitual.

Su integración en los procesos de construcción mediante la metodología BIM, capaz de aunar información geométrica y medioambiental, tal y como se ha hecho en el proyecto IMIP, representa un enfoque holístico que ha de permitir abordar este reto de forma más eficiente, ofreciendo soluciones técnicas, y promoviendo, finalmente, una transformación cultural hacia una construcción más responsable y consciente de su entorno.

En este contexto, la optimización de los procesos de análisis del comportamiento energético en los edificios emerge como estrategia clave para ayudar a reducir sustancialmente el consumo global de energía, estimada en una reducción de las emisiones de GEI del 10% al 30%, y una reducción del consumo energético cercano al 47% del promedio de edificios en Europa.⁷

Metodología BIM

Los beneficios de la implementación de la metodología BIM en los proyectos de construcción son ampliamente reconocidos, particularmente en las etapas tempranas del diseño, donde las decisiones cuestan menos, son

on “Wood Construction to Reduce CO₂ in the Construction Sector” asserts that “the development and innovation of alternative construction materials, easily accessible to SMEs, are an important tool for harnessing the potential of wood construction”.⁶ Innovative wood products have been developed in recent years, such as glued laminated timber (*Gluelam*) or cross-laminated timber (CLT) panels, suitable for high-rise building structures, due to their physical properties and environmental benefits. Interconnected modular systems of wood and cork insulation panels can partially replace traditional systems, generating technical, environmental, and socio-economic benefits for smart, sustainable, and inclusive growth. However, in Southern Europe, particularly in Southern France, Spain, and Portugal, their development is still in very early stages and is uncommon.

Their integration into construction processes using the BIM methodology, capable of combining geometric and environmental information, as demonstrated in the IMIP project, represents a holistic approach that should allow for more efficient addressing of this challenge, offering technical solutions, and ultimately promoting a cultural transformation towards more responsible and environmentally conscious construction.

In this context, the optimization of energy behavior analysis processes in buildings emerges as a key strategy to substantially reduce overall energy consumption, estimated to reduce GHG emissions by 10% to 30%, and energy consumption by close to 47% of the European building average.⁷

BIM Methodology

The benefits of implementing the Building Information Modeling (BIM) methodology in construction projects are widely recognized, particularly in the early stages of design, where

más eficaces y más fáciles de implementar. Estos van desde facilitar el análisis de su impacto durante todo el ciclo de vida,⁸ hasta la simulación en 4D, la coordinación, el aumento de la calidad y de la ejecución del trabajo.⁹ En relación con la fase de diseño, ha sido utilizado para la optimización del consumo de energía¹⁰ o la evaluación de emisiones de CO₂.¹¹ "Los estudios contemporáneos destacan las posibilidades de utilizar BIM para reducir el impacto ambiental general de un edificio, enfatizado especialmente en las primeras fases de diseño (...) La madera como material de construcción puede desempeñar un papel clave en la transición hacia un sector económico más sostenible y con menos emisiones".¹² En esta misma línea, la utilización de BIM en España puede suponer una reducción del 20% en las emisiones de CO₂ derivadas de la construcción del edificio.¹³ Su combinación con los programas de simulación energética parece poder reducir el consumo de energía de los edificios en un 33%.¹⁴ De manera análoga, otros estudios afirman que su uso en el diseño de edificios comerciales de oficinas permite una reducción de hasta el 15%, o de hasta un 7,5% durante la construcción de un edificio de oficinas.¹⁵

Formatos de intercambio estándar internacional (IFC) (*Industry Foundation Classes*) y el *Green Building Extensible Markup Language* (GBXML)

El intercambio de información entre diferentes plataformas del ámbito de la simulación energética, a menudo supone su simplificación constructiva para que esta pueda utilizarse de forma adecuada. Existen soluciones privativas de código no abierto que ofrecen este intercambio (Aplicad CTE HULC, CYPETHERM HE PLUS), pero en muchos casos requieren completar la información geométrica de forma manual, (CYPETHERM o TEKTON3d) al no ser compatibles con los formatos de exportación BIM. Este hecho supone que, para realizar un análisis energético y su posterior certificación, sea necesario confeccionar un modelo digital específico para cada aplicación utilizada.

La aparición del formato IFC, (*Industry Foundation Classes*), como estándar en el intercambio de información BIM, parecía solucionar esta deficiencia. Su

decisions are less costly, more effective, and easier to implement. These benefits range from facilitating impact analysis throughout the life cycle,⁸ to 4D simulation, coordination, increased quality, and work execution.⁹ In relation to the design phase, it has been utilized for energy consumption optimization¹⁰ or CO₂ emission assessment.¹¹ "Contemporary studies highlight the possibilities of using BIM to reduce the overall environmental impact of a building, especially emphasized in the early design phases(...) Wood as a building material can play a key role in transitioning towards a more sustainable and lower-emission economic sector".¹² Along the same line, in Spain, the use of BIM can result in a 20% reduction in CO₂ emissions from building construction.¹³ Its combination with energy simulation programs appears to reduce building energy consumption by 33%.¹⁴ Similarly, other studies assert that its use in commercial building design allows for a reduction of up to 15%, or up to 7.5% during office building construction.¹⁵

International Standard Exchange Formats (IFC) (*Industry Foundation Classes*) and *Green Building Extensible Markup Language* (GBXML)

Information exchange between different platforms in the realm of energy simulation often involves simplification for proper utilization. There are proprietary non-open source solutions that offer this exchange (Aplicad CTE HULC, CYPETHERM HE PLUS), but in many cases, they require manual completion of geometric information (CYPETHERM or TEKTON3d) as they are not compatible with BIM export formats. This implies that, to conduct energy analysis and subsequent certification, it is necessary to create a specific digital model for each application used.

The emergence of the IFC format (*Industry Foundation Classes*) as a standard in BIM information exchange seemed to solve this

origen se remonta a la década de 1990 y ha pasado por varias actualizaciones a lo largo del tiempo hasta la versión actual IFC4, que se enmarca dentro del estándar internacional ISO 16739. Por su parte, el formato GBXML (*Green Building Extensible Markup Language*) permite, en la metodología BIM, la exportación de un modelo energético simplificado de forma libre y universal. El formato es compatible con los principales proveedores de software de análisis de energía y BIM. “Ambos formatos, permiten identificar oportunidades para mejorar la eficiencia energética del edificio mediante la optimización del diseño y la selección de sistemas y materiales energéticamente eficientes”.¹⁶ Sin embargo, en la práctica, dichos formatos no son interpretados por los programas de certificación actuales, y mucho menos de forma gratuita.

Certificación energética

En Europa, la Directiva 2010/31/UE modificada en 2018 por la Directiva 2018/844, tiene por objeto mejorar la eficiencia energética de los edificios de la Unión Europea. Su transposición a las normativas nacionales de los estados miembros de la UE establece requisitos mínimos y un marco común para el cálculo de la eficiencia energética con el objetivo de acelerar la renovación, económicamente rentable, de los edificios existentes y la promoción de las tecnologías inteligentes en los edificios. Como consecuencia de su aplicación, la certificación energética es obligatoria tanto para los nuevos edificios como para aquellos que se venden o alquilan.

Se muestran a continuación los documentos reconocidos en España que pueden servir de apoyo al proceso de certificación energética de edificios para la elaboración de certificados energéticos (Figura 1).

Existen, además, otros programas de simulación energética que utilizan modelos de edificios virtuales en 3D para realizar cálculos de la demanda y el consumo energético del edificio como son: OpenStudio, DesignBuilder, IES VE-Pro, eQUEST, TAS, TRNSYS, o el sistema paramétrico Ladybug (Grasshopper, Rhinoceros), en su mayoría de código cerrado. Los

deficiencia. Its origin dates back to the 1990s and has undergone several updates over time, leading to the current version, IFC4, which falls under the ISO 16739 international standard. On the other hand, the GBXML format (*Green Building Extensible Markup Language*) allows for the export of a simplified energy model in the BIM methodology freely and universally. The format is compatible with major energy analysis and BIM software providers. “Both formats allow for identifying opportunities to improve building energy efficiency through design optimization and the selection of energy-efficient systems and materials.”¹⁶ However, in practice, these formats are not interpreted by current certification programs, let alone for free.

Energy Certification

In Europe, Directive 2010/31/EU, amended in 2018 by Directive 2018/844, aims to improve the energy efficiency of buildings in the European Union. Its transposition into the national regulations of EU member states establishes minimum requirements and a common framework for calculating energy efficiency with the aim of accelerating economically viable renovation of existing buildings and promoting smart technologies in buildings. As a consequence of its application, energy certification is mandatory for both new buildings and those being sold or rented.

Below are the recognized documents in Spain that can support the energy certification process for building energy certificates (Figure 1).

