

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“USO DE LA METODOLOGÍA BUILDING
INFORMATION MODELING PARA EL ANÁLISIS
ENERGÉTICO DE EDIFICIOS”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Jhonatan David Barreto Requejo

Asesor:

M.Cs. Juan Carlos Flores Cerna

<https://orcid.org/0000-0001-7638-3456>

Cajamarca - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Julian Ricardo Díaz Ruíz	09294063
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Gladys Licapa Redolfo	41379556
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Irma Horna Hernández	40317442
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

Tesis de Jhonatan Barreto

ORIGINALITY REPORT

19% SIMILARITY INDEX	19% INTERNET SOURCES	6% PUBLICATIONS	9% STUDENT PAPERS
--------------------------------	--------------------------------	---------------------------	-----------------------------

PRIMARY SOURCES

1	www.ecointeligencia.com Internet Source	5%
2	www.nadalux.com Internet Source	2%
3	Submitted to Universidad Privada del Norte Student Paper	1%
4	hdl.handle.net Internet Source	1%
5	repositorio.ucss.edu.pe Internet Source	1%
6	revistas.uss.edu.pe Internet Source	1%
7	repositorioacademico.upc.edu.pe Internet Source	1%
8	Submitted to Universidad Politécnica de Madrid Student Paper	<1%
9	www.coursehero.com Internet Source	<1%

DEDICATORIA

Se lo dedico a Jehová, mi familia y a toda persona que tiene en sus adentros el espíritu de valorar lo nuestro, de justicia social y de aquel que desee forjar un legado que perdure en el tiempo.

AGRADECIMIENTO

“A veces sentimos que lo que hacemos es tan solo una gota en el mar, pero el mar
sería mucho menos si le faltara una gota” (María Teresa de Calcuta)

Agradezco a Jehová

Por darme esa fortaleza, paciencia y perseverancia para culminar esta meta tan
anhelada.

A mis padres

Horacio y Rita, por brindarme una formación en valores, superación y de amor a
Jehová.

A mis hermanas

Pilar, Flor, Merly y Rosmery; por su apoyo y amor fraternal en cada etapa de
nuestras vidas.

A mi novia

Edith, por su inmenso amor, apoyo incondicional y tolerancia hacia mí.

A mi asesor

Juan Carlos, por su colaboración y aporte para que este proyecto se haga realidad.

Tabla de contenido

Jurado calificador	2
Informe de similitud	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento.....	5
Tabla de contenido	6
Índice de tablas	7
Índice de figuras	8
Resumen	9
Capítulo I: Introducción	10
Capítulo II: Metodología	29
Capítulo III: Resultados.....	35
Capítulo IV: Discusión y Conclusiones	49
Referencias	52
Anexos	59

Índice de tablas

Tabla 1. Ficha documental.....	32
Tabla 2. Dimensiones del sistema BIM.....	37

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama prisma.....	31
Figura 2. Proceso de investigación.....	33
Figura 3. BIM y ciclo de vida.....	39
Figura 4. Principales análisis de sostenibilidad - en la etapa de pre construcción	42
Figura 5. Modelado de materiales para el análisis energético.....	44
Figura 6 Posibles análisis realizados en una simulación	46
Figura 7 Parámetros dentro de un modelo digital	47
Figura 8 Análisis de los modelos BIM	48

RESUMEN

En el ámbito de la construcción en los últimos tiempos se ha visto en la obligación de buscar soluciones eco amigables, a razón de compatibilizar con la sostenibilidad ambiental y disminuir la dependencia del uso de recursos fósiles. Un proceso considerado por muchos como una de las tecnologías facilitadoras de la digitalización en el sector de la construcción, con gran potencial para mejorar la sostenibilidad de los proyectos a lo largo del ciclo de vida del edificio, es el uso de Building Information Modeling (BIM). Es por ello que se buscaba analizar el uso de la metodología BIM aplicado en el análisis energético de edificios. Metodológicamente fue documental y no experimental, se aplicó un diagrama prisma para seleccionar 15 artículos que brindaron información importante del tema. Con ello se llegó a la conclusión de que el uso de la metodología BIM aplicado en el análisis energético de edificios, es de mucha ayuda, esto porque permite simular las posibles condiciones tanto externas como internas de la edificación para comprobar si cumple con los requisitos energéticos, y con ello buscar la mejor combinación de factores para disminuir el consumo generando una estructura más sostenible.

PALABRAS CLAVES: Metodología Building Information Modeling, sostenibilidad, eficiencia energética de edificios.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En el ámbito de la construcción en los últimos tiempos se ha visto en la obligación de buscar soluciones eco amigables, a razón de compatibilizar con la sostenibilidad ambiental y disminuir la dependencia del uso de recursos fósiles (Isaksson y Linderóth, 2018). La construcción sostenible cada vez aumenta su auge y demanda, sobre todo por su impacto medioambiental y económico. La carencia de análisis a profundidad de las tácticas de sostenibilidad en la fase de diseño hace que la inclusión de razonamientos de eficiencia y mejora del manejo de los materiales en el diseño, en la construcción y operación de los edificios sea una perspectiva lejana (Latorre et al., 2019).

Además, según diversas tendencias, el consumo energético y la generación de emisiones asociadas podrían incrementar hasta un 300 % a mediados de este siglo. Un ejemplo importante es que no se prevé que el consumo de energía para la calefacción en las edificaciones, tanto de comercio como vivienda, este hecho, tiene una proyección de incremento en los países desarrollados entre 2010 y 2050, mientras que en los países en vías de desarrollo se percibe una tendencia importante al crecimiento del uso de la energía. Los nuevos edificios en los países en desarrollo presentan tanto riesgos como grandes oportunidades para la arquitectura sostenible (Cárdenas et al., 2018)

Cada vez existe más la preocupación y exigencia de una construcción ecológica, debido al aumento de los costos de energía y la importancia que las personas le están dando al cuidado ambiental y la sostenibilidad. Señalan que los entornos de diseño estructural tradicionales no permiten el análisis de componentes como el análisis

energético hasta ya terminado el proyecto, por lo que solo se realiza después de que se completa el diseño arquitectónico. Así, al no existir un proceso continuo de análisis de la sostenibilidad en la fase de diseño, resulta difícil integrar los criterios de rendimiento en el proceso de diseño. Además, las decisiones de diseño afectan al coste final, la eficiencia energética y el rendimiento de un edificio. En otras palabras, el impacto del diseño inicial es mayor y el coste de los cambios en la fase de diseño es menor en comparación con la fase de uso del edificio (Álvarez et al., 2020).

La introducción de BIM en el mundo de la construcción puede describirse como un giro de forma sustancial en la manera en que se crean y gestionan los datos de diseño, incluida la incorporación de IoT (Internet of Things) y tecnologías avanzadas, como big data, blockchain e inteligencia artificial, realidad virtual o aumentada. Esta metodología tiene como objetivo incrementar de forma observable la calidad en la construcción y su integración con el concepto de sostenibilidad, es por eso que dicha integración es una dirección importante en el desarrollo de los proyectos civiles en la actualidad (Sánchez et al., 2020).

Un proceso considerado por muchos como una de las tecnologías facilitadoras de la digitalización en el sector de la construcción, con gran potencial para mejorar la sostenibilidad de los proyectos a lo largo del ciclo de vida del edificio, es el uso de BIM. En el mundo ya existen mandatos de adopción de la metodología BIM y Perú no es la excepción, pues se cuenta con medidas adoptadas en materia BIM. Normativas en la cual se indica que gradualmente los proyectos de inversión pública deben ir incorporando de manera progresiva la metodología BIM (Naneva et al., 2020).

La metodología BIM se está implantando en Perú como parte de los procesos contractuales y licitación para la obtención de proyectos de infraestructura civil. Las

principales ventajas de la metodología BIM son las herramientas de modelización arquitectónica, la modelización del diseño de componentes y el análisis de incompatibilidad en los proyectos de infraestructuras. La principal desventaja es la complejidad de los componentes utilizados, que requieren especialistas para dominarlos correctamente. El país de referencia que ha adoptado BIM en sus proyectos de infraestructuras es España, tanto para la contratación como para la construcción (Marin et al., 2021).

Entre las muchas razones que pueden influir en el escaso uso del BIM en el análisis energético de los edificios, se han identificado las siguientes: a) desconocimiento de las herramientas tecnológicas b) pocos profesionales especializados en este campo c) infravaloración de la importancia de la aplicación. Las consecuencias de esta situación son numerosas, entre las que cabe destacar las siguientes: a) los edificios no son sostenibles desde el punto de vista medioambiental, b) el consumo de energía aumenta y c) los recursos no renovables se utilizan en exceso. Lo que se puede hacer como profesionales de este campo es dar a conocer el método BIM y su aplicación en el análisis energético de los edificios y promover el tipo de cooperación adecuado con otros profesionales de este campo (Bustamante et al., 2021). Es por ello que se busca conocer ¿Cuál es el uso la metodología *Building Information Modeling* para el análisis energético de edificios?

Por otro lado, para la comprensión de la actual investigación, fue necesario el análisis de diferentes fuentes de información relacionadas al objeto de estudio, tomadas como antecedentes investigativos, los cuales se presentan a continuación.

Motalebi et al. (2022) dieron a conocer un estudio que buscó analizar la incorporación y optimización del ciclo de vida centrado en BIM para la modernización

de la eficiencia energética de edificaciones. La metodología BIM orientada para la gestión del análisis de cargas de refrigeración y calefacción de los elementos del edificio en las etapas preliminares y finales del proceso permitieron obtener mejoras significativas en términos de la eficiencia en la distribución de energía y la participación de los involucrados en el intercambio de información orientada al logro de metas. Los resultados muestran que la pantalla de aire acondicionado y las unidades de refrigeración evaporativa desempeñaron un papel importante en el consumo de energía. El modelo matemático de optimización desarrollado evalúa los beneficios económicos de aumentar la eficiencia energética para minimizar el coste total del ciclo de vida del edificio a lo largo de su vida útil. Además, ofrece una respuesta óptima de recuperación de energía que puede llegar a reducir el consumo energético entre un 24 % y un 58,2 %. Por último, una comparación del análisis del ciclo de vida de los edificios antes y después de la modernización muestra que los edificios bien diseñados pueden reducir el calentamiento global en más de un 45 %.

Carvalho et al. (2021) publicaron una investigación que se basó en la validación de un sistema basado en BIM para simplificar el análisis energético de edificios portugueses según los métodos del Código Nacional de Aislamiento Térmico para Edificios Residenciales. De acuerdo con su marco metodológico, se centró en la tipología aplicada y no requirió de la intervención de los investigadores, por cuanto, se consideró no experimental. Se pudo evidenciar que, para el parámetro P7, toda la información requerida para la validación se puede obtener rápidamente utilizando el método BIM. Al exportar modelos BIM de Autodesk Revit a Cypetherm REH, los elementos de la zona de construcción (como paredes, pisos, ventanas y puertas) y las propiedades de los materiales se reconocen automáticamente. Identificar todas estas

características es una de las tareas más difíciles en el proceso de evaluación tradicional, y BIM lo evalúa casi de inmediato. Luego, simplemente ajuste/defina algunos parámetros de simulación y las principales restricciones de energía y demanda se pueden calcular automáticamente desde el REH en las unidades requeridas para usar SBTool PT -H. Finalmente, el empleo de BIM en la construcción puede ser una forma importante de optimizar la eficiencia energética de un edificio y los requisitos de comodidad de los ocupantes. BIM puede reducir significativamente los recursos de modelado de energía del edificio para analizar diferentes opciones de diseño y mejorar el rendimiento del edificio.

