

05-011

ANALYSIS OF METHODOLOGIES FOR THE AUTOMATED GENERATION OF ENERGY PERFORMANCE SIMULATION FROM BIM MODELS.

Val Fiel, Mónica ⁽¹⁾; Vilar Abad, Alejandro ⁽¹⁾; Aparicio Fernández, Carolina ⁽¹⁾; Ferrer Gisbert, Pablo ⁽¹⁾; Vivancos, José Luis ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universitat Politècnica de València

In the field of digital building information modeling (BIM) tools, a methodology for the semi-automated creation of building energy performance simulation (BEM) models would enhance their extensive use. Relevant BIM data schemas include Industry Foundation Classes (IFC) and building schema XML (gbXML). Many commercial tools support export in one of these two BIM schemas. One of the problems is that this export is often not perfect: contrary to what one would expect, the resulting exports are of low quality and therefore not directly usable. In this communication an analysis is made of the different published methodologies for the (semi) automated generation of thermal simulation models, of different procedures and algorithms that convert the geometrical information, allowing it to be a TRNSYS input file.

Keywords: BIM; BEM; IFC; gbXML; thermal simulation; buildings.

ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS PARA LA GENERACIÓN AUTOMATIZADA DE SIMULACIONES DE COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO A PARTIR DE MODELOS BIM.

En el ámbito de las herramientas de modelado digital de la información de la construcción (BIM), una metodología para la creación semiautomatizada de modelos de simulación de rendimiento energético de los edificios (BEM) mejoraría su uso extensivo. Entre los esquemas de datos BIM pertinentes se encuentran el Industry Foundation Classes (IFC) y el esquema de edificación XML (gbXML). Muchas herramientas comerciales admiten la exportación en uno de estos dos esquemas BIM. Uno de los problemas es que esta exportación no suele ser perfecta: a diferencia de lo que cabría esperar, las exportaciones resultantes son de baja calidad y, por tanto, no son directamente utilizables. En esta comunicación se realiza un análisis de las distintas metodologías publicadas para la generación (semi) automatizada de modelos de simulación térmica, de distintos procedimientos y algoritmos que convierte la información geométrica, que permita poder ser un archivo de entrada de TRNSYS.

Palabras claves: BIM; BEM; IFC; gbXML; simulación térmica; edificios.

Correspondencia: José Luis Vivancos Bono jvivanco@dpi.upv.es

Agradecimientos: Esta comunicación se enmarca dentro del proyecto “Nuevas Metodologías en el Análisis del Confort Térmico y la Eficiencia Energética en Edificios con Modelos 5d (PID2019-108271RB-C33)”, financiado por la Agencia Estatal de Investigación.



1. Introducción

La metodología BIM ha supuesto el desplazamiento de los sistemas tradicionales de diseño bidimensionales con la incorporación de las dimensiones: tridimensional (3D), el tiempo (4D), el coste (5D), ambiental (6D) y de mantenimiento (7D).

La función del BIM es agrupar y gestionar toda la información vinculada al edificio. Sin embargo, autores como Turk (Turk 2016) sostienen que la contribución más importante de las herramientas BIM no es que sea una herramienta de automatización o de integración, sino que se trata de una herramienta de mayor especialización. La especialización es la clave para la división del trabajo, y esta se traduce en el uso de más conocimiento, una mayor productividad y una gran creatividad.

En el campo específico de la energía, la gran dependencia de los sistemas mecánicos de aire acondicionado con el correspondiente consumo energético obliga a arquitectos e ingenieros a optimizar el rendimiento térmico de los edificios. El análisis energético de los edificios se desarrolla mediante el Modelado Energético de Edificios (*Building Energy Modelling*, BEM) y tiene como objetivo evaluar y comparar diseños alternativos, asignar presupuestos anuales de energía, el cumplimiento de estándares energéticos y la optimización económica durante la totalidad del proceso de diseño del edificio (Al-Homoud 2001).

Así pues, la eficiencia energética de los edificios es uno de los temas en auge, pero gran parte de los existentes fueron construidos antes de la aparición de reglamentación de eficiencia energética (Armesto et al. 2016; Patiño-Cambeiro et al. 2017). De ahí que la rehabilitación de edificios existentes presente también un gran potencial de mejora, constituyendo una actividad económica muy importante durante los próximos años. Para esta finalidad, el denominado BEM (*Building Energy Modelling*) está hoy día ampliamente aceptado pero su naturaleza a veces redundante respecto al BIM, el elevado tiempo de modelado y know-how específico que requiere, y la representatividad de sus resultados condicionada por las características reales del edificio simulado, constituyen aún limitaciones importantes.

