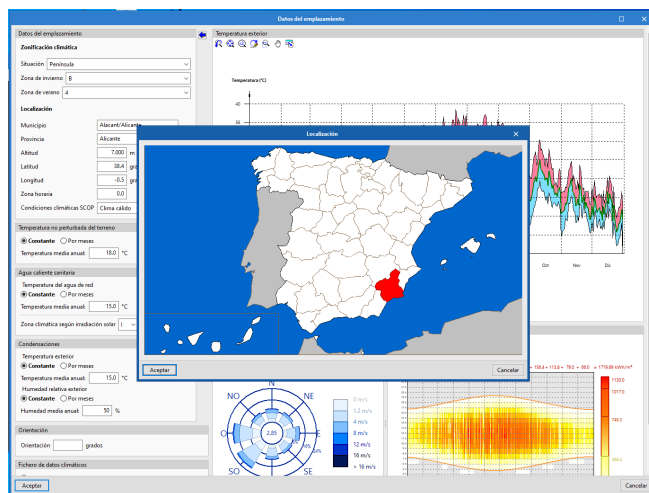
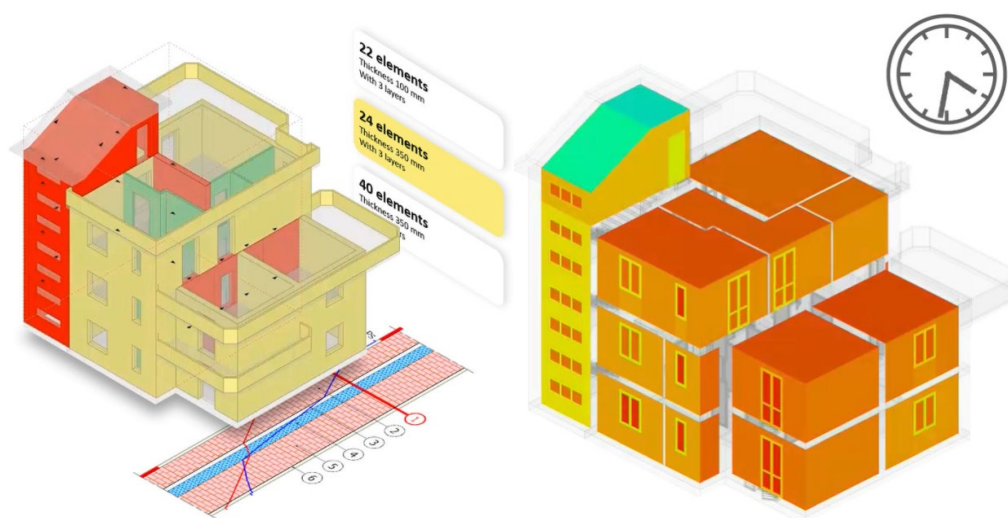


Proyecto Erasmus+ ID: 2023-1-ES01-KA220-HED-000156652

Este proyecto Erasmus+ ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta publicación refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión Europea y las agencias nacionales Erasmus+ no se hacen responsables del uso que pueda hacerse de la información contenida en ella.

Estado actual del uso del BIM para el análisis energético de edificios



Resumen

1-Introducción.....	3
2-BIM 6D en el mundo y en Europa.....	3
3-Estado actual del uso del BIM para el análisis energético de edificios	4
3.1-Definición de BIM y aplicaciones del BIM.....	5
3.2-Aplicación del BIM en el BEM	6
3.3-Proceso y componentes de interoperabilidad entre BIM y BEM	6
3.4-Estudios de investigación sobre el uso de BIM en la simulación energética	7
3.5 Soluciones Cype de BIM a BEM.....	9
4-Conclusiones	10
5-Referencias	10

Países como Dubái y Estados Unidos pueden citarse como ejemplos de una implementación temprana o pionera de este método, ya que cuentan con normativas y programas desde 2003. Durante la década e , varios países supervisaron el establecimiento de directrices y normativas, como Chile, Australia, Canadá y Corea del Sur, entre otros.