Alothman et al. (2021) publicaron un estudio que tuvo como propósito de realizar una investigación en base a los elementos del edificio y calcular el requerimiento energético usando BIM. Se simuló un edificio de un instituto existente utilizando *Revit Architecture 2018*. Para visualizar las diferentes secciones del edificio, se generó un modelo 3D del mismo. El archivo de Revit se envió a *Green Building Studio* como archivo gbXML, que permite a *Green Building Studio* medir el consumo energético de funcionamiento. Se destacaron los parámetros recomendados; comparándolos con los parámetros de diseño estándar, los cuales tuvieron un efecto significativo en el consumo de energía por medio de la optimización del uso de combustible de un 28,20 % a un 42,70 %, lo que también ocasionó la reducción del coste energético anual en casi un 22,30 % durante el ciclo de vida del edificio. Por su parte, la contribución de los parámetros del edificio a los costes energéticos del ciclo de vida es variada, siendo los muros y la climatización los que más contribuyen, un 0,21 % y un 0,19 % respectivamente. La orientación y el techo tienen una baja contribución del 0,07 % y el 0,11 %, respectivamente. Finalmente, el recurso a

diversos tipos de materiales con distinto rendimiento energético posibilita que los accionistas del proyecto tomen una decisión acertada en las primeras fases del proceso de construcción.

Zhao et al. (2021) realizaron un estudio que se basó en utilizar la plataforma BIM y un diseño de simulación ortogonal, y se aprobó un proyecto de edificio experimental en una región fría de China para estudiar la influencia de diferentes parámetros de la envolvente estructural en las cargas de refrigeración y calefacción. Las cargas de refrigeración y calefacción más pequeñas son preferibles para ahorrar energía en los edificios. La prueba ortogonal muestra que las puntuaciones de las diferentes combinaciones de la estructura de la envolvente del edificio oscilan entre 21 217 W y 14 971 W. Para las distintas combinaciones, el ahorro energético máximo puede alcanzar el 29,44 %. En comparación con el edificio de referencia (15 699 W), el ahorro energético máximo puede ser del 4,64 %. Por lo tanto, el nivel con el menor índice de calificación integral se selecciona como la solución óptima para los factores y la combinación óptima final de la envolvente del edificio se obtiene como sigue A3-B2-C1-D1. Finalmente, la eficiencia energética de los sistemas HVAC y de calefacción de los edificios es esencial para lograr la eficiencia energética de los edificios. Es importante optimizar los sistemas de calefacción y climatización del edificio durante el proceso de diseño.

González et al. (2021) publicaron un estudio que tuvo como intención evaluar una edificación energéticamente eficiente con la integración de BIM. Se trató de un estudio aplicado y fue experimental. La valoración del desenvolvimiento energético parece ser una oportunidad para aumentar el consumo de energía a los parámetros de sostenibilidad. Los electrodomésticos de un edificio, que forman parte de la fase de

funcionamiento de su ciclo de vida, tienen un impacto significativo en las necesidades energéticas de una vivienda. Al reducir la demanda de energía, la energía ahorrada tiene un impacto positivo en el medio ambiente. Los resultados obtenidos son satisfactorios y mostraron grandes posibilidades de mejora de la eficiencia energética. Finalmente, el estudio analiza la eficiencia de la iluminación y las cargas eléctricas, así como el sistema HVAC, opciones que se pueden convertir fácilmente en un modelo REVIT.

Asimismo, Li et al. (2020) elaboraron un estudio que se enfocó en la verificación de la simulación energética centrada en BIM para obras de edificación. Fue aplicada y no hubo experimentación. Se han comparado los resultados de la simulación con los datos de monitorización y con los resultados de otra herramienta de simulación, HOT2000; la comparación muestra que EnergyPlus y HOT2000 predicen el consumo total de energía con una diferencia del 8,0 y el 7,1 %, respectivamente, en comparación con los datos de monitorización. Por último, esta investigación muestra cómo el BIM puede emplearse eficazmente para respaldar la simulación energética de los edificios. Las partes interesadas pueden aprender de esta investigación para evitar la pérdida de datos al transformar los modelos BIM.

Montiel et al. (2020) publicaron un estudio que tuvo como intención saber la eficiencia y sostenibilidad energética que genera la metodología BIM implementada en edificios hospitalarios. Por su parte, mediante una simulación energética y tras analizar la situación energética actual del edificio, se buscó explorar posibles alternativas para optimizar la eficiencia energética y optimizar su sostenibilidad. Se pudo destacar el ahorro energético del 13 % debido a la mejora de la eficiencia energética de la iluminación (iluminación LED y luz diurna). Estas son medidas de

fácil aplicación en edificios hospitalarios, ya que no interfieren indebidamente en el funcionamiento continuo del hospital y, además, permiten amortizar la inversión a corto plazo frente a otras medidas para mejorar la eficiencia energética de los edificios hospitalarios. Finalmente, el método utilizado permite el análisis energético y la simulación del modelo BIM 6D del edificio modelado. Por lo tanto, se puede modelar las medidas más sostenibles en términos de ahorro de energía y eficiencia energética y evaluar la posible aplicación de estas medidas por separado o como una aplicación global o combinada de estas medidas.

Desde el ámbito nacional, Velásquez (2022) realizó una investigación que tuvo como objeto evidenciar que la implementación de BIM ofrece resultados excelentes en la gestión de edificaciones. Se trató de una investigación aplicada. Destacó que, BIM 6D, referente a la eficiencia energética, el modelo BIM permite el análisis, cálculo y simulación de esta forma. El 75,6 % de las entidades emplean BIM en la fase de diseño y construcción, el 60,7 % en la fase de construcción y casi ninguna en la fase de operación y mantenimiento. Según la encuesta de empresas constructoras de 2021, el 44,6 % de las empresas constructoras utilizan métodos BIM en sus proyectos desarrollados en 2020. Tiene la participación más alta (69,0 %) en la construcción de infraestructura. Finalmente, se aplicaron con éxito los objetivos marcados por el enfoque BIM y se intentó mejorar el proceso de diseño antes del proceso de construcción.

Piña y Urquiaga (2020) publicaron un estudio que tuvo como intención aplicar BIM con el objeto de optimizar la efectividad en la gestión de edificaciones. Se trató de un estudio aplicado. Se destacó que, BIM está relacionado con las herramientas (software), tácticas (procedimientos operativos) y análisis (estructura,

constructibilidad, energía, verificación de perturbaciones, etc.) asociados con este modelo virtual. El uso de métodos BIM en el desarrollo de proyectos facilita la toma de decisiones cuantitativas y cualitativas en las fases de diseño, construcción, operación y mantenimiento. La inversión en la aplicación de un enfoque BIM para mejorar la eficiencia del proyecto de construcción en la ciudad de Yurimaguas terminó con resultados positivos en el análisis económico, ya que la inversión se estimó en S/. 129 474,02 con un beneficio del 2,5 % del presupuesto de cada obra, con un beneficio por proyecto de S/. 370 525,98. Esto corresponde a un indicador de rentabilidad de 2,86; de lo que se puede concluir que el proyecto ha sido muy rentable según la metodología BIM y que la inversión inicial se puede recuperar en un plazo de hasta cinco años.

Atencio (2019) dio a conocer un estudio que se enfocó en identificar la repercusión de la aplicación de BIM en instalaciones eléctricas y sanitarias de proyectos de construcción. Se trató de un estudio aplicado y sin experimentación. Se realizaron un total de 82 cambios de medición que representan el 63,08 % del costo total del proyecto, con un aumento de costo de S/48 090,41 que representa el 7,36 % del costo total del proyecto. Según el documento, la duración aumentó en 72 días, lo que corresponde al 8,28 % de la duración total del proyecto, y la duración aumentó en 31 días, lo que corresponde al 11,48 % de la duración total de la programación. Al final, se concluyó que, aunque no se encontraron reducciones de costos y tiempos, no había duda de que se podían determinar números más precisos, lo que resultaría en resultados optimizados, y si hubo un impacto positivo, ciertamente fue cierto para el enfoque BIM.

La investigación obedece a ciertos lineamientos técnicos, los cuales están enmarcados en los siguientes fundamentos teóricos:

BIM

Por sus siglas en inglés significa “*building information modeling*”. Constituye una nueva evolución tecnológica y de métodos en el sector de la arquitectura, la ingeniería, la construcción y las operaciones (AECO). El BIM se trata de una representación digital de las particularidades físicas y operativas de una instalación. Dicha representación se transforma en una fuente de información que posibilita el intercambio de datos fiables sobre los que se toman decisiones a lo largo del ciclo de vida de la instalación. De acuerdo con la organización, constituye una metodología colaboradora que posibilita una mayor gestión de una estructura u obra civil, gracias a un modelo digital. El empleo de estas herramientas tecnológicas sirve para edificar de manera eficaz, disminuir los costes y, al mismo tiempo, fomentar la colaboración entre los partícipes del proyecto. (Pezeshki et al., 2019)

Evolución del BIM

Conviene entender el modo en que se han empleado los medios digitales para plasmar los modelos de construcción en el tiempo. A partir de 1975, con el paso del dibujo a mano alzada al empleo de computadoras, llamado CAD (diseño asistido por ordenador), apareció el prototipo de edificio, que ofrecía secciones y planos basados en un modelo 3D, con el ordenador como soporte. En 1987, la empresa *Graphisft Archicad* estableció el concepto de edificio virtual. Después, en 1994, surgió la primera norma de intercambio IFC (*Industry Foundation Classes*). (Kalibatas et al., 2018)

En 2003, EE.UU. se estableció el programa nacional BIM 3D y 4D, cuyos modelos digitales sirvieron para relacionar el tiempo y la programación de los proyectos. A los cuatro años, en 2007, Estados Unidos instauró un programa de espacio mínimo en BIM para la autorización y financiación de proyectos, exigencia que luego se cumpliría en este país. Así pues, BIM se ha desarrollado, y en los últimos años se han difundido guías, normas y la formación de grupos de trabajo para impulsar su implantación en cada uno de los países con interés en esta novedosa manera de trabajo. Finalmente, cabe destacar que, en 2016, el Reino Unido estableció que todos los proyectos gubernamentales se presentarán en BIM, a nivel de detalle 2. (Hattab, 2021)

Por su parte, de acuerdo con Atencio (2019) BIM se desenvuelve en:

BIM 3D-Modelo virtual integrado

Consigue reunir las disciplinas que conforman el proyecto, se elabora en cooperación entre los distintos especialistas, todos los modelos y archivos se interconectan, proporciona una solución a las incompatibilidades desde el inicio.

BIM 4D-Programación/tiempo

Enlaza las labores de construcción planificadas en el proyecto de construcción con un modelo 3D a fin de generar una estimación del procedimiento de construcción de un proyecto. Así, es posible controlar y analizar los plazos de construcción. Así, los diseñadores podrán planear y coordinar las tareas vinculadas al proceso de construcción.

