
APLICACIÓN DEL ENFOQUE 6D BIM EN LA EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA EN LA INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA PÚBLICA

Application of the 6D BIM approach in the evaluation and energy rehabilitation proposal of public educational infrastructure

Aplicação da abordagem 6D BIM para a avaliação e proposta de reabilitação energética na infraestrutura educacional pública

David Sánchez-Ramón¹  & Claudia Costa-De los Reyes² 

¹ Escuela de Arquitectura. Universidad Internacional del Ecuador. Loja-Ecuador.

Correo: dasanchezra@uide.edu.ec

² Grupo de Investigación Arquitectura y tecnologías de la edificación sustentable ARQ-TES. Escuela de Arquitectura. Universidad Internacional del Ecuador. Loja-Ecuador.

Correo clcostade@uide.edu.ec

Fecha de recepción: 25 de junio de 2023.

Fecha de aceptación: 03 de octubre de 2023.

RESUMEN

INTRODUCCIÓN. Cuando se aborda el diseño de un edificio, uno de los objetivos primordiales consiste en la creación de un ambiente interior que promueva la salud y el confort de sus ocupantes. **OBJETIVO.** La investigación busca evaluar mediante 6D BIM el comportamiento energético de la infraestructura educativa prototípico construido en Ecuador. En un caso de la ciudad de Loja para conocer los parámetros de confort, compararlos con lo expuesto por las bases normativas y plantear una propuesta de rehabilitación energética que mejore el confort y disminuya el consumo energético de la edificación. **MÉTODO.** El proceso se realiza mediante simulación en probeta virtual en el software Revit y su motor de simulación EnergyPlus para conocer su desempeño energético. A partir de ello, se plantean y validan estrategias que mejoren el confort térmico, lumínico y calidad de aire de la edificación. **RESULTADOS.** Los resultados demuestran que el equipamiento no cumple con los rangos de confort según la zona donde se emplaza, con temperatura interior de 17,88°C, niveles de iluminación de 3500 lúmenes, HR del



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

60% y 51 MWh/a de consumo eléctrico. **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.** La intervención propuesta ha demostrado mejoras significativas, incluyendo un aumento de la temperatura en 6.18°C, una reducción de 2300 lúmenes en la iluminación, una disminución del 10% en la humedad relativa (HR) y un consumo eléctrico reducido a 42 MWh/a. Estos resultados consolidan esta intervención como una alternativa altamente replicable y energéticamente eficiente para infraestructuras similares.

Palabras clave: 6D BIM, Evaluación energética, simulación energética, rehabilitación energética, equipamientos educativos.

ABSTRACT

INTRODUCTION. When approaching the design of a building, one of the primary objectives is to create an interior environment that promotes the health and comfort of its occupants. **OBJECTIVE.** The research seeks to evaluate through 6D BIM the energy performance of the prototype educational infrastructure built in Ecuador, in a case of the city of Loja, in order to know the comfort parameters, compare them with what is exposed by the normative bases and propose an energy rehabilitation proposal to improve comfort and reduce the energy consumption of the building. **METHOD.** The process is carried out through virtual test-tube simulation in Revit software and its simulation engine EnergyPlus to know its energy performance. Based on this, strategies to improve thermal and lighting comfort and air quality in the building are proposed and validated. **RESULTS.** The results show that the equipment does not comply with the comfort ranges according to the zone where it is located, with an interior temperature of 17.88°C, lighting levels of 3500 lumens, RH of 60% and 51 MWh/y of electricity consumption. **DISCUSSION AND CONCLUSIONS.** The proposed intervention has demonstrated significant improvements, including an increase in temperature by 6.18°C, a reduction of 2300 lumens in lighting, a 10% decrease in relative humidity (RH), and reduced electrical consumption to 42 MWh/a. These results consolidate this intervention as a highly replicable and energy efficient alternative for similar infrastructures.

Keywords: 6D BIM, Energy assessment, energy simulation, energy rehabilitation, educational facilities.

RESUMO

INTRODUÇÃO. Ao abordar o projeto de um edifício, um dos objetivos principais é criar um ambiente interior que promova a saúde e o conforto dos seus ocupantes. **OBJECTIVO.** A investigação tem como objetivo avaliar o desempenho energético da infraestrutura educativa protótipo construída no Equador através do BIM 6D, num caso da cidade de Loja, a fim de conhecer os parâmetros de conforto, compará-los com os estabelecidos nos regulamentos e propor uma proposta de reabilitação energética que melhore o conforto e reduza o consumo de energia do edifício. **MÉTODO.** processo é efectuado através de uma simulação virtual em tubo de ensaio no software Revit e no seu motor de simulação EnergyPlus para determinar o seu desempenho energético. Com base nisto, são propostas e validadas estratégias para melhorar o conforto térmico e luminoso e a qualidade do ar do edifício. **RESULTADOS.** Os resultados mostram que o equipamento não cumpre as gamas de conforto de acordo com a zona onde está



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



localizado, com uma temperatura interior de 17,88°C, níveis de iluminação de 3500 lumens, RH de 60% e 51 MWh/ano de consumo de eletricidade. **DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.** A intervenção proposta demonstrou melhorias significativas, incluindo um aumento da temperatura em 6,18°C, uma redução de 2300 lúmens na iluminação, uma diminuição de 10% na humidade relativa (UR) e uma redução do consumo eléctrico para 42 MWh/a. Estes resultados consolidam esta intervenção como uma alternativa altamente replicável e energeticamente eficiente para infraestruturas similares.

Palavras-chave: 6D BIM, avaliação de energia, simulação de energia, reabilitação de energia, instalações educacionais.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda continua de soluciones sostenibles y eficientes en la construcción es fundamental para afrontar los desafíos actuales relacionados con el cambio climático y la eficiencia energética. Considerando que las personas pasan aproximadamente el 90% de su tiempo en espacios cerrados [1], uno de los objetivos primordiales al diseñar un edificio es garantizar un ambiente interno saludable y agradable para actividades que no se pueden llevar a cabo en entornos naturales [2]. Las condiciones internas desfavorables en los espacios arquitectónicos como la dificultad para mantener temperaturas adecuadas en los espacios están relacionados con la mala calidad de la construcción [3] y deficiencias en el diseño de las edificaciones.

Las infraestructuras deben brindar a las personas un entorno agradable y garantizar condiciones adecuadas al interior de sus espacios; una edificación con iluminación deficiente y climatización no apropiada interfiere negativamente en el desempeño de los usuarios. Por tanto, es necesaria una buena planificación en el diseño y construcción de edificios [4]. Sin embargo, a menudo las edificaciones no cumplen con los parámetros de confort requeridos, generando no solo espacios inadecuados sino también un consumo energético excesivo, pues pese a la existencia de múltiples técnicas para la evaluación del rendimiento de los edificios en uso, el sector de la construcción no los emplea para mejorar los proyectos, conocer su desempeño energético y la calidad del ambiente interior [5], factores que influyen en la satisfacción y productividad de las personas.

En el panorama actual, el Building Information Modeling (BIM) se destaca como una de las tecnologías más vanguardistas en la industria de la construcción, orientada a potenciar el desempeño de los proyectos, facilitar la resolución de conflictos en la construcción y minimizar la incertidumbre asociada a las estimaciones cuantitativas y cualitativas de las obras [6], consolidándose como una herramienta integral que abarca múltiples dimensiones del ciclo de vida de las edificaciones [7]. En este contexto, numerosos países han integrado BIM con el propósito de optimizar la productividad en el sector de la arquitectura y construcción para promover innovaciones en este sector. Esta adopción es impulsada tanto por la necesidad de abordar los desafíos del cambio climático como por la comparativa de eficiencia de la construcción frente a otras industrias [8].



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

Para comprender su aplicación, la tabla 1 proporciona una visión estructurada y simplificada de las diferentes dimensiones y aspectos de BIM.

Tabla 1. Dimensiones y aspectos de BIM. [9]

Dimensiones BIM	Aspectos Desarrollados en el Modelo
1D Generación de la idea de proyecto	Aspectos iniciales del proyecto como: Conceptualización de la idea, estimación de superficies y volumetrías.
2D Documentación Planimétrica	Documentación gráfica del proyecto a través de bocetos y planos en dos dimensiones 2D.
3D Representación tridimensional	Documentación gráfica del proyecto 3D con información del proyecto y se obtiene información geométrica espacial, propiedades de los objetos, y la visualización 3D del proyecto.
4D Planificación de tiempos	Se implementa la variable tiempo al proyecto y permite comprender y diseñar un plan de ejecución de los procesos de obra.
5D Control de Costos y Gastos	Permite la estimación del presupuesto total de obra a través de las ediciones de materiales, mano de obra necesaria y el análisis de costos operativos.
6D Sostenibilidad y eficiencia energética	Análisis energético a través de simulaciones Evaluación de las variaciones e interacciones de la envolvente. Análisis de simulaciones y propuestas sostenibles y energéticamente eficientes.
7D Gestión y mantenimiento	Monitoreo del funcionamiento del proyecto Plan de operaciones, mantenimiento, inspecciones y reparaciones del Edificio.