En Europa, han sido los países escandinavos los que han tomado la iniciativa en la implementación del BIM en sus proyectos, mediante la creación de normas, guías y asesoramiento.

En materia de eficiencia energética, también se está trabajando intensamente en todo el mundo para establecer formas de evaluar y establecer medidas y aplicaciones para mejorar las construcciones. Entre ellas se encuentra la certificación LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental), otorgada por el Consejo de Construcción Ecológica de Estados Unidos. Cuenta con un sistema de clasificación dividido en 5 categorías (Sitios Sostenibles, Ahorro de Agua, Energía y Atmósfera, Materiales y Recursos y Calidad Ambiental), y tiene cuatro niveles progresivos según la puntuación, visibles en la figura 2.



Figura 2. Niveles del certificado LEED

El certificado se utiliza ampliamente en América, especialmente en Estados Unidos, Canadá y algunas ciudades latinoamericanas.

Otro certificado importante es el BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology), creado por el Building Research Establishment del Reino Unido. Su implementación desde 1990 puede calificarse de pionera.

A nivel de software, existen varios programas que permiten generar estudios de eficiencia energética con fines de certificación. *Según un estudio de la Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, muchos de los programas BIM, plugins y otras aplicaciones de terceros disponibles en el mercado para el análisis y la simulación de edificios también pueden utilizarse como herramientas de apoyo en el proceso BIM. Algunos de ellos, como ArchiCAD, Revit, Vectorworks, Ecotect, Hourly Analysis Program (HAP), Integrated Environmental Solutions (IES-VE) o Green Building Studio (GBS), pueden utilizarse en diferentes tipos de certificación»* (BIM Alliance, 2024) [3].

Una posible desventaja es que, a pesar de la variedad de programas, hay que verificar la compatibilidad del programa con la certificación deseada, ya que no todos los programas son compatibles con todos los certificados, por lo que habría que incurrir en algún proceso adicional.

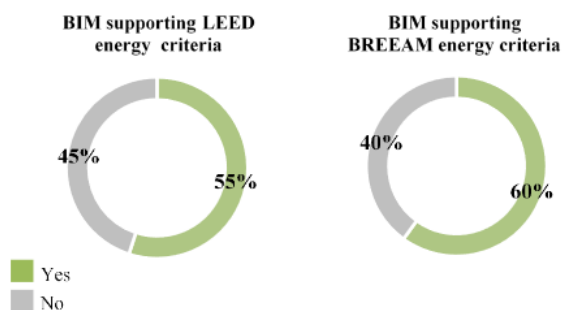


Figura 3. Software BIM compatible con los criterios energéticos LEED y BREAM

3-Estado actual del uso del BIM para el análisis energético de edificios

El rápido desarrollo del BIM y de las aplicaciones relacionadas con él ha brindado oportunidades para apoyar las prácticas de construcción ecológica, como el análisis acústico, las emisiones de carbono, la gestión de los

residuos de construcción y demolición, el análisis de la iluminación, el uso operativo de la energía y el uso del agua [4].

Aunque algunos autores [5] afirman que las herramientas BIM tienen varias limitaciones de capacidad en cuanto a la interoperabilidad y el intercambio de datos entre las herramientas BIM y BEM, lo cierto es que ya existen soluciones Open BIM para el análisis de la eficiencia energética en edificios. Estas herramientas leen la información necesaria de los modelos BIM, realizan análisis energéticos de acuerdo con la normativa nacional y guardan los resultados en el modelo BIM. Por ejemplo, CypeTherm HE plus.

Además, trabajos publicados, por ejemplo [6], intentan desarrollar un enfoque basado en BIM que pueda utilizarse para evaluar el rendimiento térmico de los edificios.

