BIM SEXTA DIMENSIÓN: LA SOSTENIBILIDAD COMO HERRAMIENTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA CONSTRUCCIÓN [1]

JOHAN TORRES CORTES [2]

RESUMEN

Los retos actuales en la industria de la construcción, en relación con los impactos ambientales, implican un manejo eficiente de recursos con estrategias de sostenibilidad, incorporando la eficiencia energética.

Con la metodología BIM y los modelos digitales de edificios se ha logrado planificar los recursos empleados en los proyectos y articular la integración entre los profesionales involucrados. Con los avances informáticos se ha logrado incorporar la eficiencia energética con el software BIM con el objetivo de cuantificar el impacto que tienen las diferentes estrategias de eficiencia energética antes de la construcción.

Se evidencia los resultados de la aplicación de este tipo de estrategias con diferentes proyectos alrededor del mundo. En los proyectos se aplican estrategias de cambio de equipos por unos más eficientes y la implementación de estrategias bioclimáticas, de aprovechamiento de las condiciones climáticas al exterior para lograr condiciones higrotérmicas adecuadas en el interior, para reducir la inversión de energía necesaria para este fin.

El presente documento, con una revisión bibliográfica de la metodología BIM y de análisis de eficiencia energética, presenta un panorama la evolución de este tipo de estrategias y su impacto en la construcción con casos de estudio construidos resaltando la importancia de las estrategias bioclimáticas en la eficiencia energética de un proyecto. La revisión bibliográfica concluye la importancia del análisis de eficiencia energética en los proyectos de construcción y los campos de estudio que aún están pendientes por desarrollar.

Palabras clave: BIM, Eficiencia energética, Sostenibilidad, Construcción sostenible.

1. *BIM sexta dimensión (sostenibilidad).*
2. *Arquitecto, Especialista en construcción sostenible, SENA, johtorresc@sena.edu.co, Medellín.*

ABSTRACT

The current challenges in the construction industry, in relation to environmental impacts, imply an efficient management of resources with sustainability strategies, incorporating energy efficiency.

With the BIM methodology and the digital models of buildings, it has been possible to plan the resources used in the projects and articulate the integration between the professionals involved. With informatics advances, it has been possible to incorporate energy efficiency with BIM software in order to quantify the impact of energy efficiency strategies before construction.

The results of the application of this type of strategies with different projects around the world are evidenced. In this projects, strategies are applied to change equipment for more efficient ones and the implementation of bioclimatic strategies, taking advantage of climatic conditions outside to achieve adequate hygrothermal conditions inside, to reduce the energy investment necessary for this purpose.

This document presents an overview of the evolution of this type of strategies, from the BIM methodology, its impact on construction with built case studies highlighting the importance of bioclimatic strategies in the energy efficiency of a project. The literature review concludes the importance of energy efficiency analysis in construction projects and the fields of study that are still pending development.

Keywords: BIM, Energy efficiency, Sustainability, Sustainable construction.

1. INTRODUCCIÓN

La metodología BIM (Building Information Modeling) en la industria de la construcción ha ido en aumento a nivel mundial, ahora con su incorporación y aceptación en el entorno latinoamericano. El presente documento analiza los impactos de aplicación de la metodología BIM específicamente en su sexta dimensión de eficiencia energética, su implementación a nivel mundial y local, además de los retos que aún representa desde este enfoque de sostenibilidad.

Un documento relevante a la hora de entender los retos que se plantean en la sexta dimensión de BIM para los arquitectos, ingenieros y demás profesionales implicados en la eficiencia energética de un proyecto y su impacto en el costo de mantenimiento, confort e impacto ambiental.

La eficiencia energética es “una práctica que tiene como objetivo reducir el consumo de energía o su uso eficiente”. Específicamente en Latinoamérica en el sector de la construcción, se viene analizando principalmente desde una perspectiva de cambio de tecnologías y equipos por unos de mejor desempeño o una mejor instalación u horarios de funcionamiento y desde una perspectiva del impacto ambiental en el ciclo de extracción de los materiales. (Carpio & Coviello, 2013).

Se hace necesario estudiar investigaciones y referentes que hablen de la eficiencia energética desde una perspectiva que incluya el uso del edificio en relación a su diseño, para disminuir la energía necesaria para el correcto funcionamiento del proyecto desde las condiciones de cualidades microclimáticas para el confort de los usuarios.