En el campo de la educación, las infraestructuras educativas juegan un papel crucial en el proceso de enseñanza y constituye un componente que influye en el desempeño de los usuarios. Varios estudios han demostrado como la precariedad de la arquitectura escolar como la iluminación, ventilación entre otros aspectos, intervienen en el aprendizaje de los estudiantes [10]. Por tanto, los equipamientos educativos deben diseñarse y construirse teniendo en cuenta las necesidades de sus ocupantes y del contexto en donde se emplaza el proyecto.

El confort ambiental en espacios de aprendizaje no solo impacta en el rendimiento académico y la salud de los estudiantes y docentes, sino que también tiene efectos significativos en el consumo de energía y, por ende, en la huella ambiental de estas edificaciones. En este sentido, la arquitectura está ligada directamente con el desempeño de los espacios educativos [10], por ser la encargada de brindar las condiciones apropiadas de confort para la comodidad de los estudiantes, mejorando los procesos educativos de enseñanza y aprendizaje. Por lo tanto, la evaluación detallada de los parámetros de confort térmico y lumínico, junto con la implementación de medidas de rehabilitación energética, se convierte en una prioridad en la búsqueda de una educación más eficiente.

En Ecuador se han elaborado diversos documentos con el objetivo de fortalecer la infraestructura educativa pública. No obstante, en estos no se destaca, la importancia de proyectar adecuadamente las edificaciones considerando los parámetros que



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

determinan el confort ambiental [11], especialmente teniendo en cuenta las variaciones de los pisos climáticos del país. Como resultado, estos equipamientos educativos no logran una eficiencia energética óptima.

Las Unidades Educativas del Milenio representan un prototipo de infraestructura educativa pública diseñado para ser replicado a lo largo del país, incorporando enfoques innovadores que potencian los procesos educativos [12]. Sin embargo, no consideran las variables contextuales de los lugares donde se emplazan estas instalaciones, lo que ha ocasionado varios problemas en las infraestructuras, comprometiendo el confort de los espacios interiores. En la ciudad de Loja, se encuentra una Unidad Educativa del Milenio, la UEM Bernardo Valdivieso de un total de 56 distribuidas a nivel nacional. Pese a los intentos de mejorar la educación a través de su renovación, factores como las variaciones climáticas, la topografía y daños, han impedido que funcionen de forma adecuada. Por ello, es necesario desarrollar estudios de gestión energética de estas edificaciones que permitan conocer las deficiencias y el desempeño de los elementos que componen su envolvente [13], que impiden lograr el confort ambiental adecuado al interior de los espacios.

Dentro de esta perspectiva, la presente investigación se enfoca en la evaluación del comportamiento energético y los niveles de confort en el contexto de las infraestructuras educativas públicas, utilizando la metodología 6D BIM, que introduce aspectos de sostenibilidad y eficiencia energética permitiendo una comprensión profunda y holística de las características y necesidades de los edificios, mediante simulaciones que determinan el desempeño energético de los proyectos [9]. El objetivo principal radica en analizar los parámetros de confort térmico, lumínico y calidad de aire en las aulas, y comparar estos resultados con los estándares establecidos por las bases normativas ecuatorianas e internacionales. Así mismo, se busca proponer la rehabilitación energética, mediante la aplicación de estrategias activas y pasivas que optimicen los factores medioambientales del lugar y transformen estos espacios en ambientes ideales [14] para el desarrollo y la productividad de los usuarios, mejorando el confort y minimizando el consumo energético de la edificación.

El confort ambiental en arquitectura

El confort ambiental se define como el sentimiento de bienestar de una persona en un espacio específico [15]. En arquitectura, el confort en los espacios es esencial para el adecuado desarrollo humano. Este se alcanza cuando los usuarios de un edificio experimentan bienestar físico y psicológico, producto de un adecuado confort térmico, lumínico, acústico y visual en su interior, como se aprecia en la tabla 2 [11]. De ahí que, para garantizar la satisfacción y desarrollo de los usuarios, es esencial que estos parámetros determinantes se mantengan dentro de rangos óptimos, resultando en edificaciones más confortables.

Bajo esta perspectiva, la envolvente de una edificación es fundamental porque sirve como barrera directa con el exterior y garantiza la protección de los espacios internos. Su material y diseño regulan tanto las pérdidas como las ganancias térmicas, influyendo directamente en el consumo energético relacionado con iluminación y ventilación. Por ende, es vital considerar las particularidades del entorno al diseñar la



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

envolvente de un edificio para generar confort ambiental adecuado y que sea energéticamente eficiente [16].

Tabla 2. Parámetros que determinan el confort ambiental [11].

Parámetro	Características
Confort térmico	El confort térmico se encuentra relacionado con las condiciones internas que generan espacios cómodos y productivos. Esto se evalúa considerando el porcentaje de ocupantes y las actividades que se llevan a cabo en su interior, tomando como referencia las propiedades térmicas de la envolvente y la temperatura operativa recomendable (23-30°C).
Confort lumínico	El confort lumínico se logra mediante la creación de espacios agradables para el usuario, tomando en cuenta los niveles de iluminación recomendables dentro de los espacios (300-2000 lux), determinados por el factor luz día, uniformidad, índice de deslumbramiento, superficie de vanos y factor de reflexión. Este enfoque busca no solo proporcionar comodidad a las personas, sino también mejorar la eficiencia energética en los edificios.
Calidad de aire y ventilación	La calidad de aire y ventilación genera mejoras en la productividad y bienestar respiratorio dentro de los espacios. Está determinada por la superficie mínima de ventana operable, flujo de aire, altura interior y volumen de aire. Tomando como referencia la humedad relativa recomendable (50%)
Confort acústico.	El confort acústico se logra a través de la protección contra el ruido de otros ambientes y factores externos. Los factores que lo definen son la capacidad de aislamiento y el confort acústico, que establece niveles adecuados de sonoridad (25-40 dB).

6D BIM

Entendiendo BIM como una metodología que facilita el desarrollo y aplicación de modelos a lo largo de las distintas fases del ciclo de vida de un proyecto, desde el diseño y construcción hasta la operación [17], su integración dentro de las prácticas constructivas aporta beneficios para todos los participantes de un proyecto, desde legisladores y arquitectos hasta empresas constructoras mejorando la planificación, optimización de recursos y reducción de riesgos de las obras [7] en diferentes dimensiones, tabla 1.

En función de cumplir con el objetivo de la investigación se aborda la dimensión 6D BIM que se enfoca en el análisis de gestión de recursos y consumo energético de edificaciones, mediante la producción de modelos con propiedades específicas que permitan realizar simulaciones para determinar el desempeño energético y el comportamiento térmico de los proyectos [18] [19]. En la dimensión 6D BIM, los modelos demandan información minuciosa, como características físicas y térmicas, ubicación y materiales, con el fin de realizar simulaciones precisas y cálculos exactos. Es esencial tener una maqueta digital que permita llevar a cabo evaluaciones energéticas, facilitando la implementación de ajustes o mejoras mientras avanza el proyecto. Dentro del marco BIM, existen diversas herramientas y aplicaciones, desde motores de simulación energética hasta extensiones específicas, para profundizar en este análisis energético.

Simulación y análisis energético mediante tecnología BIM

Dada la variedad de motores de simulación y análisis energético disponible, es vital considerar las especificidades de las simulaciones y los resultados que cada herramienta puede ofrecer. Por ejemplo, el software Energy Plus para Revit es una herramienta versátil que facilita la simulación energética y análisis de un edificio



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

simplemente con la información básica como su volumetría, número de niveles y orientación. Así mismo, esta herramienta proporciona datos sobre ventilación, iluminación y otros, obteniendo como resultado gráficos y tablas que evidencian el consumo energético del edificio [19]. Esta herramienta permite un flujo adecuado de trabajo cuando se analiza una edificación tal como se visualiza en la figura 1.

A medida que se introduce más información detallada sobre el edificio, el software puede ofrecer soluciones más integradas, abordando condiciones de zonas térmicas, equilibrios térmicos basados en efectos radiantes y convectivos, y modelos que combinan transferencia de calor y masa, entre otros. De este modo, se logra un análisis exhaustivo de un edificio a través de las simulaciones BIM.

