

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

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.

Proyecto BIM4Energy

Título: Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios



Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

1 – Objetivos

Los objetivos de este tutorial sobre BIM y análisis energético de edificios son los siguientes:

- Conocer el papel del BIM en la mejora de la eficiencia energética de los edificios.
- Aprender sobre el papel del BIM en el diseño sostenible de edificios.
- Comprender las ventajas de la sexta dimensión del BIM.
- Conocer el estado actual de las aplicaciones BIM para el modelo energético de edificios (BEM).
- Conocer las herramientas informáticas disponibles que utilizan BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios.

2 - Metodología de aprendizaje

El profesor ofrecerá una explicación sobre el uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios, de unos 30 minutos de duración.

Los alumnos leerán este tutorial y seguirán los pasos que se indican en él, a saber:

- El papel del BIM en la mejora de la eficiencia energética
- Diseño sostenible y BIM.
- Aplicaciones del BIM
- La sexta dimensión del BIM: sostenibilidad y análisis del ciclo de vida
- Aplicación del BIM al modelado energético de edificios.
- Software que utiliza BIM para analizar la eficiencia energética de edificios: OpenStudio, DesingBuilder, ClimateStudio, CypeTherm EPlus.

Para evaluar el éxito de la aplicación, sugerimos realizar un cuestionario entre los alumnos.

3 - Duración del tutorial

La implementación descrita en este tutorial se llevará a cabo a través del sitio web del proyecto BIM4ENERGY mediante autoaprendizaje.

Se recomiendan 3 horas lectivas para esta formación.

4 - Recursos didácticos necesarios

Sala de informática con ordenadores con acceso a Internet.

Software necesario: Microsoft Office.

5 – Contenidos y tutorial

5.1– Necesidad de ahorrar energía en el diseño de edificios.

5.1.1. El papel del BIM en la mejora de la eficiencia energética

La comunidad internacional se enfrenta actualmente a uno de sus retos más acuciantes: reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y maximizar la eficiencia energética [1]. El sector de la construcción es uno de los principales responsables de las emisiones de GEI y del consumo de energía, superando en este aspecto a los sectores industrial y del transporte [2]. El aumento del consumo de energía tiene importantes repercusiones medioambientales, ya que una parte considerable de la producción mundial de energía depende de la combustión de combustibles fósiles, lo que provoca la degradación de los ecosistemas [3]. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [3], el sector de la construcción es responsable de aproximadamente el 30 % de las emisiones anuales de GEI a nivel mundial y de hasta el 40 % del consumo total de energía. Los gases de efecto invernadero, entre los que se incluyen el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido de nitrógeno (N₂O) y los fluorocarbonos, contribuyen al cambio climático y al calentamiento global [4]. Entre ellos, las emisiones de CO₂ desempeñan un papel especialmente importante en el aumento de las temperaturas globales [5]. Los estudios indican que los edificios representan aproximadamente el 40 % de las emisiones globales de CO₂ [5, 6]. Las consecuencias del calentamiento global, como el deshielo de los casquetes polares y el aumento del nivel del mar, amenazan con reducir la superficie habitable, lo que agrava los retos asociados al crecimiento de la población mundial [7]. Dada la creciente preocupación por el cambio climático y las emisiones de carbono, el sector de la construcción se esfuerza continuamente por mitigar su impacto medioambiental [8], principalmente mediante la reducción del consumo energético en los edificios [3]. Para cumplir los objetivos mundiales de reducción de CO₂, tanto los consumidores como las partes interesadas de la industria deben participar activamente en el desarrollo de edificios con bajas emisiones de carbono [9]. Si no se aborda esta cuestión, es probable que las emisiones de GEI del sector sigan aumentando durante las dos próximas décadas [8]. En consecuencia, los arquitectos y las partes interesadas de la industria se enfrentan al importante reto de diseñar y construir edificios que se ajusten a los objetivos de reducción de emisiones, contribuyendo en última instancia a un entorno construido más sostenible y responsable con el medio ambiente.

En respuesta a la creciente preocupación por el medio ambiente y al aumento de los costes de la energía, los profesionales de la construcción han hecho cada vez más hincapié en la importancia de la sostenibilidad y la eficiencia energética en el diseño arquitectónico. El desarrollo de edificios sostenibles suele requerir conocimientos especializados y puede conllevar costes elevados [10]. Dado el importante impacto

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

medioambiental de los edificios, los diseñadores deben tratar de minimizar este efecto optimizando la eficiencia energética desde las primeras fases del proceso de diseño [10, 11]. La mejora de la eficiencia energética ofrece múltiples beneficios, entre los que se incluyen la reducción de los costes operativos y las ventajas económicas a largo plazo, lo que a su vez fomenta la innovación en las metodologías de construcción [12].

Es imprescindible lograr un bajo consumo energético neto en los edificios, y este objetivo puede alcanzarse mediante enfoques de diseño innovadores. En los últimos años han surgido diversas metodologías y tecnologías para mejorar la eficiencia energética de los edificios, entre las que destaca el modelado de información de edificios (BIM), que ha obtenido un amplio reconocimiento y adopción [13]. La integración del BIM con el análisis del rendimiento energético se ha vuelto cada vez más frecuente, ya que el BIM ha demostrado ser una herramienta eficaz para realizar evaluaciones energéticas durante las primeras etapas del diseño [14]. Al aprovechar la tecnología BIM, los diseñadores pueden modelar diversos aspectos del uso de la energía en un edificio, incluyendo el flujo térmico, los patrones de iluminación y otros parámetros relacionados con la sostenibilidad [9]. Las herramientas de análisis energético basadas en BIM permiten evaluar las necesidades de calefacción y refrigeración, las posibilidades de aprovechamiento de la luz natural y la selección de componentes de construcción que contribuyen a la eficiencia energética. Además, al incorporar datos meteorológicos en tiempo real e información sobre la red eléctrica, BIM facilita estimaciones más precisas del consumo energético y la huella de carbono de un edificio [15].

La eficacia del rendimiento de un edificio depende en gran medida de las propiedades de sus materiales, su resistencia térmica y sus características físicas generales. Estos atributos se representan digitalmente en los modelos BIM, lo que permite una evaluación exhaustiva del rendimiento energético [15]. La aplicación de herramientas BIM, como Revit Architecture, desempeña un papel fundamental en la optimización del flujo de trabajo de modelización energética. Al permitir el rápido desarrollo de modelos básicos de edificios, BIM facilita la simulación del rendimiento energético y los procesos de estimación de costes. Tradicionalmente, el diseño de edificios sostenibles se ha basado en herramientas de diseño asistido por ordenador (CAD), en las que los datos de diseño se introducían manualmente en un software de simulación energética [9]. Sin embargo, la integración directa del BIM con el análisis del rendimiento energético en la fase de diseño mejora la eficiencia, ya que las iteraciones del diseño pueden ajustarse y perfeccionarse fácilmente [16].

Se han desarrollado varias herramientas de simulación energética, como EnergyPlus, Ecotect e IES Virtual Environment, para analizar características clave del diseño de edificios, como la respuesta al clima, el acristalamiento, el aislamiento térmico, la ganancia solar, la ventilación (tanto natural como mecánica) y el rendimiento de los sistemas de climatización. La integración del BIM con estas herramientas de simulación ha dado lugar al desarrollo de sofisticados marcos de toma de decisiones para el diseño de edificios energéticamente eficientes [17]. Al aprovechar la tecnología BIM, los diseñadores pueden modificar y probar de forma iterativa diversas alternativas de

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

diseño, garantizando un rendimiento energético óptimo antes de que comience la construcción.

