

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/index>
www.ucr.ac.cr / ISSN: 2215-2652



Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
ENERO/JUNIO 2025 - VOLUMEN 35 (1)



Metodología BIM 6D como herramienta para evaluar confort térmico aplicado a centros educativos costarricenses

BIM 6D methodology as a tool to evaluate thermal comfort in Costa Rican schools

Luis Alejandro Quirós Avendaño ¹, Nidia Cruz Zúñiga ²

¹ Graduado de licenciatura, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
correo: alejandroquiros700@gmail.com

² Docente catedrática e investigadora, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
correo: nidia.cruz@ucr.ac.cr

Palabras Clave:

BIM 6D, centros educativos, confort térmico, modelado de infraestructura, sostenibilidad.

Resumen

La tecnología facilita la toma de decisiones en materia de diseño de infraestructura, en particular, para sopesar diferentes escenarios climáticos a los que puede estar expuesta una obra. Específicamente, el diseño y la construcción de infraestructura educativa en el país plantea retos relevantes en materia de sostenibilidad y confort. En esta investigación, se implementó la metodología BIM 6D para evaluar el confort térmico en tres planos tipo del MEP, en diferentes ubicaciones del país: Nicoya, Pavas y Limón. Se evaluó la pertinencia del uso BIM –análisis energético– para estimar el confort térmico en edificaciones, aplicado a los casos de estudio señalados, mediante programas de modelado 3D como SketchUp y la aplicación OpenStudio para el análisis 6D. Entre los principales resultados, sobresale que los planos tipo genéricos actuales no responden a las diferentes necesidades del estudiantado en las diversas zonas climáticas del país estudiadas, ni fueron concebidos tomando en cuenta las disímiles realidades de los entornos donde se van a construir. Se concluyó que la incorporación de cambios de materiales de techos y paredes mejora la situación de confort actual, lo cual demuestra la necesidad de rediseñar estos planos para lograr temperaturas confortables. Esta investigación destaca la importancia de la metodología BIM 6D en la planificación eficiente de espacios educativos; además, puede ser replicable en sus conclusiones y aplicarse a otros tipos de infraestructura pública de servicios donde deban albergarse personas.

Recibido: 22/05/2024
Aceptado: 02/09/2024

Keywords:

BIM 6D, building information modelling, educational center, thermal comfort, green construction, sustainability.

Abstract

Technology facilitates decision-making regarding infrastructure design, in particular, to weigh different climatic scenarios to which a work may be exposed. Specifically, the design and construction of educational infrastructure in the country present relevant challenges in terms of sustainability and comfort. In this research, the 6D BIM methodology was implemented to evaluate thermal comfort in three typical MEP plans across different locations in the country: Nicoya, Pavas, and Limón. The relevance of using BIM –energy analysis– to estimate thermal comfort in buildings, applied to the indicated case studies, was evaluated, using 3D modeling programs such as SketchUp and the OpenStudio application for 6D analysis. Among the main results, it was noted that the current generic type plans do not respond to the different needs of the student body in the different climatic zones studied in the country, nor were they conceived taking into account the diverse realities of the environments where they will be built. It was concluded that incorporating changes in ceiling and wall materials improves the current comfort conditions, demonstrating the need to redesign these plans in order to achieve comfortable temperatures. This research highlights the importance of the 6D BIM methodology in the efficient planning of educational spaces; in addition, its conclusions can be applied to other types of public service infrastructure where people must be housed.

DOI: 10.15517/ri.v35i1.60089



1. INTRODUCCIÓN

El cuarto Objetivo del Desarrollo Sostenible (ODS) señala que la educación de calidad requiere un conjunto de condiciones y oportunidades de aprendizaje para el estudiantado. Dentro de estas circunstancias, está la de contar con ambientes agradables térmica y lumínicamente en los centros educativos, pues un entorno con temperaturas adecuadas facilita el rendimiento del estudiantado y optimiza el desenvolvimiento de las actividades escolares. Diversas investigaciones así lo señalan [1]. Sin embargo, hasta antes de la aparición de software especializado, algunos análisis de escenarios eran costosos y demandaban mucho tiempo y recursos, los cuales en ocasiones no eran tan accesibles en las instituciones públicas para la toma de decisiones.