BIM 5D-Costo/presupuesto

BIM simplifica considerablemente el cómputo de los volúmenes de obra, puesto que los modelos BIM constituyen una fuente de información en cada uno de sus

elementos que es posible obtener a través de la elaboración de hojas de informe para los componentes de un presupuesto, lo cual disminuye el tiempo invertido en las mediciones clásicas.

BIM 6D-Sustentabilidad (Green BIM)

Los diferentes componentes del proyecto proporcionan información sobre los elementos que los componen (propiedades físicas, químicas, térmicas, acústicas, eléctricas, etc.), lo que permite determinar, entre otras cosas, el comportamiento térmico, el comportamiento energético, el análisis del consumo de agua, el análisis solar, lumínico y sonoro, entre otros.

BIM 7D-Mantenimiento y operación

Aprovecha al máximo la asignación de espacio para la modificación del servicio, el manejo de subcontratistas, el almacenamiento, la administración de piezas y el stock de repuestos, posibilitando que los gerentes evalúen distintas alternativas dentro del mismo modelo.

Eficiencia energética

Todas las acciones destinadas a lograr una rebaja del consumo energético unitario a través de un empleo más racional de la energía, para proteger el medio ambiente, reforzar la garantía del abastecimiento y conseguir una política energética más duradera. (Vilutiené et al., 2021)

El rendimiento energético de los edificios es la supervisión o verificación del rendimiento energético de un modelo de edificio. El rendimiento energético de los edificios puede considerarse como el uso adecuado de la energía para satisfacer las necesidades energéticas relacionadas con la refrigeración (calefacción y aire

acondicionado) de un edificio, la producción de agua potable o agua para piscinas, la iluminación, etc. Además, el uso racional de esta energía debe estar asegurado por sistemas eficientes que garanticen un bajo consumo a la vez que proporcionan un alto confort de vida, así como por una orientación adecuada del edificio. La alta eficiencia energética de un edificio requiere también la reducción de las pérdidas de energía mediante soluciones como el aislamiento térmico de las superficies o el uso de envolventes que garanticen una adecuada estanqueidad al aire y al vapor, sin comprometer la ventilación. (Martins et al., 2020)

La optimización de la eficiencia energética es una de las medidas más importantes de ahorro de energía. Ya sea a pequeña escala con aparatos sencillos o a gran escala con medidas de eficiencia energética tiene en cuenta el consumo de energía a lo largo de un año para satisfacer las necesidades básicas y mantener unas condiciones confortables en términos de temperatura, iluminación y calidad del aire. Tiene en cuenta el consumo de energía a lo largo de un año para satisfacer las necesidades básicas y mantener unas condiciones confortables en términos de temperatura, iluminación y calidad del aire. La meta final es aumentar el desempeño de las instalaciones para satisfacer los requerimientos energéticos. (Barone et al., 2021).

Análisis energético

Constituye el punto de arranque de la eficiencia energética en los edificios. Consiste en el proceso de diagnóstico de la posición inicial del edificio y en la definición de los distintos componentes encargados del consumo de energía y de su relevancia respecto a la situación general. El análisis energético resulta primordial a la hora de intervenir en un edificio y deberá contar con una visión permanente y

transversal, puesto que todas las actuaciones que se realizan en los edificios, directa o indirectamente, suponen el empleo de energía en menor o mayor medida. Todo buen análisis ha de seguir las indicaciones para alcanzar y conservar las dimensiones de confort y asegurarlo con la mínima exigencia energética. Además, el análisis de las instalaciones debería tratar de cubrir la totalidad de la demanda energética de la manera más eficaz y con la inclusión del máximo número necesario de fuentes renovables (Wang et al., 2021).

La eficiencia energética de un edificio se desenvuelve de la siguiente manera de acuerdo con Ariza (2022):

Reducción de la demanda energética

Mejoras de la envolvente térmica: Esto disminuye el gasto o la ganancia de energía de la casa al limitar el flujo de calor del exterior al interior en verano y evitar la pérdida de calor del interior al exterior en invierno, mejorando así la eficiencia energética de la envolvente térmica y reduciendo la necesidad de energía para la calefacción en invierno.

Mejorar el aislamiento térmico: Cuando se trata de ahorrar energía, el aislamiento es un elemento importante. Los paneles de aislamiento térmico se utilizan en fachadas, cubiertas, falsos techos y suelos para elementos horizontales situados en el exterior o en zonas sin calefacción. En las fachadas, la posición del panel es muy importante porque el revestimiento exterior garantiza que todas las capas de la envolvente tengan una temperatura cercana a la del interior, lo que mejora el aislamiento térmico, elimina todos los puentes térmicos y evita la condensación, aunque esta solución es la más cara debido al coste de los andamios y los materiales adicionales.

Revestir las paredes interiores es muy barato, pero menos recomendable por el riesgo de condensación y puentes térmicos. También es posible rellenar los espacios de aire interiores con aislamiento térmico, que es una solución intermedia que también deja puentes térmicos. Como material aislante, recomiendo materiales que también son insonorizantes, como el poliestireno extruido, la fibra de vidrio, la lana de roca, la espuma de poliuretano, el aislamiento de celulosa ecológica soplada en cámara y la espuma de vidrio reciclado, que también es insonorizante.

Sustitución de los vidrios y carpinterías: Se trata de ventanas y puertas con rotura de puente térmico, doble acristalamiento Climalit con cámaras de aire, vidrios de bajo factor solar o vidrios de baja emisividad tratados para reflejar la mayor parte de la radiación solar incidente, reduciendo significativamente la ganancia de calor solar en el edificio. Se recomienda instalar cajas de persiana con aislamiento térmico y persianas con lamas aislantes en su interior.

Aislar adecuadamente las zonas con puentes térmicos: Esto significa que allí donde la envolvente se interrumpe y pierde su inercia térmica, hay que reforzar el aislamiento, en las cajas de persiana, en las uniones con los pilares, en las uniones con los techos y, sobre todo, en los edificios en los que se ha desarrollado la mala costumbre de hacer un hueco bajo las ventanas para instalar radiadores, reduciendo su espesor y privando a la envolvente de protección térmica. Si es posible, siempre es aconsejable colocar el aislamiento fuera de la habitación donde se encuentra el puente térmico.

Mejorar las condiciones de ventilación del edificio: Es aconsejable ofrecer siempre una ventilación suficiente para asegurar la calidad del aire interior. En los climas más cálidos, dicha ventilación es aún mayor, sobre todo en verano, y conviene

emplear la ventilación natural cruzada y la ventilación nocturna para impedir la pérdida de energía y retirar el calor acumulado en la envolvente durante el día.

Mejorar el rendimiento de las instalaciones de refrigeración, calefacción, iluminación y agua caliente

Sustitución de los equipos de calefacción de agua caliente por otro de gran rendimiento: Sustituir las calderas por otras de alta eficiencia, por ejemplo, calderas de condensación, calderas de biomasa o una bomba de calor aire-agua que intercambie el calor a través de un circuito hidráulico, aumentando así la eficiencia de la calefacción por suelo radiante.

Sustitución de los aires acondicionados por otros de mayor rendimiento: Hoy en día, muchas viviendas están equipadas con este tipo de unidades, normalmente bombas de calor con un *split* interior y una unidad exterior, que deberían ser sustituidas por otras unidades que consuman menos y sean más eficientes energéticamente, como las bombas de calor aire-aire de alta eficiencia.

Mejorar la red de distribución de agua caliente y calefacción: La instalación de válvulas termostáticas en los radiadores no sólo aísla las tuberías de la red de distribución, a la vez que disminuye las pérdidas de calor y posibilita una instalación más eficaz.

Mejorar rendimiento en las instalaciones de equipos eléctricos e iluminación: Mediante la sustitución de las bombillas incandescentes por bombillas de bajo consumo y sistemas de control de la iluminación, el resto de los aparatos y electrodomésticos que consumen electricidad deben ser de clase energética A o superior.

Instalar energías renovables

Para ello, se pueden utilizar fuentes de energía renovables, como la energía solar térmica para la producción de agua caliente o la energía solar fotovoltaica para la producción de electricidad, si las características del edificio y de las instalaciones lo hacen posible técnica y económicamente. En caso contrario, se deben utilizar sistemas con instalaciones y equipos de alta eficiencia energética, tal y como se ha descrito en el apartado anterior. (Bueno et al., 2018a)

La evolución del sector de la construcción se ha transformado en uno de los menos adelantados tecnológicamente. Así lo reflejan los edificios realizados hace décadas sin un concepto integral para que el edificio se adaptara al entorno en el que se iba a construir, y sin prever los costes de explotación a lo largo de la vida del proyecto. Ahora, ya no es práctico seguir edificando de la forma clásica, pues existe una novedosa manera de trabajar en equipo, llamada BIM, que permite contar con un modelo digital para una mejor administración del proyecto, un modelo que se mantiene actualizado con información a medida que se desarrolla. Actualmente, el aspecto medioambiental es uno de los principales elementos, y no se debería planificar un proyecto sin un buen análisis funcional del edificio y su repercusión en el medio ambiente (Montiel et al., 2020).

Este estudio viene motivado por el interés en cómo se relaciona la metodología BIM con el análisis energético de los edificios, ya que en los últimos años se exige un uso cada vez más sostenible de los recursos y por ello se da gran importancia al consumo energético, esto se hace con el fin de preservar el medio ambiente y reducir el impacto de las actividades humanas sobre la Tierra.

En cuanto a la metodología, al ser una forma de trabajo relativamente nueva en el Perú, y aún desconocida para muchos, este trabajo es conveniente para reforzar los conocimientos básicos de la metodología BIM y su aplicación al análisis energético de los edificios. Además, servirá de punto de partida para futuras investigaciones destinadas a aplicar directamente la metodología BIM a casos de análisis específicos.

Desde otro punto de vista práctico, permitirá a los profesionales del sector ser más competitivos y ofrecer el valor añadido de sus productos, que es proporcionar un modelo digital de fácil acceso que permita al cliente gestionar su información. Esta es una solución más práctica y más interesante que las carpetas de archivo utilizadas hasta ahora. Finalmente, la investigación es viable, pues se cuenta con los medios y recursos necesarios para llevarla a cabo. Ante lo expuesto en los párrafos anteriores, es necesario explorar y comprender como la metodología BIM ha venido revolucionando la actual forma de trabajo y nos permite plantear el problema de la siguiente forma.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo se usa la metodología Building Information Modeling para el análisis energético de edificios?

1.3. Objetivos

General

Analizar el uso de la metodología Building Information Modeling aplicado en el análisis energético de edificios.

Específicos

- Plantear las principales etapas de la metodología Building Information Modeling.

- Conocer cuáles son los procesos para el análisis energético en la construcción de edificaciones urbanas.
- Establecer los parámetros comunes cuyos datos son utilizados en la simulación energética.

1.4. Hipótesis

El uso de la metodología Building Information Modeling permitirá desarrollar el análisis energético de edificios.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Tipo de investigación

Sobre este referente, se menciona que la caracterización brindada al estudio fue de tipo básico, cuyo concepto es asociado con la adquisición de nuevos conocimientos fundamentados en la práctica o en la teoría, con el único propósito de fomentar la formación de nuevas prácticas (Hernández y Mendoza, 2018). Al respecto, al diseño de este estudio fue no experimental, y se centró únicamente hacia la búsqueda sistemática de la literatura mundial en torno a las variables BIM y análisis energético bajo el precepto de obtener información de otros autores y sistematizarla con el fin de proceder a su descripción (Ñaupas et al., 2018).