Las conclusiones desarrolladas de la información recopilada permiten evidenciar la importancia de los desarrollos en estos temas de sostenibilidad integral.

2. METODOLOGÍA

Se realiza una revisión bibliográfica; con fuentes en revistas indexadas, investigaciones de universidades, tesis de grados y páginas web; específicas y especializadas en BIM y eficiencia energética, que permitan establecer una base de datos amplia que denote los resultados en eficiencia energética.

Se presenta un interés en los documentos que logran cuantificar los impactos que tiene, en la eficiencia energética, las estrategias de bioclimática construidas. La consulta de documentos permitió elaborar el panorama de los aspectos incluidos en la sostenibilidad de un proyecto y su relevancia:

2.1 Identificación del problema

La industria de la construcción juega un papel destacado en el tratamiento del uso de energía y las emisiones. En 2018, fue responsable del 36 % de la energía total consumida (Zixuan Chen y otros, 2020).

Debido al creciente énfasis en el cambio climático, el aspecto energético de la evaluación del desempeño de los edificios se convierte en una tendencia que debe cumplir con criterios de sostenibilidad.

2.2 Metodología BIM

Con la metodología BIM (Building Information Modeling) se construye un modelo digital de un edificio, lo más preciso posible, para la planificación, diseño, construcción y funcionamiento, donde "el modelado de información de construcción está emergiendo como una forma innovadora de diseñar y administrar proyectos virtualmente" (Azhar, 2011).

La metodología BIM ha ido incursionando en la industria de la construcción a nivel mundial de manera vertiginosa. Desde la presentación de BIM en 1992, su práctica ha aumentado desde ese entonces a nivel mundial. En el Reino Unido el 62% de los encuestados aceptaron el uso y la práctica de BIM en el 2017, el 54% en el 2016, el 48% en el 2014, precedido por el 54% en el 2013, el 39% en el 2012, el 31% en el 2011 y el 13% en el 2010; y en Chile el 23% de los encuestados aceptaron la práctica ¨regular e inicial¨ del BIM en el 2013.

La razón de las estrategias BIM aplicadas a la construcción es lograr un proceso; que reduzca el costo, aumente la productividad y la calidad, y acortar el tiempo de entrega del proyecto; desde un sistema de integración en un modelo digital de actualización en tiempo real con los profesionales involucrados (Kai-Ming, 2018)

Figura 1. *Software Revit utilizado en la metodología BIM*

2.3 Eficiencia energética

En el país existen estudios de eficiencia energética enfocados en aspectos generales en todos los sectores productivos con matrices que estudian cómo reducir el consumo de energía con nuevas tecnologías (Briano y otros, 2016) (C y otros, 2014), donde en los edificios se han identificado las principales variables de los consumos energéticos en los centros educativos.

2.4 Aplicación en proyectos

Algunos casos de estudio implementan la estrategia BIM con modelos separados, pero correlacionados de diseño, construcción y análisis energético (Linjing y otros, 2010) que permite optimizar y medir el rendimiento del proyecto de forma instantánea.

Con estrategias de diseño los autores expertos en el tema han identificado el reto de diseñar un edificio para satisfacer las necesidades energéticas que varían según la estación. Dentro de las estrategias se plantean cualidades para intervención de un edificio proyectado; como la ubicación, orientación, necesidades de los usuarios finales, materiales y entrono próximo; donde los autores plantean que las condiciones locales climáticas y del entorno, para cualquier edificio, debe incorporarse en el diseño, con un análisis específico bioclimático, para aprovechar las condiciones climáticas en temas de ventilación, asoleamiento, pluviosidad y materiales en beneficio del proyecto (Dorota A., 2009) (Zixuan Chen y otros, 2020) (R.Pacheco y otros, 2012).