Furthermore, there are additional energy simulation programs that utilize virtual 3D building models for calculating the energy demand and consumption of a building, such as OpenStudio, DesignBuilder, IES VE-Pro, eQUEST, TAS, TRNSYS, or the parametric system Ladybug (Grasshopper, Rhinoceros), most of which are

<p>PROCEDIMIENTO GENERAL (para la Certificación Energética de edificios en proyecto, terminados y existentes)</p> <p>GENERAL PROCEDURE (for Energy Certification of planned, completed and existing buildings)</p>	HULC	<p>Anteriormente Lider y Calener. Promovido por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.</p> <p>Previously Lider and Calener. Promoted by the Ministry for the Ecological Transition and the Demographic Challenge.</p>
	CYPETHERM HE Plus.	<p>Al igual que todos los programas del procedimiento general permite obtener la certificación de eficiencia energética de un edificio, tanto en su fase de proyecto como del edificio terminado.</p> <p>AS all the general procedure programs, it allows you to obtain the energy efficiency certification of a building, both in its design phase and for the finished building.</p>
	SG SAVE	<p>Utiliza SketchUp como entorno gráfico.</p> <p>Use SketchUp as a graphical environment.</p>
	CE3X	<p>Inicialmente sólo para edificios existentes, ahora con una extensión para edificios nuevos.</p> <p>Initially only for existing buildings, now with an extension for new buildings.</p>
	TeKton3D TK-CEEP	<p>Programa informático de iniciativa privada para la calificación de eficiencia energética de Edificios de viviendas unifamiliares, Edificios de viviendas en bloque, Viviendas individuales pertenecientes a edificios en bloque y Edificios terciarios.</p> <p>Computer program, of private initiative, for the energy efficiency qualification of single-family residential buildings, block residential buildings, individual homes belonging to block buildings and tertiary buildings.</p>
<p>PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS (para la Certificación Energética de edificios existentes o viviendas)</p> <p>SIMPLIFIED PROCEDURES (for Energy Certification of existing buildings or homes)</p>	CE3	<p>Herramienta desarrollada por el IVE, reconocida por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del IDAE, y por el Ministerio de Fomento, que permite obtener la certificación energética de un edificio existente.</p>
	CE3X	<p>Tool developed by the IVE, recognized by the Ministry for the Ecological Transition and the Demographic Challenge, through the IDAE, and by the Ministry of Public Works, which allows obtaining the energy certification of an existing building.</p>
	CARMA	<p>Herramienta desarrollada por el IVE, reconocida por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y por el Ministerio de Fomento, y que permite obtener, de forma simplificada, la calificación de eficiencia energética de edificios de viviendas (existentes o de nueva creación).</p> <p>Tool developed by the IVE, recognized by the Ministry for the Ecological Transition and the Demographic Challenge and by the Ministry of Development, and which allows obtaining, in a simplified way, the energy efficiency rating of residential buildings (existing or newly created).</p>

Figura 1. Programas reconocidos por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.

Figure 1. Software recognized by the Ministry for Ecological Transition and Demographic Challenge and by the Ministry of Transport, Mobility, and Urban Agenda.

procesos internos para evaluar los proyectos en estos programas se realizan mediante motores de cálculo que simulan el comportamiento térmico del edificio como DOE-2, EnergyPlus o Radiance. Para su implementación se han de tener en cuenta factores como la orientación, la ubicación geográfica,

proprietary. The internal processes for evaluating projects in these programs are conducted through calculation engines that simulate the thermal behavior of the building, like DOE-2, EnergyPlus, or Radiance. Factors such as orientation, geographical location, building shape,

la forma del edificio, la envolvente térmica y los sistemas de climatización. Además de proporcionar información sobre el consumo energético y la eficiencia del edificio, estos programas también pueden generar certificaciones oficiales que cumplen con los estándares internacionales, como LEED, BREEAM o Passivhaus. Sin embargo, las simplificaciones en el modelo energético que generan, aunque pueden resultar aceptables para edificios convencionales, no son adecuadas para edificios de alta eficiencia energética. Implementar sistemas inteligentes de mejora de eficiencia, como sombreadores solares automatizados o sistemas inteligentes de ventilación natural forzada, es complejo porque su cálculo no está previsto y los programas cerrados dificultan su aplicación. En cuanto a la transmisión a través de puentes térmicos, estas soluciones ofrecen simplificaciones y su cálculo supone una aproximación, en muchos casos insuficiente. La operativa general, dentro de los programas reconocidos, requiere modelar el edificio ya sea numéricamente (CERMA o CX3) o en sus propios entornos de modelado (HULC o CypeTherm).

Desde esta perspectiva, parece conveniente abordar el desarrollo de una aplicación capaz de generar los recursos necesarios para simular el comportamiento del edificio a través de los programas reconocidos, sin necesidad de crear un nuevo modelo de edificio en cada uno de ellos. Todo ello con el ánimo de lograr una mayor compatibilidad e interacción con el resto de los procesos BIM, evitando errores causados por actualizaciones o duplicados del modelo original.

OBJETIVOS

Con el objetivo de constatar empíricamente la mejora y agilidad en los procesos de diseño de los edificios, su evaluación y certificación energética, se desarrolla una metodología que combina el uso de materiales sostenibles como la madera, con la utilización de TICs (BIM-IMIP appweb). Para ello se ha desarrollado una aplicación web que permite la lectura de ficheros de intercambio de datos en formatos IFC 4 y GBXML,

thermal envelope, and HVAC systems must be considered for their implementation. Besides providing information on energy consumption and building efficiency, these programs can also generate official certifications that comply with international standards, like LEED, BREEAM, or Passivhaus. However, the simplifications in the energy model they produce, although potentially acceptable for conventional buildings, are not suitable for high-efficiency energy buildings. Implementing intelligent efficiency improvement systems, such as automated solar shading or forced natural ventilation smart systems, is complex because their calculation is not anticipated and proprietary programs hinder their application. Regarding thermal bridging transmission, these solutions offer simplifications, and their calculation represents an approximation, often insufficient. The general operation, within recognized programs, requires modeling the building either numerically (CERMA or CX3) or within their own modeling environments (HULC or CypeTherm).

From this perspective, it seems prudent to pursue the development of an application capable of generating the necessary resources to simulate the building's behavior through recognized programs, without the need to create a new building model for each. This is aimed at achieving greater compatibility and interaction with the rest of the BIM processes, avoiding errors caused by updates or duplications of the original model.

OBJECTIVES

With the aim of empirically confirming the improvement and agility in building design processes, their evaluation, and energy certification, methodological approach combining the use of sustainable materials such as wood with the utilization of ICTs (BIM-IMIP appweb) is observed. To achieve this, a web application has been developed allowing the reading of data

generados a partir de los modelos BIM, y su exportación directa a programas de certificación energética, tanto simplificada (CERMA) como general (HULC). La herramienta se ha desarrollado con el uso de código fuente abierto, lo que proporciona una alternativa a las soluciones propietarias, actuando de enlace entre el diseño BIM y el diseño medioambiental de manera abierta y gratuita. Se pretende así establecer protocolos de mejora y eficiencia en el análisis energético de los proyectos, que contribuyan a una toma de decisiones más fundamentada en términos de eficiencia energética, impacto ambiental, presupuesto de ejecución y beneficios sociales derivados.

METODOLOGÍA BIM - IMIP APP WEB

El desarrollo de aplicaciones sobre plataformas web ha experimentado un importante crecimiento, alcanzando niveles de comparabilidad con las aplicaciones de escritorio tradicionales en varios aspectos. Esta es la opción de desarrollo escogida por sus ventajas potenciales, que incluyen:

- **Universalidad:** Las aplicaciones web son accesibles desde cualquier dispositivo con internet.
- **Compatibilidad con todos los sistemas operativos:** Windows, macOS, Linux y otros.
- **Facilidad de actualización e instalación:** sin necesidad de instalar nada en los dispositivos de los usuarios.

La herramienta web dirigida a todos los agentes y técnicos del sector que precisan simular y validar energéticamente sus proyectos. Sus especificaciones vienen determinadas por la normativa descrita en el Código Técnico de la Edificación (CTE), su Catálogo de Elementos Constructivos (CEC), y la normativa aplicable. Entre sus prestaciones está la capacidad de leer los datos geométricos (tamaño, orientación, gruesos)

exchange files in IFC 4 and GBXML formats, generated from BIM models, and their direct export to energy certification programs, both simplified (CERMA) and general (HULC). The tool has been developed using open-source code, providing an alternative to proprietary solutions, acting as a link between BIM design and environmental design in an open and free manner. The aim is to establish protocols to improve the analysis of energy efficiency of projects, contributing to more informed decision-making in terms of energy efficiency, environmental impact, execution budget, and derived social benefits.

BIM - IMIP APPWEB METHODOLOGY

The development of applications on web platforms has seen significant growth, reaching levels of comparability with traditional desktop applications in several respects. This development option was chosen for its potential advantages, including:

- **Universality:** Web applications are accessible from any device with internet access.
- **Compatibility with all operating systems:** Windows, macOS, Linux, and others.
- **Ease of updating and installation:** without the need to install anything on users' devices.

The web tool is aimed at all agents and technicians in the sector who need to simulate and energetically validate their projects. Its specifications are determined by the regulations described in the Technical Building Code (CTE), its Catalogue of Construction Elements (CEC), and applicable regulations. Among its features is the ability to read geometric (size, orientation, thickness) and

y físicos (densidad, transmitancia, etc..) de un modelo en formatos IFC y GBXML previamente generados con cualquier plataforma BIM.

Proceso de trabajo

1. Información constructiva: En la primera fase del diseño del prototipo se han utilizado herramientas de modelado BIM, tal como se ha comentado. Desde estas herramientas (Revit, Freecad, Archicad, etc.) se incorporan los parámetros ambientales, y la información geométrica y constructiva intrínseca a cada material, y necesarias para la simulación energética.
2. Intercambio de información: El intercambio de información constructiva se realiza mediante los ficheros IFC 4 junto al modelo energético GBXML. Estos son importados desde la aplicación "IMIP Appweb," donde se interpreta la estructura de datos y se visualiza el modelo 3D del proyecto.
3. Visualización del modelo: Tanto el modelo energético simplificado (GBXML) como el modelo constructivo (IFC) pueden ser visualizados de forma interactiva facilitando la comprobación de la correcta importación de la geometría de cada elemento y de sus datos asociados.
4. Exportación del Fichero de intercambio: Una vez comprobados los modelos estos pueden ser exportados a los certificadores gratuitos; CERMA o HULC, como herramientas de validación del diseño, y desde donde se obtendrá la demanda y eficiencia energética del modelo, (Figura 2). La aplicación puede encontrarse en: <https://imipapp.five.es>
5. Simulación energética: Una vez incorporadas las propiedades físicas y geométricas del modelo el programa de simulación es capaz de realizar la certificación energética.

physical (density, transmittance, etc.) data from a model in IFC and GBXML formats previously generated with any BIM platform.