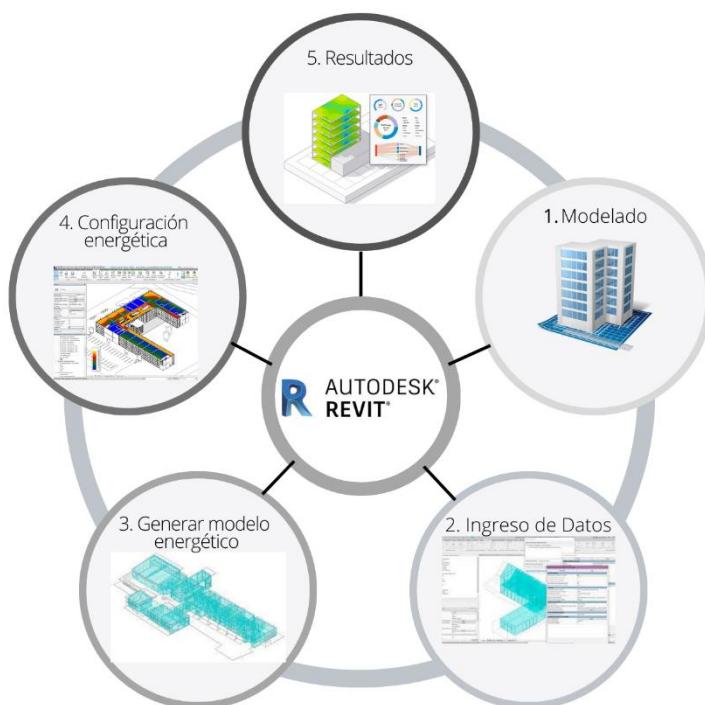


Figura 1. Flujo de trabajo de Revit. Fuente. Elaboración propia

MÉTODO

La eficiencia energética en infraestructuras educativas es un tema que ha cobrado relevancia en los últimos años, buscando garantizar entornos más propicios para el aprendizaje y reducir el impacto ambiental. El confort térmico, lumínico y la calidad del aire son parámetros críticos que influyen directamente en el bienestar y desempeño de los usuarios. En este contexto, surge la necesidad de emplear herramientas y metodologías avanzadas para abordar de manera precisa estos desafíos. La aplicación de herramientas como el 6D BIM se ha presentado como una solución viable para evaluar y optimizar el comportamiento energético de las edificaciones. En el caso específico del estudio mediante la simulación en una probeta virtual en el software Revit y su motor de simulación EnergyPlus, parametrizada con



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

información detallada respecto a ubicación, zona climática y especificaciones técnicas de los materiales, se busca comparar el desempeño energético de la edificación con las bases normativas ecuatorianas e internacionales.

A partir de esta evaluación, se plantean estrategias de rehabilitación energética con el objetivo de mejorar los rangos de confort y reducir el consumo energético de la edificación, buscando establecer estrategias de intervención replicables y eficientes, aplicables a otras edificaciones del mismo tipo. Con esta metodología, se garantiza una investigación estructurada que permite no solo identificar problemáticas actuales en la edificación, sino también proponer y validar soluciones efectivas para las mismas. El esquema de metodología de análisis, figura 2, muestra las etapas que se siguen para el desarrollo del trabajo, que van desde la recolección de información para la exploración y diagnóstico, seguido de la generación de alternativas, la evaluación y el planteamiento de acciones de mejora, hasta la comunicación de resultados.

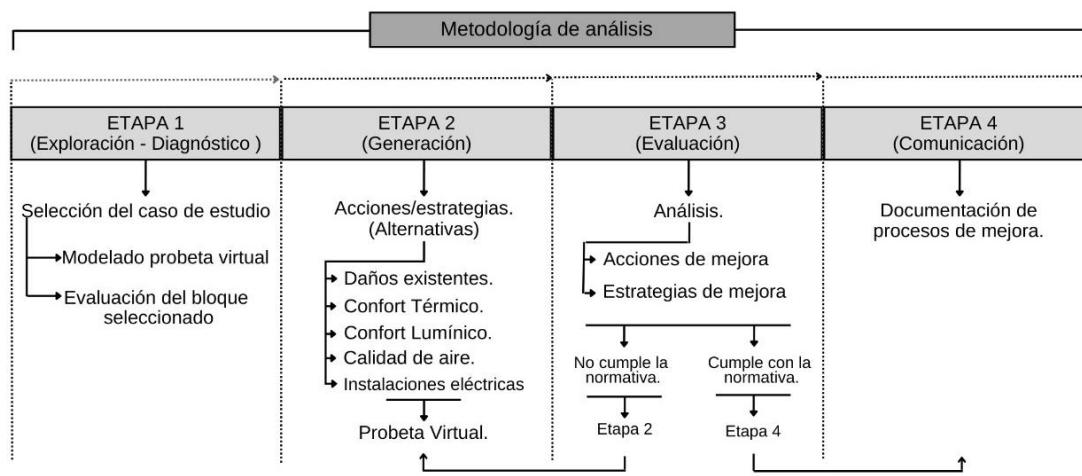


Figura 2. Metodología de análisis del bloque prototípico de la Unidad Educativa.

En la primera etapa, se desarrolla un análisis exploratorio previo con el fin de obtener información general del equipamiento (caso de estudio), zona climática y emplazamiento; e información detallada del bloque de aulas respecto a criterios de diseño constructivo, arquitectónico, confort e instalaciones. Información que sirve para desarrollar el modelado detallado de la probeta virtual del bloque de aulas prototípico, de manera que los resultados del diagnóstico del estado actual sean precisos en relación al confort térmico, lumínico, calidad de aire y consumo energético. Una vez obtenidos los resultados de los rangos de confort y consumo energético de la edificación, la segunda etapa consiste en la generación de estrategias para mejorar los parámetros de confort, que se enfocan principalmente en la envolvente del bloque de aulas. Luego, estas estrategias se introducen de manera detallada en la probeta virtual para posteriormente en la etapa tres, realizar la evaluación de las mismas en relación con los rangos de confort expuestos por las bases normativas y finalmente, en la etapa cuatro se realiza la documentación y comunicación de los resultados.



Caso de estudio

La investigación se enfoca en el análisis de la envolvente de uno de los bloques de aulas prototipo de la Unidad Educativa del Milenio Bernardo Valdivieso de la ciudad de Loja. Para la selección del bloque a estudiar se considera analizar aquel que, con relación al emplazamiento y la ubicación respecto a los otros bloques que conforman el equipamiento sea el más desfavorable. Es decir, el bloque con menor captación solar y menor incidencia de los vientos, cuyos valores de confort sean los más afectados, figura 3.

El bloque seleccionado de la UEM cuenta con un área construida de 1484,64 m² y se desarrolla en dos volúmenes de dos niveles que se encuentran conectados por un patio interno cubierto. En su interior consta de 12 aulas de clases que albergan a 492 personas y núcleos de baterías sanitarias tanto en planta baja como en la planta alta. La estructura de la edificación es de hormigón armado con mampostería de ladrillo. La cubierta principal del bloque de aulas es plana, no transitble, y la cubierta del patio interno es de policarbonato de 6mm. La carpintería de ventanas está compuesta de aluminio con vidrio sencillo de 6mm y las puertas son metálicas de tol. El recubrimiento de pisos es de cerámica de alto tráfico antideslizante, en paredes se aplica pintura de caucho y el cielo raso de Gypsum.

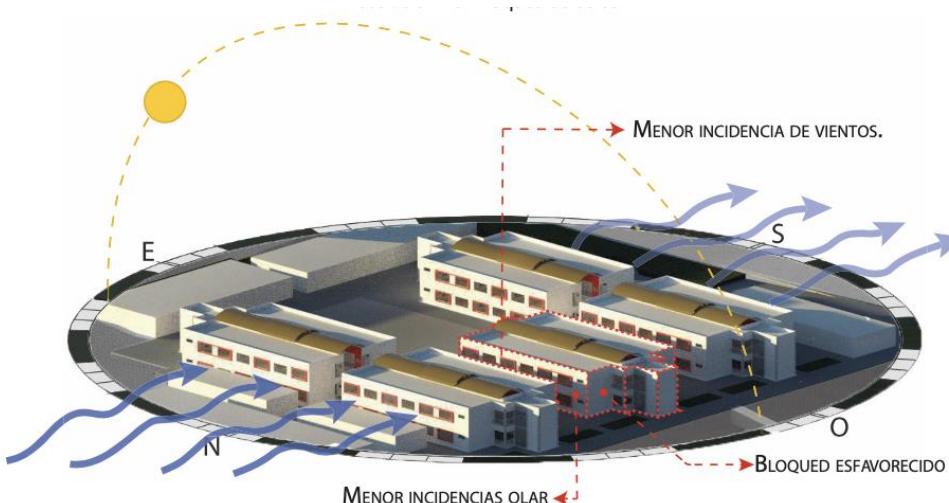


Figura 3: Bloque prototipo seleccionado.

Tabla 3: Bloque prototipo seleccionado.

Parámetro	Bases Normativas	Resultados				
		Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5
Confort Térmico	Temperatura interior. 23 – 30 °C	26,18 °C	23, 67 °C	17,88 °C	22,76 °C	25,32 °C
	Humedad Relativa 40 – 50%	45 %	56%	60 %	54 %	48 %
Confort Lumínico	Iluminación 300 – 2000 lux.	300 – 2500 lux.	300 – 4900 lux.	300 – 8500 lux.	300 – 5200 lux.	300 – 2500 lux.
Calidad del aire	Velocidad del aire 0,15m/s – 0,30m/s	4,50 m/s	5,20 m/s	5,90 m/s	4,80 m/s	4,20 m/s
Instalaciones eléctricas	CO ₂ : 1000kg	3731 kg/m ²				
	≥74MWh/a	51 MWh/a				

Modelado de la probeta virtual

Para el modelado BIM del bloque de aulas se utilizaron los planos del manual de construcción de las Unidades Educativas del Milenio. Una vez obtenido el modelo arquitectónico digital, se recurre a la información recolectada en la etapa uno, relacionada al análisis respecto a la zona climática, ubicación, geografía, características operativas, elementos del sistema de instalaciones y las especificaciones técnicas de los materiales que componen la envolvente de la edificación, tabla 4.