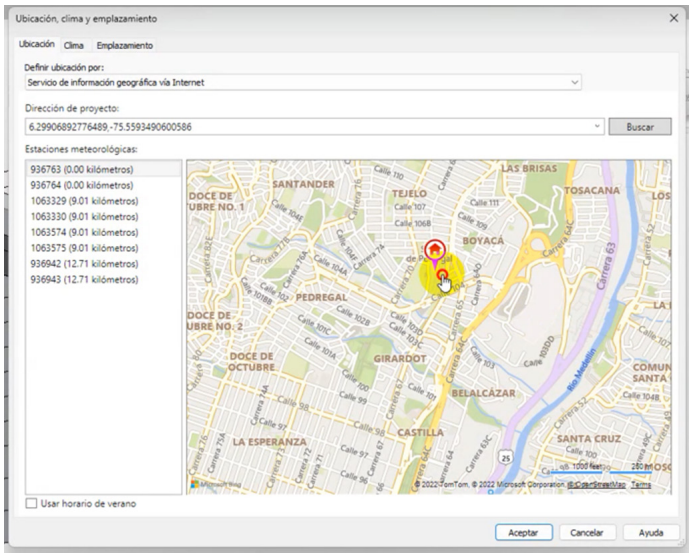

Figura 2. *Ubicación, clima y emplazamiento con software Revit*

2.5 Sostenibilidad

Desde el punto de vista físico, la sostenibilidad la define como el cierre de ciclos materiales, donde no existen residuos sino un aprovechamiento constante de los materiales, encontrando la manera de evitar el consumo de recursos no renovables y la emisión de residuos contaminantes a lo largo del ciclo de vida (Wadel Raina, 2009).

Se ha planteado estrategias de materiales que por sus procesos de extracción y ciclo de vida les dé una categoría de sostenibles, además de su disponibilidad (Pérez Gamarra, 2015).

Con estrategias de control solar se encuentran los diseños de las fachadas con elementos de control solar tipo cortasoles (Torres Cortes, 2016) que pueden ser diseñados con modelos paramétricos adecuados a las condiciones de climas tropicales, desde esta perspectiva se han presentado avances nacionales donde las soluciones propuestas demuestran mejoras notables en términos de control térmico respecto a tipologías existentes (Velasco & Robles, 2011).

En el campo específico del proyecto a realizar dentro del sector de la edificación, se han presentado guías que plantean estrategias de sostenibilidad (Hólguín & Morales, 2017). En el documento consultado plantean: “buscan promover que la infraestructura escolar no solamente cumpla con la normativa colombiana vigente en particular aquella de reciente expedición relacionada con eficiencia en el uso de agua y energía, sino que las mencionadas inversiones fomenten e impulsen prácticas sostenibles de índole integral, bajo un modelo competitivo de costos en beneficio de todas las instituciones educativas a nivel nacional, las cuales eleven la calidad de vida de la población estudiantil”. (Hólguín & Morales, 2017).

3. RESULTADOS

El sector de la construcción y diseño es un elemento clave para lograr reducir los impactos ambientales desde los materiales hasta la energía necesaria para su funcionamiento.

Figura 3. *Construcción. Tomado de medellin.gov.co*

La tendencia en la arquitectura a nivel mundial es a incrementar el uso de las estrategias BIM, donde se ha evidenciado los resultados que pueden beneficiar un proyecto. El reto de las estrategias BIM actualmente consiste en incorporar criterios de eficiencia energética, para lograr proyectos integralmente sostenibles, desde el impacto ambiental de los materiales con su ciclo de vida y desde el rendimiento térmico en el interior de un proyecto.

El ahorro de energía se identifica como una prioridad donde las medidas de eficiencia energética toman importancia en todos los sectores. “El concepto de eficiencia energética en los edificios está relacionado con el suministro energético necesario para conse-guir unas condiciones ambientales deseables que minimicen el consumo energético” (R.Pacheco y otros, 2012). Para el

cálculo de los balances energéticos se adoptan diversos programas de simulación energética, que dan como resultado mayor precisión de medida para construir edificios energéticamente eficientes (Linjing y otros, 2010).

Los modelos BIM permiten evaluar la eficiencia energética de los edificios mediante parámetros asociados de forma, orientación, materiales y acristalamiento; así como información del clima. Esto permite evaluaciones desde la etapa de diseño inicial que permita confort y ahorros de energía (Kai-Ming, 2018).

En la eficiencia energética se analiza principalmente temas de cambios de tecnologías y equipos de alta eficiencia, no se referencia los impactos de las inversiones de energía en el confort o que pueden evitarse por un diseño bioclimático.