Mencionado lo anterior, el alcance fue descriptivo, por cuanto este explica precisamente los datos recogidos de un proceso investigativo a través de la organización sistemática y apoyada en estadígrafos que coadyuvan en la presentación de los resultados y análisis posteriores (Sergio, 2019).

Población y muestra

La población estará conformada por aquellos documentos científicos que sean de interés con el tema de estudio, incluyendo las variables BIM y análisis energético. El muestreo fue por conveniencia y los criterios de inclusión y exclusión de esta revisión de la información se llevará a cabo bajo las siguientes premisas:

Periodo: Los artículos deberán poseer fechas de publicación entre el 2015 y 2022.

Idioma: Los idiomas admitidos son inglés y español.

Estado de publicación: todos los artículos deben estar publicados, lo cual indica que ya fueron revisados previamente.

Tipos de publicación: para esta revisión solo se seleccionarán artículos científicos de bases de datos confiables.

Fuentes de información: Solo se usarán bases de datos de artículos científicos debido que se considera que son confiables y en ellos se puede encontrar información verídica.

En cuanto a los criterios de exclusión se tendrá que:

Periodo: Los artículos que tengan más de 10 años de publicados.

Idioma: Artículos en idiomas que no se mencionan.

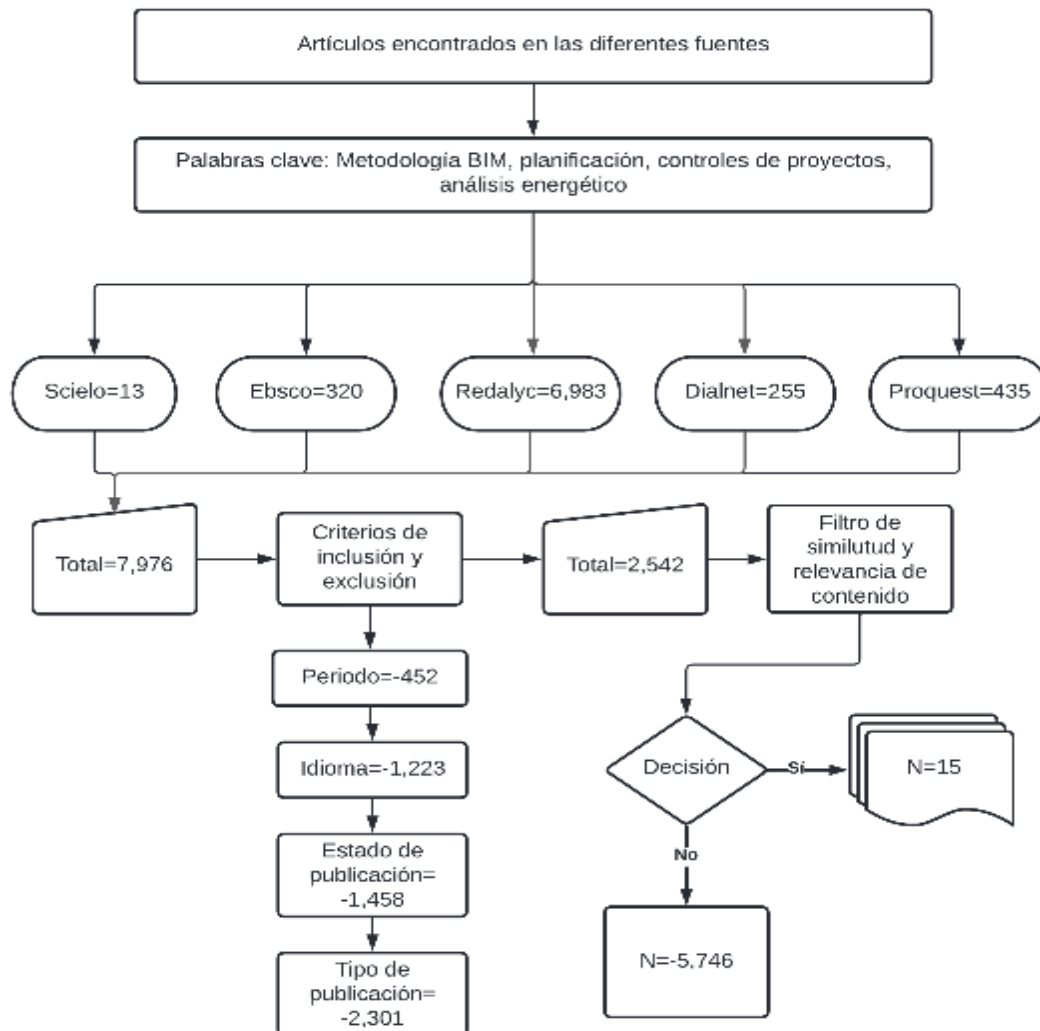
Estado de publicación: artículos que no estén publicados o no se conozcan los datos de la revista en donde se ubica.

Tipos de publicación: No se permiten informes profesionales, ensayos o tesis.

Para la selección de los artículos se aplicará un diagrama prisma para conocer cuál será el número final de artículos a analizar; presentándose, a continuación, en la figura 1.

Figura 1.

Diagrama prisma.



Técnicas e instrumentos de recolección de datos

El análisis de documentos es una técnica mediante la cual, a través de un proceso intelectual, se extraen determinados conceptos de un documento para representarlo y facilitar el acceso al documento original. Así, el análisis es la extracción de un documento de un conjunto de palabras y símbolos que sirven para representarlo (Hernández y Mendoza, 2018).

En cuanto al instrumento de recolección de datos se hará uso de una ficha documental para la organización de los documentos analizados, los cuales servirán de base para generar los resultados de esta investigación (Hernández y Mendoza, 2018).

Tabla 1.*Ficha documental.*

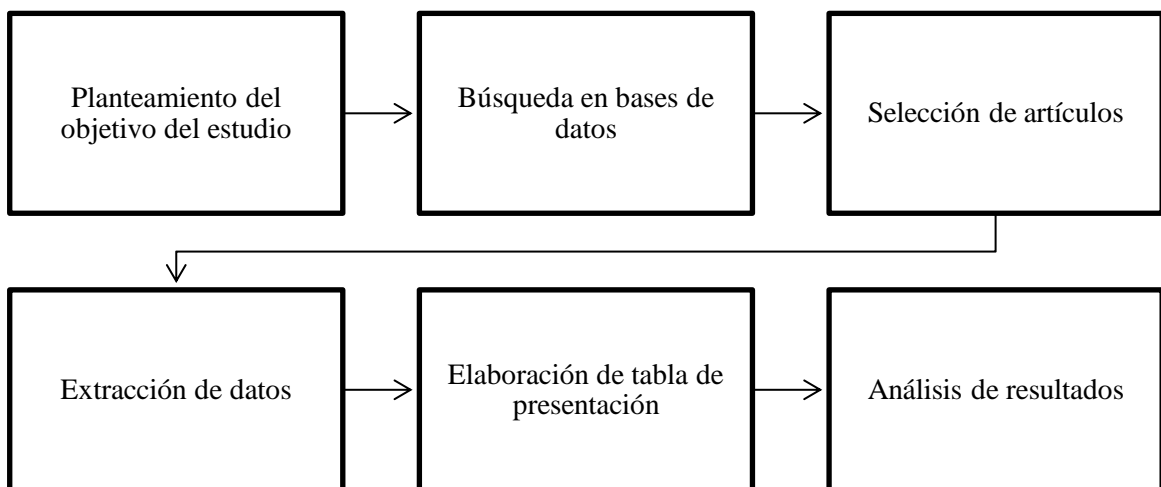
Autor(es)	Título	Año	Fuente	Revista	País	Tópico

Análisis y procesamientos de la información

Se siguió el siguiente esquema para el análisis de la información:

Figura 2.

Proceso de investigación.



Sobre la base de lo anteriormente mencionado, es necesario destacar que las fuentes a consultar se basaron en buscadores confiables y reconocidos tales como Dialnet, Scielo, Science Research, Redalyc, Science y Google Académico.

De ese modo, se precisó la organización de las investigaciones para proceder, posteriormente, a la descripción de los resultados, en términos de los objetivos que buscaron presentar la información actual sobre las principales etapas que engloba el BIM en los procesos de análisis energético, así como también sobre dichos análisis energéticos aplicados en el sector construcción y, consecuentemente, los parámetros que se ingresan en el modelamiento de proyectos BIM para la obtención del análisis energético en infraestructuras.

Aspectos éticos

Este estudio ha sido realizado íntegramente por el autor. La información proporcionada por otros autores se citó estrictamente de acuerdo con las normas APA, con pleno respeto a sus respectivos derechos de autor, de modo que se ha aplicado el principio de autonomía en este estudio.

Además de ello, al ser un estudio de bajo impacto, los fondos de financiamiento para su ejecución han sido asumidos plenamente por el investigador, por tanto, no se ha recurrido a financiamientos externos.

Por otro lado, la motivación de esta investigación partió de la necesidad de proveer una guía que sirva de referente para promover el uso y aplicación de la metodología BIM en los diversos escenarios donde se pueda suscitar la gestión de proyectos del sector construcción, por tanto, las teorías y posturas críticas que se plantearon aquí, proceden de una exhaustiva revisión de la literatura que podrá ser validada por medio de las fuentes correspondientes a las cuales se les ha otorgado el debido reconocimiento.

Se ha hecho todo lo posible para garantizar el pleno cumplimiento de la normativa universitaria y asegurar la originalidad del trabajo. La Autoridad Nacional de Regulación de la Educación Superior, que garantiza la acreditación de los servicios de educación superior, también se respetó en sus reglamentos. Sus funciones como órgano profesional estatal especializado subordinado al Ministerio de Educación incluyen garantizar que se cumplan las normas fundamentales, supervisar cómo se utilizan los recursos y servicios públicos designados por la ley con la finalidad de mejorar la educación nacional.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Principales etapas de la metodología BIM

En esta primera sección se buscó comprender qué pasos o fundamentos se requieren para integrar con éxito la metodología BIM en un proyecto de construcción. Es un proceso que comienza con la creación de un modelo 3D inteligente y luego usa ese modelo para facilitar la coordinación, el modelado y la visualización para ayudar a los propietarios y proveedores de servicios a mejorar la forma en que planifican, diseñan, construyen y administran (Mohammed, 2022).

Se destacó, que el problema de muchos proyectos de construcción en todo el mundo es que no se hacen en colaboración con el método tradicional CAD de diseño y construcción, que implica un diseño independiente durante la fase de construcción. Las construcciones alrededor del mundo y también en el Perú, se han desarrollado en su mayoría con el método CAD tradicional, que consiste en diseñar los proyectos en 2D, están asociados a errores, incompatibilidades e inconsistencias que surgen en la fase de diseño y se manifiestan durante la ejecución de las obras con deficiencias en los procesos constructivos, extensiones de tiempo, resultados inconsistentes, calidad reducida y obras adicionales. Por este motivo, es necesario introducir nuevas técnicas para reducir errores e identificar incompatibilidades entre proyectos de distintas disciplinas con el fin de optimizar los resultados durante la fase de construcción (Espinoza et al., 2020).