Workflow

1. Constructive information: In the first phase of the prototype design, BIM modeling tools have been used, as mentioned. From these tools (Revit, Freecad, Archicad, etc.), environmental parameters, and the geometric and constructive information intrinsic to each material necessary for energy simulation are incorporated.
2. Information exchange: The exchange of constructive information is carried out through IFC 4 files along with the GBXML energy model. These are imported from the "IMIP Appweb" application, where the data structure is interpreted and the project's 3D model is visualized.
3. Model visualization: Both the simplified energy model (GBXML) and the constructive model (IFC) can be interactively visualized, facilitating the verification of the correct import of the geometry of each element and its associated data.
4. Exchange file export: Once the models have been checked, they can be exported to the free certifiers; CERMA or HULC, as design validation tools, from where the demand and energy efficiency of the model will be obtained (Figure 2). The application can be found at: <https://imipapp.five.es>
5. Energy simulation: Once the physical and geometric properties of the model have been incorporated, the simulation program is capable of performing the energy certification.

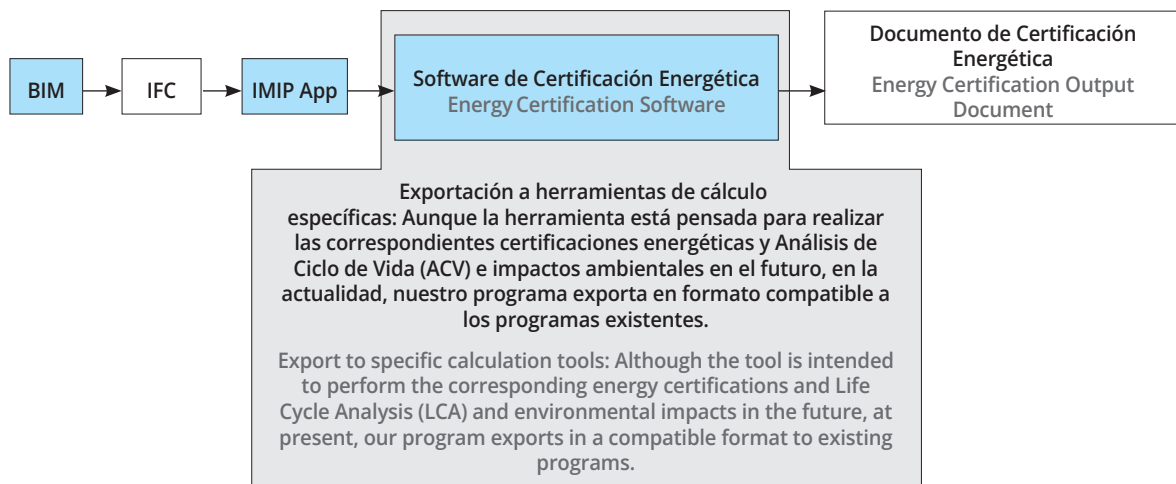


Figura 2. Esquema de interacción entre los modelos BIM, la IMIP appweb y los programas de certificación.

Figure 2. Interaction diagram between BIM models, the IMIP Appweb, and certification programs.

Desarrollo de la aplicación IMIP-Appweb

Gracias a las nuevas tecnologías implementadas en el entorno de las aplicaciones web, especialmente HTML5 y WebGL, ha sido posible lograr una visualización y manipulación fluida de los modelos 3D, incluso cuando se trabaja con archivos de gran tamaño.

HTML5 ha proporcionado un conjunto de funciones para el desarrollo web de la aplicación que ha resultado altamente interactivo y rico en contenido multimedia. Una de estas funciones es WebGL, que es una implementación de la especificación OpenGL ES (OpenGL para sistemas integrados) en el navegador web. Esta librería ha permitido aprovechar la capacidad de procesamiento gráfico del ordenador para generar gráficos 3D en tiempo real desde el navegador sin necesidad de complementos adicionales de forma efectiva y fluida. Esto incluye la representación de elementos arquitectónicos, estructurales y MEP (mecánicos, eléctricos e hidráulicos) en 3D. Además, estas tecnologías también han permitido la interacción con

IMIP-Appweb Development

Thanks to new technologies implemented in the web applications environment, especially HTML5 and WebGL, it has been possible to achieve smooth visualization and manipulation of 3D models, even when working with large files.

HTML5 has provided a set of functions for the web development of the application that has proven to be highly interactive and rich in multimedia content. One of these functions is WebGL, an implementation of the OpenGL ES specification (OpenGL for Embedded Systems) in the web browser. This library has enabled the use of the computer's graphical processing capacity to generate real-time 3D graphics from the browser without the need for additional plugins effectively and smoothly. This includes the representation of architectural, structural, and MEP (mechanical, electrical, and plumbing) elements in 3D. Moreover, these technologies have also

los modelos, seleccionar componentes y mostrar información adicional, incluso con ficheros de gran formato.

En el caso que nos ocupa, se ha utilizado además la biblioteca de javascript Three.js, de código abierto, que proporciona una capa de abstracción sobre WebGL, la API de gráficos 3D (THREE.JS 2023).

CASOS DE ESTUDIO

Para la validación de la herramienta descrita, en primer lugar se han analizado dos prototipos desarrollados durante el proyecto IMIP (casos 1 y 2), con sistemas constructivos basados en el uso de la madera contralaminada y corcho natural. Una vez comprobado el correcto funcionamiento de la aplicación se llevaron a cabo los casos 3 y 4 para la validación del mismo.

Caso 1. Acción piloto en Valencia (España, 2023)

Se trata de un prototipo construido en el marco del proyecto IMIP. En él se utilizó madera contralaminada y corcho natural local, que ha sido utilizado para la comparación de los beneficios energéticos con los de un sistema estructural y constructivo tradicional basado en ladrillo y hormigón. El prototipo se ha ubicado en la Universitat Politècnica de València y se ha convertido en un laboratorio para estudios de monitorización y simulación energética (Figura 3).

Caso 2. Acción Piloto en Lisboa, (Portugal, 2023)

Se trata la segunda acción piloto realizada en el marco del proyecto IMIP. En ella se ha analizado la eficiencia del nuevo sistema constructivo ecológico, de paneles modulares interconectados de madera y corcho para sistemas de construcción desmontables, recuperables y reutilizables (Figura 4). El prototipo, se ensambló *in situ* en 12 horas y tanto los impactos medioambientales como la eficiencia energética del edificio han demostrado ser excelentes.

allowed interaction with the models, to select components, and display additional information, even with large format files.

In this case, the open-source JavaScript library Three.js was also used, which provides an abstraction layer over WebGL, the 3D graphics API (THREE.JS 2023).

CASE STUDIES

For the validation of the described tool, two prototypes developed during the IMIP project have been analyzed in the first place (cases 1 and 2), with construction systems based on the use of cross-laminated timber and natural cork. Once the proper functioning of the application was confirmed, cases 3 and 4 were carried out for its validation.

Case study 1. Valencia Pilot Action (Spain, 2023)

This prototype was constructed within the framework of the IMIP project. Cross-laminated timber and local natural cork were used in it, which have been employed for comparing the energy benefits with those of a traditional structural and construction system based on brick and concrete. The prototype was located at the Polytechnic University of Valencia and has become a laboratory for monitoring and energy simulation studies (Figure 3).

Case study 2. Pilot Action in Lisbon, (Portugal, 2023)

This is the second pilot action carried out within the framework of the IMIP project. In it, the efficiency of the new ecological construction system, consisting of interconnected modular panels made of wood and cork for demountable, recoverable, and reusable construction systems, was carried out (Figure 4). The prototype was assembled on-site in 12 hours, and both the environmental impacts and the energy efficiency of the building have proven to be excellent.



Figura 3. Caso de estudio 1. Prototipo de Valencia, modelo de trabajo procesado en la IMIP appWeb y su construcción (Valencia, 2023).

Figure 3. Case study 1. Valencia prototype, processed working model in the IMIP appWeb and its construction (Valencia, 2023).

Caso 3. Acción Piloto Maçandell, (España, 2023)

Case study 3. Pilot Action in Maçandell, (Spain, 2023)

Se llevó a cabo con motivo de la rehabilitación energética de la Mas Maçandell en Girona. Se pretendía validar el uso de la aplicación en edificios existentes de cierta envergadura.

It was carried out as part of the energy rehabilitation of the Maçandell farmhouse in Girona. The aim was to validate the use of the application in existing buildings of a certain scale.

El proceso llevado a cabo por el grupo investigador, parte de la nube de puntos generada a partir del levantamiento fotogramétrico del edificio que representa

The process, carried out by the research group, starts with the point cloud generated from the photogrammetric survey of the building,

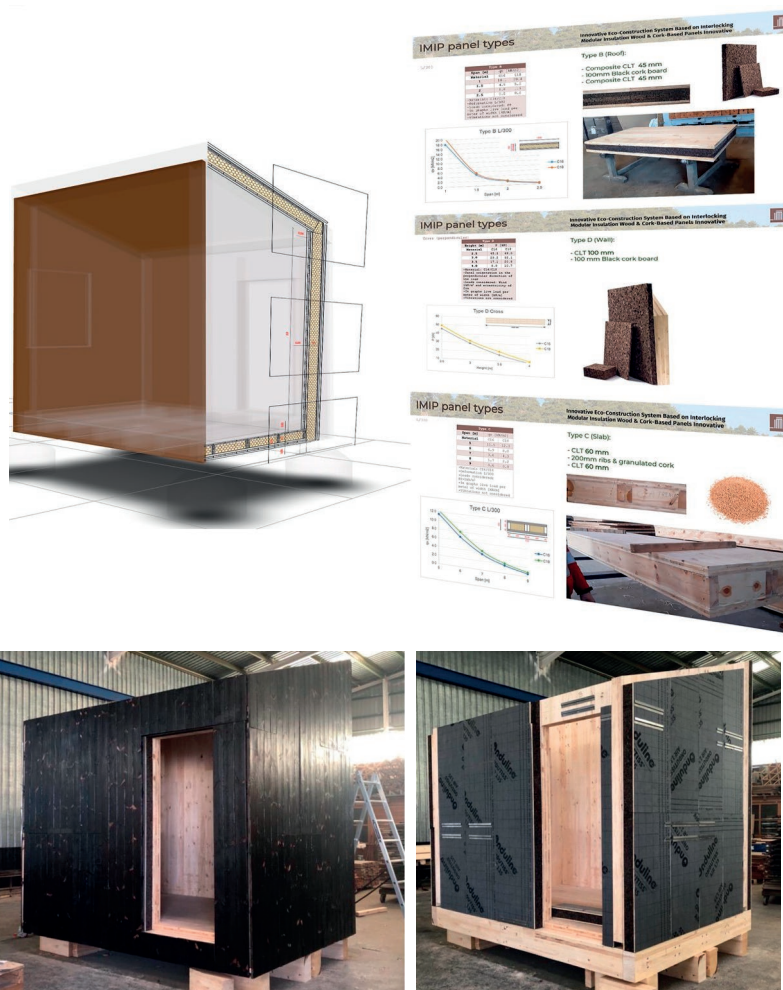


Figura 4. Caso de estudio 2. Prototipo de Lisboa, modelo de trabajo procesado en la IMIP appWeb y su construcción (Lisboa, 2023).