La eficiencia energética debe empezar a tomar un papel protagonista en la construcción. Desde la sostenibilidad del proyecto en su ciclo de vida completo considerando construcción y operación. Además, los proyectos y programas de eficiencia energética a nivel nacional se enfocan generalmente en el cambio de tecnologías por unas más eficientes, pero se debe considerar también la reducción de necesidades energéticas que desde el diseño se pueda aportar, como confort térmico o iluminación natural, aprovechando las condiciones exteriores del clima, es decir estrategias bioclimáticas.

A diferencia de otros países, las bases de datos de indicadores de eficiencia energética en los proyectos de construcción son insuficientes o no existen (ADEME & AFD, 2022). Investigaciones de estudios de estado actual de las estadísticas, de Latinoamérica y específicamente de Colombia, en indicadores de desempeño para cuantificar los resultados de eficiencia energética son insuficientes (Carpio & Coviello, 2013), esto debido a la falta de continuidad de las instituciones relacionados con la promoción u desarrollo de eficiencia energética o bien tienen un perfil muy bajo que no generan autoridad en el sector de la construcción. También encuentran falta de conocimiento de las acciones que se pueden realizar y los impactos ambientales y económicos que representan, con una percepción, muchas veces justificada, de los altos precios de las tecnologías aplicables, debido a la falta de incentivos tributarios para este sector de la eficiencia energética, por lo que la mayoría de proyectos sólo estudian en invertir o no en proyectos de eficiencia energética, considerando únicamente el costo inicial de un equipo o producto eficiente, sin tomar en cuenta el gasto operativo (Carpio & Coviello, 2013).

La eficiencia energética también se debe evaluar desde la energía incorporada de los materiales que componen un proyecto, incluyendo disponibilidad, tipo de materia prima trayectos hasta el emplazamiento del proyecto y posterior disposición. Autores identifican los retos al encontrar documentación de cualidades de los materiales de construcción (Zixuan Chen y otros, 2020).

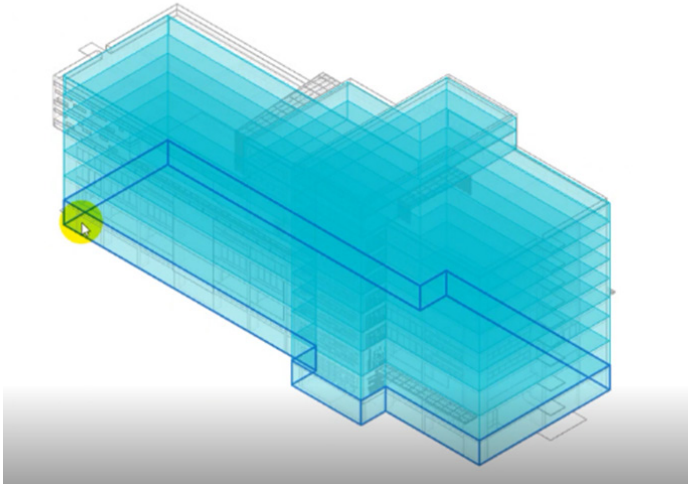

Figura 4. *Preparación de modelo energético de un proyecto en software Revit*

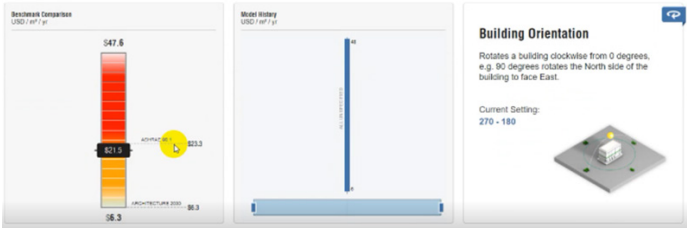

Figura 5. *Análisis de consumos energéticos proyectados con herramienta Insight.*

La fase de diseño es el mejor momento para analizar estrategias sostenibles poniendo en acción al comienzo para reducir los costos de implementación en comparación con cuando se analizan o implementan en etapas posteriores de la construcción. Un diseño basado en la sostenibilidad integral reduce la inversión económica en la vida útil del edificio por el bajo consumo energético, y esto compensa la posible mayor inversión inicial donde se puede aplicar sistemas de energía renovable para suplir las necesidades restantes en el proyecto, tratando de utilizar lo mínimo posible energía de la red principal. (R.Pacheco y otros, 2012).