Asimismo, los autores analizados destacan que, la modelización BIM permite simular el proceso real de construcción, ya que se pasa de dibujos que sólo contienen líneas en 2D a la construcción virtual de edificios o proyectos, modelizando elementos reales como tejados, muros, ventanas, etc. También permite realizar cambios en el proyecto editado, ya

que los datos se almacenan en un modelo virtual central que actúa sobre los cambios anotados en cada proyecto editado individualmente, lo que a su vez significa que BIM sirve de base sobre la que se pueden almacenar diseños y procesos de construcción bien ajustados contenidos en modelos editados (Lozano et al., 2022).

Para comprender las ventajas de la modelización BIM, fue necesario entender el proceso que este sistema lleva a cabo durante la digitalización. Por ello, los principios o medidas subyacentes presentes en este sistema se tienen en cuenta y se reflejan a lo largo de todo el desarrollo del proyecto. Las mediciones 3D, 4D, 5D, 6D y 7D se utilizan para introducir nueva información en el modelo (Borges y Checcucci, 2022).

Tabla 2.

Dimensiones del sistema BIM

Dimensión	Características
3D	<ul style="list-style-type: none"> - Busca la generación de un modelo digital de la estructura a construir. - Permite el análisis de los detalles gráficos del diseño que se va a construir. - Al crear este modelo, puede encontrar posibles problemas hasta el momento en esta etapa de diseño, para que pueda realizar algunos cambios que beneficien el desarrollo del proyecto. - Para conseguir una modelización correcta, se realiza una "comprobación del modelo", en la que se comprueba si se cumplen los requisitos de diseño.
4D	<ul style="list-style-type: none"> - En esta dimensión, la eficacia y el tiempo que tomarán las tareas del proyecto se comprueban simulando los tiempos de todas las fases y tareas. - Este control permite una planificación con gran detalle de todas las actividades, así como permite coordinar de manera efectiva el trabajo de los especialistas y sus actividades, mejorar el uso del tiempo y los recursos.
5D	<ul style="list-style-type: none"> - Aquí se busca optimizar la rentabilidad del proyecto, ya que en ella se estiman y gestionan los costes o gastos incurridos durante el desarrollo del proyecto. - Permite cuantificar los materiales y los costes, así como clasificarlos para poder estimar los posibles costes de explotación durante la fase de uso y mantenimiento.
6D	<ul style="list-style-type: none"> - En esta fase es posible realizar un análisis muy preciso de la forma en que se desarrollará o comportará el proyecto; esta fase es importante porque de ella dependen las decisiones fundamentales. - Presenta una visión de la gestión de los recursos cuyo objetivo es optimizar el consumo de energía y minimizar el daño que se puede causar al medio ambiente.
7D	<ul style="list-style-type: none"> - Esta dimensión se refiere al control logístico y operativo del uso y mantenimiento del proyecto mediante operaciones de supervisión, reparación y mantenimiento. - Esta fase también proporciona información sobre posibles fallos de funcionamiento e identifica áreas en las que pueden introducirse mejoras.

Nota. tomado de Isaksson y Linderoth (2018)

Partiendo de esta base, se ha desarrollado el siguiente análisis para mostrar cómo evoluciona el ciclo de vida del proyecto cuando se integra un sistema BIM. Sin embargo,

para que el ciclo de vida funcione con éxito, debe haber fases claramente definidas en las que se desarrolle, y normalmente en los proyectos de construcción hay tres pilares principales, a saber, diseño, construcción y explotación (Bueno et al., 2018).

Estos pasos se pueden tomar fácilmente al considerar la integración del sistema BIM, comenzando con los siete aspectos de este programa, tales como la integración de diferentes elementos como concepto, diseño, planificación, preparación de documentos de construcción, construcción, operación, mantenimiento. y reconstruir el proyecto; Debido a estos factores, en la práctica se observa el aprovechamiento de la estructura básica del ciclo de vida de los objetos de construcción con el uso del sistema BIM (Bueno et al., 2018).

El siguiente diagrama muestra la descripción del ciclo de vida de un edificio. Sin embargo, este diagrama es especial porque muestra cómo funciona este ciclo cuando se combina con la tecnología BIM. En particular, muestra cómo se han tenido en cuenta los factores importantes en la vida de una edificación y cómo el desarrollo de estos factores afecta el desarrollo del modelo del sistema BIM (Bueno et al., 2018).

Figura 3.

BIM y ciclo de vida.



El objetivo de la figura anterior fue ilustrar cómo los dos sistemas descritos al principio de este ensayo pueden funcionar, y de hecho funcionan, integrando el Modelado de Información de Construcción (BIM) con el desarrollo del ciclo de vida del proyecto. Es importante para un proyecto conocer en qué consiste el ciclo de vida de un proyecto, y poder utilizar las herramientas de modelización que son fundamentales para entender cómo funcionan estos procesos; porque de esta manera, generando soluciones positivas que, en la

medida de lo posible, preserven y maximicen los recursos con los que se está trabajando, obteniendo soluciones que tendrán un buen impacto tanto en el desarrollo del proyecto como en su resultado final (Bueno et al., 2018).

Es el punto de partida del proyecto, donde se tuvo en cuenta factores como las condiciones iniciales, la ubicación, el plan de ejecución y los posibles costes; después, con la información recopilada hasta el momento, se propone un boceto en el que, además de proponer las cargas estructurales y la cimentación del proyecto, se proponen los materiales que se pueden utilizar (Val, 2022).

Esta sección comienza con el diseño del edificio, donde se manejó el diseño conceptual y de detalle del proyecto, es decir, el modelado del proyecto; En esta etapa, a partir de la información recopilada, se crea un modelo 3D, que es la base del ciclo de vida del proyecto, ya que contiene toda la información necesaria para continuar con la metodología BIM; Una vez que se llega a esta etapa, se debe analizar el tiempo y los costos asociados con la construcción del edificio. En esta etapa, el tiempo es una variable muy importante ya que determina la duración de las fases individuales, modela los parámetros de tiempo en el modelo y cronograma del proyecto y estima los costos del proyecto debido a su efectividad. Durante la fase de diseño y gracias a la integración con el modelo BIM, se trabaja con 3D, 4D y 5D (Val, 2022).

Una vez que se completa la fase de diseño, la siguiente etapa es la fase de construcción, donde se debe utilizar el modelado 3D para modelar posibles alternativas de diseño hasta lograr el diseño mejor u óptimo. Esto se hace antes de que se construya el proyecto, ya que el modelo se usa para evaluar el diseño y buscar problemas que pueda enfrentar, ayudando así a resolver estos problemas a través del diseño. Finalmente, se llega a la última fase del ciclo de vida, en esta fase tiene lugar la gestión operativa, que es una fase

muy importante ya que se realiza el mantenimiento del proyecto, la auditoría y la revisión del ciclo de vida tanto del desarrollo del proyecto como del sistema BIM (Mercader et al., 2019).

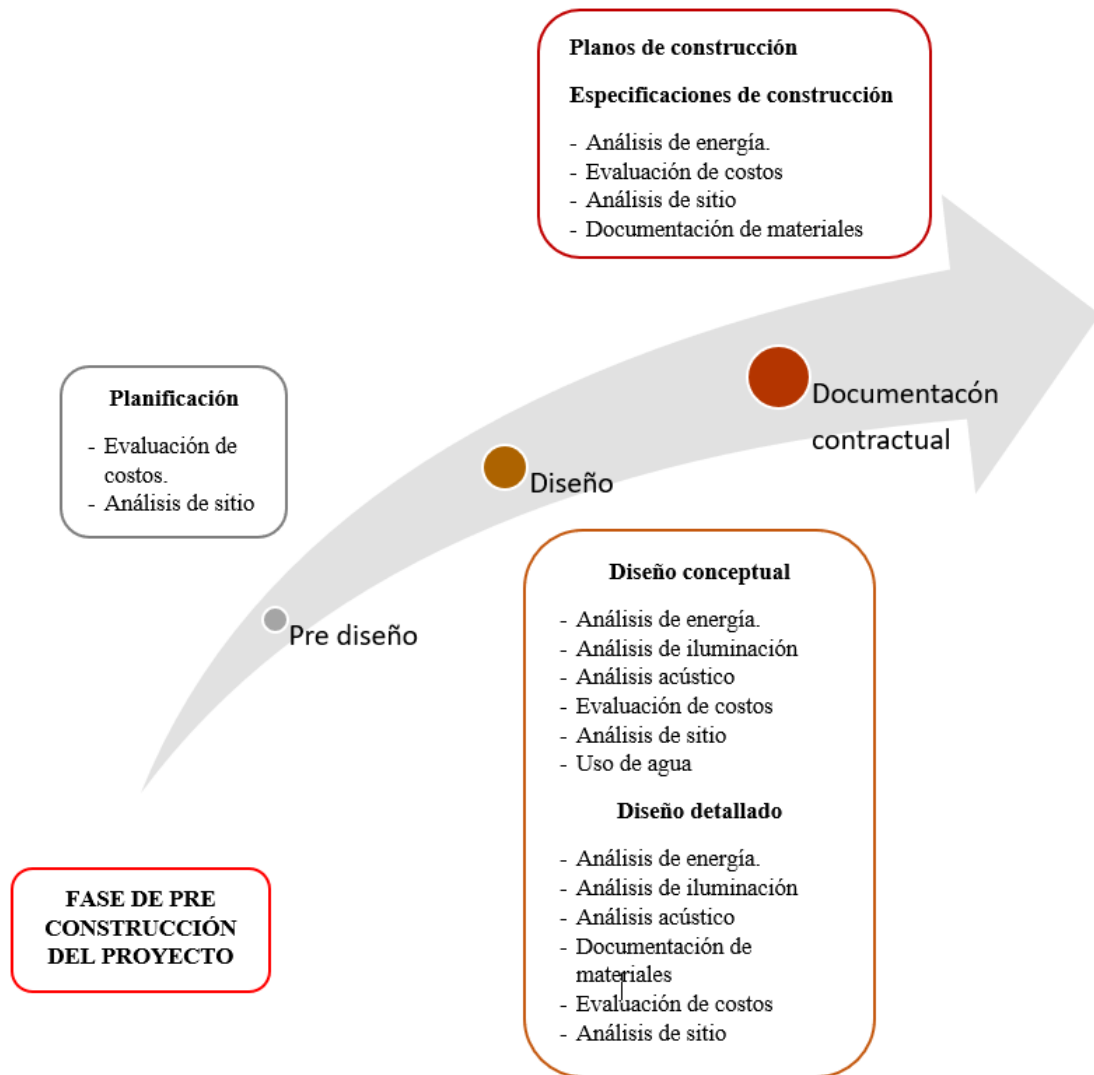
Finalmente, el desarrollo de proyectos de construcción es un tema importante porque siempre debe asegurar buenos resultados tanto para el cliente como para el desarrollador del proyecto; De esta manera, puede mostrar cuán importante es conocer los dos temas, analizando así cómo funcionan cuando se usan juntos. Este artículo muestra cómo estas dos preguntas van de la mano y cómo se pueden integrar al crear un proyecto de compilación (Mercader et al., 2019).