Figure 4. Case study 2. Lisbon prototype, processed working model in the IMIP appWeb and its construction (Lisboa, 2023).

su estado actual. El edificio es complejo por su heterogeneidad y está compuesto por varios volúmenes y sistemas constructivos diferentes. Para su construcción se han utilizado 1078 fotografías en formato RAW y JPG procesadas mediante el programa *Reality Capture V1.3*, y exportadas mediante un fichero RCP a un programa de modelado BIM (Figura 6). Este proceso permite un menor tiempo y precisión en el

representing its current state. The building is complex due to its heterogeneity and is composed of several volumes and different construction systems. For its virtual reconstruction, 1078 photographs in RAW and JPG format were used and processed using the *Reality Capture V1.3* software. A final model was exported via an RCP file to a BIM modeling program (Figure 6). This process



Figura 5. Imagen del caso de estudio 3, finca Mas Maçandell. Edificio acción piloto de análisis de los procesos de trabajo mediante la metodología BIM-IMIP appweb, para la mejora en la eficiencia energética en los procesos de rehabilitación.

Figure 5. Image of the third study case, Maçandell farmhouse estate. Pilot action building for the analysis of work processes using the BIM-IMIP appweb methodology, for the improvement of energy efficiency in rehabilitation processes.

levantamiento de edificios de geometría compleja, del que requeriría un levantamiento tradicional en CAD 3D.

allows for reduced time and increased precision in the surveying of such complex geometry buildings compared to traditional 3D CAD surveys.

Una vez importado en BIM, se procede a generar las mallas de los volúmenes por sistemas, separando las cubiertas, los muros y los forjados en capas distintas con la intención de mejorar la transferencia a los sistemas de datos completos, posibilitando la transferencia de información precisa al modelo BIM (Figuras 7, 8 y 9).

Once imported into BIM, the meshes of the volumes are generated by systems, separating the roofs, walls, and slabs into different layers with the intention of improving the transfer to complete data systems, enabling the transfer of precise information to the BIM model (Figures 7, 8, and 9).

Tras el ajuste del modelo BIM con los datos técnicos aplicados a cada sistema, incluidas las transmitancias térmicas, se procede a exportar el modelo en formatos IFC y energético GBXML (Figura 10), compatible con los principales proveedores de *software* de análisis de energía y BIM.

After adjusting the BIM model with the technical data applied to each system, including thermal transmittances, the model is exported in IFC and energy GBXML formats (Figure 10), which are compatible with the main providers of energy analysis software and BIM.

El formato de exportación IFC 4, debido a su estandarización y universalidad, resultó óptimo para la exportación del modelo de datos constructivos y para poder determinar su impacto ambiental a partir de

The IFC 4 export format, due to its standardization and universality, was optimal for exporting the model of construction data and for determining its environmental impact based on the



Figura 6. Levantamiento fotogramétrico de Mas Maçandell realizado a partir de fotogrametría.

Figure 6. Photogrammetric survey of Maçandell farmhouse carried out using photogrammetry.

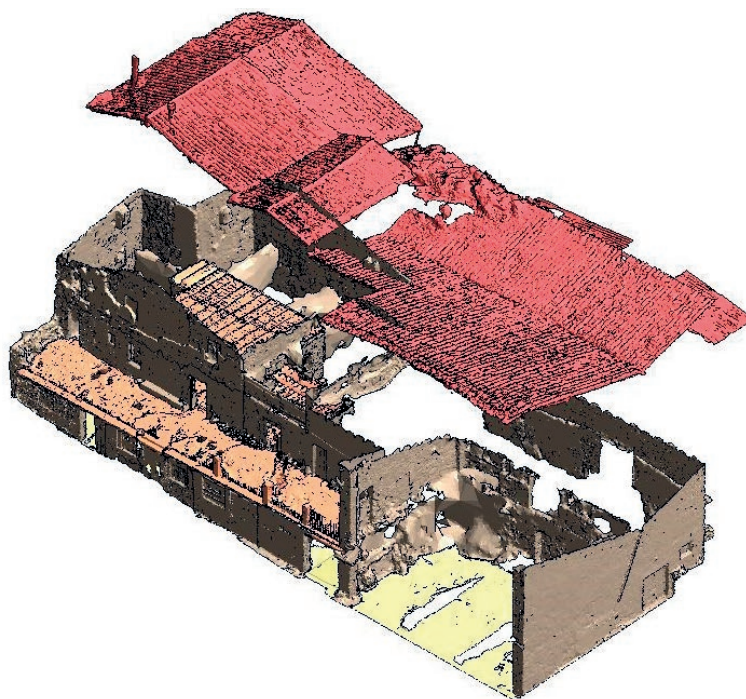


Figura 7. Mallado por sistemas constructivos en BIM del levantamiento volumétrico de Mas Maçandell.

Figure 7. Meshing by construction systems in BIM of the volumetric survey of Maçandell farmhouse.

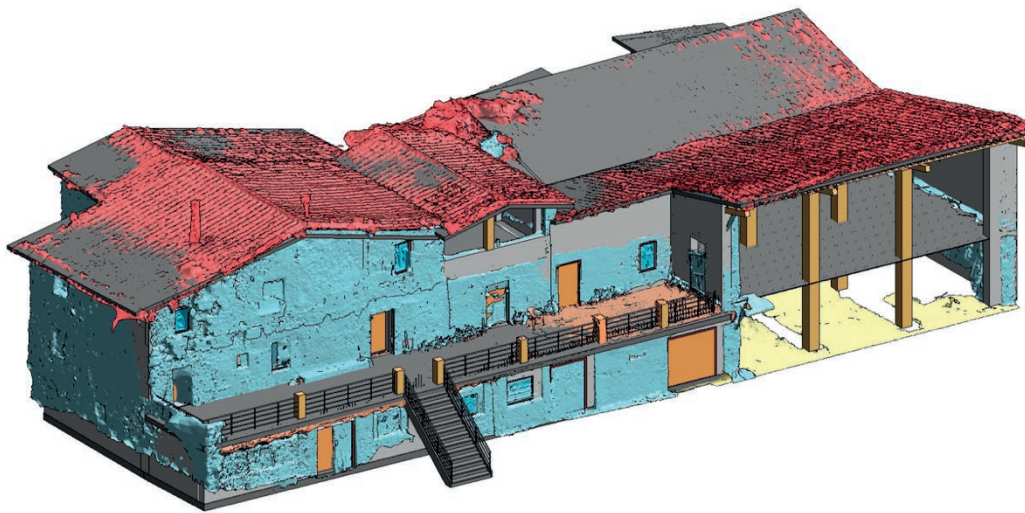


Figura 8. Ejemplo en edificio Mas Maçandell. Superposición del mallado y su modelo BIM.

Figure 8. Example in the Maçandell farmhouse building. Overlay of the mesh and its BIM model.

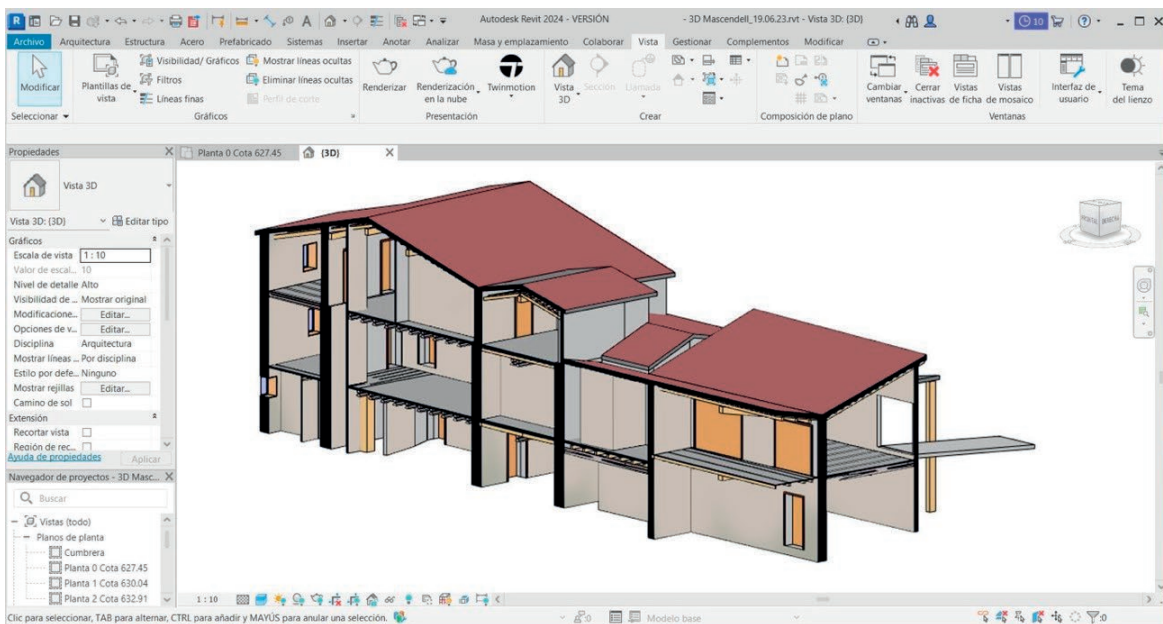


Figura 9. Ejemplo en edificio Mas Maçandell. Modelo BIM completo.