Desde el modelo productivo actual se ha concluido que presenta un obstáculo para lograr la sostenibilidad, que caracteriza a una parte considerable de la industria contemporánea, sintetizado en una producción lineal de extracción>fabricación>residuo (Wadel Raina, 2009). Hay materiales que son clasificados como sostenibles por ser reciclados, aprovechados o de materia prima disponible en la zona; sin embrago se debería realizar un análisis de los rendimientos térmicos para determinar si realmente pueden lograr confort, y como consecuencia eficiencia energética, en los diferentes usos de edificaciones que se plantean.

Los espacios que se adaptan en temporalidad del mismo proyecto presentan el reto, no solo de lograr baja energía incorporada e impacto ambiental, sino también lograr confort interior, aunque el espacio se modifique. Esto implicaría prever los cambios que puedan presentar en relación a las dinámicas que puedan afectar el uso; como tendencias globales, tecnológicas, sociales, económicas y ambientales.

Dentro de los referentes encontramos proyectos que desde la arquitectura se adaptan a las condiciones físicas para lograr confort. Entendiendo que hay condiciones del clima que no se pueden modificar, pero si se pueden aprovechar valiéndose del diseño para modificar las condiciones de habitabilidad al interior del edificio, que son cuantificados con software específico (Valbuena García y otros, 2018).

Otros referentes además de las estrategias pasivas (que entiende como compacidad, orientación, aislamiento, iluminación natural, materiales de cambio de fase, biodiversidad), incorpora sistemas de energías renovables fotovoltaicos integrados con la arquitectura y geotermia. (Valbuena García & González Díaz, 2018). A nivel local el aumento de la temperatura en el interior de los edificios requiere soluciones que permitan la habitabilidad y la eficiencia energética. En el clima tropical de la ciudad requiere estrategias de mitigación térmica con eficiencia energética para los edificios (Torres Cortes, 2016).

Con estrategias que logren incorporar vegetación, los autores han identificado un mejor rendimiento térmico y lumínico respecto a otras estrategias con materiales como vidrio de control solar. Las estrategias pasivas, como la vegetación instalada en los vanos de fachada, generan sombreamiento que aportan a la mitigación térmica (Torres Cortes, 2016).

Un análisis de la fachada para generar confort al interior convierte la envolvente no sólo en un criterio estético, sino que desde el diseño se entiende el impacto en temas de confort y eficiencia energética que representa un cálculo de los sistemas de control solar.

Figura 6. *Análisis de control solar con herramienta Insight.*

La sostenibilidad del proyecto también debe considerar los posibles cambios de uso en el proyecto. Desde el diseño se han considerado estrategias para lograr espacios adaptables, que permiten modificar aspectos del espacio para permitir nuevos usos (Franco Medina, 2009)

Se ha estudiado desde una perspectiva más integral el tema de la sostenibilidad con resultados en eficiencia energética, como el uso de los recursos, calidad ambiental y estrategias de sostenibilidad desde el diseño; con evaluación de los resultados. Se puede consultar la guía consultada (Hólguín & Morales, 2017) y aplicar algunas de las estrategias estudiando su pertinencia en el uso dentro de cada espacio de la institución educativa y las condiciones específicas de clima del emplazamiento del proyecto. Para superar los retos que los autores identificaron, se debería crear una base de datos local de fácil acceso para los profesionales implicados en el diseño y modelado BIM para incorporar información al modelo.