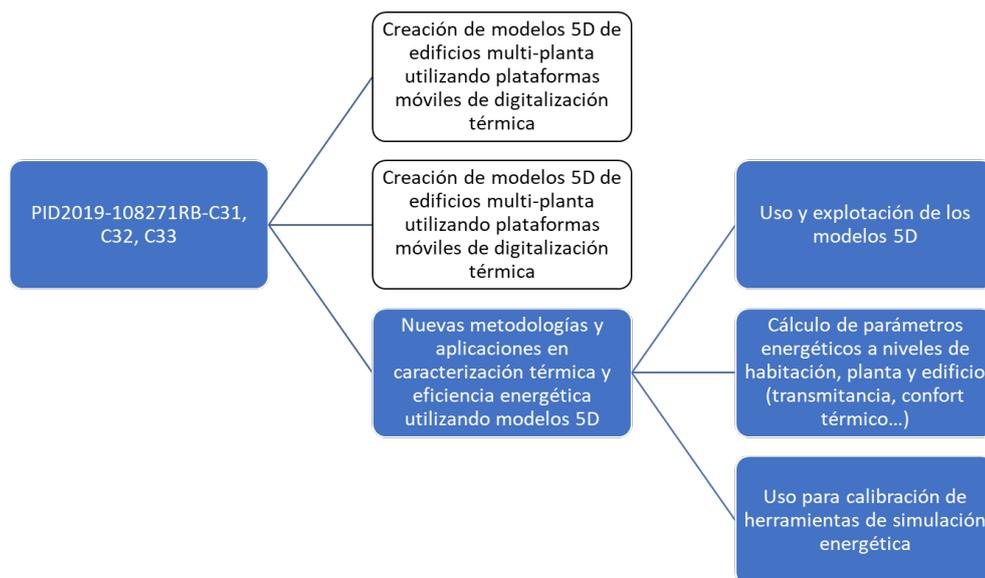
Por todo ello, la obtención automatizada de modelos 3D de edificios no solo geométricos sino energéticamente funcionales, y concretamente térmicos, puede presentar ventajas evidentes. Aunque el BIM tiene potencial para verificar el comportamiento térmico de los edificios mediante el uso de bases de datos, la integración de datos reales de calor superficial de las envolventes, temperaturas del aire y otros parámetros no ha sido todavía ampliamente resuelta. Esto podría permitir la obtención de un modelo energético del edificio (BEM) o la validación de modelos existentes desarrollados mediante software de simulación energética o CFD. Aunque exigiría aspectos no inmediatos, como poder estimar la transmitancia de los cerramientos a partir de la información termográfica, también podría permitir utilizar dichos modelos para, por ejemplo, estimar el confort de los usuarios. Si además se logra integrar termografías correspondientes a distintos instantes de tiempo, el modelo podría no ser solo estático sino dinámico.

Con estas premisas y como continuación de uno anterior (DPI2016-76380-R, “Thermal BIM”) se ha iniciado el proyecto “Modelos 5D: Un nuevo método de caracterización térmica temporal de edificios” (PID2019-108271RB-C33). Este consta de tres subproyectos uno de los cuales, titulado “Nuevas metodologías y aplicaciones en caracterización térmica y eficiencia energética utilizando modelos 5D”, se centra en la aplicabilidad de los modelos térmicos generados y es el íntimamente relacionado con el presente artículo.

Dicho subproyecto se subdivide a su vez en varias líneas (Figura 1):

- Definición y cálculo del comportamiento térmico del edificio (incluyendo varios parámetros energéticos) en varios niveles (pared, habitación, suelo y edificio completo).
- Empleo de los datos reales contenidos en los modelos 5D para realizar calibraciones de algunas de las herramientas de software de simulación energética actuales.
- Establecimiento de un procedimiento para identificar puentes térmicos, zonas de riesgo o zonas que deben ser reparadas. Esta información podría utilizarse en los sistemas de certificación energética, o en edificios de difícil acceso o que presenten peligro.
- Además, la información térmica temporal puede utilizarse para analizar las propiedades energéticas a corto plazo (durante un día) o a medio plazo (según la estación o el mes de un año). En el futuro, estos modelos térmicos temporales podrán ser utilizados por los usuarios para optimizar el consumo de energía y por los constructores como agentes que pueden modificar los materiales o las estructuras en la construcción.

Figura 1: Líneas y sublíneas del proyecto



1.1 Integración BIM-BEM

En los últimos años, la integración de los sistemas de modelado BEM junto con las tecnologías BIM ha permitido incorporar en una fase inicial de diseño de la arquitectura los procesos de evaluación energética. Bazjanac (Bazjanac, 2008) recoge las limitaciones del sistema de modelado BEM tradicional destacando que es demasiado costoso y laborioso, con resultados no reproducibles y con un considerable desfase temporal entre los resultados y la toma de decisiones de diseño.

Las herramientas BEM basadas en BIM utilizan el modelado, las propiedades de los materiales y el sistema de HVAC (H (*Heating*, calefacción), V (*Ventilating*, ventilación) AC (*Air conditioned*, aire acondicionado), referido este último a la renovación del aire y a su tratamiento, incluyendo la temperatura y humedad dentro de la zona de confort. La integración

de los métodos BEM junto con las herramientas BIM permitiría a los diseñadores evaluar las opciones de diseño de las edificaciones y la correspondiente toma de decisiones en una fase inicial del desarrollo del proyecto, lo que posibilita conseguir una buena eficiencia energética del edificio. Sin embargo, muchos estudios evidencian que los métodos BEM no están lo suficientemente integrados con el proceso de planificación y diseño, así que no se implementan fácilmente en una fase inicial del proceso de diseño de la edificación (Gao, Koch, and Wu 2019).

En la actualidad existen una gran diversidad de herramientas BEM que trabajan en el contexto de las aplicaciones BIM. Investigaciones como las de Attia (Attia 2010) recogen los principales criterios para la selección y evaluación basadas en el análisis de las necesidades del usuario, las capacidades de las aplicaciones y las especificaciones y requisitos del proyecto. Crawley (Crawley et al. 2008) proporciona una comparación de las características y capacidades de veinte aplicaciones destacadas en el contexto de la simulación energética. La comparación se basa en la información proporcionada por los desarrolladores del programa en las siguientes categorías: características generales de modelado, cargas de zona, envolvente de edificios e iluminación natural y solar, infiltración, ventilación y flujo de aire multizona, sistemas de energía renovable, sistemas y equipos eléctricos, Sistemas HVAC, Equipo HVAC, emisiones ambientales, evaluación económica, disponibilidad de datos climáticos, informes de resultados, validación, e interfaz de usuario, disponibilidad y enlaces a otros programas.

1.2 TRNSYS

El software TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation) permite la simulación térmica dinámica aplicada a edificios. TRNSYS es un software desarrollado por el Laboratorio de Energía Solar (SEL) de la Universidad de Madison en Estados Unidos. Realiza simulaciones dinámicas del comportamiento térmico de un edificio de una o varias zonas. También permite rastrear hora a hora el consumo de energía anual (calefacción, aire acondicionado) o la producción (paneles solares) de los equipos de un edificio (Aristide et al. 2018).