Tabla 4: Zonas climáticas del Ecuador [20].

ZONA CLIMÁTICA (Ecuador)	ZONA CLIMÁTICA (ASHRAE 90.1)	NOMBRE	CRITERIO TÉRMICO
1	1A	Húmeda muy calurosa	5000 < CDD10°C
2	2A	Húmeda calurosa	3500 < CDD10°C ≤ 5000
3	3C	Continental lluviosa	CDD10°C ≤ 2500 y HDD18°C ≤ 2000
4	4C	Continental templado	2000 < HDD18°C ≤ 3000
5	5C	Fría	CDD10°C ≤ 2500 y HDD18°C ≤ 2000 2000 < HDD18°C ≤ 3000 3000 m < Altura (m) ≤ 5000 m
6	6B	Muy fría	CDD10°C ≤ 2500 y HDD18°C ≤ 2000 2000 < HDD18°C ≤ 3000 5000 m < Altura (m)

Los elementos de la envolvente se configuran en el software Revit detallando su material principal, recubrimiento y acabado, en conjunto con valores de conductividad térmica, densidad y capacidad calorífica de cada uno de ellos. Información que es necesaria para generar una probeta virtual aproximada a la realidad. Las propiedades de los materiales se consideran según la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC [20] y se indican en la tabla 5.



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

Tabla 5: Especificaciones técnicas materiales de la envolvente.

Elemento	Material	Recubrimiento	Acabado	Conductividad térmica	Densidad	Capacidad Calorífica
Estructura	Hormigón armado Columnas y vigas. $H=240\text{kg}/\text{cm}^2$	Mortero de cemento	Pintura blanca de caucho látex vinyl acrílico.	1.63 W/mK	2400 kg/m ³	1050 J/kgK
	Hormigón armado losas. $H=240\text{kg}/\text{cm}^2$	Masillado de losa, incluye impermeabilizante.	Cerámica de piso de alto tráfico y antideslizante de clase A de 40x40.	1.3 W/mK	1.03 kg/m ³	836 J/kgK
Muros	Mampostería de bloque de concreto de 15x20x40cm	Mortero de cemento	Pintura blanca de caucho látex vinyl acrílico	0.10 W/mK	5.43 kg/m ³	850 J/kgK
Ventanas	Carpintería de aluminio.			0.34 W/mK	-	-
	Vidrio de 6mm.			0.9 W/mK	-	-
Cubierta	Cubierta de estructura metálica en patio interno	Policarbonato de 6mm		0.20 W/mK	1200 kg/m ³	1200 J/kgK
	Cubierta plana en bloques de aulas.	Masillado de losa, incluye impermeabilizante.		2.3 W/mK	2400 kg/m ³	1050 J/kgK

Con ello, se obtiene un modelado detallado del bloque de aulas seleccionado, figura 4, que permita realizar las evaluaciones energéticas del comportamiento térmico, lumínico, de ventilación y de instalaciones eléctricas. De manera que estos datos resultantes permitan generar una comparación con los parámetros óptimos planteados en las bases normativas, según la tabla 6, para finalmente, plantear acciones de mejora que beneficien al desarrollo de los alumnos en este tipo de ambiente educativo.



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

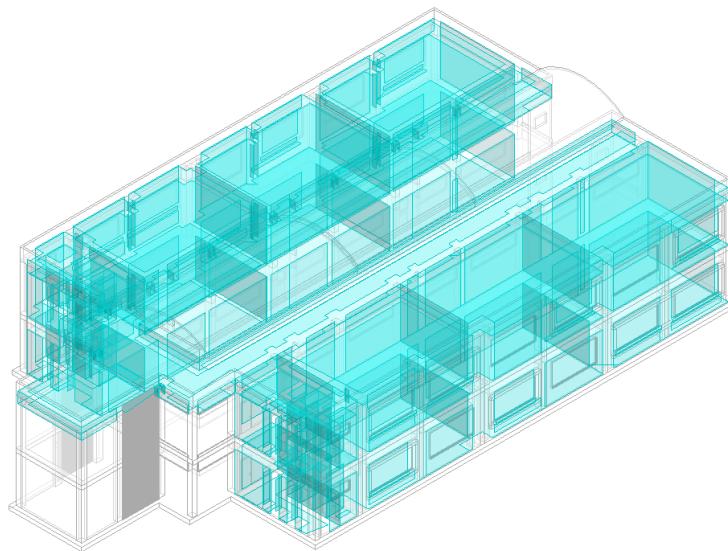


Figura 4: Modelado detallado del bloque de aulas, software Revit.

Tabla 6: Bases probeta virtual.

Objetivo	Base normativa	Herramienta	Resultado
Confort térmico. Es determinado por las condiciones internas en que los usuarios se encuentran cómodos.	- Norma Ecuatoriana de la construcción/Climatización. - Normas técnicas y estándares para la construcción y repotenciación de infraestructura educativa. - ASHRAE 55 - Guía de eficiencia energética para establecimientos educacionales.	Encuesta / probeta virtual.	Mediante la aplicación de las herramientas y bases normativas se debe conocer las condiciones internas de diseño. Las mismas que al estar direccionadas a la zona climática ecuatoriana número 3, debe contar con una temperatura bulbo seco interior de entre 30 y 23°C, y una humedad relativa entre 40 y 50%.
Calidad de aire y ventilación. Es la sensación de bienestar respiratorio dentro de los espacios.	- Norma Ecuatoriana de la construcción/Climatización. - Normas técnicas y estándares para la construcción y repotenciación de infraestructura educativa. - ASHRAE 62.1. - Guía de eficiencia energética para establecimientos educacionales.	Encuesta / probeta virtual.	Se busca conocer los parámetros actuales de calidad de aire y ventilación. Para ello mediante la aplicación de la probeta determinar si los rangos de velocidad actuales se encuentran dentro de la media admisible de 0,15m/s – 0,30m/s, y si se encuentra dentro de la categoría correspondiente (CAI2) de calidad de aire interior. Nivel máximo de CO ₂ =1000ppm.
Confort acústico. Esta determinado por el control contra el ruido de resto de ambientes.	- Guía de eficiencia energética para establecimientos educacionales.	Encuesta	Mediante la aplicación de encuestas se logró conocer que existía ruido proveniente de espacios colindantes y externos. Los niveles de confort acústico dentro de las aulas, debe ser menor o igual a 35 dB, y debe tener un tiempo de verberación igual a 0,7s.
Confort lumínico. Se encuentra ligado con la comodidad visual de los usuarios.	- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1153. - Normas técnicas y estándares para la construcción y repotenciación de infraestructura educativa. - Guía de eficiencia energética para establecimientos educacionales.	Encuesta / probeta virtual.	Para conocer los niveles de iluminación dentro de las aulas, mediante la aplicación de la probeta virtual se logrará obtener los niveles de luminancia, que deben oscilar entre 200 y 300 lux. De igual manera el factor luz día debe ser del 2%.

Factores analizados en la simulación energética

Mediante el modelado de la probeta virtual en el software Revit, se analizan e interpretan los resultados de la evaluación energética a través de diagramas y esquemas desarrollados en el modelo virtual. Los aspectos que se revisan relacionados al confort térmico, confort lumínico, calidad de aire y ventilación y el consumo energético son los siguientes:

- Confort térmico:

- Tasa metabólica
- Temperatura del aire
- Temperatura radiante

- Confort lumínico:

- Iluminación natural
- Cantidad y calidad de luz
- Fuentes de luz artificial

- Calidad de aire y ventilación:

- Velocidad del aire
- Humedad.

- Consumo energético:

- Cálculos de consumo energético

Evaluación del bloque seleccionado

Tomando en cuenta que el análisis del bloque seleccionado se realiza a nivel de envolvente por la influencia en el confort ambiental de la edificación, se realiza un estudio técnico constructivo de la misma, identificando los elementos que la componen, sus materiales y los daños que estos presentan, debido a que todo esto afecta de manera directa el correcto desarrollo del confort ambiental dentro de los espacios educativos, tabla 7.

Tabla 7. Análisis técnico constructivo de la envolvente.

Elemento	Material	Daños
Estructura	La estructura del bloque de aulas está compuesta por pórticos de hormigón armado. $h=240\text{kg/cm}^2$.	Existen daños en las losas. Fisuras que generan goteras.
Mampostería	La mampostería de los bloques de aulas está compuesta por bloque de concreto de $15 \times 20 \times 40\text{cm}$.	Existen cuarteaduras debido a asentamiento de tierra, humedad y hongos en los materiales. Genera problemas en el confort térmico, acústico y ventilación.
Cubierta	La cubierta del patio interno de policarbonato de 6mm, con estructura metálica. La cubierta de los bloques es losa plana de hormigón armado.	Las cubiertas no han sido impermeabilizadas, esto genera problemas en el confort térmico y calidad de aire.