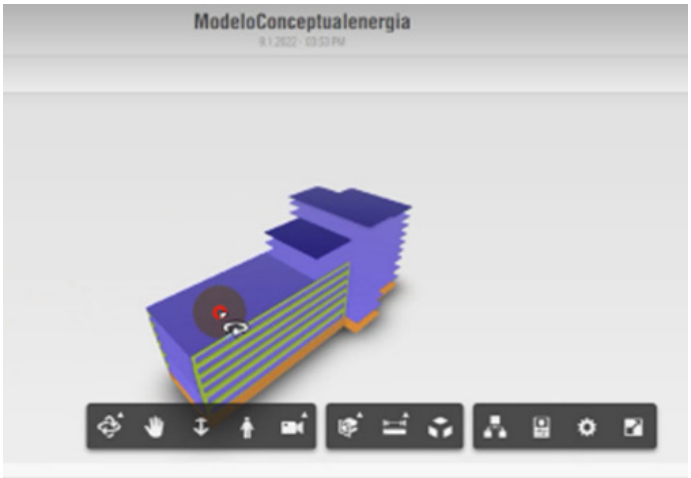

Figura 7. *Modelo energético de un proyecto con herramienta Insight.*

4. CONCLUSIONES

Un modelo en BIM es una herramienta que sirve para tomar decisiones desde el impacto ambiental y eficiencia energética de un proyecto desde las etapas de diseño. Se convierte BIM en la metodología que debe tener en toda la etapa de diseño una dimensión transversal de sostenibilidad y no sólo en una sexta dimensión incluida en una línea temporal luego de las demás. Esto permite tomar decisiones que permitan eficiencia energética sin que resulte en que las estrategias de sostenibilidad puedan modificar sustancialmente el avance en el diseño.

La búsqueda de información, de la evolución y estado actual de la sostenibilidad desde la sexta dimensión de la metodología BIM, permite proyectar hacia donde evoluciona este tipo de metodología, desde la concepción del proyecto al determinar localización y orientación; hasta la operación del edificio y el impacto de los elementos diseñados en mantenimiento, posteriores cambios en los espacios y desmantelamiento de la infraestructura.

AGRADECIMIENTOS

A todos los integrantes que han sido parte del equipo BIM, que ha venido trabajando en diferentes aspectos de este proyecto, por su confianza y motivación para continuar la investigación.

REFERENCIAS

Abernethian, K. Ong, L. Chandra, Z. Lin, Economic and environmental assessment of deconstruction strategies using building information modeling, Proceedings of Construction Re-search Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World, West Lafayette, USA, 2012, pp. S. 1730–S. 1739.

ADEME, & AFD. (2022). BASE DE INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA. BASE DE INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: https://www.biee-conuee.net/

Ali, M. M. (2008). Energy Efficient Architecture and Building Systems to Address Global Warming. Leadership and Management in Engineering, 8(3), 113–123. https://doi.org/10.1061/(asce)1532-6748(2008)8:3(113)

Apanaviciene, R., Urbonas, R., & Fokaides, P. A. (2020). Smart building integration into a smart city: Comparative study of real estate development. Sustainability (Switzerland), 12(22), 1–22. https://doi.org/10.3390/su12229376

Arboleda, A. M., Fernando, D., & Rivera, V. (2012). IMPLEMENTACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS BIM COMO HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN Y CON-TROL DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA EDIFICA-CIÓN EN BOGOTÁ.

Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. Leadership and Management in Engineering, 11(3), 241-252. https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127

B.F Yu. et al. “Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health”. International Journal of Refrigera-tion, 2009, vol 32, núm. 1, pp. 3 – 20.

Briano, J., Báez, M., & Morales, R. (2016). Eficiencia energética en Colombia: Identificación de oportunidades . Banco de Desarrollo de América Latina.

C, P., Dwaigth, J., R, C., Alejandra, R, C., Alejandra, . . . Johann. (2014). IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORES ENERGÉTICOS EN CENTROS EDUCATIVOS CASO DE ESTUDIO: Edificio Alejandro Suárez Copete- Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Revista Escuela de Administración de Negocios.

Carpio, C., & Coviello, M. (2013). Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafios último quinquenio. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Chang, K. M., Dzeng, R. J., & Wu, Y. J. (2018). An automated IoT visualiza-tion BIM platform for decision support in facilities management. Applied Sciences (Switzerland), 8(7). https://doi.org/10.3390/app8071086

Chen, Z., Hammad, A. W. A., Kamardeen, I., & Akbarnezhad, A. (2020). Optimising embodied energy and thermal performance of thermal insulation in building envelopes via an automated building information model-ling (BIM) tool. Buildings, 10(12), 1–23. https://doi.org/10.3390/buildings10120218

Chen, Z., Hammad, A. W. A., Kamardeen, I., & Haddad, A. (2020). Optimising window design on residential building facades by considering heat transfer and natural lighting in non-tropical regions of Australia. Build-ings, 10(11), 1–27. https://doi.org/10.3390/buildings10110206

C.Y, Cheng; KEN K.S, Cheung; L.M, Chu. . “Thermal performance of a vegetated cladding system on façade walls”. Building and Environment, 2010, vol 45, núm. 8, pp. 1779 – 1787.