Procesos para el análisis energético de la construcción de edificaciones

Se encontraron muchos programas BIM disponibles en el mercado para el análisis energético de edificios existentes y nuevas construcciones. Con estas herramientas, puede revisar diferentes propuestas de diseño y simular análisis de calor y energía para ayudarlo a tomar mejores decisiones sobre el rendimiento del diseño y la eficiencia energética. Las herramientas BIM permiten realizar nosotros mismos análisis energéticos, así como exportar la información contenida en nuestro modelo a otras herramientas externas para tal fin (Montiel et al., 2020).

Figura 4.

Principales análisis de sostenibilidad - en la etapa de pre construcción



Nota. Tomado de Montiel et al. (2020).

El objetivo último de este análisis energético debe ser mejorar el rendimiento global de un edificio a lo largo de su ciclo de vida, reducir los costes energéticos y mejorar el confort térmico, acústico y visual de los ocupantes. Para que estos estudios preliminares sobre las distintas estrategias de mejora se utilicen ampliamente en el proceso de diseño, deben ajustarse a la práctica habitual de los planificadores (Montiel et al., 2020).

El análisis energético de un edificio debe pasar por varias etapas, dependiendo de la fase en que se encuentre el proyecto. Se puede realizar diferentes tipos de análisis, pero los que se realizan en las primeras fases son los que más impacto tienen en la eficacia de nuestro diseño (Sanhudo et al., 2018).

En las primeras fases del diseño, el análisis energético debería centrarse en aspectos generales del proyecto, como el alcance global, la orientación y las estrategias pasivas. En esta fase, se puede realizar un análisis general de sombras en el que solo se necesita una definición general de la masa y la forma del edificio, teniendo en cuenta también la definición del entorno que puede proyectar sombras sobre el proyecto en estudio (Sanhudo et al., 2018).

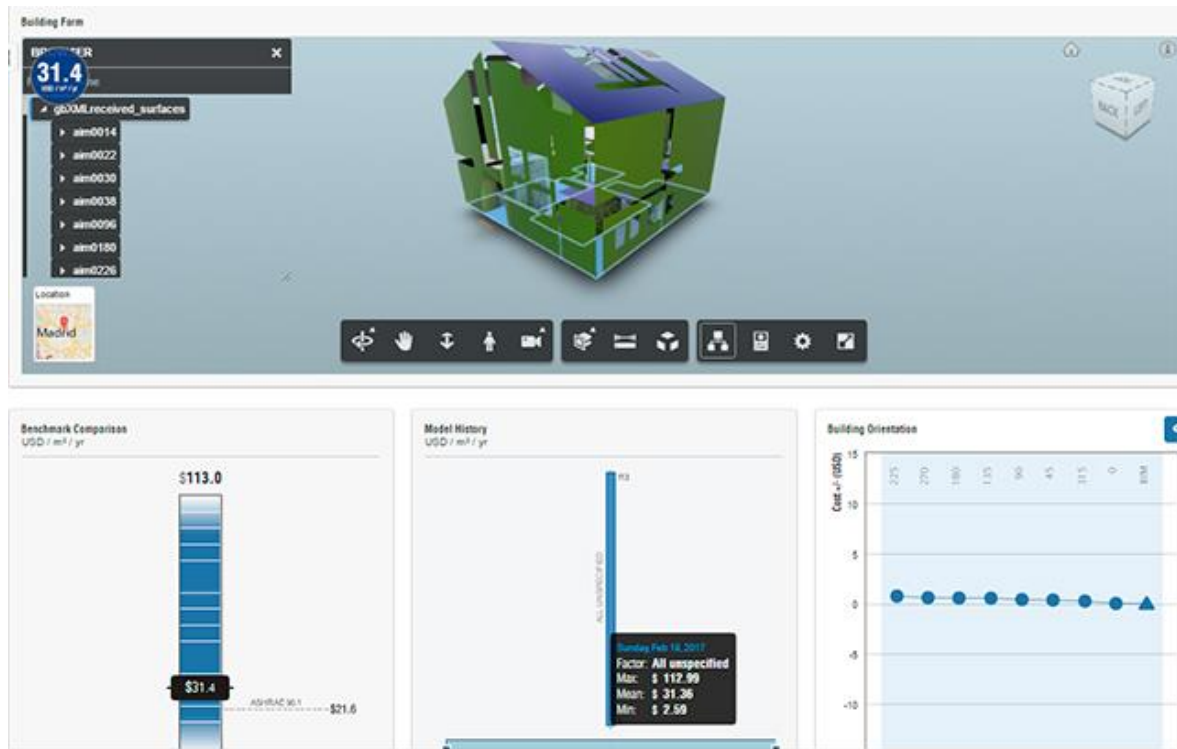
Una vez que el proyecto ha pasado a la fase de diseño esquemático, pueden explorarse estrategias específicas de sombreado, iluminación solar y diversas opciones de diseño para la estructura de la envolvente en su conjunto. Para este tipo de análisis, se necesita un modelo en el que las aberturas, los interiores, los elementos de sombreado, los suelos, las paredes y las dimensiones ya estén definidos (Tahmasebinia et al., 2022).

Por último, en la fase de diseño, se centra en estudios relacionados con la penetración de la luz natural, el consumo de energía, el rendimiento y el análisis térmico, y la definición de sistemas de sombreado. En este análisis, se necesita añadir información a nuestro modelo, como las propiedades térmicas de los materiales y el modelado de las paredes internas (Kamel y Memari, 2019).

Ahora bien, se presentó un ejemplo acerca del modelamiento de materiales que pueden ser ejemplificados durante el análisis energético, a continuación:

Figura 5.

Modelado de materiales para el análisis energético.



Nota. Tomado de Kamel y Memari (2019)

Como se observa en la figura anterior, proveniente de un software denominado REVIT, este permite la creación de modelos y simulaciones de edificaciones, este puede ser utilizado en la metodología BIM, además, se observa que le están asignando las propiedades de los materiales a los diferentes elementos, lo cual permite crear un modelo que se comporte como en la vida real.

A partir de ellos, se extrae información como que la cifra 31,4 representa el valor de Kwh en dolares/m²/año, en otras palabras el consumo que se hará en un año por metro cuadrado de construcción. Asimismo, en el gráfico de la parte inferior izquierda, el software muestra posibles escenarios que se puedan suscitar, es así que la cifra de 113,0 representaría un escenario de consumo excesivo, y los valores en el extremo inferior, representan consumos menores en términos monetarios.

El gráfico central de la parte inferior, muestra cuál sería el valor máximo y mínimo en terminos monetarios, considerando dos tipos de escenarios, así como muestra el valor del desempeño que tendría la estructura analizada. Finalmente, en el gráfico de la parte inferior derecha, tomando como referencia el tiempo de ocupación de la estructura, brinda datos tomando la premisa de asumir que los días y horas de operación fueran menores a los suministrados en el software.

Una vez que el proyecto ha pasado a la fase de diseño esquemático, pueden analizarse estrategias específicas de sombreado, protección solar y diversas opciones de diseño para toda la envolvente. Para este tipo de análisis, es necesario disponer de un modelo en el que ya se hayan definido las aberturas, los interiores, los elementos de protección solar, los suelos, las paredes y las dimensiones. Por último, en la fase de diseño, podemos centrarnos en el examen de la penetración de la luz natural, el consumo de energía, el análisis del rendimiento y el calor y la definición de sistemas de sombreado. Con este análisis, tenemos que añadir información a nuestro modelo, como las propiedades térmicas de los materiales y la modelización de los tabiques interiores (Kamel y Memari, 2019).

Aunque en los últimos años varios programas BIM han desarrollado herramientas internas para el análisis energético, permiten exportar la información contenida en nuestro modelo a programas específicos. Dependiendo del estudio y del programa a utilizar, se debe considerar qué programa es el más adecuado. Como se indica antes, la definición del modelo debe ser adecuada al tipo de análisis que se quiere realizar (Kamel y Memari, 2019).

Cabe destacar que dentro del mundo del BIM existen diferente formatos para el intercambio de información, para el apartado energético los más comunes gbMXL Green Building XML, diseñado específicamente para transmitir las propiedades de los proyectos desarrollados en BIM. Su diseño se basa en habitaciones, paredes, suelos, falsos techos,

superficies de sombreado y ventanas con sus propiedades locales y térmicas (Gan et al., 2019).

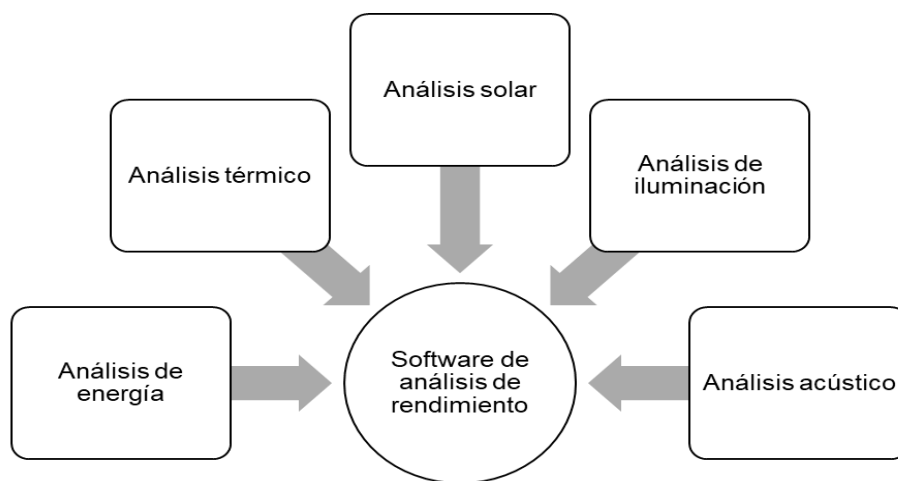
Todos estos elementos deben modelarse y conectarse correctamente para garantizar una extracción correcta, incluida la determinación de los espesores, las propiedades de transmitancia térmica de los materiales o los coeficientes de ganancia de calor de las ventanas. Por ejemplo, las salas deben estar correctamente definidas y tener las dimensiones y alturas adecuadas, las zonas de almacenamiento, las instalaciones o los ascensores deben agruparse de modo que su impacto en el análisis se reduzca significativamente (Pereira et al., 2021).

Parámetros comunes cuyos datos son utilizados en la simulación energética

La modelización informática en la fase de diseño de los edificios para analizar su rendimiento energético es habitual, ya que resulta muy caro realizar estudios experimentales en este campo. Los estudios experimentales incluirán el diseño del edificio y los sistemas de aire acondicionado para cada caso estudiado (Carvalho et al., 2021).