La Dirección de Infraestructura Educativa (DIE) del Ministerio de Educación Pública de Costa Rica (MEP) es la entidad encargada de diseñar, construir y supervisar la infraestructura educativa del país. Esta dependencia decidió en 2016 publicar unos planos tipo que contienen un esquema universal de diseño de las edificaciones modelo para la construcción de centros educativos, con el objetivo de ser emplazado en cualquier parte del país. Para ello, un equipo profesional desarrolló planos típicos por módulos, contemplando las aulas, las baterías sanitarias y los comedores, cuya disposición espacial depende de las necesidades poblacionales, así como de las condiciones de forma y tamaño del terreno donde se situarían. De esta forma, la cantidad de alumnos que se tengan en un proyecto en particular se satisface por repeticiones de estos módulos según demanda.

Ahora bien, estos planos, aunque han sido funcionales en apresurar el proceso de diseño de cada nuevo centro educativo, estandarizan muchas otras variables que deberían ser contempladas, más allá de replicar módulos según demanda y considerando los contextos específicos. En ese sentido, al diseñar y luego aplicar estos modelos de forma estandarizada, no se contempla cómo cambian las condiciones climáticas y cómo esas variaciones pueden influir en la calidad de la educación que reciben las personas estudiantes, además de afectar a quienes imparten las lecciones o realizan las demás labores administrativas propias de estos espacios.

La DIE es consciente de los problemas que estos modelos tipo están trayendo a la calidad y confort de los centros educativos, por lo que en 2021 se acercan a la Universidad de Costa Rica con el objetivo de realizar algunas evaluaciones a los planos tipo, a fin de buscar recomendaciones para las mejoras y adaptaciones requeridas. Ante esta situación, se decidió, por un lado, comprobar si el uso del BIM conocido como 6D (simulaciones de eficiencia energética) podía resultar un método eficaz y eficiente a la hora de evaluar dichos módulos en distintas condiciones climáticas, en cuanto a su funcionalidad térmica, y, por otro, valorar si un diseño generalizado es funcional para ser utilizado en todo el país. Adicionalmente, se tenía como objetivo secundario demostrar la eficiencia que tiene el uso de software especializado para optimizar el diseño de infraestructuras que van a ser de gran replicabilidad, en cuanto a su rendimiento energético y condiciones de confort interior.

En relación con la sexta dimensión (6D) del BIM, en esta, se abarcan simulaciones de comportamiento energético y sustentabilidad [2], lo cual busca establecer un ambiente virtual donde se modelan las edificaciones, sus dimensiones, materiales y grosores. Esto con el fin de determinar el comportamiento de la envolvente interior en cuanto a calidad de aire y confort. En esta investigación, se utiliza esta metodología para valorar su idoneidad para la toma de decisiones técnicas y tecnológicas para optimizar consumos de energía.

El desarrollo de la modelación 6D ofrece información sobre el cumplimiento del cuarto Objetivo de los ODS, en cuanto se propone determinar el comportamiento de módulos aplicando programas computacionales especializados que simulan las condiciones que perciben las personas que ocupan estos inmuebles. De esta forma, el modelado de la infraestructura utilizando diversos programas computacionales puede dar luces de si los ambientes diseñados son adecuados para el fin para el que fueron concebidos. Específicamente, en los planos del caso de estudio, se buscó determinar si los espacios al interior de los centros educativos que se vayan a construir con los planos tipo cumplirían con ser aptos para una educación de calidad y comprobar si alcanzan un adecuado ambiente interior para el estudiantado y sus docentes.