DiGiovanni, D., Jeng, B., & Wan, A. (2012). High Performance Modular Building: Cost Effective Solutions for Design and Construction of a Sustainable Commercial Building. Structures Congress 2012. https://doi.org/10.1061/9780784412367.085

Dorota A., C. (2009). Recommendation on modelling of solar energy incident on a building envelope. Renewable Energy, 34(3), 736-741. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.005

EUMORFOPOULOU, EA; KONTOLE-ON, KJ. “Experimental approach to the contribution of plant covered walls to the thermal behaviour of building envelopes”. Building and Environment, 2009, vol 44, núm. 5, pp. 1024 – 1038.

Farzaneh, A., Monfet, D., & Forgues, D. (2019). Review of using Building Information Modeling for building energy modeling during the design process. Journal of Building Engineering, 23(January), 127–135. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.029

Fernanda, Arana, F., Buendia, G., Pacheco, M., & Eduardo, M. (2021). Estudio cuantitativo sobre implementación BIM orientada a la sustentabilidad energética. Ulima.edu.pe. https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12724/13421

Franco Medina, R. (2009). Estructuras adaptables. Revista de Arquitectura Universidad Católica de Colombia Vol. 11, 120.

Futcher, J. A., & Mills, G. (2013). The role of urban form as an energy management parameter. Energy Policy, 53, 218–228. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.080

Gao, H., Koch, C., & Wu, Y. (2019). Build-ing information modelling based building energy modelling: A review. Applied Energy, 238(September 2018), 320–343. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.032

Hamidavi, T., Abrishami, S., Ponterosso, P., Begg, D., & Nanos, N. (2020). OSD: A framework for the early stage parametric optimisation of the structural design in BIM-based platform. Construction Innovation, 20(2), 149–169. https://doi.org/10.1108/CI-11-2019-0126

Han, T., Huang, Q., Zhang, A., & Zhang, Q. (2018). Simulation-based decision support tools in the early design stages of a green building-A review. Sustainability (Switzerland), 10(10). https://doi.org/10.3390/su10103696

Hólguín, F., & Morales, J. F. (2017). Guía para la implementación de estrategias de sostenibilidad en diseño y construcción de colegios nuevos de jornada única en Colombia. Bogotá: Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS).

JAFFAL, Issa; OULDBOUKHITINE, Sa-lah-Eddine; BELARBI, Rafik. “A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance” Renewable Energy, 2012, vol 43, pp. 157 – 164.

Kai-Ming, C. (2018). An Automated IoT-Visualization BIM Platform for DecisionSupport in Facilities Management. Applied Sciences, 1-18.

Lee, J., Kim, S., Kim, J., Song, D., & Jeong, H. (2018). Thermal performance evaluation of low-income buildings based on indoor temperature performance. Applied Energy, 221, 425–436. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.083

Ministerio de Minas y Energía. 2009. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP. Anexo general, pp. 32 – 100.

NBS. (2017, May 4). NBS Specification Report 2017. NBS; www.theNBS.com. https://www.thenbs.com/knowledge/nbs-specification-report-2017

Nottingham University Press. (2010). http://www.engineering.nottingham.ac.uk/icccbe/proceedings/pdf/pf83.pdf

Kai-Ming, C. (2018). An Automated IoT Visualization BIM Platform for Decision Support in Facilities Management. Applied Sciences, 1-18.

Li, J., Li, N., Afsari, K., Peng, J., Wu, Z., & Cui, H. (2019). Integration of Build-ing Information Modeling and Web Service Application Programming Interface for assessing building surroundings in early design stages. Building and Environment, 153(February), 91–100. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.024

Linjing, C., Zhili, G., Don, C., & Tang Hung, N. (2010). Using building information modeling for measuring the efficiency of building energy performance. Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, 1-6.