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

Carpintería	La carpintería es de metal, y está compuesta por ventanas corredizas de aluminio y vidrio de 6mm, las puertas metálicas de tol.	La carpintería tanto de puertas y de ventanas generan puentes térmicos, rompiendo el aislamiento de la fachada y carpintería.
Pisos	En los pisos se emplea cerámica de piso de alto tráfico y antideslizante de clase A de 40x40.	Existe roturas en la cerámica de los distintos espacios.
Recubrimientos	El cielo raso de Gypsum para humedad y estructura metálica. El recubrimiento de las paredes es de pintura de caucho vinyl acrílico.	Daños en el Gypsum de cielos rasos por humedad, en las paredes existe desprendimiento de la pintura. Esto genera problemas en la transmitancia térmica de la envolvente.

Confort Térmico

La evaluación determina la temperatura interna de la edificación, la misma que oscila entre los 18 °C. Este rango es inferior al óptimo, principalmente a causa de la mínima ganancia solar. De la misma manera esta tiende a variar debido a la ganancia de calor humano que existe en su interior, relacionado con las propiedades de los materiales de la envolvente. El análisis promedio de este comportamiento térmico se ilustra en la figura 5 correspondiente del bloque.

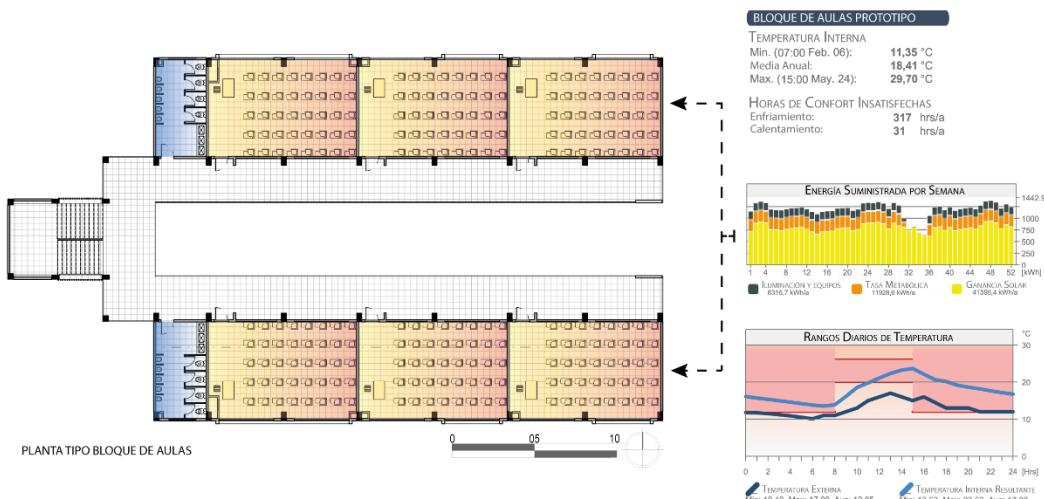


Figura 5. Análisis de confort térmico del bloque de aulas.



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

Confort Lumínico

La evaluación del confort lumínico está fuertemente influenciada por el emplazamiento y orientación de la edificación. A partir de este análisis, se determinó que las superficies vidriadas de la fachada norte no reciben iluminación solar directa en su totalidad. Es el área central de la ventana la que capta la mayor cantidad de luz solar directa, figura 6.



Figura 6: Análisis de confort lumínico fachada norte del bloque de aulas.

El análisis de la fachada muestra que las áreas de los extremos de las ventanas reciben la mayor cantidad de luz solar. Esto pone en evidencia una deficiencia en la entrada de luz solar a las aulas, atribuible tanto a los materiales utilizados en las ventanas como al porcentaje de superficie acristalada, figura 7.



Figura 7: Análisis de confort lumínico fachada sur del bloque de aulas.

Calidad de aire y ventilación

La evaluación revela que el porcentaje en el bloque de aulas alcanza el 60%, superando en un 10% el límite máximo establecido por la normativa. En cuanto a la velocidad del aire, se registra una variación, con una velocidad promedio de 11,80 m/s, figura 8.



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

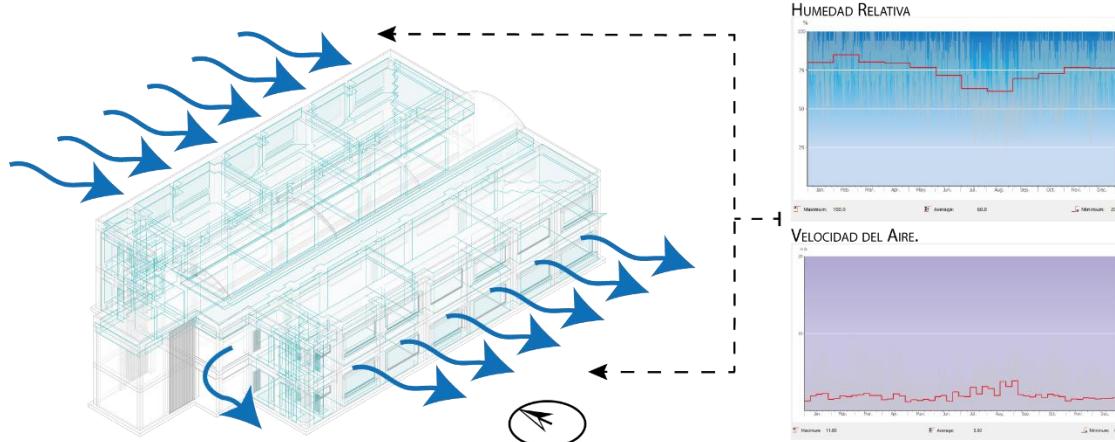


Figura 8: Análisis de calidad de aire y ventilación del bloque de aulas.

Consumo energético

El consumo energético del bloque de aulas se encuentra determinado principalmente por el consumo de energía eléctrica que consumen el tipo de luminarias que existen en las aulas de clases y en los pasillos. De igual manera, por el número de horas en las que estás se encuentran encendidas debido al déficit de iluminación natural. El análisis indica que el consumo energético es de 36MWh/a, siendo una cantidad elevada para un solo bloque de aulas, figura 9.

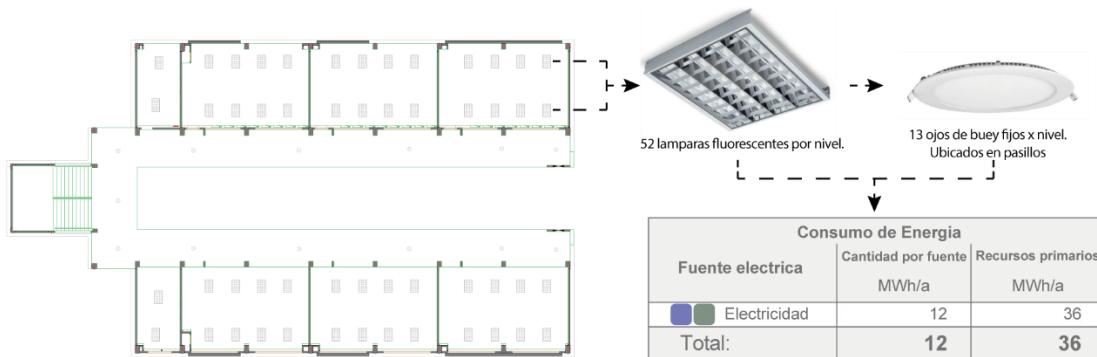


Figura 9: Análisis de consumo energético del bloque de aulas.

Acciones y estrategias de mejora

Considerando las deficiencias y problemas relacionados con el confort, según el análisis de la edificación, se proponen estrategias de mejora que aborden los componentes de la envolvente edificatoria, con el objetivo de mejorar el confort térmico, lumínico, la calidad del aire y la eficiencia energética del bloque de aulas. Antes de implementar estas estrategias, se identifican acciones para mitigar los problemas presentes en la envolvente del edificio, garantizando así la efectividad de las soluciones sugeridas, tabla 8.



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

Tabla 8: Acciones de mejora.