El uso del BIM con herramientas de simulación energética ofrece ventajas significativas para lograr diseños de edificios energéticamente eficientes y sostenibles. A través de la automatización, la integración de datos y las capacidades de simulación avanzadas, el BIM mejora los procesos de toma de decisiones, lo que permite a los arquitectos e ingenieros crear edificios que se ajustan a los objetivos de sostenibilidad globales [18].

5.1.2. Diseño sostenible y BIM

El rápido avance de las tecnologías en la industria de la construcción ha tenido un profundo impacto en el medio ambiente. El sector de la construcción contribuye de manera significativa a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) e es y al consumo de energía, debido principalmente a su alta dependencia de los combustibles fósiles para la generación de energía. Esta dependencia de la quema de combustibles fósiles da lugar a importantes emisiones de dióxido de carbono (CO₂), que contribuyen al calentamiento global y a la degradación del medio ambiente. Para mitigar los efectos adversos de las emisiones de GEI y el consumo excesivo de energía, es esencial desarrollar soluciones sostenibles que aborden estos retos medioambientales. Una de las estrategias más eficaces en este sentido es mejorar la conservación de la energía en los edificios. La incorporación de recursos materiales naturales en la construcción puede reducir significativamente la demanda de energía, ya que estos materiales suelen ofrecer un mejor rendimiento térmico en comparación con las alternativas convencionales.

La eficiencia energética de un edificio depende en gran medida del diseño de su **envolvente, su rendimiento térmico, sus sistemas de ventilación y sus sistemas de climatización**. Si no se diseñan adecuadamente, estos componentes pueden provocar un consumo excesivo de energía y crear condiciones interiores incómodas para los ocupantes. La creciente importancia que se concede a la sostenibilidad medioambiental en todo el mundo ha llevado a muchos países a adoptar prácticas centradas en la sostenibilidad a lo largo de **todo el ciclo de vida de los edificios**, incluidas **las fases de diseño, construcción, uso y postconstrucción**. La incorporación de estrategias de conservación de la energía durante la **fase inicial de diseño** puede suponer un ahorro energético considerable a lo largo de la vida útil del edificio.

Para alcanzar los objetivos de diseño sostenible, los diseñadores deben evaluar múltiples alternativas de diseño y seleccionar la opción más eficiente desde el punto de vista energético. Este proceso requiere el uso de **herramientas avanzadas** que ayuden en la toma de decisiones durante la fase de diseño. El modelado de información de construcción (BIM) se ha convertido en una herramienta fundamental para ayudar a los diseñadores a seleccionar los diseños de edificios óptimos. El BIM permite **el modelado paramétrico**, lo que permite al sector de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AEC) aplicar principios de diseño sostenible de forma más eficaz y mejorar la eficiencia energética global de los edificios.

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

Es evidente que **el diseño arquitectónico y la selección de materiales** desempeñan un papel crucial en la determinación del consumo energético y la huella de carbono de un edificio. Por consiguiente, los diseñadores deben realizar **evaluaciones exhaustivas de las propiedades de los materiales** para garantizar que los materiales seleccionados no solo contribuyan a la conservación del medio ambiente, sino que también mejoren el confort de los ocupantes. **Las herramientas de diseño paramétrico basadas en el rendimiento** integradas en BIM proporcionan a los diseñadores información basada en datos, lo que les permite tomar decisiones informadas sobre la selección de materiales sostenibles y la optimización de la eficiencia energética [18].

5.2– Aplicaciones BIM

5.2.1. Definición de BIM

La definición de modelado de información de construcción (BIM) varía en función del contenido específico incluido en el modelo. Un modelo de información puede abarcar diversos aspectos de un edificio, como la geometría, los componentes de la envolvente, los materiales, los costes, los sistemas de climatización, los sistemas eléctricos y las propiedades térmicas de los materiales.

Según la Norma Nacional BIM de EE. UU. (NBIMS-US), el BIM se define 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» [19]. De manera similar, Krygiel y Nies describen el BIM como «información sobre todo el edificio y un conjunto completo de documentos de diseño almacenados en una base de datos integrada» [20]. Además, Smith y Tardif caracterizan el BIM como «un mecanismo para transferir datos a información con el fin de obtener el conocimiento que nos permite actuar con sabiduría» [21].

Estas definiciones resaltan la naturaleza integral e integradora del BIM, haciendo hincapié en su papel en la mejora de los procesos de toma de decisiones, la optimización de la eficiencia del diseño y la facilitación de la gestión de la información de los edificios a lo largo de su ciclo de vida.

5.2.1. Aplicación del BIM

La aplicación del modelado de información de construcción (BIM) se expande continuamente a medida que los investigadores reconocen sus beneficios potenciales en diversos ámbitos. Aunque el BIM se utiliza con frecuencia para el análisis estructural (27 %) y el análisis energético (25 %), su aplicación principal sigue siendo el rápido desarrollo de modelos geométricos en 3D y la coordinación en 3D, con una tasa de uso del 60 % [22]. Sin embargo, el uso del BIM no se limita a los arquitectos e ingenieros, sino que también ofrece ventajas a los propietarios de viviendas, los gestores de instalaciones, los contratistas y los fabricantes [23].

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

Hay varios factores clave que impulsan la adopción del BIM en los proyectos, entre ellos la automatización del proceso de modelado, la mayor precisión de los documentos de construcción, la mejora de la comunicación entre las partes interesadas durante las fases de diseño y construcción, las actualizaciones automáticas en todas las vistas cuando se realizan modificaciones y la reducción de los problemas de coordinación sobre el terreno [23-26]. Si bien el BIM se aplica predominantemente en el diseño de edificios, algunas áreas, como el modelado energético, no han recibido la misma atención. La integración del BIM con la simulación del rendimiento de los edificios (BPS), a veces denominada rendimiento de los edificios basado en el BIM (BBIP), sigue siendo un área poco explorada.

Una revisión exhaustiva de la bibliografía relacionada con el BIM revela que la mayoría de los estudios se centran en la planificación, el diseño, la construcción, la explotación y el consumo energético, y que las publicaciones de archivo hacen hincapié en el diseño y la eficiencia energética [27]. Esta tendencia se ha observado a nivel mundial, lo que indica que, aunque las empresas de construcción utilizan ampliamente herramientas de simulación energética, existe una falta de integración entre el BIM y el modelado energético de edificios (BEM) dentro de una misma plataforma. La ausencia de dicha integración requiere la reintroducción manual de datos, incluso cuando la información relevante ya existe en otros modelos desarrollados para un proyecto [28,29]. Abordar esta laguna mediante el desarrollo de un marco unificado BIM-BEM podría mejorar significativamente la eficiencia en la modelización energética y el análisis del rendimiento de los edificios.

5.3– La sexta dimensión del BIM: sostenibilidad y análisis del ciclo de vida

El modelado de información de construcción (BIM) es una metodología revolucionaria que mejora la planificación, el diseño, la construcción y la gestión de proyectos de infraestructura mediante la representación digital. Entre las diversas dimensiones del BIM, la sexta dimensión (6D) se centra en la sostenibilidad y el análisis del ciclo de vida, integrando consideraciones medioambientales y de eficiencia energética en las fases de diseño y explotación de un edificio. Este artículo profundiza en la importancia, las aplicaciones y las ventajas del BIM 6D, ilustrando su papel en la promoción de la sostenibilidad dentro del sector de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AEC).