Figure 9. Example in the Maçandell farmhouse building. Complete BIM model.

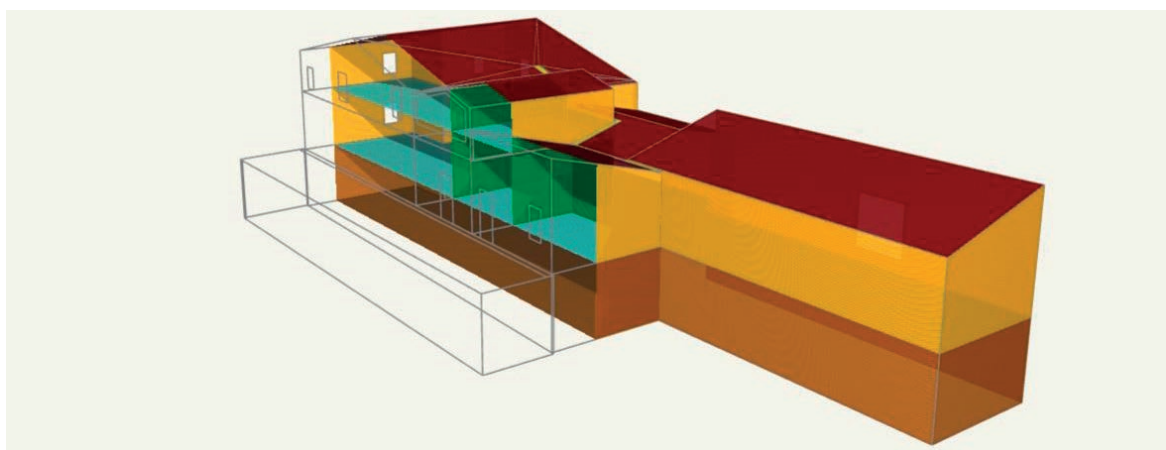


Figura 10. Ejemplo en edificio Mas Maçandell. Fichero en formato de exportación GBXML del modelo energético estándar.

Figure 10. Example in Maçandell farmhouse building. Exported file in GBXML format of the standard energy model.

la información almacenada en él. El formato GBXML combinado con el IFC se utiliza con fines de simulación energética a partir de la obtención de la geometría de un modelo energético simplificado permitiendo su exportación y análisis (Figura 11).

Finalmente se realizó la sustitución de los forjados y cubiertas a rehabilitar, mediante los sistemas locales de madera y corcho natural IMIP y se comprobó la mejora en la eficiencia energética del edificio, así como la reducción de los impactos medioambientales ejecutados.

Se importó el fichero al programa CERMA y se elaboró el certificado energético comparativo.

Caso 4. Acción Piloto Proyecto para emergencias de crisis humanitarias (2023)

Por último, dentro del proyecto de investigación IMIP, se ha realizado un trabajo colaborativo internacional con el objetivo de realizar una propuesta de aplicación de los sistemas y procesos analizados en este documento, para la dotación de viviendas de emergencia dignas, en un campo de refugiados ubicado en Miloslaw, Polonia. El enclave temporal debía ser

information stored in it. The GBXML format combined with the IFC was used for energy simulation purposes by obtaining the geometry of a simplified energy model, allowing for its export and analysis (Figure 11).

Finally, the replacement of the slabs and roofs to be rehabilitated was carried out using the IMIP local systems based on wood and natural cork. The improvement in the energy efficiency of the building and the reduction of the environmental impacts were verified.

The file was imported into the CERMA program, and a comparative energy certificate was prepared.

Case study 4. Pilot Action: Humanitarian crisis emergency project (2023)

Lastly, within the IMIP research project, an international collaborative effort has been undertaken to propose the application of the systems and processes analyzed in this document for providing dignified emergency housing in a refugee camp located in Miloslaw, Poland. The temporary settlement was intended to be

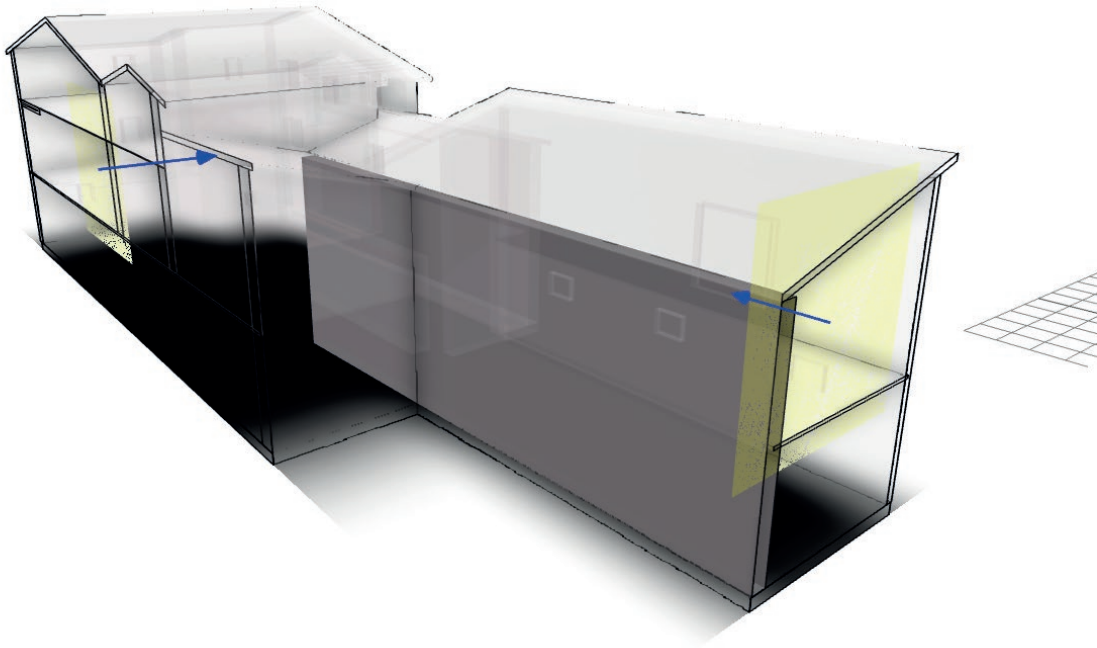


Figura 11. Ejemplo en edificio Mas Maçandell. Fichero importado en la "IMIP Appweb" a partir del formato IFC y GBXML, del modelo energético estándar.

Figure 11. Example in Maçandell farmhouse building. File imported into the "IMIP Appweb" from the IFC and GBXML format of the standard energy model.

habitado por los refugiados migrados de la guerra de Ucrania. El resultado tenía que cubrir tanto las condiciones de habitabilidad y salubridad, las condiciones térmicas, así como las necesidades de prefabricación, montaje y posterior reutilización en otro lugar.

inhabited by refugees displaced from the war in Ukraine. The outcome had to address both habitability and health conditions, thermal conditions, as well as the needs for prefabrication, assembly, and subsequent reuse elsewhere.

El resultado constata que tanto la metodología BIM-IMIP appweb, como los sistemas constructivos sostenibles en base madera y corcho natural, pueden aplicarse satisfactoriamente tanto en un edificio aislado como en un complejo de edificios correspondiente a un campo de refugiados de alrededor de 4000 personas. (Figura 12).

The result confirms that both the BIM-IMIP appweb methodology and sustainable construction systems based on wood and natural cork can be successfully applied both in isolated buildings and in a complex such as a refugee camp housing around 4000 people (Figure 12).

IV WORKSHOP Internacional ONLINE. Campo de refugiados. Crisis de Ucrania

Contexto: Situado a una distancia de 2 km del municipio de Międzyzdrze un pequeño pueblo con alrededor de 300 habitantes en el centro de Polonia, esta región presenta un clima frío y húmedo durante la mayor parte del año con inviernos rigurosos, largos y nevados, alcanzando temperaturas mínimas negativas y máximas de 1°C en enero, siendo únicamente el verano con climas cálidos, con temperaturas que oscilan entre los 14 y 20°C.

Objetivo: Los refugiados han sido uno de los principales consecuencias humanitarias del conflicto entre Ucrania y Rusia. El proyecto consiste en un centro para refugiados, inicialmente diseñado para albergar a 400 personas, incluidos hombres, mujeres, niños y ancianos que han experimentado muchos desafíos en su búsqueda de seguridad y protección.

Programa arquitectónico: Área de recepción y administración, vivienda, núcleo de baño y cocina compartidos, escuela, espacio para ocio, centro de salud, área para talleres, área para niños, área para deportes, zona deportiva, huerto y espacio para el comercio, tecnología como punto de reunión, ya que entendemos que aunque el fenómeno se cuenta con infraestructura de alta capacidad, debe poder albergar a un número de habitantes que exceda el número de habitantes del pueblo local en caso de una crisis de gestión en estos nuevos escenarios.

Concepto: La propuesta está inspirada por el concepto de "mass-building" que es una estrategia arquitectónica que utiliza módulos prefabricados de tamaño estándar para construir edificios flexibles y adaptables a diferentes necesidades y contextos. Para ello, el objetivo es diseñar una modulación basada en los grandes BMP que se utilizarán para la construcción de este complejo. El mass-building puede mejorar la calidad de vida de los refugiados al proporcionarles viviendas más cómodas y seguras. Los módulos prefabricados se pueden diseñar para ofrecer características como aislamiento térmico, ventilación, iluminación natural y sistemas de agua y saneamiento.