Problema	Descripción	Acciones de mejora
Infraestructura	Existen daños en las losas. Fisuras que generan goteras. Existen cuarteaduras debido a asentamiento de tierra, humedad y hongos en los materiales. Genera problemas en el confort térmico, acústico y ventilación. Rotura de pisos externos.	Reparación de fisuras y grietas en elementos estructurales y mampostería Disposición de impermeabilización de cubierta y cambio de cielos rasos con daños. Reemplazo de recubrimiento de pisos con daños.
Confort Térmico	Mediante el análisis se logró conocer la temperatura dentro de las aulas de clases es elevada debido a los materiales de la envoltura y por el número de usuarios dentro de las mismas. La temperatura interna en las aulas es de 17,88°C aproximadamente. Humedad relativa promedio dentro de las aulas 60%.	Muros: Fachada ventilada con aislamiento de poliestireno expandido, revoque exterior, y panel de fibrocemento. Cubiertas: Poliestireno expandido con una cobertura de pintura impermeabilizante. Carpintería: Marco de PVC y vidrio doble con cámara de argón. Disminuir altura de antepechos.
Confort Lumínico	Dentro de las aulas de clases existen reflejos provenientes de las fachadas de los demás bloques, lo que genera incomodidad en los estudiantes. De igual manera no existe la captación óptima de luz solar hacia el interior de las aulas.	Cielos rasos reflectivos que distribuyan la luz. Colores claros en las paredes a excepción del muro de pizarrón, en este caso aplicar colores opacos.
Calidad de aire Ventilación	La calidad del aire dentro de los espacios no es la óptima debido a que no existe la ventilación óptima de los mismos. Generando la presencia a su vez de olores desagradables.	Ventilación mecánica de techo, de alta eficiencia.
Instalaciones eléctricas	El consumo de energía eléctrica del bloque de aulas es elevado anualmente esto debido al tipo de luminarias que se emplean tanto dentro de las aulas y en los pasillos. Consumo anual de 51 MWh/a, debido a las características de la luminaria.	Reemplazo de las luminarias existentes por luminarias LED de alta eficiencia. Uso de sensores de ocupación dentro de las aulas. Emplear paneles fotovoltaicos monocristalinas de autoconsumo en las cubiertas. Sensibilización del uso adecuado del consumo eléctrico.

Una vez planteadas las acciones preliminares, se determinan estrategias de mejora orientadas a cada tipo de confort evaluado, tabla 9. Con el fin de potenciar el rendimiento de la envoltura del bloque de aulas, se propone reforzar la envoltura opaca del edificio mediante un aislamiento continuo y la implementación de una fachada ventilada, utilizando poliestireno expandido tanto en muros como en cubiertas. Además, se sugiere la sustitución de las ventanas actuales por carpinterías de PVC y vidrios de alta eficiencia. Para mejorar los valores de confort lumínico en las aulas, se recomienda el uso de tonos claros en las paredes y, para mejorar la calidad del aire y la ventilación, la incorporación de ventiladores de techo. A nivel de instalaciones eléctricas, se plantea reemplazar las luminarias fluorescentes por LED y la instalación de paneles fotovoltaicos en la cubierta, con el objetivo de generar energía in situ y reducir el consumo eléctrico.



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

Tabla 9: Propiedades de los materiales de las estrategias de mejora.

Elemento	Estrategia	Material	Propiedades		
Confort térmico	Cubierta	Aislamiento continuo	Conductividad térmica Aislamiento: Poliestireno expandido	16,18 kg/m ³ 0,0357 W/mK	0,45 %
		Recubrimiento: Mortero impermeabilizante.	0,05 W/mK	1650 kg/m ³	6,2 %
		Acabado: Pintura	0,037 W/mK	1 kg/m ³	10 %
Confort térmico	Muros	Aislamiento continuo	Aislamiento: Poliestireno expandido.	16,18 kg/m ³ 0,0357 W/mK	0,45 %
		Recubrimiento: Mortero de cemento.	0,05 W/mK	1650 kg/m ³	6,2 %
		Cámara de aire	0,6 W/mK	-	-
Confort Lumínico	Carpintería	Rotura de puentes térmicos	Acabado: Placa de fibrocemento.	1 W/mK Marco de PVC.	1112 kg/m ³ 2,23 W/mK
		Vidrio doble de baja emisión.		1,62 W/mK	-
				Conductividad térmica	Densidad
Calidad de aire y ventilación	Cielos rasos reflectivos	Material: Gypsum	0,25 W/mK	900 kg/m ³	20,93 %
		Colores claros en paredes	Acabado: Pintura	1 kg/m ³	30 %
Instalaciones eléctricas	Ventilación mecánica	Ventilador de techo de alta eficiencia	70 w	2 años	-
		Luminarias de alta eficiencia	60 w	3000 h	6500 k
Instalaciones eléctricas	Disminución consumo eléctrico	Sensores de ocupación.	6 w	1 año	-
		Paneles fotovoltaicos monocristalinos.	150 w	15-20 años	-

Para verificar que estas acciones mejoran los parámetros de confort en el bloque de aulas, se incorporan en la probeta virtual los datos de los materiales y elementos a utilizar, incluyendo sus propiedades térmicas, densidad, vida útil, potencia, entre otros y se evalúan mediante el software para determinar el comportamiento energético del bloque de aulas una vez intervenido.

RESULTADOS

Estado actual

Luego de la evaluación del bloque de aulas y de analizar los resultados actuales de los parámetros de confort con lo estipulado en las bases normativas, se determinó que UEM, no cumple con los niveles óptimos para garantizar el adecuado desarrollo de los alumnos en el entorno educativo de la edificación. Este desajuste en el confort se atribuye a las propiedades de los materiales que forman la envolvente y a problemas



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

inherentes en ella, influenciando directamente en la transmitancia térmica adecuada, la calidad del aire interior, la iluminación y la eficiencia energética. La tabla 10, muestra los resultados en comparación con las bases normativas.

Tabla 10: Resultados evaluación según parámetros de confort.

	Bases normativas	Resultado
Confort Térmico	Temperatura interna: 23-30°C	Temperatura interna: 17,88°C
	Humedad relativa: 40-50%	Humedad relativa: 60%
Confort Lumínico	Niveles de iluminación: 300-2000 lúmenes	Niveles de iluminación: 300-3500 lúmenes
Calidad de aire	Velocidad del aire: 0,15-0,30 m/s	Velocidad del aire: 0,59 m/s
	Porcentaje de aberturas: 10-30%	Porcentaje de aberturas: 13%
Instalaciones eléctricas	Consumo energético total: 30 - 344 MWh/a	Consumo energético bloque: 51 MWh/a

Estrategias de mejora

Con el objetivo de lograr la optimización del confort y la eficiencia en el equipamiento seleccionado, se plantearon diversas estrategias de mejora que permitan mantener rangos óptimos de confort en los espacios según las bases normativas mencionadas en la tabla 6. Estas estrategias, conceptualizadas a partir del análisis de las condiciones actuales del bloque de aulas, fueron evaluadas en la probeta virtual de la edificación, permitiendo simular sus impactos en relación a las normativas. Los resultados obtenidos de la evaluación de la propuesta muestran la viabilidad y eficacia de cada estrategia, figuras 10, 11, 12 y 13.

Confort térmico - propuesta

Luego de implementar las estrategias de mejora en el confort térmico, como la aplicación de aislamiento continuo de poliestireno expandido en muros y cubiertas, así como la renovación de carpinterías y vidrios para romper los puentes térmicos, se observaron cambios significativos. La temperatura interna del bloque de aulas aumentó a 24,06°C, mientras que la ganancia solar se redujo a 22,97 MWh/a, estos valores se encuentran dentro de lo propuesta en la normativa.



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



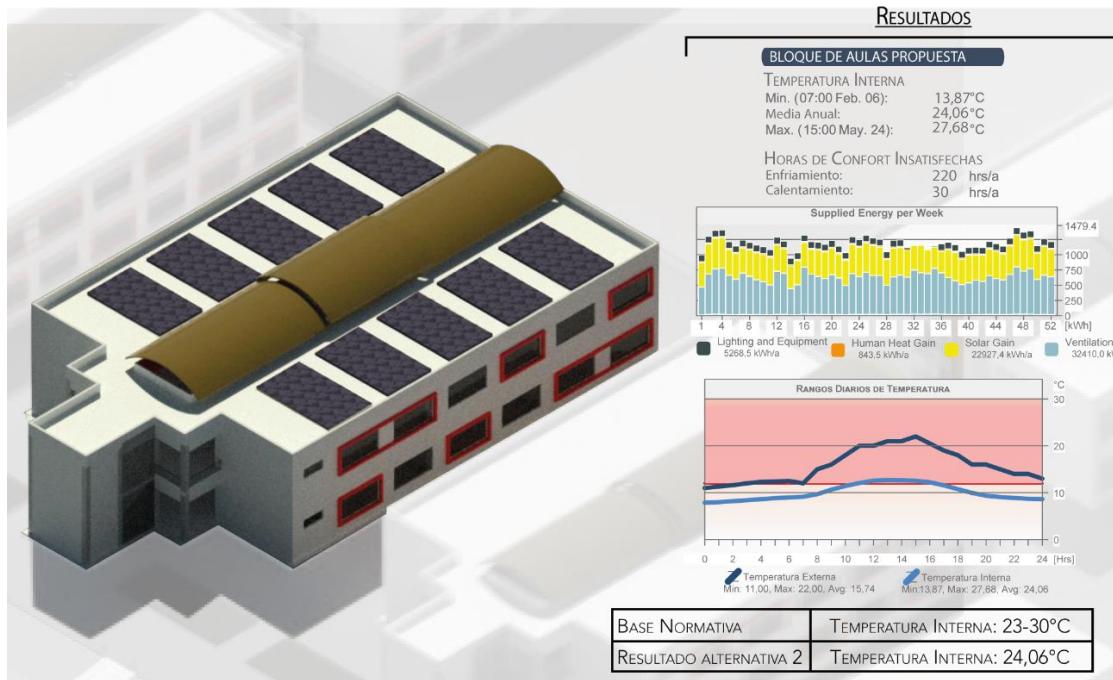


Figura 10: Resultados evaluación confort térmico propuesta.