5.3.1. Introducción al BIM 6D

La dimensión 6D del BIM va más allá del diseño 3D tradicional, la programación 4D y la estimación de costes 5D, al incorporar aspectos de sostenibilidad en un modelo de edificio. Permite a las partes interesadas analizar el consumo de energía, la huella de carbono, la sostenibilidad de los materiales y el impacto medioambiental global a lo largo del ciclo de vida de una estructura. Con el énfasis mundial en las prácticas de construcción ecológica, el BIM 6D se perfila como una herramienta crucial para alcanzar los objetivos de sostenibilidad, como la certificación LEED (Liderazgo en Energía y Diseño

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

Ambiental) y el cumplimiento de las normas internacionales de eficiencia energética [30,31].

5.3.2. Componentes clave del BIM 6D

- **Análisis del rendimiento energético:** BIM 6D permite simular patrones de consumo energético, lo que permite a los diseñadores optimizar el aislamiento, el acristalamiento, la iluminación y los sistemas de climatización para mejorar la eficiencia.
- **Selección de materiales sostenibles:** al integrar bases de datos de materiales, BIM ayuda a elegir materiales ecológicos que reducen el carbono incorporado y mejoran la reciclabilidad.
- **Evaluación del ciclo de vida (LCA):** evalúa el impacto medioambiental de un edificio desde su construcción hasta su demolición, garantizando la sostenibilidad a largo plazo.
- **Estimación de la huella de carbono:** El BIM 6D ayuda a calcular las emisiones de CO₂, lo que facilita a los promotores la implementación de estrategias de reducción de carbono.
- **Integración de energías renovables:** el modelo permite evaluar paneles solares, energía eólica y otras fuentes renovables para mejorar la autosuficiencia.

5.3.3. Aplicaciones del BIM 6D en el sector AEC

- **Certificaciones de edificios ecológicos:** facilita el cumplimiento de programas de certificación medioambiental como BREEAM, LEED y WELL Building Standard.
- **Estrategias de optimización energética:** ayuda a diseñar edificios que minimizan el consumo de energía mediante opciones de diseño inteligentes.
- **Informes de sostenibilidad:** genera informes y paneles de control para realizar un seguimiento del impacto medioambiental a lo largo del ciclo de vida del proyecto.
- **Eficiencia en la gestión de instalaciones:** tras la construcción, el BIM 6D ayuda a garantizar un funcionamiento y un mantenimiento sostenibles, reduciendo el desperdicio de energía y los costes operativos.

5.3.4. Ventajas de implementar el BIM 6D

- **Mejora de la toma de decisiones:** proporciona información basada en datos a arquitectos, ingenieros y gestores de instalaciones.
- **Reducción de costes:** ayuda a minimizar los costes operativos y energéticos a largo plazo.

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

- Cumplimiento normativo: garantiza el cumplimiento de las leyes y normas medioambientales.
- Mejora de la colaboración entre las partes interesadas: mejora la transparencia y la comunicación entre los distintos participantes en el proyecto.
- Infraestructura preparada para el futuro: garantiza que los edificios se diseñen con resiliencia frente al cambio climático y las exigencias cambiantes en materia de sostenibilidad.

5.3.5. Retos y perspectivas de futuro

A pesar de sus numerosas ventajas, la adopción del BIM 6D se enfrenta a retos como los elevados costes iniciales de implementación, la complejidad de la integración de datos y la necesidad de formación especializada. Sin embargo, se espera que los avances en inteligencia artificial (IA), computación en la nube e IoT (Internet de las cosas) mejoren aún más las capacidades del BIM 6D, convirtiéndolo en una práctica estándar en la construcción sostenible.

La sexta dimensión del BIM desempeña un papel fundamental en la consecución de los objetivos de sostenibilidad, ya que permite un análisis energético preciso, la eficiencia de los materiales y la optimización del ciclo de vida. A medida que el sector de la construcción avanza hacia las emisiones netas cero y las prácticas de construcción respetuosas con el medio ambiente, el BIM 6D se perfila como un avance tecnológico vital. Aprovechando su potencial, las partes interesadas pueden crear infraestructuras más inteligentes, más ecológicas y más sostenibles, contribuyendo a un entorno construido más resiliente para las generaciones futuras.

5.4– Aplicación del BIM al modelado energético de edificios (BEM)

5.4.1. BIM para BEM

Estas son algunas aplicaciones del BIM a la modelización energética de edificios [32]:

- **Automatización de la modelización energética:** BIM simplifica la modelización energética al automatizar el manejo de datos, reducir los errores y ahorrar tiempo en comparación con los métodos convencionales.
- **Integración con herramientas BEM:** BIM puede conectarse con herramientas de simulación energética como OpenStudio para importar datos de edificios (geometría, materiales, propiedades térmicas) desde archivos IFC.
- **Mejora de la presentación de los resultados:** BIM mejora la visualización en los sistemas de gestión energética, especialmente en herramientas sin interfaz gráfica de usuario, lo que permite supervisar el rendimiento energético en tiempo real.
- **Sistema de apoyo a la gestión energética basado en BIM (sistema BIM-EMSS):** un marco que integra modelos BIM con contadores inteligentes y sensores para

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

realizar simulaciones energéticas en tiempo real utilizando herramientas como eQuest.

- **Almacenamiento y organización de datos:** BIM permite el almacenamiento estructurado de datos relacionados con la energía en tiempo real, incluyendo la temperatura, la ocupación y el consumo energético.
- **Monitorización en tiempo real:** sistemas como RTPM y RE-BIM Model utilizan BIM para realizar un seguimiento del uso de la energía, las mejoras de las instalaciones y los cambios de ocupación.
- **Integración de sensores:** BIM permite vincular los datos de los sensores a los modelos de edificios mediante SensorML, lo que facilita el seguimiento automatizado del consumo energético.
- **Mejora de las bibliotecas de materiales:** BIM contribuye a ampliar las bases de datos de propiedades de los materiales utilizados en la modelización energética, mejorando la precisión de las propiedades térmicas.
- **Evaluación del ciclo de vida (LCA):** BIM actúa como middleware entre CAD y herramientas energéticas, añadiendo atributos adicionales para las evaluaciones LCA.
- **Optimización del diseño de la envolvente del edificio:** BIM permite la evaluación previa de los materiales y sistemas para mejorar la eficiencia energética.
- **Dimensionamiento de sistemas de climatización:** BIM ayuda a diseñar y optimizar los sistemas de climatización mediante la evaluación de diferentes alternativas.
- **Gestión energética integral:** En general, BIM mejora las simulaciones energéticas mediante la automatización de los flujos de trabajo, la mejora de la visualización, la integración de datos en tiempo real y la optimización de la selección de materiales y sistemas.

5.4.2. Componentes del proceso de interoperabilidad entre BIM y BEM (BBIP)

Hay varios componentes que contribuyen al BBIP, y analizar cada uno de ellos por separado puede ayudar a entender mejor los retos, los problemas y las posibles soluciones. Como se muestra en la figura 1, el BBIP tiene tres componentes principales. Este estudio se centra principalmente en el segundo y tercer componente del proceso, concretamente en los archivos BIM y las herramientas de modelización energética de edificios (BEM).

Las herramientas BEM suelen constar de dos componentes principales: una interfaz gráfica de usuario (GUI) y un motor de simulación. Las GUI, como OpenStudio, BEopt, DesignBuilder y eQuest, facilitan el proceso de modelización energética al proporcionar una interfaz interactiva para los usuarios. Sin embargo, el motor de simulación energética, que funciona en segundo plano, realiza los cálculos reales. Algunos ejemplos de motores de simulación energética ampliamente utilizados son EnergyPlus y DOE2.