Figura 6

Posibles análisis realizados en una simulación



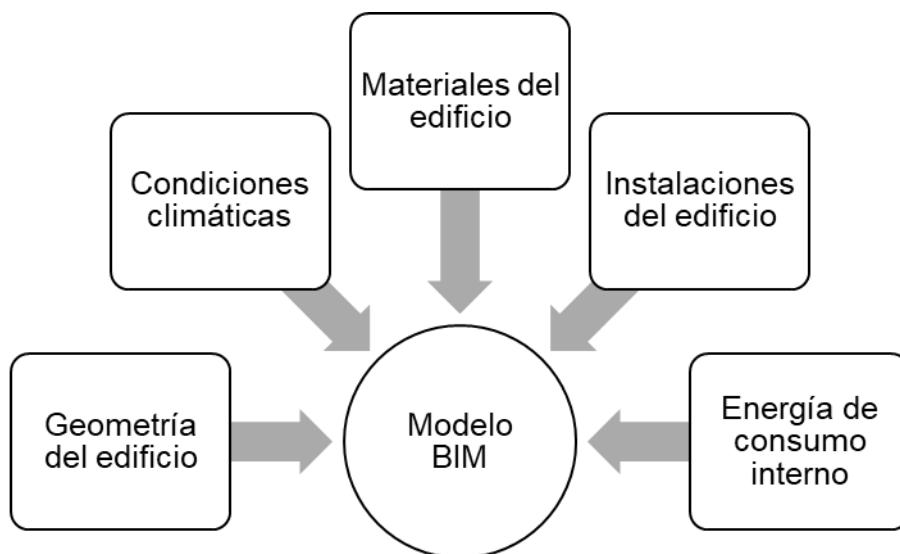
Nota. Tomado de Mercader et al. (2019)

En la figura 6 se pudo observar que, para un análisis a través de un software de análisis de rendimiento, es necesario conocer aspectos como el análisis térmico, Solares, de iluminación, engería y acústico. Esto debido a que con ese conjunto de datos pueden generar un modelo más completo y adaptado a la realidad de la estructura, puesto que las simulaciones serán más precisas.

Del mismo modo para la figura 7 se observó los requerimientos para tener un modelo BIM adecuado, el cual concuerda en gran medida para el análisis energético, por tanto, hace que los dos procesos se interconecten.

Figura 7

Parámetros dentro de un modelo digital



Nota. Tomado de Mercader et al. (2019).

En el mismo orden de ideas, asociaciones como el Instituto Americano de Arquitectos (AIA) promueven el uso de modelos energéticos en las fases de diseño y simulación del rendimiento térmico y energético. Por lo tanto, es necesario utilizar un método de optimización de modelos energéticos para encontrar la combinación más

adecuada de parámetros de diseño para un edificio concreto (Mercader et al., 2019). Entre las aplicaciones más comunes de la simulación energética de edificio se tienen:

1. Cálculo de cargas de calefacción o enfriamiento: requerido para selección de sistemas de acondicionamiento HVAC
2. Análisis de desempeño energético: se usa para estimar la demanda desde la parte de carga de un edificio
3. Cumplimiento de regulaciones de edificios: simulaciones energéticas se pueden usar para diseñar edificios de acuerdo a los requerimientos y normas locales.

Figura 8

Análisis de los modelos BIM



Nota. Tomado de Pereira et al. (2021)

Como se puede observar en las diferentes etapas para la creación de un modelo BIM, en el nivel 6D es que se observa el análisis energético, por ello todos los pasos e información anteriores son requeridad para alcanzar en análisis en una estructura con un modelo BIM. Esto incluye el modelado del entorno, animación, fotorrealismo, detalles de la ejecución, costos, analisis de construcción y luego llegar a las parte energética (Pereira et al., 2021).

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusiones

La metodología BIM se basa en modelos, aplicaciones y herramientas que permiten un diseño integral de una estructura. En cuanto a las herramientas BIM, se entienden como programas sobre los que se desarrollarán los proyectos. Sin embargo, la metodología debe estar vinculada al plan de gestión del proyecto, en otras palabras, cambiará los procesos para crear una nueva gestión de proyectos adaptada al uso de la tecnología.

Curiosamente, muchas de las herramientas actualmente utilizadas y consideradas herramientas BIM surgieron y se perfeccionaron mucho antes de que el término BIM se popularizara o apareciera en la literatura. El mayor crédito lo tienen las empresas pioneras, ya que el campo ha evolucionado a través de proyectos propuestos utilizando estas metodologías, que ahora se han perfeccionado. Entre las herramientas BIM pueden distinguirse dos grupos importantes: las herramientas BIM para el diseño arquitectónico y las herramientas BIM para el diseño de ingeniería (Bueno et al., 2018; Espinoza et al., 2020).

El estudio concluyó que el modelado de información de construcción y el modelado de información del ciclo de vida de construcción son dos temas importantes que deben abordarse, ya que ofrecen beneficios significativos cuando se usan juntos. En el ciclo de vida del proyecto, el uso de BIM mejora la gestión de la información, ya que es un sistema integrado de planificación que fomenta la creatividad y la innovación al permitir optimizar, visualizar, modelar, simular y analizar los procesos de planificación en tiempo real (Lozano et al., 2022).

Además, el uso de BIM en la fase de diseño puede tener un impacto máximo en los proyectos, ya que el potencial de repercusión en los costes es mayor; las ideas se introducen en una fase temprana y, dada la naturaleza del problema propuesto, esto fomenta la

colaboración y la coordinación entre todas las partes interesadas para encontrar mejores soluciones (Carvalho et al., 2021).

El uso de BIM fue especialmente aplicable al trabajo en equipo, ya que dentro de la empresa el ingeniero comprueba sus diseños o ideas, el jefe de obra se asegura de que la producción es posible y, a su vez, cuando trabaja para la satisfacción del cliente, puede visualizar un modelo de su proyecto propuesto y asegurarse de que cumple los estándares exigidos por el cliente. Diseñar con BIM permite a los ingenieros dedicar más tiempo a evaluar posibles escenarios y optimizar el diseño, y menos a preparar los documentos de construcción, ya que es costoso poder influir en la ejecución del diseño y barato introducir cambios en él (Borges y Checcucci, 2022).

El objetivo original del uso de la metodología BIM en la ingeniería era aplicar esta herramienta a proyectos muy complejos, sin embargo es cada vez más utilizado en todos los ámbitos de la ingeniería civil debido a su capacidad para agrupar todas las acciones y permitir un análisis global. Además, permite definir parámetros para el desarrollo e implementación de métodos y procedimientos de trabajo con modelos BIM utilizando el software para contribuir a la mejora y calidad del trabajo de construcción (Gan et al., 2019).

Por otro lado, la innovación es un proceso fundamental que debe incluirse en el diseño de cualquier tipo de obra o proyecto. Por eso, su aplicación en los proyectos de construcción es fundamental para conseguir buenos resultados, porque la innovación persigue hacer más eficientes los procesos, y en el sector de la construcción esto se consigue utilizando el mayor número de herramientas posible (Mohammed, 2022).

En este caso, es importante buscar herramientas que faciliten estos procesos. Estas herramientas no tienen por qué ser completamente nuevas, pero si se manejan y aplican correctamente, su uso aporta resultados positivos en todos los ámbitos de la construcción, y

en este caso, resultados óptimos en la construcción, y esto es lo que suele buscar la persona que realiza el proyecto de construcción, que a su vez ha invertido en él (Pereira et al., 2021).

Conclusiones

1. El uso de la metodología BIM aplicado en el análisis energético de edificios es de mucha ayuda, esto porque permite simular las posibles condiciones tanto externas como internas de la edificación para comprobar si cumple con los requisitos energéticos, y con ello buscar la mejor combinación de factores para disminuir el consumo para hacer una estructura más sostenible.
2. Las principales etapas de la metodología BIM son la planificación, diseño, análisis creación de documentos y la construcción, esto indica que la metodología está presente en todas las etapas del ciclo de vida de una estructura y permite visualizar los posibles fallos y reparaciones que se deben hacer.
3. En cuanto a los procesos para el análisis energético de la construcción de edificaciones urbanas, este se lleva a cabo antes de la construcción, en la parte de diseño y análisis de la estructura. En este se le asignan las propiedades a los materiales tanto de comportamiento de temperatura como el efecto del sonido sobre la estructura en la localización deseada, con ello se planifica un buen sistema de ambientación que gaste la menor cantidad eléctrica posible. Asimismo se encontró que la aplicación de BIM ha generado la reducción del coste energético anual en casi un 22,30 % en algunos casos, demostrando la importancia de su uso.
4. Los parámetros comunes cuyos datos son utilizados en la simulación energética, son los datos de los materiales, las instalaciones, el consumo interno, condiciones climáticas y la geometría. Esto debido a que todos ellos repercuten en el gasto energético de la estructura final.

Referencias

- Alothman, A., Ashour, S., & Krishnaraj, L. (2021). Energy performance analysis of building for sustainable design using bum: a case study on institute building. *International journal of renewable energy research*, 11(2).
- Álvarez, A. A., Ripoll, V., Campos, L., & Ortega, A. (2020). Lineamientos para la implementación BIM en la evaluación ambiental de la vivienda social. *Estoa*, 9(18), 79–90. <https://doi.org/10.18537/est.v009.n018.a07>
- Ariza, M. (2022). *Estudio de la eficiencia energética de una vivienda unifamiliar y la viabilidad económica de posibles mejoras [Tesis de pregrado]*. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.
- Atencio, C. (2019). *Análisis de la implementación de la metodología BIM para la optimización del proyecto de construcción de centro cívico en el barrio Huanuquillo - Tarma [Tesis de pregrado]*. Universidad Católica Sedes Sapientiae.
- Barone, G., Buonomano, A., Forzano, C., Giuzio, G., & Palombo, A. (2021). Improving the Efficiency of Maritime Infrastructures through a BIM-Based Building Energy Modelling Approach: A Case Study in Naples, Italy. *Energies*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/en14164854>
- Borges, T., & Checcucci, É. (2022). Revisión sistemática de la literatura: aumento de la eficiencia energética de los edificios a través del retrofit en un enfoque BIM. *Revista Latino-americana de Ambiente Construído & Sustentabilidade*, 3(9). <https://doi.org/10.17271/rlass.v3i9.3275>
- Bueno, C., Pereira, L. M., & Fabricio, M. M. (2018a). Life cycle assessment and environmental-based choices at the early design stages : an application using building

- information modelling. *Architectural Engineering and Design Management*, 0(0), 1–15. <https://doi.org/10.1080/17452007.2018.1458593>
- Bueno, C., Pereira, L. M., & Fabricio, M. M. (2018b). Life cycle assessment and environmental-based choices at the early design stages: an application using building information modelling. *Architectural Engineering and Design Management*, 14(5), 332–346. <https://doi.org/10.1080/17452007.2018.1458593>
- Bustamante, G., Ochoa, J., & González, F. (2021). Propuesta de implementación de la metodología BIM 5D para obras de cimentaciones industriales en la Planta de Oxígeno de Arauco. *Obras y proyectos*, 30, 74–90. <https://doi.org/10.4067/S0718-28132021000200074>
- Cárdenas, J., Osma, G., & Ordóñez, G. (2018). Herramienta metodológica para la evaluación energética mediante simulación de edificaciones en el trópico. *Revista UIS Ingenierías*, 18(2), 259–268. <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n2-2019024>
- Carvalho, J., Almeida, M., Bragança, L., & Mateus, R. (2021a). BIM-Based Energy Analysis and Sustainability Assessment—Application to Portuguese Buildings. *Buildings*, 11(6), 246. <https://doi.org/10.3390/buildings11060246>
- Carvalho, J., Almeida, M., Bragança, L., & Mateus, R. (2021b). BIM-Based Energy Analysis and Sustainability Assessment—Application to Portuguese Buildings. *Buildings*, 11(6), 246. <https://doi.org/10.3390/buildings11060246>
- Espinoza, J., García, K., Pumayali, A., & Montejo, R. (2020). Factores para la implementación de la metodología bim en el diseño de condominios en piura - 2019. *TZHOECOEN*, 12(1), 38–52. <https://doi.org/10.26495/tzh.v12i1.1244>
- Gan, V. J. L., Deng, M., Tan, Y., Chen, W., & Cheng, J. C. P. (2019). BIM-based framework