Confort lumínico – propuesta

A partir de las modificaciones sugeridas y la aplicación de las estrategias propuestas, los resultados muestran mejoras significativas en la iluminación natural del bloque de aulas. La implementación de un cielo raso reflectivo y el uso de colores claros en las paredes permiten una distribución más eficiente de la luz solar en toda el aula. Como resultado, los niveles de iluminación se situaron entre 300 y 1200 lux.

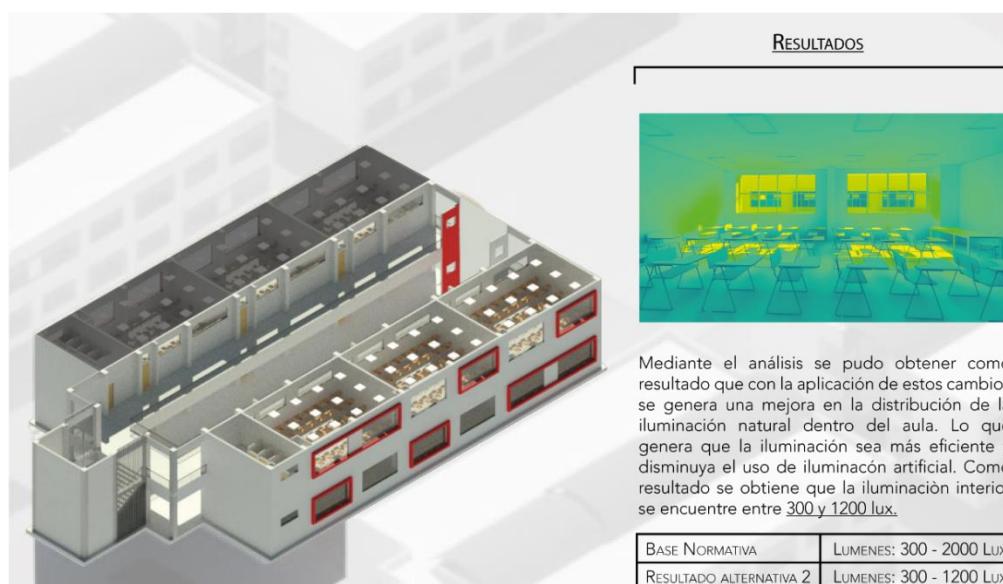


Figura 11: Resultados evaluación confort lumínico propuesta.



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

Mejoramiento calidad de aire

Mediante la propuesta de implementación de ventiladores mecánicos de techo, se optimizan las temperaturas internas del aula. Esto permitió mantener la humedad relativa en niveles ideales para el adecuado desarrollo de los alumnos, logrando una reducción hasta el 50%.

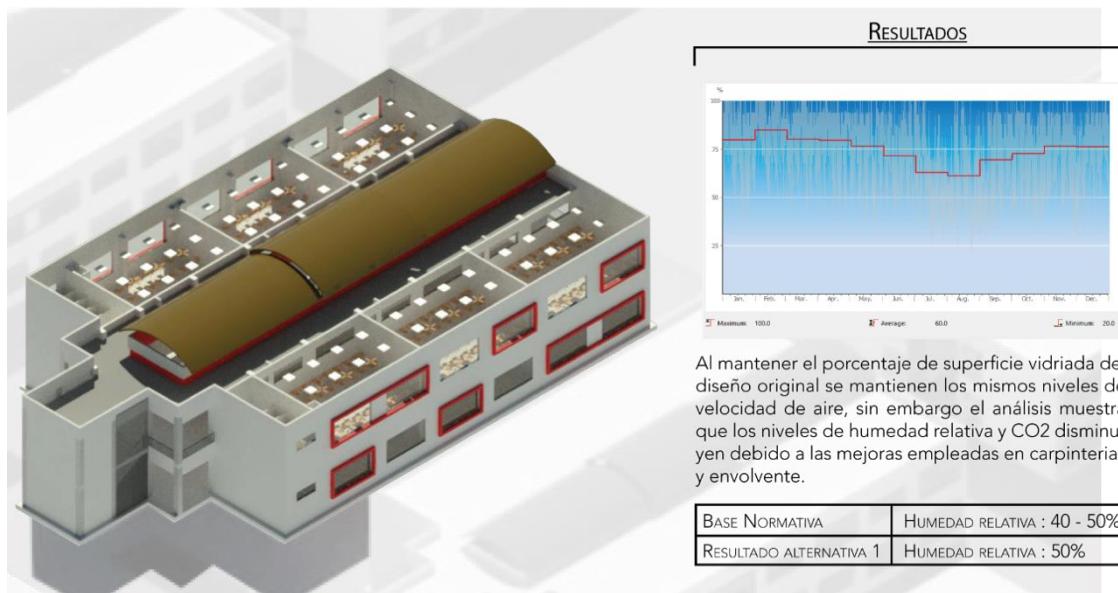


Figura 12: Resultados evaluación calidad de aire.

Consumo energético - propuesta

Para reducir el consumo energético, se propone optar por luminarias de alta eficiencia y, adicionalmente, instalar paneles fotovoltaicos en la cubierta. Gracias a estas medidas, el consumo eléctrico se redujo a 30MWh/a con el uso de luminarias eficientes. La energía producida de los paneles fotovoltaicos resultante es de 21 MWh/a, lo que lleva a un consumo neto de energía eléctrica convencional de 9MWh/a.



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

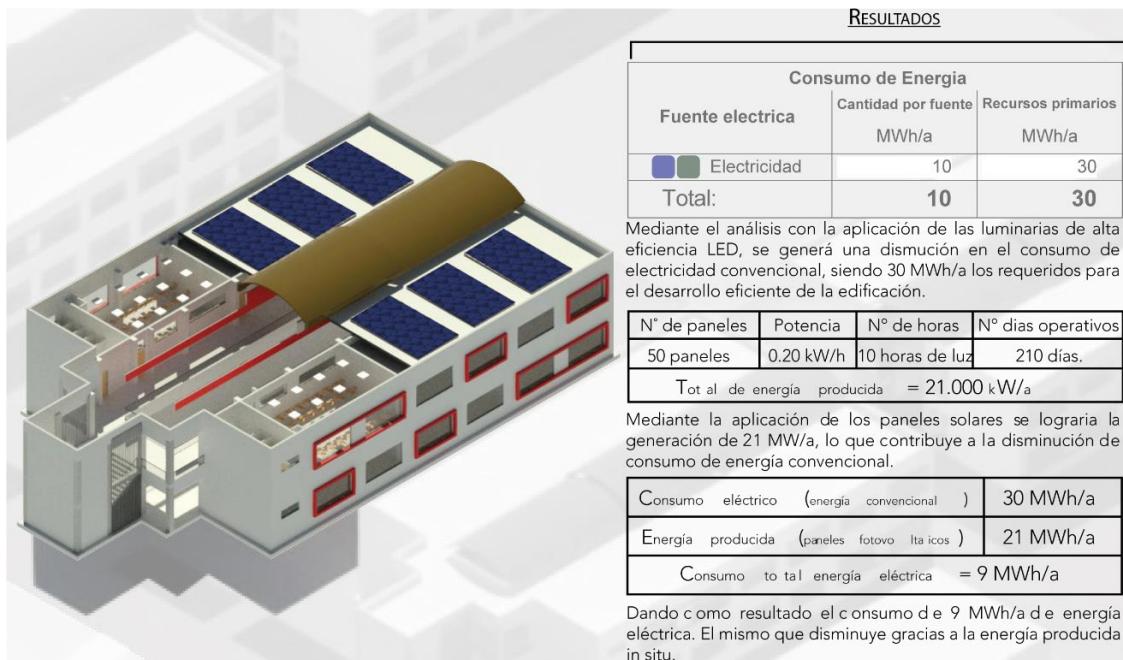


Figura 13: Resultados evaluación consumo energético propuesta.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El desafío por diseñar y construir de manera eficiente ha tomado mucha importancia en los últimos años, buscando garantizar entornos propicios para el desarrollo de actividades y reducir el impacto ambiental. El uso de técnicas avanzadas, como el 6D BIM, se ha destacado como una opción efectiva para analizar y mejorar la eficiencia energética de los edificios [9]. Sin embargo, frecuentemente las edificaciones no cumplen con los parámetros de confort definidos en normativas locales o internacionales, lo que resulta no solo en ambientes no propicios para el desarrollo de actividades, sino también en un elevado consumo de energía. Estos problemas, están asociados a la deficiente calidad de diseño y construcción de las edificaciones [3].

Mediante el planteamiento de una metodología estructurada y sistemática, este estudio no solo se enfocó en identificar los problemas presentes en la edificación analizada, sino que también propone soluciones prácticas y comprueba su efectividad, buscando sugerir estrategias que puedan ser replicadas y que sean energéticamente óptimas en edificaciones similares.