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios



Figura 1: Componentes del BBIP.

Uno de los retos fundamentales del BBIP consiste en mapear la información de los edificios en herramientas de simulación energética y, posteriormente, transferir los resultados de la simulación a la GUI. Estos procesos, ilustrados en la figura 2, representan áreas clave en las que surgen problemas de interoperabilidad y retos de integración de datos en los flujos de trabajo del BBIP.

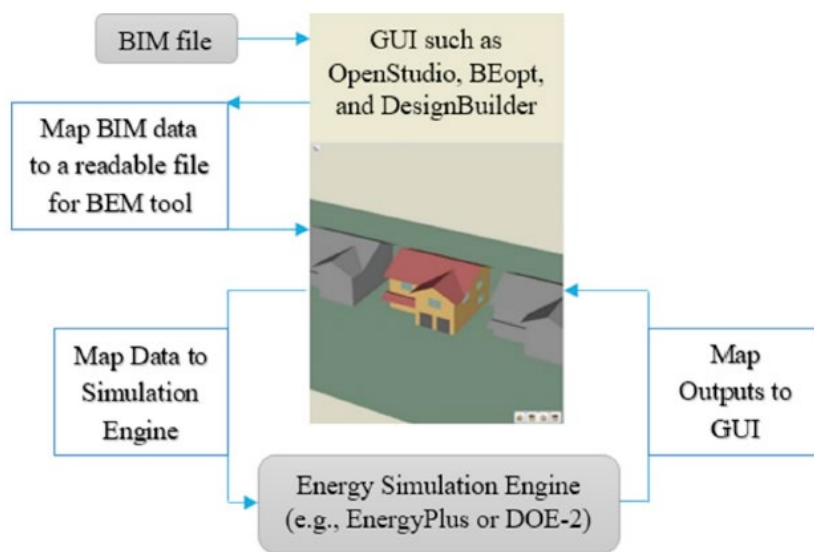


Figura 2: Flujo de trabajo de la información en BBIP. Fuente [32].

5.5 Software que utiliza BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

5.5.1. Open Studio



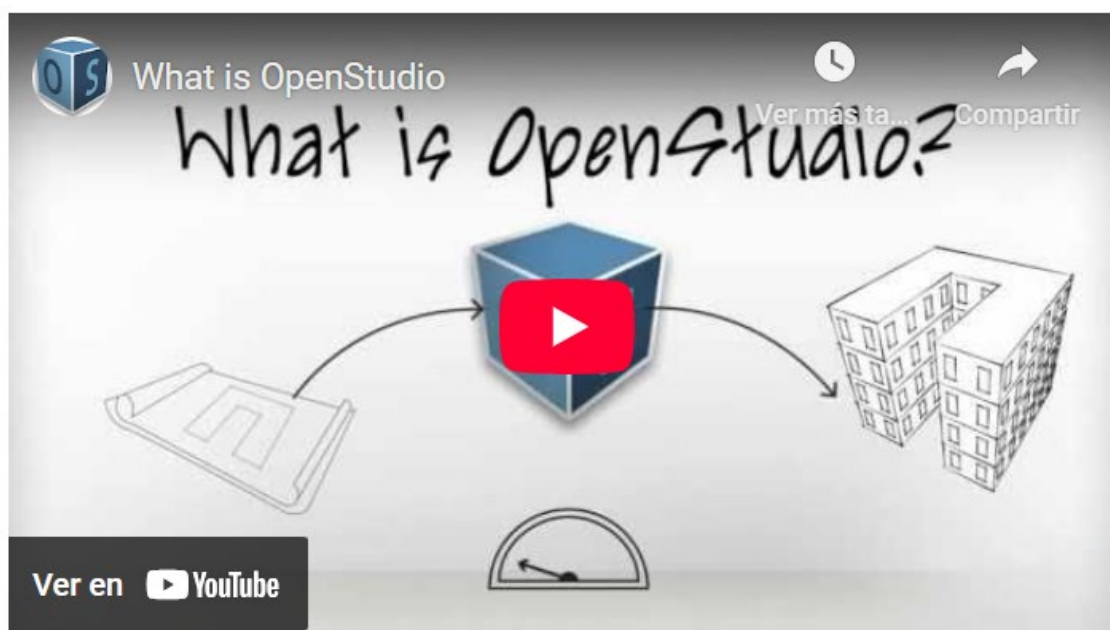
OpenStudio es una colección de herramientas de software multiplataforma (Windows, Mac y Linux) que permite modelar el consumo energético de edificios completos

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

utilizando EnergyPlus y realizar análisis avanzados de la luz natural con Radiance. OpenStudio es un proyecto de código abierto destinado a facilitar el desarrollo comunitario, la ampliación y la adopción por parte del sector privado.

OpenStudio SDK es tanto un kit de desarrollo de software (SDK) como una interfaz de línea de comandos (CLI). Conceptualmente, OpenStudio SDK proporciona una interfaz de programación de aplicaciones (API) para acceder al motor de modelado EnergyPlus. Esta interfaz ofrece muchas ventajas, como una interfaz estable y controlada por versiones, abstracciones de tipología espacial que facilitan a los usuarios finales el modelado de edificios y enlaces de lenguaje en Ruby, Python y C-Sharp para que sea más accesible a los usuarios familiarizados con estos lenguajes. La CLI es una potente herramienta multiplataforma que permite a los usuarios ejecutar flujos de trabajo basados en OpenStudio en arquitecturas compatibles, como Linux, Windows y Mac.

Las aplicaciones gráficas incluyen el **complemento OpenStudio SketchUp**, la **aplicación OpenStudio** y la **herramienta de análisis paramétrico**. El complemento SketchUp y la aplicación Openstudio son mantenidos por la **OpenStudio Coalition**, que se fundó para mantener y desarrollar estas aplicaciones gráficas para la comunidad de modelado energético de edificios. El complemento SketchUp es una extensión de la popular herramienta de modelado 3D SketchUp de Trimble que permite a los usuarios crear rápidamente la geometría necesaria para EnergyPlus. Además, OpenStudio admite la importación de gbXML e IFC para la creación de geometría. La aplicación OpenStudio es una interfaz gráfica con todas las funciones para los modelos OpenStudio, incluyendo envolvente, cargas, programaciones y HVAC. ResultsViewer permite navegar, trazar y comparar los datos de salida de la simulación, especialmente las series temporales. La herramienta de análisis paramétrico permite estudiar el impacto de la aplicación de múltiples combinaciones de medidas de OpenStudio a un modelo base, así como exportar los resultados del análisis para su presentación a EDAPT.



Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

https://youtu.be/ovLt4-q_Ueg

5.5.2 DesingBuilder



<https://designbuilder.co.uk/>

DesignBuilder es una solución completamente modular que comprende un modelador 3D básico y 11 módulos que funcionan conjuntamente para proporcionar un análisis en profundidad de cualquier edificio. Todos los módulos se integran perfectamente entre sí, por lo que puede elegir módulos individuales o uno de los paquetes.

Los paquetes de software contienen las combinaciones de módulos más comunes para cada clase de usuario, como se muestra a continuación. Los módulos también se pueden adquirir por separado y también está disponible una licencia de red para el sitio con cualquier combinación de módulos. Haga clic en el nombre del módulo o en la función del puesto para obtener más información.