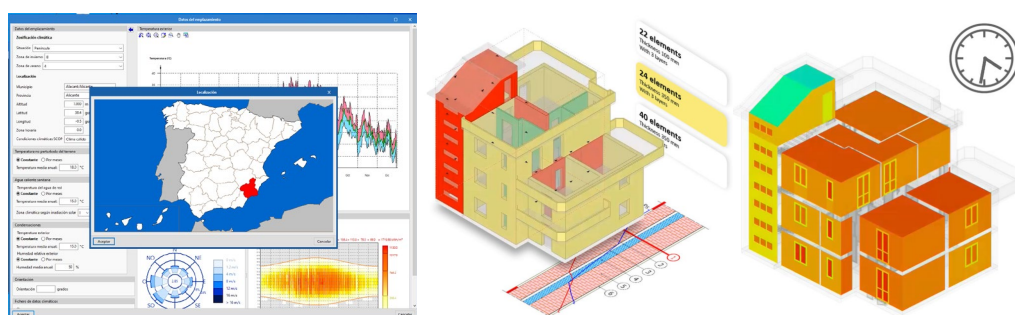


Figura 4: Modelo BIM y BEM para la evaluación de la eficiencia energética. Fuente: software Cype y ACCA

3.1-Definición de BIM y aplicaciones del BIM

La definición de Building Information Modeling (BIM) puede variar en función del contenido del modelo. Por ejemplo, un modelo de información podría incluir información sobre la geometría del edificio, los componentes de la envolvente, los materiales, los costes, el sistema de climatización, los sistemas eléctricos y las propiedades térmicas de los materiales. La norma nacional BIM de EE. UU. (NBIMS-US) define BIM como «el acto de crear un modelo electrónico de una instalación con fines de visualización, análisis de ingeniería, análisis de conflictos, verificación de criterios normativos, ingeniería de costes, producto tal y como se construye, elaboración de presupuestos y muchos otros fines» [7]. Krygiel y Nies definen BIM como «información sobre todo el edificio y un conjunto completo de documentos de diseño almacenados en una base de datos integrada» [8]. Smith y Tardif también definen BIM como «un mecanismo para transferir datos a información con el fin de obtener el conocimiento que nos permite actuar con sabiduría» [9].

La aplicación del modelado de información de construcción (BIM) en diversos campos se está expandiendo a medida que los investigadores reconocen los beneficios potenciales que ofrece. Si bien se informa que el BIM se utiliza para el análisis estructural y energético con frecuencias del 27 % y el 25 %, respectivamente, su uso principal sigue siendo el rápido desarrollo de modelos geométricos 3D y la coordinación 3D, con una frecuencia de uso del 60 % [10]. La aplicación del BIM no se limita a arquitectos e ingenieros.

También hay razones para que los propietarios de viviendas, los gestores de instalaciones, los contratistas y los fabricantes utilicen BIM [11]. Los factores clave que impulsan la adopción de BIM en los proyectos incluyen la automatización del proceso de modelado, la mejora de la precisión de los documentos de construcción, la mejora de la comunicación entre las partes en el proceso de diseño y construcción, el reflejo automático de los cambios en todas las vistas tras modificar una vista y la reducción de los problemas de coordinación sobre el terreno [11-14]. Si bien la mayoría de las aplicaciones BIM están dedicadas al diseño de edificios, no se ha prestado la misma atención a otras áreas, como el modelado energético, lo que puede denominarse proceso de interoperabilidad BIM-BEM (BBIP).

3.2- Aplicación del BIM en el BEM

La integración del modelado de información de edificios (BIM) en el modelado energético de edificios (BEM) presenta numerosas ventajas [5]:

- Automatización de los procesos de modelización energética.
- Almacenamiento y organización eficientes de los datos de los edificios (por ejemplo, datos en tiempo real).
- Mejora de las bibliotecas existentes (por ejemplo, incorporando atributos adicionales a los materiales).
- Mejora de la presentación de los resultados relacionados con la energía.