Entre las principales características destacadas por sus desarrolladores se encuentra la flexibilidad y la precisión en sistemas con grandes variaciones térmicas a lo largo del tiempo. La naturaleza modular de TRNSYS le da al programa una enorme flexibilidad y facilita la adición al programa de modelos matemáticos no incluidos en la biblioteca estándar de TRNSYS. TRNSYS se adapta bien a análisis detallados de cualquier sistema cuyo comportamiento dependa del paso del tiempo. Las principales aplicaciones incluyen: sistemas solares (sistemas solares térmicos y fotovoltaicos), edificios de bajo consumo energético y sistemas HVAC, sistemas de energía renovable, cogeneración, pilas de combustible (Solar Energy Laboratory 2017).

En TRNSYS se pueden desarrollar nuevos componentes en lenguajes de programación (por ejemplo, Matlab / Simulink, Excel / VBA y EES) que pueden directamente ser incrustados en una simulación (Crawley et al. 2008).

Mazzeo (Mazzeo et al. 2020) recoge en sus investigaciones que la elección de las aplicaciones para realizar simulaciones térmicas dinámicas se realiza en función de la flexibilidad en la extensión de las bibliotecas, la velocidad en la ejecución, la dificultad de uso y la posibilidad de acceder al código fuente. Mazzeo clasifica a las herramientas de simulación en una primera categoría general o en una segunda categoría específica, e incluye TRNSYS en la primera de las categorías, mediante la cual los usuarios pueden definir modelos matemáticos flexibles con el inconveniente de la dificultad de uso y la baja velocidad de ejecución.

2. Objetivos

Partiendo de los formatos de intercambio para la integración de la tecnología BIM con las aplicaciones BEM, el objetivo es identificar el proceso de integración en función de las capacidades del software.

Los dos formatos más extendidos de intercambio que permiten la interoperabilidad de la información BIM con herramientas BEM (TRNSYS, EnergyPlus, IDA ICE, etc) son: *Industry Foundation Classes* (IFC) y *Green Building XML* (gbXML).

Tanto el formato gbXML como el IFC son capaces de transferir los datos necesarios para el desarrollo de una simulación energética en una aplicación externa: la definición de zonas térmicas, las propiedades térmicas de los materiales, el espesor de los materiales y las propiedades del sistema HVAC. Sin embargo, hay algunas deficiencias en estos archivos vinculadas con la geometría del edificio, la ubicación y el dominio de la aplicación (Kamel and Memari 2019).

El formato IFC (*Industry Foundation Classes*) es un formato de datos abiertos, certificado por ISO y su objetivo es el de ofrecer una base universal de intercambio de información entre aplicaciones de software de la industria de la arquitectura, ingeniería, construcción e instalaciones. Es un formato de datos orientado a objetos (como elementos de construcción, espacios, propiedades, etc., desarrollado por buildingSMART, anteriormente la Alianza Internacional para la Interoperabilidad (IAI).

El formato gbXML fue desarrollado por *Autodesk Green Building Studio*, basándolo en el formato *Extensible Markup Language* (XML). En la actualidad ha sido adoptado por destacados proveedores de herramientas BIM (Autodesk, Trimble, Graphisoft y Bentley).

Referente a la geometría, el formato IFC tiene la capacidad de representar cualquier forma de un edificio mientras que gbXML solo acepta formas rectangulares (Dong et al. 2007). Asimismo, Dong expone que el IFC utiliza un enfoque relacional “de arriba abajo” produciendo un esquema de representación de datos relativamente complejo y de gran tamaño. Por el contrario, el formato gbXML adopta un enfoque “de abajo arriba”, que es más flexible, de código abierto y con un esquema de datos relativamente sencillo.

Bahar (Bahar et al. 2013) concluye que el formato IFC es muy potente, pero que dentro de las herramientas de simulación térmica lo utilizan pocas aplicaciones. Existe una preferencia por el formato gbXML por su capacidad para dar una respuesta correcta. Aunque la tecnología IFC para el intercambio de información está establecida, en muchos ámbitos se requiere de un desarrollo adicional para conseguir una solución integral de interoperabilidad.

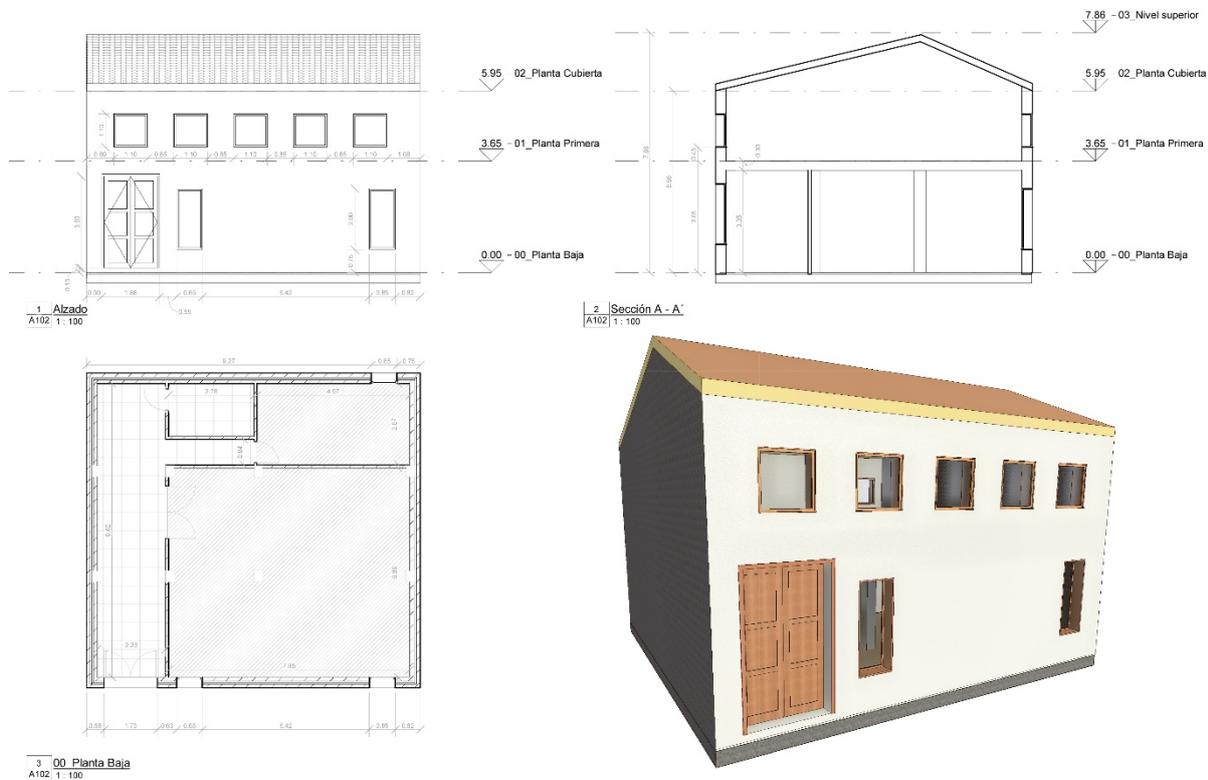
Estudios como el de Maile (Maile, Fischer, and Bazjanac 2007) identifican la interoperabilidad y las deficiencias en la transferencia de datos de un archivo BIM a un archivo que sea legible para las herramientas BEM. Algunos investigadores como Kim (Kim et al. 2015) proponen como soluciones para resolver las deficiencias de interoperabilidad, la inclusión de bibliotecas complementarias. Otros como Bazjanac (Bazjanac 2008) proponen añadir manualmente la información que falta o el uso de herramientas *middleware*, aplicaciones que actúan de puente entre un sistema y otro (Kamel and Memari 2019).