Módulos:

- [Modelador 3D](#): el módulo principal, nuestro eficiente modelador de edificios en 3D.
- Visualización: impresionantes imágenes renderizadas y análisis de sombreado del emplazamiento.
- [Certificación](#): cálculos EPC y Part-L2 en el Reino Unido e Irlanda.
- [Simulación](#): simulaciones EnergyPlus para análisis de energía y confort.
- [Iluminación](#) natural: informes sobre los factores de luz natural y la iluminancia utilizando Radiance.
- [HVAC](#): una interfaz potente y flexible para EnergyPlus HVAC.
- [Coste](#): estimación del coste de la construcción en una fase temprana.
- [LEED](#): cálculos LEED EAp2 y ASHRAE 90.1.
- [Optimización](#): optimización multicriterio para ayudar a cumplir los objetivos de diseño.
- [Scripting](#): personalice las simulaciones de EnergyPlus utilizando EMS o FMU.

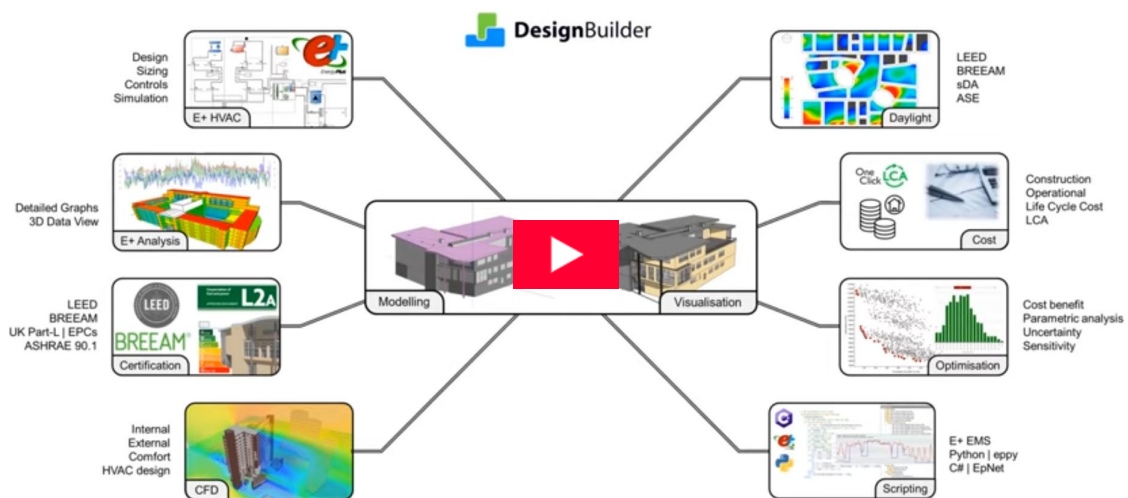
Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

- **CFD**: la dinámica de fluidos computacional calcula la distribución de las propiedades del aire dentro y alrededor de los edificios.

DesignBuilder le permite

- Generar una amplia gama de resultados e informes que le ayudarán a comparar el rendimiento de las alternativas de diseño.
- Optimizar el edificio en cualquier fase del diseño en función de los objetivos del cliente.
- Modelar incluso edificios complejos con el mínimo tiempo y esfuerzo.
- Importar datos de diseño BIM y CAD existentes para facilitar la introducción de datos.
- Generar impresionantes imágenes renderizadas y películas.
- Simplifique la simulación térmica EnergyPlus.

Vídeo:



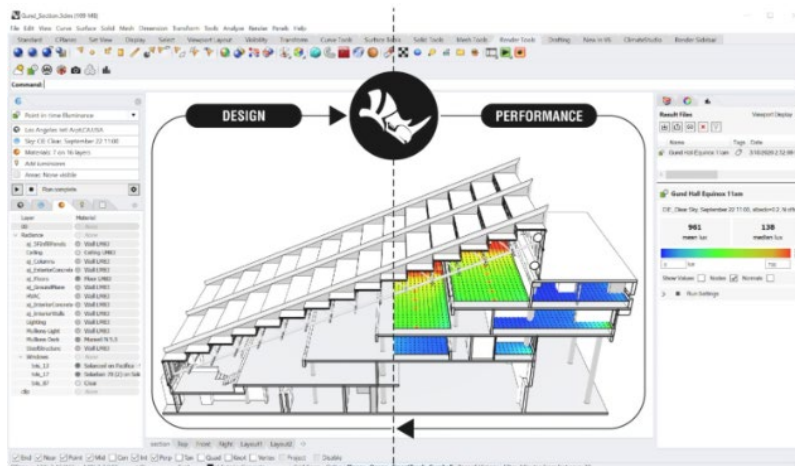
https://youtu.be/64dRTd_4NLQ

5.5.3 ClimateStudio

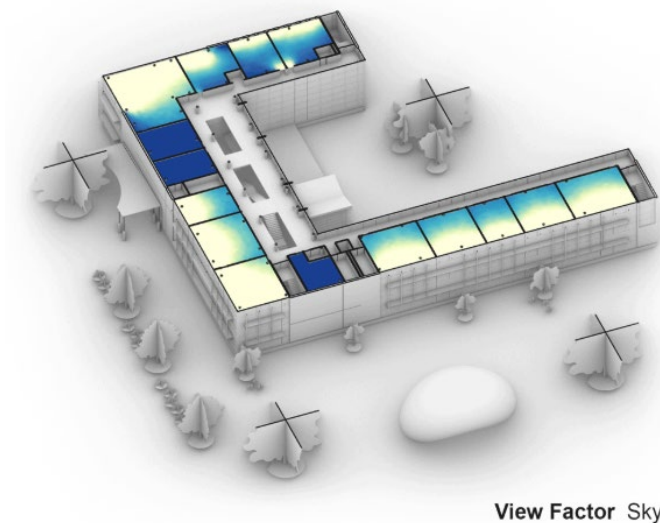


<https://www.solemma.com/climatestudio>

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios



ClimateStudio es el software de análisis del rendimiento medioambiental más rápido y preciso para el sector de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AEC). Sus flujos de trabajo de simulación ayudan a los diseñadores y consultores a optimizar los edificios en cuanto a eficiencia energética, acceso a la luz natural, rendimiento de la iluminación eléctrica, confort visual y térmico, y otras medidas relacionadas con la salud de los ocupantes. ClimateStudio es un complemento para Rhinoceros 3D y requiere la última versión de servicio de la versión 6, 7 u 8.



Características de ClimateStudio:

RÁPIDO Y PRECISO

Basado en EnergyPlus y en una novedosa tecnología de trazado de rutas basada en RADIANCE, ClimateStudio es el software de simulación más rápido y preciso del mercado. Sí, más rápido que las herramientas basadas en la nube. Y sí, más preciso que DIVA-for-Rhino. Por fin, resultados fiables a una velocidad 1000 veces mayor.

FÁCIL DE USAR

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

Los asistentes con un solo clic y los resultados intuitivos hacen que ClimateStudio sea fácil de usar y entender. Además, la configuración personalizada ofrece a los expertos un control total.

DISEÑADO PARA EL MUNDO REAL

ClimateStudio incluye miles de materiales, construcciones y plantillas tomados de mediciones reales y fuentes validadas. Ya sea utilizando los puntos de referencia DOE, las normas ASHRAE o los productos de acristalamiento de la IGDB, los proyectos de ClimateStudio siempre se basan en la realidad.

ANÁLISIS CLIMÁTICO

ClimateStudio incluye una biblioteca con más de 30 000 archivos meteorológicos y ofrece visualizaciones interactivas de la temperatura, la humedad, el viento, la radiación y las condiciones UTCI en el lugar.