Pérez Gamarra, S. (2015). Construcción alternativa III. Construcción lowcost. Reciclar y construir con el deshecho. Otras oportunidades para los materiales de reciclado y nuevos usos para los materiales convencionales. Valladolid: Universidad de Valladolid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

RESOLUCIÓN No. 0441 DE 2020, 33 (2020). The United Nations Envi-ronment Programme (UNEP). (2019). 2019 Global Status Report for Buildings and Construction Sec-tor. 2019 Global Status Report for Buildings and Construction: To-wards a Zero-Emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. https://www.unep.org/resources/publication/2019-global-status-report-buildings-and-construction-sector

Rodríguez López, F., & Fernández Sánchez, G. (2011). Challenges for Sustainability Assessment by Indicators. Leadership and Management in Engineering, 11(4), 321–325. https://doi.org/10.1061/(asce)lm.1943-5630.0000142

R.Pacheco, J.Ordóñez, & G.Martínez. (2012). Energy efficient design of building: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(6), 3559-3573. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.045

SALAZAR, Jorge; Arango, Lucas; Giraldo, Natalia. Iluminación natural en el trópico: caso Colombia: memorias. Medellín Universidad Nacional de Colombia, 2011.

SALAZAR, Jorge. Diseño de sombras. Medellín Universidad Nacional de Co-lombia, 2006. 152 pp. ISBN 978-958-97871-1-3.

Shen, Z., & Jensen, W. (2011). Civil Engineers as Master Builders and the Professionalization of Construction. Leadership and Management in En-gineering, 11(2), 169–181. https://doi.org/10.1061/(asce)lm.1943-5630.0000117

SIMONE, Angela. et al. "Effect of passive cooling strategies on overheating in low energy residential buildings for Danish climate". En actas de 8th Windsor Conference: Counting the Cost of Comfort in a changing world, 2014, UK, pp. 1 – 14.

SUSOROVA, Irina. et al. "A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance". Building and Environment, 2013, vol 67, pp. 1 – 13.

Taracena Parada, C. (2018). Evaluación de los efecto de los jardines verticales sobre el microclima en edificios de concreto. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. http://www.repositorio.usac.edu.gt/9738/1/Claudia%20Mar%C3%ADa%20Taracena%20Parada.pdf

TORRES, Johan. "Mitigación térmica con vegetación en vanos de torres de vivienda en Medellín". Cuarto Congreso Internacional Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable (MACDES), 2016, pp. ¬1 – 10.

Touloupaki, E., & Theodosiou, T. (2017). Energy Performance Optimization as a Generative Design Tool for Nearly Zero Energy Buildings. Procedia Engineering, 180, 1178–1185. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.278
Valbuena García, F., & González Díaz, M. (2018). ESTRATEGIAS DE DISEÑO PARA UN EECN EN EL ÁMBITO UNIVERSITARIO: EL AULARIO INDUVA DE VALLADOLID. Construction 21.

Valbuena García, F., González Díaz, M., & Gutiérrez Cid, C. (2018). Edificios inteligentes para ciudades inteligentes: eledificio I+D+i del Campus de Soria. Construction 21, 1-15.

Valinejadshoubi, M., Moselhi, O., Bagchi, A., & Salem, A. (2021). Development of an IoT and BIM-based automated alert system for thermal comfort monitoring in buildings. Sustainable Cities and Society, 66(November 2020), 102602. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102602

Villa, V., Naticchia, B., Bruno, G., Aliev, K., Piantanida, P., & Antonelli, D. (2021). Iot opensource architecture for the maintenance of building facilities. Applied Sciences (Switzer-land), 11(12). https://doi.org/10.3390/app11125374

Velasco, R., & Robles, D. (2011). Diseño de Eco-Envolventes. Revista de Arquitectura Universidad Católica de Colombia vol. 13, 92-106.

Wadel Raina, G. F. (2009). La sostenibilidd en la arquitectura industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda. Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Climate Change Info Sheet: A summary of current climate change findings and figures [en línea]. Geneva, Switzerland. A WMO information note [ref. de mar-zo 2013]. Disponible en Web: http://unfccc.int/files/cc_inet/application/x-httpd-php/ccinet_getfile.php?file=147.

Zaballos, A., Briones, A., Massa, A., Cente-lles, P., & Caballero, V. (2020). A smart campus' digital twin for sustainable comfort monitoring. Sustainability (Switzerland), 12(21), 1–33. https://doi.org/10.3390/su12219196

Zixuan Chen, Ahmed W. , A., Imriyas Kamardeen, & Ali Akbarnezhad. (2020). Optimising Embodied Energy and Thermal Performance of Thermal Insulation in Building Envelopes via an Automated Building Information Modelling (BIM) Tool. Buildings, 1-23. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/buildings10120218