3. Caso de Estudio: Vivienda unifamiliar asilada

De las dos posibles vías de desarrollo expuestas (gbXML vs IFC) se ha optado por el formato gbXML por su sencillez y respuesta. Se parte de la documentación en BIM, en este caso con el software de BIM Revit.

El objetivo es llegar a realizar una simulación térmica dinámica con el software TRNSYS de una vivienda unifamiliar aislada (Figura 2).

Figura 2: Vivienda unifamiliar aislada



Nota: Modelo representado en Revit por Vidal de Rietalé Chicampo Boleká.

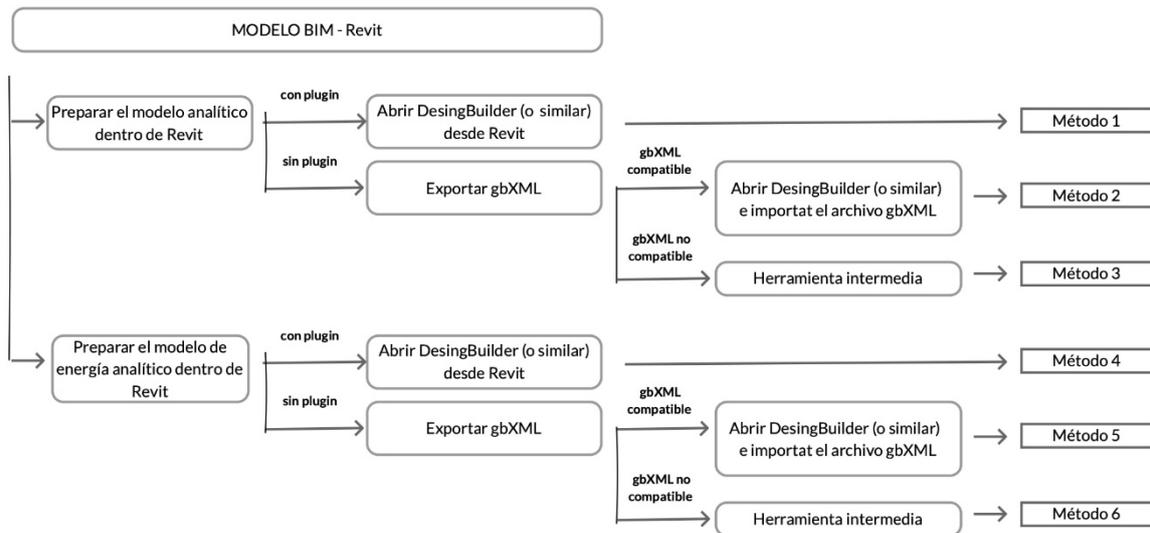
La primera cuestión a tener en cuenta es que los datos nativos de Revit no contienen los datos volumétricos o zonas que necesitan las herramientas de análisis energéticos como TRNSYS. Este “modelo analítico” se superpone al modelo arquitectónico nativo de Revit y es en el que se basa el análisis posterior.

Dentro del camino elegido, existen dos vías de transferir datos desde las aplicaciones BIM a BEM. La primera de ellas consiste en el uso de *plugin* específico de la aplicación integrado en la herramienta BIM. La segunda de ellas, se realiza mediante la exportación en formato gbXML para su posterior importación en la aplicación de análisis energético correspondiente.

A su vez, para cada uno de estos dos enfoques se puede optar entre dos métodos para generar un modelo analítico. El primero mediante la creación de zonas (espacios/habitaciones) y el segundo mediante la creación de un modelo energético.

En función de la integración de la aplicación de análisis energético y de la compatibilidad del archivo gbXML podríamos establecer 6 vías o métodos diferentes (Figura 3). El software que se utilizará para la simulación energéticas será TRNSYS.