ESTUDIOS DE LA TRAYECTORIA DEL SOL Y LAS SOMBRAS

Visualice los ángulos del sol y las sombras para destacar las oportunidades de diseño pasivo y el impacto en el emplazamiento.

CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA LEED SOBRE ILUMINACIÓN NATURAL

ClimateStudio calcula el sDA de forma correcta, utilizando sombreado dinámico y las últimas normas LM-83. Con una velocidad sin precedentes y la generación automática de informes, puede pasar de cero al cumplimiento normativo con solo hacer clic en un botón.

DESLUMBRAMIENTO ANUAL

Evalúe el deslumbramiento desde cientos de posiciones de observación, para cada hora del año, en cuestión de segundos.

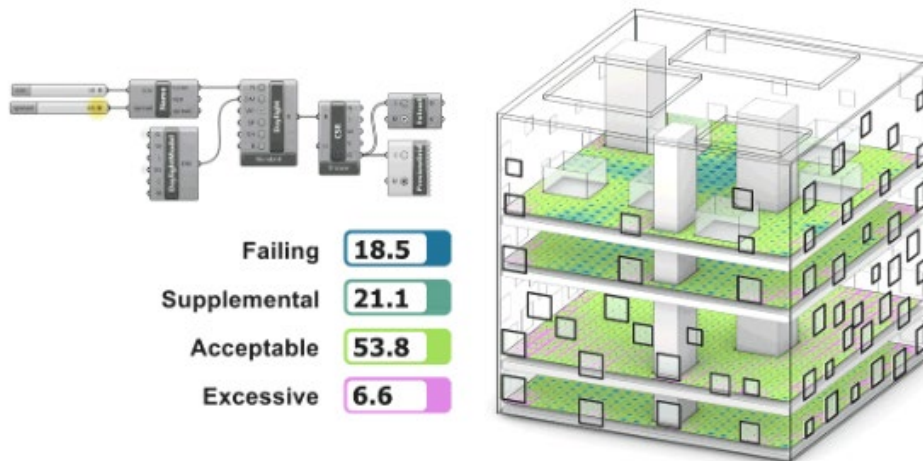
MODELIZACIÓN ENERGÉTICA MULTIZONA

Con una interfaz de usuario completa, detección automática de adyacencias y resultados interactivos, ClimateStudio hace que el modelado energético multizona sea muy sencillo.

HERRAMIENTAS PARAMÉTRICAS

ClimateStudio ofrece un modelado totalmente paramétrico de la luz natural y la energía a través de Grasshopper. Las optimizaciones, los análisis de sensibilidad y la generación automatizada de modelos nunca han sido tan fáciles.

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

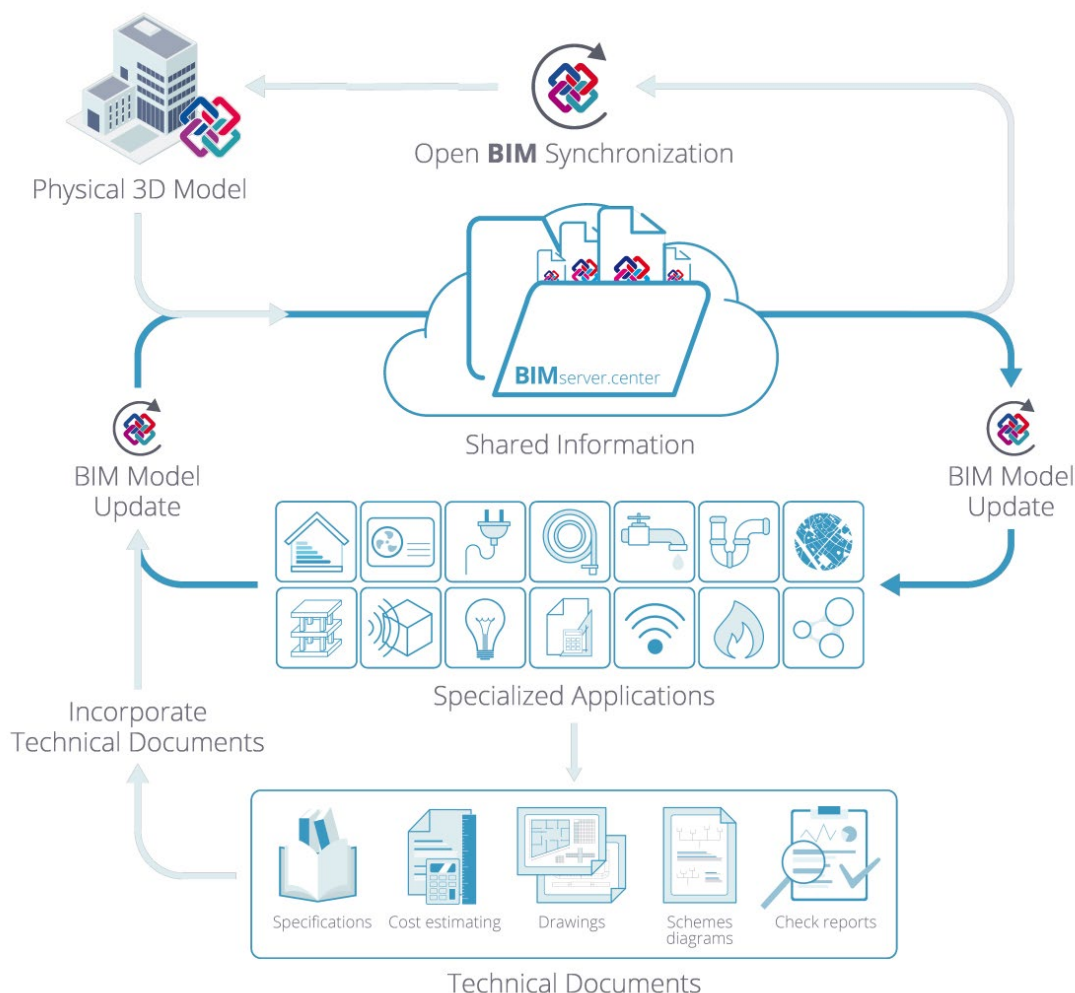


ENERGÍA RENOVABLE

Simule el rendimiento de la energía fotovoltaica para compensar la demanda energética o demostrar la viabilidad de un consumo neto cero. Incluya el almacenamiento en baterías y los precios variables de la electricidad en su análisis.

5.5.4 Paquete Cype - CypeTherm E+

Flujo de trabajo OpenBIM con Cype



Gracias a BIMserver.center, existe una comunicación directa entre todos los usuarios y aplicaciones que participan en un proyecto desarrollado con el flujo de trabajo Open BIM.

Mediante un servidor de actualización en la nube, con BIMserver.center es posible gestionar y compartir todos los archivos de un proyecto BIM, lo que facilita la organización y la comunicación entre los usuarios autorizados a intervenir en el proyecto.

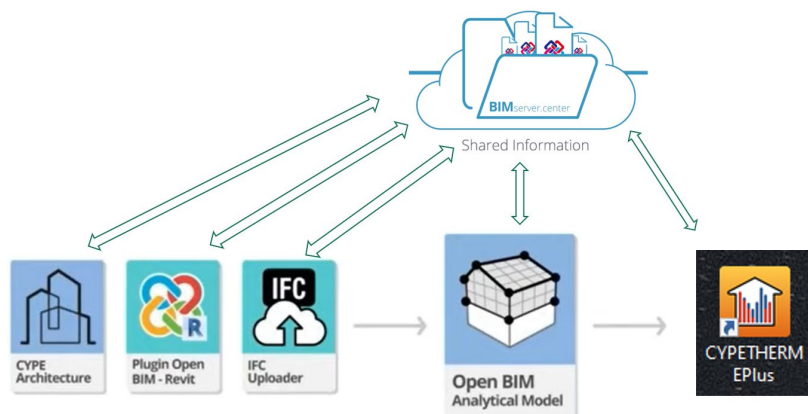
Además, los responsables de los proyectos pueden gestionar los permisos y accesos para cada proyecto y para cada usuario autorizado, permitiendo incluso la posibilidad de aportar contribuciones o propuestas a cualquier usuario de BIMserver interesado en participar en un proyecto.