Las principales contribuciones del BIM al modelado, la simulación y la gestión de la información relacionados con la energía giran en torno a la facilitación del manejo de datos. Esto puede conducir a la automatización del modelado energético, a una mejor presentación de los resultados, a la capacidad de almacenar y organizar nuevos datos de edificios —en particular, información en tiempo real para mantener un modelo energético actualizado— y a la mejora de las bibliotecas existentes mediante la adición de nuevos atributos al proceso estándar de simulación energética [5].

Una de las ventajas significativas de aplicar BIM en la simulación energética de edificios es la automatización del proceso de modelado [14,15]. Esta automatización puede ahorrar tiempo, reducir costes y minimizar los errores humanos en comparación con los métodos tradicionales de modelado energético, que implican el desarrollo de un modelo gráfico en una herramienta BEM utilizando datos relacionados con la geometría, las propiedades de los materiales, los equipos y los horarios. Por ejemplo, la integración de un complemento en una herramienta de simulación energética como OpenStudio ofrece la posibilidad de conectar un BIMserver a la herramienta de simulación energética, lo que permite importar datos relacionados con la geometría, los materiales, los tipos de ventanas y las propiedades térmicas desde un archivo IFC [14].

3.3-Proceso y componentes de la interoperabilidad BIM-BEM

Para comprender de forma exhaustiva los retos y problemas del proceso de interoperabilidad BIM-BEM (BBIP), es útil clasificar los distintos componentes implicados, tal y como se ilustra en la figura 5. Las interacciones entre estos componentes pueden contribuir a la aparición de posibles problemas y retos, que se identifican y explican a continuación [5]:

1. Herramientas BIM: Algunos ejemplos son Revit y ArchiCAD.
2. Asignación de la información del edificio a un archivo BIM: este proceso consiste en traducir los datos del edificio a un formato compatible con BIM.
3. Estándares de archivos BIM: incluyen formatos como gbXML o IFC.
4. Interfaz gráfica de usuario (GUI) en herramientas BEM: algunos ejemplos son OpenStudio y DesignBuilder.
5. Asignación de datos de un archivo BIM a un archivo legible por BEM: este paso consiste en convertir los datos BIM a un formato que puedan leer las herramientas BEM.
6. Mapeo de datos de la GUI a un archivo legible por un motor de simulación: este proceso consiste en traducir los datos de la GUI a un formato adecuado para motores de simulación como EnergyPlus o DOE2.

Los problemas de interoperabilidad suelen surgir en los procesos numerados 2, 5 y 6. Estos pasos son puntos críticos en los que pueden producirse problemas de traducción y compatibilidad de los datos, lo que puede dar lugar a ineficiencias y errores en el flujo de trabajo del BBIP.

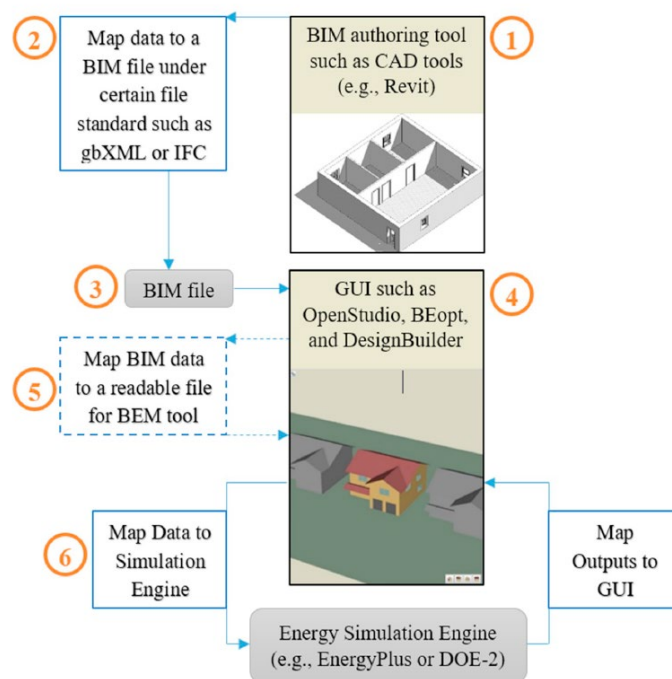


Figura 5: Proceso y componentes de la interoperabilidad entre BIM y BEM. Fuente: [5]