Figura 3: Resumen de los posibles métodos



En el caso de estudio el modelo de energía se delega al software de BEM y se opta por la definición del modelo analítico dentro del software BIM (Revit) (métodos 1, 2 y 3). Dado que TRNSYS no dispone de un plugin integrado en Revit (métodos 2 y 3) y el gbXML no es compatible con su entrada de datos (método 3), se utiliza el software OpenStudio para la generación de un archivo IDF (*Input Data Dictionary*). Este archivo contiene los datos que describen el edificio y el sistema HVAC para realizar la simulación en TRNSYS. El proceso adoptado es el siguiente (Figura 4):

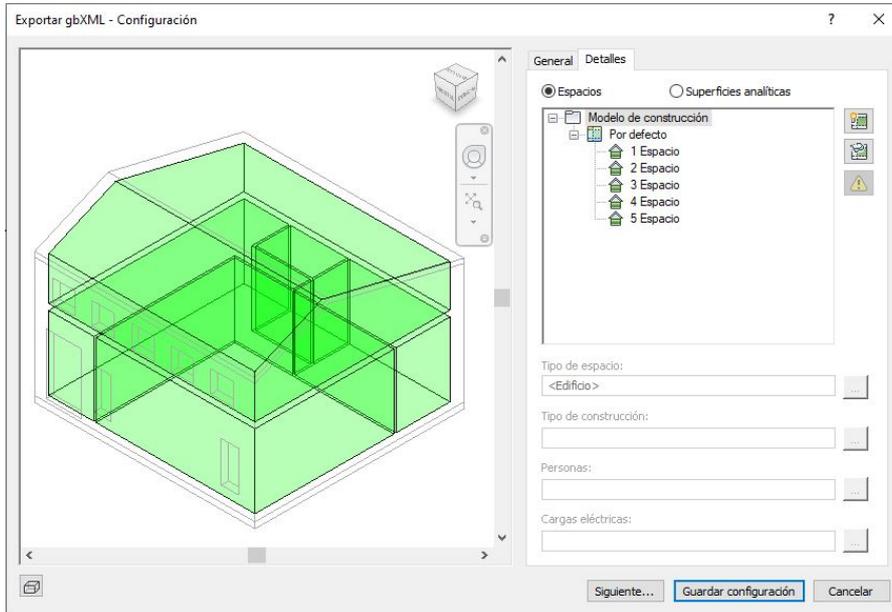
1. Se parte de un modelo estándar de Revit
2. Creación de un modelo analítico para el modelo (dentro de Revit)
3. Exportación del modelo en formato gbXML
4. El fichero gbXML se importa en OpenStudio para la generación del IDF
5. Finalmente, el IDF se carga en TRNSYS

Figura 4: Diagrama del proceso del enfoque adoptado



Cuando exportamos los datos a un fichero gbXML, Revit ofrece dos posibles métodos de exportación: el primero utilizando una configuración de energía definida y el segundo utilizando una configuración de volúmenes/habitaciones. Se pasa a configurar el modelo analítico mediante la definición de espacios/habitaciones. La figura 5 muestra la exportación de las 5 habitaciones de la vivienda en estudio.

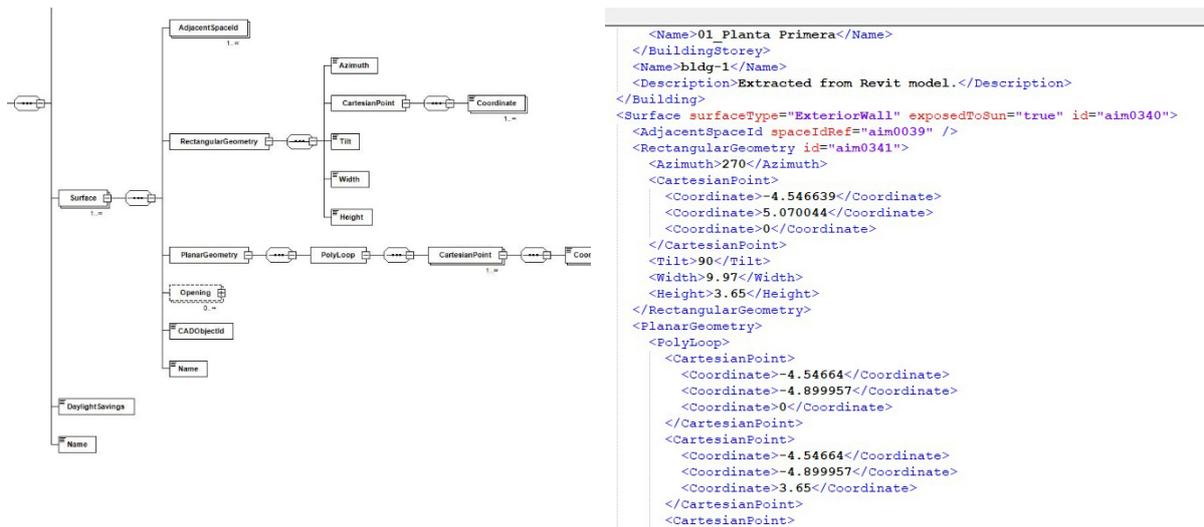
Figura 5: Exportación gbXML. Método habitaciones/espacio.



El éxito de la interoperabilidad dependerá de la correcta estructuración de la información del modelo en Revit. Uno de los problemas más frecuentes es, por ejemplo, que los volúmenes no estén bien definidos y delimitados.

El archivo gbXML resultante de la exportación contiene la información relativa a la ubicación, datos del edificio, geometría de las superficies, etc., organizada en nodos según la estructura jerárquica predefinida, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6: Diagrama parcial de la de estructura de nodos y contenido textual del archivo gbXML, correspondiente a un elemento de muro exterior



OpenStudio, importa la información generada desde BIM: superficies, volúmenes, etc. y permite hacer una exportación a un fichero IDF que es la entrada de TRNSYS. Sin embargo, en la traslación de datos se generan ciertos errores de codificación.