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

Flujo de trabajo de análisis del rendimiento energético con Cype

Existen varios flujos de trabajo posibles para realizar análisis del rendimiento energético de edificios con los programas Cype. En este tutorial vamos a mostrar dos de ellos.

Energy analysis workflow



Flujo de trabajo 1

En el flujo de trabajo 1 se utiliza un modelador BIM, que puede ser Cype Architecture, Revit u otro software que construya un modelo BIM del edificio en formato IFC4.

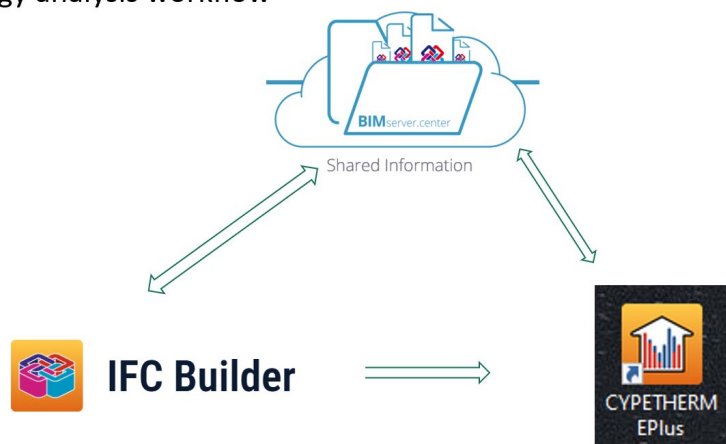
Una vez construido el modelo BIM en formato IFC, este modelo se envía a BIMServerCenter, y desde allí el software OpenBIM Analytical Model lo descarga para realizar el modelo analítico del edificio que contiene información sobre los espacios y volúmenes del edificio. A continuación, OpenBIM Analytical Model envía el modelo analítico a BIMServerCenter.

El siguiente paso es utilizar CypeTHERM Eplus, que, utilizando los modelos BIMServerCenter creados hasta este momento, termina de caracterizar el modelo energético del edificio (propiedades de la envolvente térmica, sistemas HVCA, clima, radiación solar, cargas térmicas, niveles de confort, etc.) y realiza el análisis energético a través del motor Energy+.

Si opta por el flujo de trabajo 2, solo necesitará utilizar dos programas del paquete Cype. IFC Builder para crear el modelo BIM del edificio y CypeTHERM Eplus para realizar el análisis energético.

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

Energy analysis workflow



Flujo de trabajo 2

CypeTherm HE Plus



CYPETHERM EPlus

CYPETHERM EPlus - CYPE

CYPETHERM EPlus es un programa creado para realizar el modelado y la simulación energética de edificios con **EnergyPlus™**.

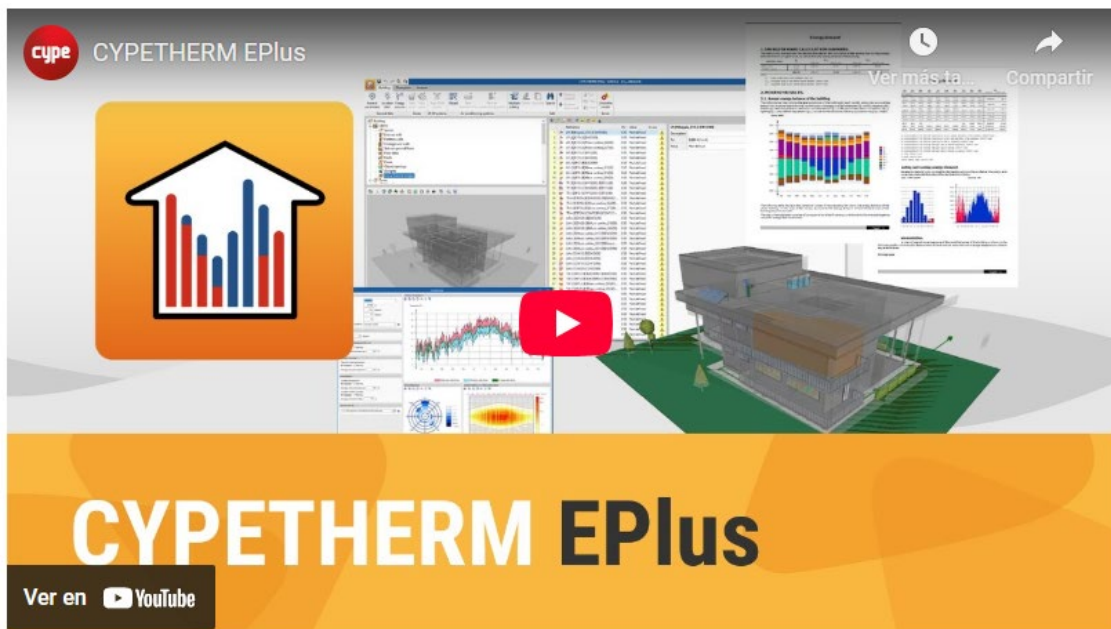
CYPETHERM EPlus está integrado en el flujo de trabajo Open BIM a través del estándar IFC. Incluye algunas de las siguientes características:

- Importación del modelo geométrico del edificio desde archivos IFC generados por programas CAD/BIM como IFC Builder (aplicación gratuita de CYPE), Allplan®, Archicad® o Revit®.
- Importación de la instalación de climatización del edificio definida con los sistemas de los fabricantes a partir de archivos IFC, generados por los programas Open BIM DAIKIN, Open BIM FUJITSU y Open BIM VAILLANT.
- Simulación de los sistemas de climatización más extendidos en edificios, incluyendo equipos predefinidos de fabricantes.
- Integración de códigos internacionales y manuales homologados para la definición de las características térmicas del edificio.
- Comprobación de la condensación superficial e intersticial.
- Definición automática de los puentes térmicos del edificio a partir de los bordes del modelo BIM.
- Informes sobre los resultados de la simulación energética del edificio: demanda energética, consumo energético, confort interior.

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

- Exportación de los resultados del análisis a CYPETHERM Improvements Plus para el análisis energético y económico de diferentes propuestas de construcción.