Acceso y flujo principal: El proyecto general dispone de dos accesos, el primero y el principal, ubicado a un costado del edificio ya construido dentro del lugar teniendo como nombre "Módulo Cubierta Ark-Spomeny Olski". Este acceso controla el flujo de personas del exterior, administración y seguridad del lugar y el segundo acceso, está al lado contrario del principal, conectado a través de un eje diagonal que divide al campo en dos, el segundo acceso podrá ser un acceso secundario para el traslado de mercancías que diseñamos el flujo en un centro de salud. El eje diagonal que funciona como principal vialidad cuenta con una parte central en donde se concentran el tiempo, edificios, en su parte más ancha cuenta con un área de 3 módulos libres y en su parte más angosta con un módulo, siendo estas calles las que establecen los edificios centrales que son escuela, centro de salud y centro de salud. Así mismo en el master plan se cuenta con dos calles secundarias que tienen por intención el dar un diagnóstico, estas calles son transversales y desde una calle hasta tener un acceso a la vialidad del pueblo de manera cómoda en caso de ser necesario, el ancho de la calle es igual a la dimensión de un módulo en este caso la medida interna de 6,00m.

Estructura: Gestión o que los módulos serán construidos a base de los paneles IMIP conlleva con una estructura de muros de carga, esta estructura permite que los espacios sean flexibles y que los espacios complementarios se desarrollen a partir de la configuración de los módulos, para que de manera ágil, teniendo como referencia este el dibujo que se usó para los edificios más grandes que son la escuela, el comedor y el centro de salud, tienen como base 4 módulos, cada uno, a diferencia de los núcleos de ducha y cocina, que en su mayoría están conformados por dos núcleos teniendo un total de 11 y 3 núcleos de un módulo, implantados en el campo de manera estratégica para que la distancia de los comedores de los usuarios fuera menor.

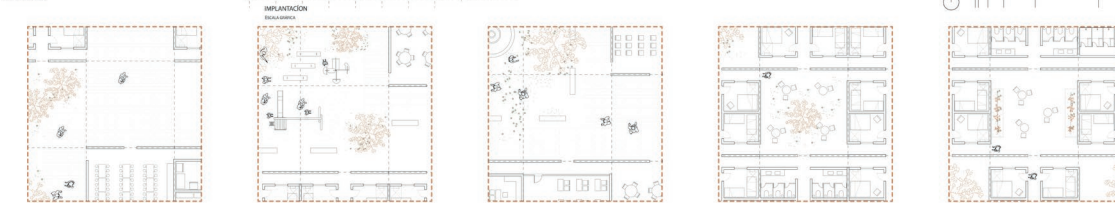
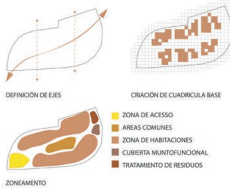
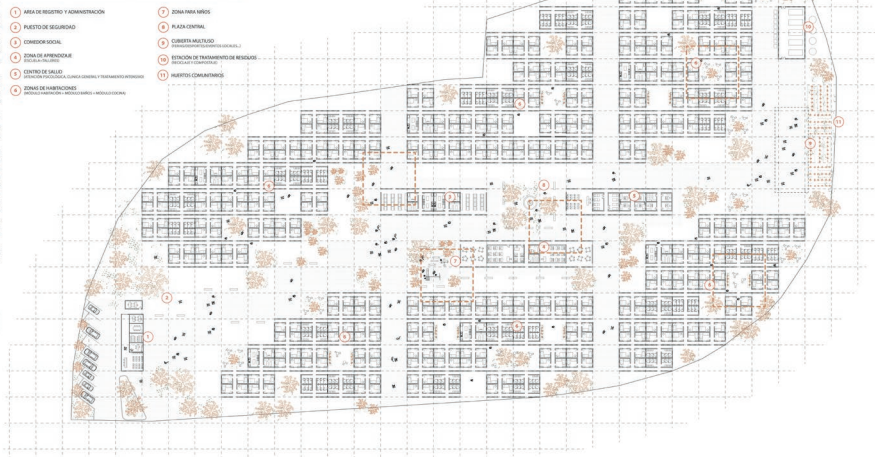


Figura 12. Resultado de sistema de agregación de módulos IMIP, para un campo de refugiados de Ucrania en Polonia (Proceso de colaboración internacional 2023).

Figure 12. Outcome of the IMIP module aggregation system for a refugee camp from Ukraine in Poland (International Collaboration Process 2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez modelado el edificio a partir de las propiedades físicas y geométricas de cada uno de los elementos constructivos, se ha procedido a la exportación del modelo e introducción en la aplicación. Posteriormente se ha exportado al programa de certificación CERMA y HULC, que han podido interpretar su geometría y las características térmicas de cada uno de los elementos del prototipo. Los resultados de la certificación obtenida se muestran en la Figura 13.

RESULTS AND DISCUSSION

Once the building was modeled based on the physical and geometrical properties of each construction element, it was exported into the application. Subsequently, it was exported to the certification programs CERMA and HULC, which were able to interpret its geometry and the thermal characteristics of each element of the prototypes. The certification results obtained are shown in Figure 13.

CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:			
Nombre del edificio	PILOT ACTION VALENCIA		
Dirección	UPV		
Municipio	Valencia	Código postal	080173
Provincia	Valencia/València	Comunidad Autónoma	Comunidad Valenciana
Zona climática	B3	Año construcción	2022
Normativa vigente (construcción/rehabilitación)	cte		
Referencia/s catastral/es	xxxxx		
Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:			
<input checked="" type="checkbox"/> Edificio de nueva construcción		<input type="checkbox"/> Edificio Existente	
<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda <input checked="" type="checkbox"/> Unifamiliar <input type="checkbox"/> Bloque <input type="checkbox"/> Bloque completo <input type="checkbox"/> Vivienda individual		<input type="checkbox"/> Terciario <input type="checkbox"/> Edificio completo <input type="checkbox"/> Local	

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE [kWh/m ² -año]		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO [kgCO ₂ /m ² -año]	
		28,54	
		4,84	

Chart 1: Comparison between IMIP D (façade) and Brick wall. WLC indicators

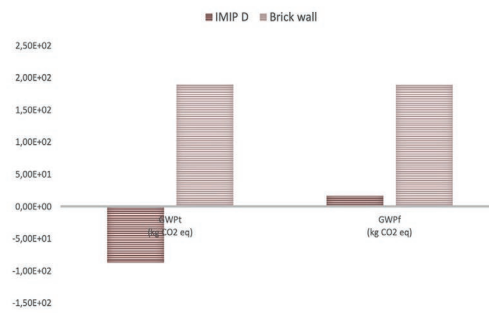


Chart 3: Comparison between IMIP C (floor) and Concrete floor. WLC indicators

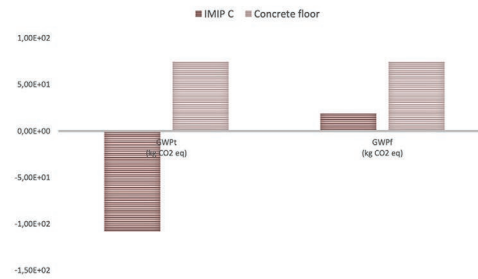


Figura 13. Obtención de la certificación energética de la acción Piloto de Valencia y Portugal, con resultados comparados de las emisiones en kg CO₂ equivalentes.

Figure 13. Results from the energy certification of the Pilot Action in Valencia and Portugal, with comparative results of emissions in kg CO₂ equivalentes.

Los resultados son claros: tanto las emisiones de CO₂ como los impactos medioambientales en kg de CO₂ equivalentes, son claramente inferiores entre los sistemas desarrollados en el proyecto IMIP con la metodología BIM- IMIP appweb, en contraposición a sus equivalentes en hormigón o ladrillo, alcanzando porcentajes de mejora de más del 100%.

The results are unequivocal: both CO₂ emissions and environmental impacts measured in kg of CO₂ equivalentes are significantly lower for the systems developed within the IMIP project using the BIM-IMIP appweb methodology, compared to their concrete or brick counterparts, achieving improvement percentages exceeding 100%.

Los resultados obtenidos, se centran fundamentalmente en dos aspectos. Por un lado, se ha evaluado la eficacia de la metodología BIM implementada con la IMIP appweb, y por otro se han analizado las mejoras en la reducción de los impactos medioambientales y

The results obtained focus primarily on two aspects. On one hand, the effectiveness of the BIM methodology implemented with the IMIP appweb has been evaluated, and on the other hand, improvements in the reduction of environmental impacts and CO₂ equivalent emissions have been analyzed

emisiones de CO₂ equivalentes en la implementación de los sistemas constructivos IMIP de madera como sustitución de sistemas constructivos comparables.

En el primer caso, queda confirmada que la herramienta IMIP appweb permitió una mejora de alrededor del 24% en los procesos de evaluación energética de los edificios. Se realizó una configuración tipo de envolvente mediante sistemas constructivos IMIP, dando una calificación energética resultante B. Tras la implementación del aumento de 1 cm de espesor del aislamiento de la envolvente de fachada sobre el mismo modelo BIM, la eficacia del edificio alcanzó una calificación A.

De la misma manera, se constata que la utilización de la metodología BIM supone una reducción del 20% en los plazos de iteración con intención de reducir las emisiones de CO₂ derivadas de la construcción del edificio. Si se compara la tabla de emisiones de kg CO₂ eq. en combustibles fósiles representada en la Figura 13 (*chart 1*), se obtiene un impacto del sistema de fachada IMIP de 1,70E+01 kg CO₂ eq., mientras que el equivalente en una fachada de ladrillo es de 1,85E+02 kg CO₂ eq., lo que implica que el impacto medioambiental comparado de un sistema en base a ladrillo cerámico frente a uno en base madera IMIP, es alrededor de diez veces superior. De manera análoga sucede con los sistemas de forjados y cubiertas (secciones *chart 1* y *chart 3*).

Si realizamos la comparación en el caso de GWPt en emisiones en kg de CO₂ eq. totales, los resultados son incluso más significativos, ya que los sistemas IMIP confeccionados en madera local y corcho natural tienen un efecto de sumidero de carbono. Estos datos reflejan que la diferencia se incrementa significativamente, llegando prácticamente a ser quince veces menor el impacto por emisiones totales en los sistemas IMIP que en los basados en cerámica.

Si bien es importante diferenciar los dos aspectos, por un lado la utilización de la metodología BIM implementada con la IMIP appweb y por el otro la utilización de sistemas constructivos más sostenibles IMIP, estos

in the implementation of IMIP wooden construction systems as a substitute for comparable construction systems.