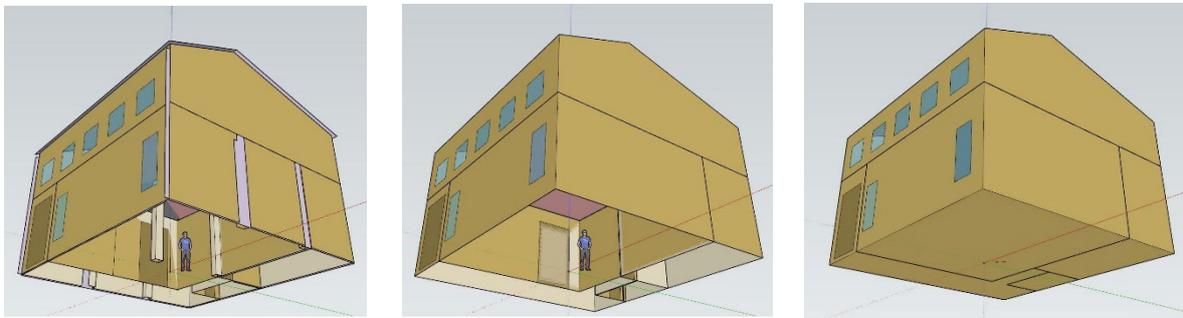
El proceso de importación del archivo gbXML a OpenStudio indica diversos errores que se producen durante la importación, como:

- Warning: Surface has two adjacent spaces which are the same space 'aim0039', will not be translated.
- Warning: Changing surface type from 'Wall' to 'Floor' for surface 'T-1-5-I-F-10'
- Warning: Changing surface type from 'Wall' to 'RoofCeiling' for surface 'T-1-5-I-F-26'

Las características que se evidencian en una geometría importada con errores es la eliminación de superficies y el desplazamiento de superficies adyacentes de manera que no se consigue la traslación de volúmenes cerrados, necesarios para la simulación energética.

En una revisión exhaustiva del modelo y readaptando la geometría a la definición del “modelo analítico”, la figura 7 muestra las sucesivas correcciones implementadas hasta obtener los volúmenes cerrados necesarios para la gestión en la aplicación energética. Por ejemplo, los pilares se han definido en Revit como elementos que no delimitan habitaciones, lo que ha permitido evitar la rotura que estos elementos estructurales producían sobre los volúmenes en la definición del modelo analítico en Revit.

Figura 7: Evolución en la exportación del gbXML del caso en estudio.



4. Simulación energética

Incluso cuando se utilizan los dos formatos de archivo predominantes en la extracción de datos BIM, IFC y gbXML, se dispone de poco control en la creación de estos archivos y de un conocimiento limitado del contenido de los mismos (Dimitriou et al. 2019). Las lagunas de comprensión y compatibilidad que generan los distintos pasos intermedios entre archivo BIM y la simulación BEM (Figura 4), presentan numerosos desafíos de interoperabilidad BIM-BEM (Cemesova, Hopfe, and McLeod 2015; Dimitriou et al. 2019)

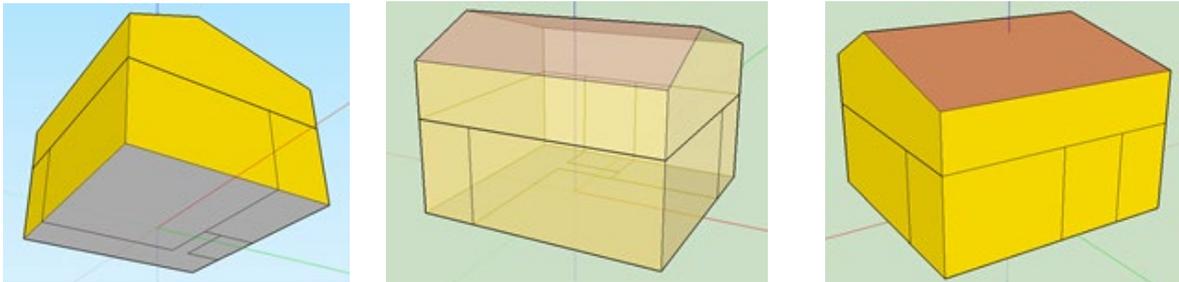
Como se ha visto en apartados anteriores, la ventaja del formato gbXML es su compatibilidad con numerosas herramientas BIM y diversos softwares de simulación energética (Cemesova, Hopfe, and McLeod 2015) como GreenBuildingStudio, DesignBuilder, Energy-10 o OpenStudio, entre otros. Es por ello, que se ha convertido en el archivo estándar para el intercambio de información para análisis energéticos (Dimitriou et al. 2019). No obstante, como se verá a continuación y se ha venido detallando, ello no implica que la elección del formato gbXML como formato de partida para la simulación energética sea una vía unívoca libre de contratiempos.

La simulación energética mediante TRNSYS del modelo 3D de la vivienda analizada requiere la generación de un archivo IDF (*Input Data File*). Tras resolver la generación de la envolvente del edificio (Figura 7), la conversión gbXML – IDF mediante el software OpenStudio permite disponer de un archivo de extensión IDF, compatible con TRNSYS mediante el uso de su *Type56* y TRNBuild.

La visualización del modelo 3D del archivo IDF se realiza mediante el software SketchUp de Trimble Navigation. Concretamente, se utiliza el *plugin* Trnsys3d que permite asociar zonas térmicas a los diferentes volúmenes generados y establecer las condiciones de contorno de cada una de las zonas.

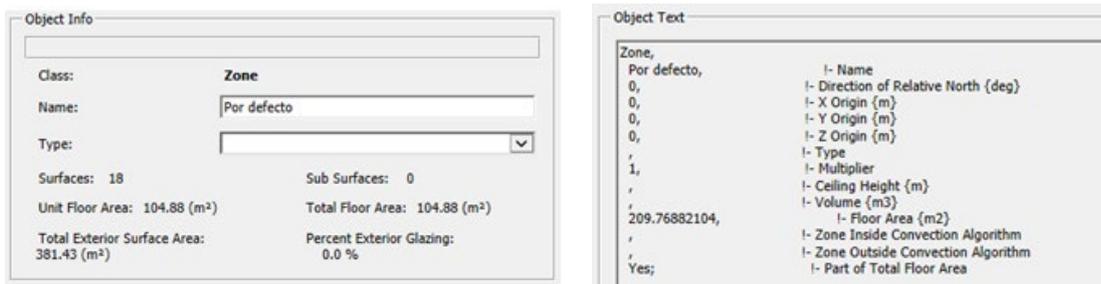
La Figura 8 muestra la visualización 3D en SketchUp del archivo ID. Si bien, la envolvente exterior queda completamente definida, ni los huecos en fachada ni el forjado entre plantas son correctamente incorporados al modelo. Ello conllevaría, teóricamente, la existencia de un único volumen interior térmico sobre el que realizar la simulación energética, en contraposición de los 5 volúmenes iniciales del modelo.