3.4-Estudios de investigación sobre el uso de BIM en la simulación energética

En la tabla 1 se presenta un resumen de los estudios de investigación revisados sobre la aplicación del modelado de información de edificios (BIM) en la simulación energética. Es evidente que ArchiCAD y Revit son las herramientas de autoría BIM predominantes utilizadas en estos estudios. Dependiendo del enfoque de la investigación, se emplean los esquemas de archivos BIM Industry Foundation Classes (IFC) o Green Building XML (gbXML). Las herramientas energéticas convencionales en Estados Unidos incluyen OpenStudio, EnergyPlus, Green Building Studio (GBS) y eQuest, aunque también existen herramientas internacionales como Modelica, COMETH y EnergyBuild.

Se observa que la mayoría de los retos y problemas identificados surgen durante el proceso de mapeo, que pueden clasificarse como problemas de interoperabilidad. Algunos ejemplos de estos retos son: la herramienta BIM puede no transferir toda la información de un modelo, el archivo BIM puede no guardar toda la información correctamente, la herramienta de modelización energética de edificios (BEM) puede no leer toda la información del archivo BIM, y la información puede no mapearse y transferirse correctamente al formato de archivo del motor de simulación energética y BEM. Sin embargo, el proceso de mapeo de datos al motor de simulación energética, como se indica en el componente 6 de la figura 5, no se analiza en profundidad en la bibliografía y representa un área que requiere más investigación.

Tabla 1: Estudios de investigación sobre el uso de BIM en simulaciones energéticas. Fuente [5].

Reference	BIM CAD tool	BIM file schema	Energy tool	Description of the study and adopted solutions
Epstein [16]	ArchiCAD	IFC	EnergyBuild	A case study in Greece adopted BIM to BEM process as part of the project
Ramaji et al. [14]	–	IFC	OpenStudio	Development of an add-on to import the data related to geometry, materials, windows types, and thermal properties from IFC file.
Yu [17]	Revit	IFC	OpenStudio	Development of a middleware, which use BIMserver and Query Generator to extract required data from IFC file. Users add missing data manually and a python script convert the file to a proper format for CONTAM for air distribution analysis.
Salakij et al. [18]	–	gbXML	Building Energy Analysis Model (BEAM) developed by Matlab	Developed an energy simulation tool using Matlab, which is capable of reading gbXML file to perform the energy analysis.
Krygiel and Nies [19]	Revit	gbXML	GBS	Energy analysis using BIM is performed to evaluate two façade systems.
Kim et al. [20] & Jeong et al. [21]	–	–	Modelica	The study is based on integration of Modelica to perform energy analysis, ModelicaBIM library to provide required data needed from BIM file, and using BIM API to retrieve data from conventional BIM tools such as Revit and ArchiCAD.
O'Donnell et al. [23] & Bazjanac [24]	ArchiCAD	IFC	EnergyPlus	A semi-automated method is adopted to add the required data for energy simulation to the IDF file generated from IFC file, prior to the energy analysis in EnergyPlus.
El Asmi et al. [22]	–	IFC	COMETH	The study is focused on application of MVD in obtaining the required data for energy simulation (e.g., HVAC system data), which are missing through the process and using IfcPropertySet to add the data to the IFC file
Santos et al. [25]	–	–	EnergyPlus	Adopting mesh planarization algorithm to divide the curved surfaces into flat panels and exporting the required data from CAD tool to EnergyPlus.
Karen and Douglas [26]	Revit	IFC	EnergyPlus	Generation of thermal zones is automated using the data obtained from Revit, provided in IFC file and the outputs obtained from EnergyPlus are visualized.
Dimitriou et al. [27]	Revit	gbXML	EnergyPlus	Development of a gbXML editing tool to provide the data, which lacks for energy simulation in EnergyPlus prior to generating the IDF file.
Garcia and Zhu [28] Egunatun et al. [29]	– –	gbXML IFC	eQuest IES VE	Development of a corrective tool for modifying the gbXML file and converting it to DOE-INP file for use in eQuest. A case study to review the feasibility of optimization in design by linking BIM to energy simulation tool. Faster, more accurate, and detailed outputs concerning energy consumption, airflow analysis, visualization, and daylight analysis were among the benefits observed in the study.
Somboonwit et al. [15]	Revit & Dynamo	gbXML	GBS, DOE2, eQuest	Automation of Building Performance Simulation (BPS) is studied using different tools in order to investigate the interoperability between them. Kinetic PV façade (KPVF) is modeled and issues such as misplaced and distorted geometry are observed.