In the first instance, it has been confirmed that the IMIP appweb tool facilitated an improvement of about 24% in the energy assessment processes of buildings. A typical envelope configuration was set up using IMIP construction systems, resulting in a B energy rating. After implementing an increase of 1 cm in the thickness of the facade's insulation (performed on the same BIM model), the building's efficiency was rated as A.

Similarly, it has been observed that the use of BIM methodology results in a 20% reduction in iteration times with the intention of reducing CO₂ emissions derived from building construction. Thus, when comparing section chart 1 of Figure 13, the table of emissions in kg CO₂ eq. from fossil fuels, an impact of 1.70E+01 kg CO₂ eq. is obtained for the IMIP facade system, whereas the equivalent for a brick facade is 1.85E+02 kg CO₂ eq., implying that the comparative environmental impact of a system based on ceramic brick versus one based on IMIP wood is about ten times higher.

A similar situation occurs with systems for slabs and roofs (sections chart 1 and chart 3). If the comparison is made in terms of GWPt in total Kg of CO₂ eq. emissions, the results are even more significant since IMIP systems made from local wood and natural cork have a carbon sink effect. These data indicate that the difference significantly increases, being nearly fifteen times less the impact from total emissions in IMIP systems than those based on ceramics.

While it is important to differentiate the two aspects, namely, the use of BIM methodology implemented with the IMIP appweb and the use of more sustainable IMIP construction systems, these results appear to show that the

resultados parecen mostrar que la combinación de ambas tecnologías reduce significativamente los impactos medioambientales en la construcción de edificios:

- Ayudan a mejorar sustancialmente la eficiencia energética en el entorno del 24%.
- Reducen los tiempos de trabajo y diseño, en alrededor del 30%.

CONCLUSIONES

La estrategia combinada de implementación de metodología BIM-IFC-Eficiencia energética, junto con la implementación de un modelo de construcción sostenible, aporta un valor añadido en términos de sostenibilidad ambiental, económica y social, reduciendo el impacto medioambiental de los edificios.

Este tipo de estrategias promueve: una economía baja en carbono; el uso en el sur de Europa de sistemas constructivos modulares interconectados hechos de madera y corcho locales; soluciones mixtas sostenibles, reciclables, reutilizables, y eficientes. Entre sus ventajas están:

- Técnicas, en cuanto a que estos materiales poseen una relación óptima entre su peso ligero y sus prestaciones físico-mecánicas, baja conductividad térmica y por tanto alta capacidad de aislamiento térmico, así como un alto aislamiento acústico.
- Medioambientales, en cuanto a que estas soluciones contribuyen al paso a una economía baja en carbono por su baja huella durante todo su ciclo de vida y su alta capacidad de reutilización y reciclaje.
- Socioeconómicas, en cuanto a que el impulso a la utilización de estos materiales a través del fomento de la eficiencia energética en políticas públicas supondrá la reactivación de un sector deprimido como es la actividad productiva en

combination of both technologies significantly reduces environmental impacts in building construction:

- They help to substantially improve energy efficiency by about 24%.
- Work and design times are reduced by about 30%.

CONCLUSIONS

The combined strategy of implementing BIM-IFC-Energy Efficiency methodology, along with the implementation of a sustainable construction model, adds value in terms of environmental, economic, and social sustainability, reducing the environmental impact of buildings.

This type of strategy promotes: a low-carbon economy; the use in Southern Europe of interconnected modular construction systems made of local wood and cork; sustainable, recyclable, reusable, and efficient mixed solutions. Among its advantages are:

- Technical advantages, as these materials have an optimal ratio between their lightweight and their physical-mechanical properties, low thermal conductivity, and therefore high thermal insulation capacity, as well as high sound insulation.
- Environmental advantages, as these solutions contribute to the transition to a low-carbon economy due to their low footprint throughout their life cycle and their high capacity for reuse and recycling.
- Socioeconomic advantages, as promoting the use of these materials through the encouragement of energy efficiency in public policies will reactivate a depressed sector such as productive activity in rural

las zonas rurales a través de la adaptación de industrias ya existentes y la constitución de otras nuevas, generando empleo.

- Formativas, en cuanto es una metodología sólida de ciencia en abierto, contrastada. Accesible, perfectamente integrable en los procesos formativos de todos los agentes implicados en la construcción, dentro de un entorno BIM que mejora la eficiencia energética y reduce el impacto ambiental de forma ágil. Útil en general para capacitar en la toma de decisiones y comparar objetivamente diferentes sistemas alternativos de construcción y sus mejoras en eficiencia energética, impacto ambiental y presupuesto de ejecución.

El diseño de herramientas específicas como la descrita (IMIP-.appweb) facilitan el intercambio de información entre plataformas, ayudando a una toma de decisiones más ágil y fundamentada en términos de diseño ambiental, revertiendo en un comportamiento más eficiente del parque edificado. Este tipo de estrategias, implementadas y validadas mediante una cooperación transnacional, supone una base de sólida, accesible y universal para su uso por parte de los profesionales en todas las etapas del proceso constructivo.

AGRADECIMIENTOS

El presente artículo expone los resultados obtenidos y desarrollados en el marco del proyecto europeo SUDOE IMIP (*Innovative Eco-Construction System Based on Interlocking Modular Insulation Wood & Cork-Based Panels*), financiado por el Programa Interreg Sudoe 2021-2024.

Hay que manifestar especial agradecimiento al trabajo realizado en la elaboración de la documentación gráfica por orden de intervención en el proceso, a:

- Roberto Pérez y (2023) por el proceso del levantamiento volumétrico de las arquitecturas analizadas, a través de la fotogrametría.

areas through the adaptation of existing industries and the establishment of new ones, generating employment.

- Training advantages, as it is a solid methodology of open, contracted science. Accessible; perfectly integrable into the training processes of all stakeholders involved in construction; within a BIM environment that improves energy efficiency and reduces environmental impact in an agile manner; useful in general for training in decision-making and objectively comparing different alternative construction systems and their improvements in energy efficiency, environmental impact, and budget execution.

The design of specific tools such as the one described (IMIP-.appweb) facilitates the exchange of information between platforms, helping to make more agile and informed decisions in terms of environmental design, resulting in more efficient behavior of the built environment. This type of strategy, implemented and validated through transnational cooperation, provides a solid, accessible, and universal basis for use by professionals in all stages of the construction process.

ACKNOWLEDGMENTS

This work has presented the results obtained and developed within the framework of the European project SUDOE IMIP, funded by the Interreg Sudoe Program 2021-2024.

The authors wish to express their sincere gratitude to all individuals who have contributed to the development and success of this project. In particular, the support provided by:

- Roberto Pérez and (2023) for the volumetric survey process of the analyzed architectures, through photogrammetry.

- David Infantes por su trabajo en la discretización de los grupos constructivos en mallas tridimensionales, a partir de la nube de puntos espacial.
- Diana Creus por su trabajo en la transformación de las mallas volumétricas a familias constructivas en formato BIM, así como su exportación a través de los ficheros IFC y GBXML.
- Mariana Verdade, Paulina Olicera, Marco Antonio Zarga, Guillermo Trejo, Isaac Israel Cobian, Osvaldo Pineda, Fátima Lizbeth Camarena, por el desarrollo del campo de refugiados en Polonia para la crisis humanitaria de Ucrania.
- Isidro Navarro Delgado como coordinador de los equipos para el diseño del campo de refugiados.
- David Infantes for his work on the discretization of the construction groups into three-dimensional meshes, based on the spatial point cloud.
- Diana Creus for her work on transforming the volumetric meshes into constructive families in BIM format, as well as their export through IFC and GBXML files.
- Mariana Verdade, Paulina Olicera, Marco Antonio Zarga, Guillermo Trejo, Isaac Israel Cobian, Osvaldo Pineda, Fátima Lizbeth Camarena, for the development of the refugee camp in Poland for the humanitarian crisis in Ukraine.
- Isidro Navarro Delgado as coordinator of the teams for the design of the refugee camp.

Notas y Referencias

- ¹ United Nations Environment Programme, *2022 Global Status Report for Buildings and Construction* (Nairobi: United Nations Environment Programme, 2022).
- ² Vítor Pereira et al., "Using BIM to Improve Building Energy Efficiency – A Scientometric and Systematic Review," *Energy and Buildings* 250, (2021): 111292. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111292>
- ³ Felipe Araya, "State of the Art of the Use of BIM for Resolution of Claims in Construction Projects Estado Del Arte Del Uso de BIM Para La Resolución de Demandas En Proyectos de Construcción," such as the nature of adversarial relationships between stakeholders, tight budgets, and the lack of incentives in contracts encouraging collaboration. Furthermore, the impact of claims will vary but is likely to have a negative impact on projects. Consequently, stakeholders have to manage the process of claim resolution. A challenge of this process is the understanding and clarity of the information used to resolve construction claims. A technology that has faced a steady growth in the construction industry is Building Information Modeling (BIM *Revista ingeniería de construcción* 34, no. 3 (2019): 299-306. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000300299>
- ⁴ Elías Hurmekoski, *How Can Wood Construction Reduce Environmental Degradation?* (Helsinki: European Forest Institute, 2017).
- ⁵ Karin Höglmeier, Gabriele Weber-Blaschke, "Potentials for Cascading of Recovered Wood from Building Deconstruction—A Case Study for South-East Germany," *Resources, Conservation and Recycling* 78 (2013): 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.07.004>.
- ⁶ Comité Económico y Social Europeo, "Construcción de madera para la reducción de CO₂ en el sector de la construcción," *Diario Oficial de la Unión Europea C 184/18*, 25 de mayo de 2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022AE6006>
- ⁷ M. Economidou et al., "Review of 50 Years of EU Energy Efficiency Policies for Buildings," *Energy and Buildings* 225 (2020): 110322.