Figura 8: Visualización del archivo IDF mediante el *plugin* Trnsys3d de SketchUp



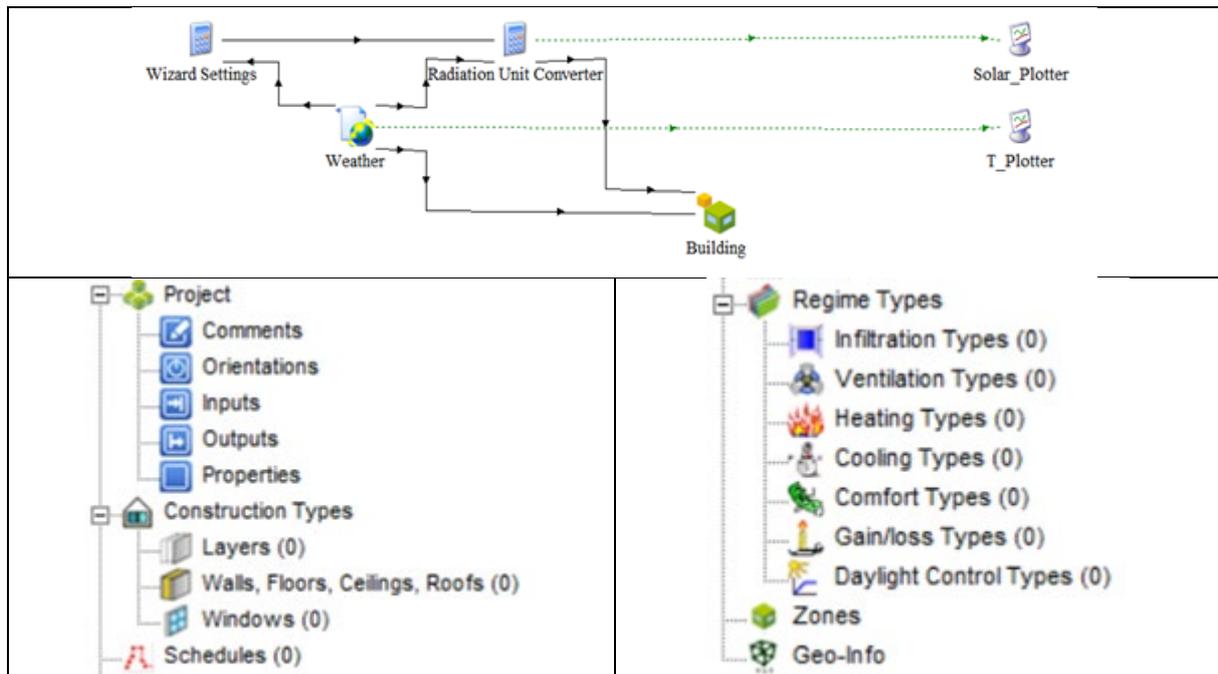
No obstante, como muestra la Figura 9, con el *plugin* Trnsys3d se puede observar que, a pesar de tener un volumen geoméricamente definido y de leer las 18 superficies que componen la envolvente exterior, no se le está asociando ningún volumen a las zonas térmicas que leerá TRNSYS.

Figura 9: Información de las zonas térmicas generadas mediante el *plugin* Trnsys3d de SketchUp



En consecuencia, al tratar de generar un nuevo modelo 3D de construcción multizona mediante la lectura del archivo IDF generado, TRNSYS devuelve el siguiente error: “no *OUTPUT's specified*”. Por tanto, como muestra la Figura 10, a pesar de que el *Simulation Studio* de TRNSYS permita el interlinkado entre los distintos objetos, el archivo *.BUI (Building Input Description File)* está vacío, por lo que el TRNBuild no incluye ninguna información del edificio analizado.

Figura 10: Generación del modelo energético en TRNSYS y problemas asociados



Por tanto, la codificación y formato del IDF tras las sucesivas etapas realizadas impide que TRNSYS generen correctamente los cerramientos y zonas térmicas. La resolución de la interoperabilidad BIM-BEM ha sido explorada por diversos autores, siguiendo líneas de investigación diferentes:

- Kamel & Memari (Kamel and Memari 2019) desarrollan un código con Python que modifica el archivo gbXML para resolver los problemas de generación de la envolvente térmica en la simulación energética.
- Dimitriou et al. (Dimitriou et al. 2019) resuelven la interoperabilidad entre los softwares Revit y EnergyPlus introduciendo transformaciones intermedias del archivo, mediante una herramienta de edición gbXML y otra herramienta de conversión de gbXML a IDF, que consta de 35 nodos que representan los diferentes tipos de objetos IDF e introducen las variables de salida necesarias para el análisis energético.
- Los archivos IFC proporcionan información de construcción estática (configuración geométrica y propiedades de los materiales) en un formato no utilizable directamente para la generación de modelos de simulación térmica por su ausencia de información de condiciones de contorno de segundo nivel. Para paliar dicha carencia, Giannakis et al. (Giannakis et al. 2015) desarrollan el algoritmo CBIP (Common Boundary Intersection Projection, proyección de intersección de límites comunes) que, mediante una metodología de tres pasos, permite identificar y asociar dichas condiciones al archivo IFC para generar un archivo de entrada para EnergyPlus y/o TRNSYS.

El avance lógico presupone el desarrollo de la interoperabilidad entre las herramientas BIM y los softwares BEM. Como se ha visto, existen multitud de softwares de simulación energética y numerosas vías de importación de archivos BIM. Por lo que, el avance del proyecto permitirá descartar unas y ahondar en otras, tanto mencionadas en el presente documento como de aparición futura.