3.5 Soluciones BIM a BEM de Cype

La empresa de software Cype Ingenieros ofrece varias soluciones Open BIM para llevar a cabo la simulación energética de un edificio.

Cype cuenta con un entorno común de datos (CDE), denominado BIMServer.center, donde se pueden compartir los modelos IFC del mismo proyecto de construcción. El software de diseño Cype de cada disciplina de la construcción está conectado al Proyecto de Construcción en BIMServer.Center, de modo que los usuarios pueden compartir el trabajo realizado a través de modelos IFC. De esta forma, los agentes (promotores, ingenieros estructurales, ingenieros de instalaciones y arquitectos) que trabajan en el mismo proyecto, en las diferentes disciplinas, pueden ver el progreso del trabajo realizado por el resto de participantes.

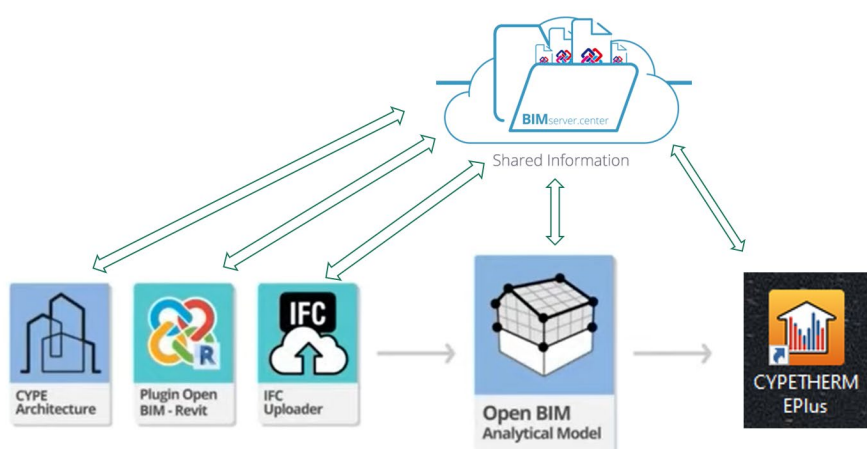


Figura 6. Flujo de trabajo de simulación energética Open BIM.

El flujo de trabajo para llevar a cabo la simulación energética de un edificio utilizando los programas Open BIM de Cype consiste en utilizar al menos 3 programas diferentes de forma secuencial (Figura 6):

- El primero es *Cype Architecture*, con el que se construye el modelo BIM arquitectónico.
- El segundo es el *Modelo Analítico Open BIM*, que calcula los parámetros geométricos de los diferentes espacios del edificio que se van a estudiar.
- Y el tercero es *CypeTherm EPlus*, que realiza la simulación energética.

Para caracterizar los elementos constructivos, así como las propiedades térmicas de los materiales, se puede utilizar el programa *Open BIM Construction System* o realizar este trabajo dentro de *CypeTherm EPlus*, antes de la simulación energética.