- to analyze the effect of natural ventilation on thermal comfort and energy performance in buildings. *Energy Procedia*, 158, 3319–3324. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.971>
- González, J., Pereira, C., Najjar, M., & Haddad, A. (2021). BIM and BEM Methodologies Integration in Energy-Efficient Buildings Using Experimental Design. *Buildings*, 11(10), 491. <https://doi.org/10.3390/buildings11100491>
- Hattab, M. (2021). *The dynamic evolution of synergies between BIM and sustainability: A text mining and network theory approach*. 37. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102159>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, culitativa y mixta* (McGrawHill (ed.)).
- Isaksson, A., & Linderoth, H. (2018a). Environmental considerations in the Swedish building and construction industry: the role of costs , institutional setting , and information. *Journal of Housing and the Built Environment*, 33(4), 615–632. <https://doi.org/10.1007/s10901-017-9588-8>
- Isaksson, A., & Linderoth, H. (2018b). Environmental considerations in the Swedish building and construction industry: the role of costs, institutional setting, and information. *Journal of Housing and the Built Environment*, 33(4), 615–632. <https://doi.org/10.1007/s10901-017-9588-8>
- Kalibatas, D., Kalibatiene, D., & Kapliński, O. (2018). A systematic review of information modelling of individual residential buildings. *Engineering structures y technologies*, 10(2). <https://doi.org/10.3846/est.2018.6479>
- Kamel, E., & Memari, A. M. (2019). Review of BIM's application in energy simulation:

- Tools, issues, and solutions. *Automation in Construction*, 97, 164–180.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.008>
- Latorre, A., Sanz, C., & Sánchez, B. (2019). Aplicación de un modelo Lean-BIM para la mejora de la productividad en redacción de proyectos de edificación. *Informes de la Construcción*, 71(556), 313. <https://doi.org/10.3989/ic.67222>
- Li, H. X., Ma, Z., Liu, H., Wang, J., Al-Hussein, M., & Mills, A. (2020). Exploring and verifying BIM-based energy simulation for building operations. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(8), 1679–1702.
<https://doi.org/10.1108/ECAM-06-2019-0314>
- Lozano, J., Bellido, P., Lozano, F., & Castillal, F. (2022). Análisis de los software BIM en el contexto de un concurso internacional. *Hormigón y Acero*, 73(296), 65–71.
<https://doi.org/10.33586/hya.2020.2170>
- Marin, N., Correa, L., & Marín, R. (2021). Implementación de la metodología BIM en el Perú: Una revisión. *Revista Científica Pakamuros*, 9(2), 29–42.
<http://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/view/180>
- Martins, S., Evangelista, A., Hammad, A., Tam, V., & Haddad, A. (2020). Evaluation of 4D BIM tools applicability in construction planning efficiency. *International Journal of Construction Management*. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1837718>
- Mercader, M., Camporeale, P., & Cózar, E. (2019). Evaluación de impacto ambiental mediante la introducción de indicadores a un modelo BIM de vivienda social. *Revista Hábitat Sustentable*, 9(2), 78–93. <https://doi.org/10.22320/07190700.2019.09.02.07>
- Mohammed, A. B. (2022). Applying BIM to achieve sustainability throughout a building life cycle towards a sustainable BIM model. *International Journal of Construction*

Management, 22(2), 148–165. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1615755>

Montiel-Santiago, F. J., Hermoso-Orzáez, M. J., & Terrados-Cepeda, J. (2020). Sustainability and Energy Efficiency: BIM 6D. Study of the BIM Methodology Applied to Hospital Buildings. Value of Interior Lighting and Daylight in Energy Simulation. *Sustainability*, 12(14), 5731. <https://doi.org/10.3390/su12145731>

Montiel, F., Hermoso, M., & Terrados, J. (2020). Sustainability and Energy Efficiency: BIM 6D. Study of the BIM Methodology Applied to Hospital Buildings. Value of Interior Lighting and Daylight in Energy Simulation. *Sustainability*, 12(14), 5731. <https://doi.org/10.3390/su12145731>

Motalebi, M., Rashidi, A., & Nasiri, M. (2022). Optimization and BIM-based lifecycle assessment integration for energy efficiency retrofit of buildings. *Journal of Building Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.104022>

Naneva, A., Bonanomi, M., Hollberg, A., Habert, G., & Hall, D. (2020). Integrated BIM-Based LCA for the Entire Building Process Using an Existing Structure for Cost Estimation in the Swiss Context. *Journal Sustainability*, 12, 2–17.

Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis*. Ediciones de la U.

Pereira, V., Santos, J., Leite, F., & Escórcio, P. (2021). Using BIM to improve building energy efficiency – A scientometric and systematic review. *Energy and Buildings*, 250, 111292. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111292>

Pezeshki, Z., Soleimani, A., & Darabi, A. (2019). Application of BEM and using BIM database for BEM: A review. *Journal of Building Engineering*, 23, 1–17.

Piña, F., & Urquiaga, M. (2020). *Propuesta de implementar la metodología BIM para*

mejorar la eficiencia en la gestión de proyectos de edificación de la ciudad de Yurimaguas [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de San Martín.

Sánchez, F., Higuera, J., Ramírez, A., Nope, Y., & Soto, J. (2020). Análisis de la implementación de metodología BIM en edificaciones de baja complejidad en Colombia, mediante IDM y mapas de procesos. *Revista Boletín Redipe*, 9(11), 165–191. <https://doi.org/10.36260/rbr.v9i11.1122>

Sanhudo, L., Ramos, N. M. M., Poças Martins, J., Almeida, R. M. S. F., Barreira, E., Simões, M. L., & Cardoso, V. (2018). Building information modeling for energy retrofitting – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 249–260. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.064>

Sergio, C. (2019). *Metodología de la investigación científica* (San Marcos E I R (ed.); Decimo nov).

Tahmasebinia, F., Jiang, R., Sepasgozar, S., Wei, J., Ding, Y., & Ma, H. (2022). Implementation of BIM Energy Analysis and Monte Carlo Simulation for Estimating Building Energy Performance Based on Regression Approach: A Case Study. *Buildings*, 12(4), 449. <https://doi.org/10.3390/buildings12040449>

Val, M. (2022). Arquitectura sostenible y eco-efectiva: ampliando los límites del BIM con una aproximación cradle to cradle. *AUS*, 32, 12–19. <https://doi.org/10.4206/aus.2022.n32-03>

Velásquez, F. (2022). *Aplicación de la metodología BIM para edificio multifamiliar Pacheco Céspedes en la ciudad de Tacna [Tesis de pregrado].* Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

Vilutiené, T., Tuméniené, R., Kalibatiene, D., & Kalibatas, D. (2021). How BIM Contributes

to a Building's Energy Efficiency throughout Its Whole Life Cycle: Systematic Mapping. *Energies*, *14*(20). <https://doi.org/10.3390/en14206680>

Wang, J., Yuan, Z., He, Z., Zhou, F., & Wu, Z. (2021). Critical Factors Affecting Team Work Efficiency in BIM-Based Collaborative Design: An Empirical Study in China. *Buildings*, *11*(19), 486. <https://doi.org/10.3390/buildings11100486>

Zhao, T., Qu, Z., Liu, C., & Li, K. (2021). BIM-based analysis of energy efficiency design of building thermal system and HVAC system based on GB50189-2015 in China. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, *16*(4), 1277–1289. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctab051>

Anexos

ANEXO N.º 1 Matriz de consistencia

TÍTULO	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	DISEÑO METODOLÓGICO	METODOLOGÍA
Metodología Building Information Modeling para el análisis energético de edificios	¿Cómo se usa la metodología Building Information Modeling para el análisis energético de edificios?	<p>Objetivo general: Analizar el uso de la metodología Building Information Modeling aplicado en el análisis energético de edificios.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Plantear las principales etapas de la metodología Building Information Modeling. Conocer cuáles son los procesos para el análisis energético en la construcción de edificaciones urbanas. Establecer los parámetros comunes cuyos datos son utilizados en la simulación energética. 	<p>Hipótesis general: La aplicación de la metodología Building Information Modeling permitirá desarrollar análisis energético de edificios.</p>	El diseño es no experimental y documental	<p>Objeto de estudio: Metodología BIM</p> <p>Nivel: Descriptivo</p> <p>Técnica: Investigación documental</p>

ANEXO N.º 2 Ficha documental

Autor(es)	Título	Año	Revista
Espinoza et al.	Factores para la implementación de la metodología BIM en el diseño de condominios en Piura - 2019	2020	TZHOECOEN
Bueno et al.	Life cycle assessment and environmental-based choices at the early design stages: an application using building information modelling	2018	Architectural Engineering and Design Management
Isaksson, Anders; Linderoth, Henrik	Environmental considerations in the Swedish building and construction industry: the role of costs, institutional setting, and information	2018	Journal of Housing and the Built Environment
Kamel, Ehsan; Memari, Ali	Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions	2019	Automation in Construction
Mohammed, Abdullah	Applying BIM to achieve sustainability throughout a building life cycle towards a sustainable BIM model	2022	International Journal of Construction Management
Pereira et al.	Using BIM to improve building energy efficiency – A scientometric and systematic review	2021	Energy and Buildings
Carvalho et al.	BIM-Based Energy Analysis and Sustainability Assessment—Application to Portuguese Buildings	2021	Buildings
Tahmasebinia et al.	Implementation of BIM Energy Analysis and Monte Carlo Simulation for Estimating Building Energy Performance Based on Regression Approach: A Case Study	2022	Buildings
Sanhudo et al.	Building information modeling for energy retrofitting – A review	2018	Renewable and Sustainable Energy Reviews
Montiel et al.	Sustainability and Energy Efficiency: BIM 6D. Study of the BIM Methodology Applied to Hospital Buildings. Value of Interior Lighting and Daylight in Energy Simulation	2020	Sustainability
Lozano et al.	Análisis de los softwares BIM en el contexto de un concurso internacional	2022	Hormigón y Acero
Borges, Thais; Checcucci, Érica	Revisión sistemática de la literatura: aumento de la eficiencia energética de los edificios a través del retrofit en un enfoque BIM	2022	Revista Latino-americana de Ambiente Construido & Sustentabilidade
Mercader et al.	Evaluación de impacto ambiental mediante la introducción de indicadores a un modelo BIM de vivienda social	2019	Revista Hábitat Sustentable
Val, Mónica	Arquitectura sostenible y eco-efectiva: ampliando los límites del BIM con una aproximación cradle to cradle	2022	AUS
Gan et al.	BIM-based framework to analyze the effect of natural ventilation on thermal comfort and energy performance in buildings	2019	Energy Procedia