5. Resultados y conclusiones

En la actualidad los métodos BEM basados en BIM han demostrado ser una herramienta en constante evolución y particularmente adecuada para una etapa inicial del diseño, donde las aproximaciones de eficiencia energética en el diseño pueden integrarse fácilmente. Sin embargo, la difícil interoperabilidad de los datos entre las distintas aplicaciones obliga a una revisión del modelo, a una entrada manual en algunos casos o al uso de herramientas correctoras que hagan compatibles los sistemas. Resulta determinante y un condicionante insalvable la complejidad de la construcción.

La creación del “modelo analítico” para la delimitación y definición de zonas en el modelo BIM genera problemas en la traslación a un software BEM. La traslación automatizada ente las herramientas BIM y BEM requerirá de una readaptación del modelo en BIM, ajustándolo a la configuración del software de destino o al uso de herramientas correctoras externas.

Cuando el objetivo es realizar análisis energéticos con un software externo, mediante la exportación a gbXML, pero con la base de la información contenida en BIM, existen limitaciones en la conversión de la geometría BIM a un modelo energético BEM. El éxito o fracaso de la traducción dependerá de cómo esté codificada la información en el software de origen, siendo en ocasiones necesario completar la información de manera manual.

6. Referencias

- Al-Homoud, Mohammad Saad. 2001. “Computer-Aided Building Energy Analysis Techniques.” *Building and Environment* 36(4): 421–33. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132300000263>.
- Aristide, Houngan Comlan et al. 2018. “TRNSYS Software Used for the Simulation of the Dynamic Thermal Behavior of a F2-Building in Lokossa City in Benin Republic.” In *2018 International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE)*, IEEE, 1–7. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8635689/>.
- Armesto, Julia, Claudio Sánchez-Villanueva, Faustino Patiño-Cambeiro, and Faustino Patiño-Barbeito. 2016. “Indoor Multi-Sensor Acquisition System for Projects on Energy Renovation of Buildings.” *Sensors (Switzerland)* 16(6): 1–14.
- Attia, Shady. 2010. *Building Performance Simulation Tools: Selection Criteria and User Survey*.
- Bahar, Yudi, Christian Pere, Jérémie Landrieu, and Christophe Nicolle. 2013. “A Thermal Simulation Tool for Building and Its Interoperability through the Building Information Modeling (BIM) Platform.” *Buildings* 3(2): 380–98. <http://www.mdpi.com/2075-5309/3/2/380>.
- Bazjanac, Vladimir. 2008. “IFC BIM-Based Methodology for Semi-Automated Building Energy Performance Simulation.” In *CIB-W78 25th International Conference on Information Technology in Construction, Santiago, Chile, July 15-17, 2008*, Santiago, Chile, 292–99. <https://www.osti.gov/biblio/938422>.
- Cemesova, Alexandra, Christina J. Hopfe, and Robert S. McLeod. 2015. “PassivBIM: Enhancing Interoperability between BIM and Low Energy Design Software.” *Automation in Construction* 57: 17–32.
- Crawley, Drury B., Jon W. Hand, Michaël Kummert, and Brent T. Griffith. 2008. “Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs.” *Building and Environment* 43(4): 661–73.
- Dimitriou, Vanda, Steven K Firth, Tarek M Hassan, and Farid Fouchal. 2019. “BIM Enabled

- Building Energy Modelling: Development and Verification of a GBXML to IDF Conversion Method.” In *Proceedings of the 3rd IBPSA-England Conference BSO 2016, Great North Museum, Newcastle, 12th-14th September 2016.*, Newcastle: IBPSA, 1126. <http://www.ibpsa.org/proceedings/BSO2016/p1126.pdf>.
- Dong, B., K. P. Lam, Y. C. Huang, and G. M. Dobbs. 2007. “A Comparative Study of the IFC and GbXML Informational Infrastructures for Data Exchange in Computational Design Support Environments.” *IBPSA 2007 - International Building Performance Simulation Association 2007*: 1530–37.
- Gao, Hao, Christian Koch, and Yupeng Wu. 2019. “Building Information Modelling Based Building Energy Modelling: A Review.” *Applied Energy* 238(January): 320–43. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.032>.
- Giannakis, G I et al. 2015. “A METHODOLOGY TO AUTOMATICALLY GENERATE GEOMETRY INPUTS FOR ENERGY PERFORMANCE SIMULATION FROM IFC BIM MODELS.” In *Proceedings of BS2015: 14th Conference of International Building Performance Simulation Association, Hyderabad, India, Dec. 7-9, 2015.*, , 504–11.
- Kamel, Ehsan, and Ali M. Memari. 2019. “Review of BIM’s Application in Energy Simulation: Tools, Issues, and Solutions.” *Automation in Construction* 97: 164–80.
- Kim, Jong Bum et al. 2015. “Developing a Physical BIM Library for Building Thermal Energy Simulation.” *Automation in Construction* 50(C): 16–28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.011>.
- Maile, Tobias, Martin Fischer, and Vladimir Bazjanac. 2007. “Building Energy Performance Simulation Tools - a Life-Cycle and Interoperable Perspective.” *Center for integrated facility engineering* (December): 1–49. cife.stanford.edu/sites/default/files/WP107.pdf.
- Mazzeo, Domenico et al. 2020. “EnergyPlus, IDA ICE and TRNSYS Predictive Simulation Accuracy for Building Thermal Behaviour Evaluation by Using an Experimental Campaign in Solar Test Boxes with and without a PCM Module.” *Energy and Buildings* 212.
- Patiño-Cambeiro, Faustino, Guillermo Bastos, Julia Armesto, and Faustino Patiño-Barbeito. 2017. “Multidisciplinary Energy Assessment of Tertiary Buildings: Automated Geomatic Inspection, Building Information Modeling Reconstruction and Building Performance Simulation.” *Energies* 10(7).
- Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison. 2017. “A TRaNsient SYstems Simulation Program.” <https://sel.me.wisc.edu/trnsys/>.
- Turk, Žiga. 2016. “Ten Questions Concerning Building Information Modelling.” *Building and Environment* 107: 274–84.

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