Para crear el modelo BIM del edificio en formato IFC, existen dos alternativas a Cype Architecture. Puede utilizar Revit y el plugin Open BIM para crear el IFC y enviarlo a BIMServer.Center. O bien, crear el modelo BIM en formato IFC con cualquier otro programa y subirlo a BIMServer.Center utilizando IFC Uploader.

CypeTherm EPlus realiza el análisis térmico, tras construir el BEM, utilizando EnergyPlus como motor de los cálculos. Los informes de resultados son:

- Informe de demanda energética
- Informe sobre el consumo energético y las emisiones equivalentes de CO2 producidas.
- Obtención de la calificación energética del edificio.

Con la propuesta de Cype Ingenieros de realizar la simulación energética de edificios utilizando modelos BIM, la interoperabilidad entre los diferentes componentes del BBIP es muy buena, ya que todos los componentes se resuelven con programas de la misma empresa de software (CYPE).

4-Conclusiones

- La integración del Building Information Modeling (BIM) en el Building Energy Modeling (BEM) presenta numerosas ventajas: a) automatización de los procesos de modelización energética; b) almacenamiento y organización eficientes de los datos del edificio (por ejemplo, datos en tiempo real); c) mejora de las bibliotecas existentes (por ejemplo, incorporación de atributos adicionales a los materiales); d) mejora de la presentación de los resultados relacionados con la energía.
- Se han detectado varios problemas en el proceso de interoperabilidad entre BIM y BEM: la herramienta BIM puede no transferir toda la información de un modelo; el archivo BIM puede no guardar toda la información correctamente; la herramienta de modelización energética de edificios (BEM) puede no leer toda la información del archivo BIM; y la información puede no mapearse y transferirse correctamente al formato de archivo del motor de simulación energética y BEM.
- Las soluciones Cype OpenBIM para simulaciones energéticas de edificios resuelven los problemas de interoperabilidad.

5-Referencias

- [1] V. S. K. V. Harish and A. Kumar 2016. Modeling and Simulation of a Simple Building Energy System. in 2016 International Conference on Microelectronics, Computing and Communications (MicroCom) Durgapur, India.
- [2] Pereira V, Santos J, Leite F and Escórcio P 2021 Using BIM to improve building energy efficiency – A scientometric and systematic review. *Energy & Buildings* 250 (2021) 1-15.
- [3] Domínguez A. *Sustainable Construction and BIM Certifications: Towards a Cleaner Future* (in Spanish) [Internet]. AlianzaBIM. 2022 [cited Apr 1, 2024]. Available in: <https://alianzabim.com/blog/certificaciones-de-construccion-sostenible-y-bim/>
- [4] Cavalliere, C., Habert, G., Raffaele, G., Osso, D., Hollberg, A., Dell’Osso, G. R., ... Hollberg, A. Continuous BIM-based assessment of embodied environmental impacts throughout the design process. *Journal of Cleaner Production*, 211 (2019), 941–952.
- [5] E. Kamel, A.M. Memari. Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. *Automation in Construction* 97 (2019) 164–180.
- [6] k. Guo, Q. Li, L. Zhang and X.Wu. BIM-based green building evaluation and optimization: A case study. *Journal of Cleaner Production* 320 (2021) 128824 1-16.
- [7] NBIMS-US, National BIM Standard-United States® Version 3, National Institute of Building Sciences, Washington, DC, (2013)