Vídeo



<https://youtu.be/YCWqrHs5txQ>

Referencias

- [1] Alkhatib F, Kasim N, Goh W I, Shafiq N, Amran M, Kotov E V y Albaom M A 2022 Optimización aerodinámica computacional de edificios altos irregulares sensibles al viento *Buildings* **12** 939
- [2] Acquaye A A y Duffy A P 2010 Análisis de insumos y productos de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector de la construcción en Irlanda *Building and Environment* **45** 784-91
- [3] Ham Y 2015 Diagnóstico energético de edificios basado en la visión y análisis de rehabilitación mediante termografía 3D y modelización de información de edificios. Universidad de Illinois en Urbana-Champaign)
- [4] Sagheb A, Vafaeihosseini E y Ramancharla P K 2011 El papel de los materiales de construcción en el calentamiento global: lecciones para los arquitectos. En: *Conferencia Nacional sobre Tendencias Recientes en Ingeniería Civil Mecánica*. Disponible en: www.researchgate.net/publication/269031946_The_Role_of_Building_Construction_Materials_on_Global_Warming_Lessons_for_Architect,

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

- [5] De Lasso J, França J, Espirito Santo K y Haddad A 2016 Estudio de caso: metodología del ACV aplicada a la gestión de materiales en una obra residencial brasileña. *Journal of Engineering* **2016**
- [6] Jin R, Zhong B, Ma L, Hashemi A y Ding L 2019 Integración del BIM con el análisis del rendimiento de los edificios en el ciclo de vida de los proyectos *Automation in Construction* **106** 102861
- [7] Hamzah M, Jamshidi A, Shahadan Z, Hasan M M y Yahaya A 2010 Evaluación de las propiedades técnicas y las ventajas económicas de la WMA utilizando materiales locales *Journal of Applied Sciences(Faisalabad)* **10** 2433-9
- [8] Iniciativa C 2009 Edificios y cambio climático
- [9] Motawa I y Carter K 2013 Evaluación sostenible de edificios basada en BIM *Procedia-Social and Behavioral Sciences* **74** 419-28
- [10] Rahmani Asl M, Zarrinmehr S y Yan W 2013 Hacia la optimización paramétrica del rendimiento energético de los edificios basada en BIM
- [11] Azhar S, Brown J y Sattineni A 2010 Estudio de caso del análisis del rendimiento de edificios utilizando el modelado de información de edificios. En: *Actas del 27.º simposio internacional sobre automatización y robótica en la construcción (ISARC-27), Bratislava, Eslovaquia*, pp. 25-7
- [12] Zaid S y Graham P 2012 La necesidad de una legislación sobre eficiencia energética en el sector de la construcción de Malasia. Estudio comparativo de las políticas del sudeste asiático
- [13] Tantawy D A 2015 Uso de la modelización de la información de edificios para la simulación y el análisis de interiores ecológicos *Int J Contemp Appl Sci* **2** 262-79p
- [14] Shoubi M V, Shoubi M V, Bagchi A y Barough A S 2015 Reducción de la demanda energética operativa en edificios mediante herramientas de modelización de la información de edificios y enfoques de sostenibilidad *Ain Shams Engineering Journal* **6** 41-55
- [15] Carvalho J P, Bragança L y Mateus R 2021 Diseño sostenible de edificios: análisis de la viabilidad de las plataformas BIM para apoyar la evaluación práctica de la sostenibilidad de los edificios *Computers in Industry* **127** 103400
- [16] Zhu H 2014 Práctica del diseño ecológico de la eficiencia energética de edificios basado en el modelo BIM *Comput Model New Tech* **18** 678-81
- [17] Ryu H-S y Park K-S 2016 Estudio sobre el proceso de simulación energética LEED utilizando BIM *Sustainability* **8** 138

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

- [18] Alkhatib F, Alawag AM, Daris A 2021 Modelado de información de edificios (BIM) y rendimiento energético de los edificios: una revisión. *Journal of Applied Artificial Intelligence* 2 22-31
- [19] NBIMS-US, National BIM Standard-United States® Versión 3, Instituto Nacional de Ciencias de la Construcción, Washington, DC, (2013) Disponible en: http://mddb.apec.org/Documents/2013/SCSC/WKSP5/13_scsc_wksp5_007.pdf , fecha de acceso: 15 de enero de 2017.
- [20] E. Krygiel, B. Nies, Green BIM: Successful Sustainable Design With Building Information Modeling, Wiley, Indianápolis, Indiana, 2008 (ISBN-10: 9780470239605).
- [21] D.K. Smith, M. Tardif, Building Information Modeling - A Strategic Implementation Guide, John Wiley & Sons, Hoboken, Nueva Jersey, 2008 (ISBN-10: 9780470250037).
- [22] R. Kreider, J. Messner, C. Dubler, Determining the frequency and impact of applying BIM for different purposes on projects, Actas de la 6.ª Conferencia Internacional sobre Innovación en Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC), Universidad Estatal de Pensilvania, University Park, Pensilvania, EE. UU., 2010. Disponible en: http://bim.psu.edu/uses/Freq-Benefit/BIM_Use-2010_Innovation_in_AEC-Kreider_Messner_Dubler.pdf , fecha de acceso: 15 de enero de 2017.
- [23] 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, Nueva Jersey, 978-0-470-54137-1, 2011.
- [24] J.-H. Woo, C. Diggelman, B. Abushakra, BIM-based energy monitoring with XML parsing engine, Actas de la 28.ª ISARC, Seúl, Corea, 2011, pp. 544-545. Disponible en: http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC23692.pdf , fecha de acceso: 15 de enero de 2017.
- [25] N.W. Young Jr., S.A. Jones, H.M. Bernstein, J.E. Gudgel, El valor empresarial del BIM, McGraw Hill, Nueva York, (2009) Disponible en: http://images.autodesk.com/adsk/files/final_2009_bim_smartmarket_report.pdf , Fecha de acceso: 15 de enero de 2017.
- [26] I.J. Ramaji, J.I. Messner, R.M. Leicht, «Leveraging building information models in IFC to perform energy analysis in OpenStudio», ASHRAE e IBPSA-USA SimBuild 2016, Salt Lake City, 2016. Disponible en: <http://ibpsa-usa.org/index.php/ibpsa/article/view/365/351> , fecha de acceso: 15 de enero de 2017.
- [27] H.-Y. Chong, C.-Y. Lee, X. Wang, Una revisión mixta de la adopción del modelado de información de edificios (BIM) para la sostenibilidad, J. Clean. Prod. 142 (2017) 4114-4126, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.222>.
- [28] L. Mohamed Khodeir, A. Ali Nessim, Enfoque integrado BIM2BEM: examen del estado de la adopción de la modelización de información de edificios y los modelos

Uso del BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios

energéticos de edificios en los estudios de arquitectura egipcios, Ain Shams Eng. J. (2017), [https://doi.org/ 10.1016/j.asej.2017.01.004](https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.01.004) En prensa.

[29] C.-Y. Lee, H.-Y. Chong, X. Wang, Racionalización del uso del modelado digital y del modelado de información de edificios (BIM) para proyectos de petróleo y gas, Arch. Comput. Meth. Eng. (2016) 1–48. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11831-016-9201-4> , fecha de acceso: 15 de enero de 2017.

[30] Azhar, S., Carlton, W. A., Olsen, D., & Ahmad, I. (2011). Modelado de información de edificios para el diseño sostenible y el análisis de la calificación LEED®. *Automation in Construction*, 20(2), 217-224.

[31] Wong, J. K. W., y Fan, Q. (2013). Modelado de información de edificios (BIM) para el diseño de edificios sostenibles. *Instalaciones*, 31(3/4), 138-157.

[32] Kamel E, Memari A. M. 2019. Revisión de la aplicación del BIM en la simulación energética: herramientas, problemas y soluciones, *Automatización en la construcción* 95. 164-180

6 - Resultados

Para evaluar el éxito de la aplicación, sugerimos realizar una encuesta entre los estudiantes.

7- Lo que hemos aprendido

El papel del BIM en la mejora de la eficiencia energética en los edificios.

El papel del BIM en el diseño sostenible de edificios

Las ventajas de la sexta dimensión del BIM.

El estado actual de las aplicaciones BIM para el modelo energético de edificios (BEM).

Ejemplos de software que utilizan BIM para analizar la eficiencia energética de los edificios.