Notes and References

- ¹ United Nations Environment Programme, *2022 Global Status Report for Buildings and Construction* (Nairobi: United Nations Environment Programme, 2022).
- ² Vítor Pereira et al., "Using BIM to Improve Building Energy Efficiency – A Scientometric and Systematic Review," *Energy and Buildings* 250, (2021): 111292. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111292>
- ³ Felipe Araya, "State of the Art of the Use of BIM for Resolution of Claims in Construction Projects Estado Del Arte Del Uso de BIM Para La Resolución de Demandas En Proyectos de Construcción," such as the nature of adversarial relationships between stakeholders, tight budgets, and the lack of incentives in contracts encouraging collaboration. Furthermore, the impact of claims will vary but is likely to have a negative impact on projects. Consequently, stakeholders have to manage the process of claim resolution. A challenge of this process is the understanding and clarity of the information used to resolve construction claims. A technology that has faced a steady growth in the construction industry is Building Information Modeling (BIM *Revista ingeniería de construcción* 34, no. 3 (2019): 299-306. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000300299>.
- ⁴ Elías Hurmekoski, *How Can Wood Construction Reduce Environmental Degradation?* (Helsinki: European Forest Institute, 2017).
- ⁵ Karin Höglmeier, Gabriele Weber-Blaschke, "Potentials for Cascading of Recovered Wood from Building Deconstruction—A Case Study for South-East Germany," *Resources, Conservation and Recycling* 78 (2013): 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.07.004>.
- ⁶ European Economic and Social Committee, "Opinion of the European Economic and Social Committee on 'Wooden construction for CO₂ reduction in the building sector,'" *Official Journal of the European Union C 184/18*, 25 May 2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022AE6006>
- ⁷ M. Economidou et al., "Review of 50 Years of EU Energy Efficiency Policies for Buildings," *Energy and Buildings* 225 (2020): 110322.

- ⁸ Stathis Eleftheriadis, Dejan Mumovic, y Paul Greening, "Life Cycle Energy Efficiency in Building Structures: A Review of Current Developments and Future Outlooks Based on BIM Capabilities," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67 (2017): 811-825.
- ⁹ Rafael Sacks et al., *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors* (Hoboken: Wiley, 2018). <https://doi.org/10.1002/9781119287568>.
- ¹⁰ Dian Zhuang et al., "A Performance Data Integrated BIM Framework for Building Life-Cycle Energy Efficiency and Environmental Optimization Design," *Automation in Construction* 127 (2021): 103712. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103712>
- ¹¹ Antonio Galiano-Garrigós et al., "Evaluation of BIM Energy Performance and CO₂ Emissions Assessment Tools: A Case Study in Warm Weather," *Building Research & Information* 47, no. 7 (2019): 787-812. <https://doi.org/10.1080/09613218.2019.1620093>.
- ¹² Mazur, Łukasz, y Anatolii Olenchuk, "Life Cycle Assessment and Building Information Modeling Integrated Approach: Carbon Footprint of Masonry and Timber-Frame Constructions in Single-Family Houses," *Sustainability* 15, no. 21(2023): 15486. <https://doi.org/10.3390/su152115486>
- ¹³ Pereira, "BIM to Improve Building."
- ¹⁴ Hao Gao, Christian Koch, y Yupeng Wu, "Building Information Modelling Based Building Energy Modelling: A Review," *Applied Energy* 238 (2019): 320-43. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.032>.
- ¹⁵ Ebrahim, Anju y Abhaykumar S. Wayal, "BIM Based Building Performance Analysis Of A Green Office Building," *International Journal of Scientific & Technology Research* 8, no. 8 (2019): 566-573.
- ¹⁶ Alkhatib, Fadi, Aawag Mohsen Alawag, y Ali Daris, "Building Information Modelling (BIM) and Energy Performance of Building - A Review," *Journal of Applied Artificial Intelligence* 2, no. 1 (2021): 22-31. <https://doi.org/10.48185/jaai.v2i1.581>.
- ⁸ Stathis Eleftheriadis, Dejan Mumovic, and Paul Greening, "Life Cycle Energy Efficiency in Building Structures: A Review of Current Developments and Future Outlooks Based on BIM Capabilities," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67 (2017): 811-825
- ⁹ Rafael Sacks et al., *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors* (Hoboken: Wiley, 2018). <https://doi.org/10.1002/9781119287568>.
- ¹⁰ Dian Zhuang et al., "A Performance Data Integrated BIM Framework for Building Life-Cycle Energy Efficiency and Environmental Optimization Design," *Automation in Construction* 127 (2021): 103712. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103712>
- ¹¹ Antonio Galiano-Garrigós et al., "Evaluation of BIM Energy Performance and CO₂ Emissions Assessment Tools: A Case Study in Warm Weather," *Building Research & Information* 47, no. 7 (2019): 787-812. <https://doi.org/10.1080/09613218.2019.1620093>.
- ¹² Mazur, Łukasz, and Anatolii Olenchuk, "Life Cycle Assessment and Building Information Modeling Integrated Approach: Carbon Footprint of Masonry and Timber-Frame Constructions in Single-Family Houses," *Sustainability* 15, no. 21(2023): 15486. <https://doi.org/10.3390/su152115486>
- ¹³ Pereira, "BIM to Improve Building."
- ¹⁴ Hao Gao, Christian Koch, and Yupeng Wu, "Building Information Modelling Based Building Energy Modelling: A Review," *Applied Energy* 238 (2019): 320-43. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.032>.
- ¹⁵ Anju Ebrahim, and Abhaykumar S. Wayal, "BIM Based Building Performance Analysis Of A Green Office Building," *International Journal of Scientific & Technology Research* 8, no. 8 (2019): 566-573.
- ¹⁶ Fadi Alkhatib, Aawag Mohsen Alawag, and Ali Daris, "Building Information Modelling (BIM) and Energy Performance of Building - A Review," *Journal of Applied Artificial Intelligence* 2, no. 1 (2021): 22-31. <https://doi.org/10.48185/jaai.v2i1.581>.

BIBLIOGRAPHY

- Alkhatib, Fadi, and Aawag Mohsen Alawag. "Building Information Modelling (BIM) and Energy Performance of Building - A Review." *Journal of Applied Artificial Intelligence* 2, no. 1 (2022): 22-31. <https://doi.org/10.48185/jaai.v2i1.581>
- Araya, Felipe. "State of the Art of the Use of BIM for Resolution of Claims in Construction Projects / Estado del arte del uso de BIM para la resolución de demandas en proyectos de construcción." *Revista ingeniería de construcción* 34, no. 3 (2019): 299-306. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732019000300299>
- Comité Económico y Social Europeo. "Dictamen del Comité Económico y Social Europeo sobre la 'Construcción en madera para reducir el CO₂ en el sector de la construcción'." Dictamen exploratorio a petición de la Presidencia sueca. Bruselas, 22 de marzo de 2023. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:OJ.C_.2023.184.01.0018.01.SPA
- Ebrahim, Anju, and Abhaykumar S. Wayal. "BIM Based Building Performance Analysis of a Green Office Building." *International Journal of Scientific and Technology Research* 8, no. 8 (2019): 566-573.
- Economidou, M., V. Todeschi, P. Bertoldi, D. D'Agostino, P. Zangheri, and L. Castellazzi. "Review of 50 Years of EU Energy Efficiency Policies for Buildings." *Energy and Buildings* 225 (2020): 110322. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110322>
- Eleftheriadis, Stathis, Dejan Mumovic, and Paul Greening. "Life Cycle Energy Efficiency in Building Structures: A Review of Current Developments and Future Outlooks Based on BIM Capabilities." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67 (2017): 811-25. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.028>
- Galiano-Garrigós, Antonio, Alicia García-Figueroa, Carlos Rizo-Maestre, and Ángel González-Avilés. "Evaluation of BIM Energy Performance and CO₂ Emissions Assessment Tools: A Case Study in Warm Weather." *Building Research & Information* 47, no. 7 (2019): 787-812. <https://doi.org/10.1080/09613218.2019.1620093>

- Gao, Hao, Christian Koch, and Yupeng Wu. "Building Information Modelling Based Building Energy Modelling: A Review." *Applied Energy* 238 (2019): 320–43. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.032>
- Höglmeier, Karin, Gabriele Weber-Blaschke, and Klaus Richter. "Potentials for Cascading of Recovered Wood from Building Deconstruction—A Case Study for South-East Germany." *Resources, Conservation and Recycling* 78 (2013): 81–91. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.07.004>
- Hurmekoski, Elias. "How Can Wood Construction Reduce Environmental Degradation?" Helsinki, *European Forest Institute*, 2017.
- Mazur, Łukasz, and Anatolii Olenchuk. "Life Cycle Assessment and Building Information Modeling Integrated Approach: Carbon Footprint of Masonry and Timber-Frame Constructions in Single-Family Houses." *Sustainability* 15, no. 21 (2023): 15486. <https://doi.org/10.3390/su152115486>
- Pereira, Vítor, José Santos, Fernanda Leite, and Patrícia Escórcio. "Using BIM to Improve Building Energy Efficiency – A Scientometric and Systematic Review." *Energy and Buildings* 250 (2021): 111292. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111292>
- Sacks, Rafael, Charles Eastman, Ghang Lee, and Paul Teicholz. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Hoboken: Wiley, 2018. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>
- United Nations Environment Programme. *2022 Global Status Report for Buildings and Construction*. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2022.
- Zhuang, Dian, Xinkai Zhang, Yongdong Lu, Chao Wang, Xing Jin, Xin Zhou, and Xing Shi. "A Performance Data Integrated BIM Framework for Building Life-Cycle Energy Efficiency and Environmental Optimization Design." *Automation in Construction* 127 (2021): 103712. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103712>.

Images source

1-4, 12-13. Author's elaboration. **5.** Roberto Perez, Olot 2023. **6.** Author's elaboration based on the work of Carles Pàmies. **7.** Author's elaboration based on the work of Diana Creus and David Infantes. **8.** Author's elaboration based on the work of Diana Creus. **9.** Author's elaboration based on the work of Diana Creus. **10.** Author's elaboration based on the work of Diana Creus. **11.** Author's elaboration based on the work of Diana Creus.