- [8] E. Krygiel, B. Nies, Green BIM: Successful Sustainable Design With Building Information Modeling, Wiley, Indianapolis, Indiana, 2008 (ISBN-10:9780470239605).
- [9] D.K. Smith, M. Tardif, Building Information Modeling - A Strategic Implementation Guide, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2008 (ISBN-10:9780470250037).
- [10] R. Kreider, J. Messner, C. Dubler, Determining the frequency and impact of applying BIM for different purposes on projects, Proceeding 6th International Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction (AEC), Pennsylvania State University, University Park, PA, USA,
- [11] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston, BIM Handbook, A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, John Wiley & Sons, New Jersey, 978-0-470-54137-1, 2011.
- [12] J.-H. Woo, C. Diggelman, B. Abushakra, BIM-based energy monitoring with XML parsing engine, Proceeding of the 28th ISARC, Seoul, Korea, 2011, pp. 544-545.
- [13] N.W. Young Jr., S.A. Jones, H.M. Bernstein, J.E. Gudgel, The business value of BIM, McGraw Hill, New York, (2009).
- [14] I.J. Ramaji, J.I. Messner, R.M. Leicht, Leveraging building information models in IFC to perform energy analysis in OpenStudio, ASHRAE and IBPSA-USA SimBuild 2016, Salt Lake City, 2016
- [15] N. Somboonwit, A. Boontore, Y. Rugwongwan, Obstacles to the automation of building performance simulation: adaptive building integrated photovoltaic (BIPV) design, 5th AMER International Conference on Quality of Life, 25-27 February 2017, Bangkok, Thailand, 2017, <https://doi.org/10.21834/e-bpj.v2i5.619>.
- [16] E. Epstein, Implementing Successful Building Information Modeling, Artech House, 2012 (ISBN-10: 9781608071395).
- [17] N. Yu, Information interoperability between building information modeling authoring tools and simulation tools to support energy efficient building design, Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science, Information Sciences and Technology, The Pennsylvania State University, University Park, 2014.
- [18] S. Salakij, N. Yu, S. Paolucci, P. Antsaklis, Model-Based Predictive Control for building energy management. I: energy modeling and optimal control, Energ. Buildings 133 (2016) 345-358, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.044>.
- [19] E. Krygiel, B. Nies, Green BIM: Successful Sustainable Design With Building Information Modeling, Wiley, Indianapolis, Indiana, 2008 (ISBN-10: 9780470239605).
- [20] J.B. Kim, W. Jeong, M.J. Clayton, J.S. Haberl, W. Yan, Developing a physical BIM library for building thermal energy simulation, Autom. Constr. 50 (2015) 16-28, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.011>.
- [21] W. Jeong, J.B. Kim, M.J. Clayton, J.S. Haberl, W. Yan, Translating Building Information Modeling to Building Energy Modeling Using Model View Definition, Hindawi Publishing Corporation, 2014, pp. 1-21, <https://doi.org/10.1155/2014/638276>.
- [22] E. El Asmi, S. Robert, B. Haas, K. Zreik, A standardized approach to BIM and energy simulation connection, Int. J. Des. Sci. Technol. 21 (1) (2015) 1630-7267 (ISSN 1630 - 7267).
- [23] J. O'Donnell, R. See, C. Rose, T. Maile, V. Bazjanac, P. Haves, SimModel: a domain data model for whole building energy simulation, 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 2011.
- [24] V. Bazjanac, IFC BIM-based methodology for semi-automated building energy performance simulation, 25th International Conference on Information Technology in Construction, Santiago, Chile, 2008.

- [25] L. Santos, S. Schleicher, L. Caldas, Automation of CAD models to BEM models for performance based goal-oriented design methods, *Build. Environ.* 112 (2017) 144-158, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.015>.
- [26] K. Karen, N. Douglas, Automated Energy Performance Visualization for BIM, *Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice*, Wiley, 2014, pp. 119-128, <https://doi.org/10.1002/9781119174752.ch9>.
- [27] V. Dimitriou, S.K. Firth, T.M. Hassan, F. Fouchal, BIM enabled building energy modelling: development and verification of a GBXML to IDF conversion method, *Proceedings of the 3rd IBPSA-England Conference BSO 2016*, Newcastle, 12th-14th September 2016.
- [28] E. Guzman Garcia, Z. Zhu, Interoperability from building design to building energy modeling, *J. Build. Eng.* 1 (2015) 33-41, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2015.03.001>.
- [29] E.I. Samuel, E. Joseph-Akwara, A. Richard, Assessment of energy utilization and leakages in buildings with building information model energy, *Front. Archit. Res.* 6 (2017) 29-41, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.01.002>.