Dentro del contexto ecuatoriano, las Instituciones Educativas del Milenio enfrentan retos asociados a su diseño infraestructural prototípico. Aunque se consideran estándares estructurales, hidrosanitarios, mecánicos, eléctricos y ambientales durante su diseño y construcción, es evidente una insuficiente atención hacia el desempeño energético de la edificación y los criterios de confort. Esta omisión es particularmente preocupante dadas las variaciones inherentes a los distintos pisos climáticos del país [21], que podrían requerir adaptaciones específicas al replicar estas estructuras a nivel nacional. Esta observación invita a una reevaluación y adaptación de los criterios de diseño para este tipo de edificaciones.



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

La revisión de normativas permitió identificar las regulaciones fundamentales y los niveles ideales de confort requeridos en entornos educativos para lograr procesos de enseñanza y aprendizaje eficaces [1], [11], [20]. Estos valores incluyen confort térmico (23-30°C), iluminación (300-2000lux), calidad del aire (40-50% de humedad relativa) y consumo energético (valor promedio 270 MWh/a de una unidad educativa). Estos valores sirvieron como guía para la evaluación del estado actual y la propuesta de mejoras en el bloque prototípico de aulas de la institución educativa.

Trabajar con una probeta virtual detallada dentro del entorno de la metodología 6D BIM, permite abordar el análisis desde el punto de vista de la eficiencia energética de la edificación [20]. En el caso del bloque de aulas prototípico seleccionado, al comparar los valores con los estándares normativos, se identificaron deficiencias, en términos de comportamiento térmico el rango por debajo de los 5°C, respecto al confort lumínico los valores se encuentran entre 300 – 3500 lúmenes, la calidad de aire con un valor de 60% de humedad relativa y se observó que la edificación tiene un consumo eléctrico elevado de 51 MWh/a, que multiplicado por los bloques que conforman la unidad educativa superaría los valores recomendados. Todas estas deficiencias influyen directamente en el confort ambiental de la edificación y en el desempeño de los usuarios [4].

En el marco de las propuestas de mejora, se implementaron estrategias dirigidas a mejorar el confort de acuerdo con las normativas mencionadas anteriormente, del bloque prototípico analizado. Estas estrategias se sometieron a evaluación mediante el modelo virtual, revelando resultados significativos en términos de rendimiento. Específicamente, se observó un incremento de 6.18 °C en la temperatura interna, lo cual favorece el confort térmico de la edificación. Además, se logró una reducción de 2300 lúmenes en la iluminación, previniendo deslumbramientos. En cuanto a la calidad del aire y ventilación, la humedad relativa experimentó una disminución del 10%. Adicionalmente, se consiguió una reducción en el consumo eléctrico de la edificación a 42 MWh/a. Es decir, la propuesta de rehabilitación energética para el bloque de aulas prototípico de la UEM Bernardo Valdivieso de Loja, consiguió que la edificación alcanzara los niveles adecuados de confort manteniendo los mismos dentro de los parámetros expuestos por las normativas tomadas como referencia, lo que refuerza la viabilidad y eficacia de las estrategias propuestas.

En conclusión, este artículo describe la metodología empleada para llevar a cabo la evaluación del comportamiento energético de un bloque de aulas prototípico de la UEM Bernardo Valdivieso de la ciudad de Loja, mediante el enfoque 6D BIM, se presentan los resultados obtenidos en relación con las normativas nacionales e internacionales, y se proponen medidas específicas para la rehabilitación energética de la infraestructura estudiada. La contribución de este estudio radica en la aplicación integrada de tecnologías BIM y en el planteamiento de estrategias de eficiencia energética de edificaciones, que puedan ser replicables, con implicaciones no solo en el rendimiento de las edificaciones, sino también en la promoción de entornos sostenibles y habitables.



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

APORTE DEL ARTÍCULO EN LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Este artículo contribuye al estudio y aplicación de 6D BIM para la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE CADA AUTOR

David Sánchez Ramón: Levantamiento de información, simulación y análisis de probeta virtual para la evaluación del estado actual y propuesta de rehabilitación energética de la edificación. Redacción del artículo

Claudia Costa-De los Reyes: Tutoría, seguimiento y revisión de la investigación. Estructura y redacción del artículo.

REFERENCIAS

- [1] ASHRAE, "Interactions affecting the achievement of acceptable indoor environments (ASHRAE Guideline 10-2016)," Atlanta, USA, 2016.
- [2] A. González-Cáceres, A. Bobadilla, y J. Karlshoj, "Edificación y Medio Ambiente Implementación de evaluación post-ocupación en vivienda social complementada con BIM: Un caso de estudio en Chile," pp. 260–280, 2019.
- [3] T. Moore et al., "Benefits and challenges of energy efficient social housing," Energy Procedia, vol. 121, pp. 300-307, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.08.031
- [4] L.C. Júnior, A.V. Carvalho, y D.E. Alves, "Condições de conforto ambiental para usuários: estudo de caso realizado na Biblioteca Central Zila Mamede/UFRN," Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia.
- [5] P. Li, T. M. Froese y G. Brager, "Post-occupancy evaluation: State-of-the-art analysis and state-of-the-practice review," Building and Environment, vol. 133, pp. 187-202, 2018. doi: 10.1016/j.buildenv.2018.02.024.
- [6] F. Araya, "Estado del arte del uso de BIM para la resolución de demandas en proyectos de construcción," Revista Ingeniería de Construcción, vol. 34, no. 3, pp. 299-306, 2019. doi: 10.4067/S0718-50732019000300299.
- [7] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks y K. Liston, "BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors," John Wiley & Sons, 2018.
- [8] J. Salinas y G. Prado, "Building information modeling (BIM) to manage design and construction phases of Peruvian public projects = Building information modeling (BIM) para la gestión del diseño y construcción de proyectos públicos peruanos," Building & Management, vol. 3, no. 2, pp. 48-59, 2019. doi: 10.20868/bma.2019.2.3923.



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir

- [9] F. J. Montiel-Santiago, M. J. Hermoso-Orzáez y J. Terrados-Cepeda, "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*, vol. 12, no. 14, p. 5731, 2020. doi: 10.3390/su12145731.
- [10] N. Castaño y A. Burbano, "Arquitectura y Educación. El tercer maestro: la dimensión espacial del ambiente educativo y su influencia sobre el aprendizaje," Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, 2021.
- [11] Agencia Chilena de Eficiencia Energética, "Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educacionales," Primera edición, CITEC UBB, 2012.
- [12] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, "Informe de seguimiento y evaluación del proyecto Unidades Educativas del Milenio Zona 4-Pacífico," 2013.
- [13] G. Ledesma Hidalgo y R. Rivera Lara, "Análisis de confort térmico en escuelas del milenio. Caso: Quito y Babahoyo," *Eidos*, no. 11, 2018. doi: 10.29019/eidos.v0i11.408.
- [14] Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, "Guía del estándar Passivhaus," 2012. [Online]. Disponible en: www.madrid.org.
- [15] M. Valverde-López, "Arquitectura tropical y educación musical: pautas de confort ambiental," *Revista Tecnología En Marcha*, vol. 27, pp. 68-76, 2014. doi: 10.18845/tm.v27i0.2150.
- [16] N. Díaz y A. Vogt, "La envolvente opaca y el aislamiento: Minimizar pérdidas," en "Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi nulo," Madrid, 2011.
- [17] Cámara Chilena de la Construcción, "Guía inicial para implementar BIM en las organizaciones," 1^a edición, 2017.
- [18] A. Ibáñez Archilla, "Guía de implementación BIM enfocada en la dimensión 6D," 2021.
- [19] Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, "Guía Técnica BIMAT para la arquitectura técnica," 2020. [Online]. Disponible en: https://www.cgate.es/pdf/wBIMAT_compressed.pdf.
- [20] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, "Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales (EE). Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC," 2018. [Online]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/4.-NEC-HS-Eficiencia-Energetica.pdf>.
- [21] UNESCO Office Montevideo and Regional Bureau for Science in Latin America and the Caribbean, "Atlas pluviométrico del Ecuador," Guayaquil, 2010. ISBN: 978-92-9089-140-6.



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>

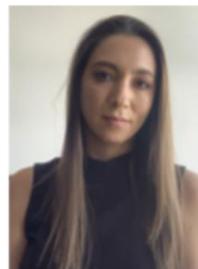


Compartir

NOTA BIOGRÁFICA



David Sánchez Ramón. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0009-0000-6273-0760>
Arquitecto por la Escuela de arquitectura, Universidad Internacional del Ecuador, sede Loja.



Claudia Costa-De los Reyes. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0001-6389-3094>
Master en Construcciones por la Universidad de Cuenca y Arquitecta por la misma universidad. Docente/investigadora de la Universidad Internacional del Ecuador sede Loja, miembro del grupo de investigación Arquitectura y tecnologías de la edificación sustentable ARQ-TES. Áreas de investigación relacionadas a la sostenibilidad, arquitectura y construcción.



This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.



Sánchez & Costa. Aplicación del enfoque 6D Bim en la evaluación y propuesta de rehabilitación energética en la infraestructura educativa pública.

Julio – Diciembre 2023.

<https://doi.org/10.33210/ca.v12i2.434>



Compartir