Según se indica en el Informe del Estado de la Educación [3], para el año 2020, el monto invertido en educación sufrió, en términos reales, una caída de un 8 % con respecto al 2019 y, dentro de los rubros más afectados, estuvo la infraestructura. Esto implica una afectación en la expansión de la cobertura y en la calidad del servicio ofrecido; además, ha limitado la posibilidad de personalizar los diseños de acuerdo con las condiciones de cada nuevo centro educativo. Por lo anterior, cuidar el gasto en la infraestructura es un asunto importante que evidencia la pertinencia del tema de investigación acá expuesto.

Las grandes ventajas que ofrece la metodología BIM han provocado que, a nivel mundial, su uso haya incrementado constantemente [4]. En los últimos años, ha tenido un crecimiento escalado en inversión hacia servicios y programas computacionales. Durante este tiempo, ha existido una gran inserción de esta tecnología en el mundo de la construcción, ya que, desde diversos sectores, se ha empleado de manera diferente y en varios grados. Las empresas cada vez hacen mayor uso de las capacidades que ofrece. Incluso, en Europa, varios gobiernos han hecho obligatorio el uso de BIM en el diseño y construcción de nuevos edificios gubernamentales [5].

Actualmente, el gobierno de Costa Rica se encuentra trabajando bajo la misma línea y, para ello, se está preparando una estrategia para la adopción de BIM en el país [6]. El Gobierno, por medio del Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (Mideplan), generó un documento donde muestra los principales lineamientos para lograr incorporar esta metodología en el país y que se describen en la Hoja de Ruta para la adopción de BIM en Costa Rica [7]. Por su parte, a nivel nacional diferentes representantes de los principales sectores pertenecen a mesas de trabajo que se enfocan en el desarrollo del capital humano,

academia y liderazgo. Sin embargo, el Ministerio de Educación Pública se encuentra dentro de las instituciones que deberán adoptar BIM en los próximos años, según consta en la antes mencionada Hoja de Ruta para la adopción de BIM en Costa Rica [7], aunque no se tienen los suficientes recursos para hacerlo. Es ahí donde, para fomentar eficiencias con el uso de estas tecnologías, las universidades velan por la adopción y preparación de nuevos usuarios y por investigar en estos temas.

Asimismo, en Costa Rica, desde 2017, se ha presentado un impulso de la metodología BIM por parte de la Cámara Costarricense de la Construcción, a través de un comité técnico conocido como BIM Forum. Su misión es ubicarse como un referente en Costa Rica para la difusión, capacitación y desarrollo de buenas prácticas [8]. Sin embargo, la promoción del BIM ha llegado lentamente a las instituciones públicas y no se tienen muchas experiencias concretas de su aplicación.

2. METODOLOGÍA

Para evaluar el confort térmico de las edificaciones que eventualmente se construyan con los planos tipo de la DIE, se seleccionaron los tres módulos base que se usan prácticamente en todo centro educativo: módulo de aulas, módulo de batería de servicios sanitarios y módulo de comedor. Posteriormente, se definieron tres potenciales emplazamientos para un centro educativo típico, los cuales representan los tres casos de estudio, cada uno determinado por una zona climática diferente. Para seleccionar los emplazamientos, se buscó tener representatividad de climas y seleccionar aquellos puntos donde se contaba con información climática detallada y gratuita; por ello, se decidió trabajar con Nicoya, Pavas y Limón, con datos disponibles en la página del Instituto Meteorológico de Costa Rica.

La investigación consistió en tres etapas: la recopilación de información, el modelado 3D y 6D y los ciclos de simulaciones 6D con sustitución de parámetros. A continuación, se detalla lo incluido en cada etapa.

A. Recopilación de información base

En esta sección, se consultó la información base de fuentes secundarias necesaria para desarrollar este proyecto. Se debió examinar y detallar los planos de los tres módulos con el fin de detectar materiales, métodos constructivos y detalles importantes para ser considerados en las modelaciones. Se consultó la normativa técnica, que cumplió una función vital, porque permitió comparar los resultados obtenidos con parámetros internacionales. Además, en esta etapa, se investigó en fuentes disponibles potenciales aplicaciones y funciones que se pueden desarrollar por medio de los programas y que permiten integrar la metodología BIM.

Como parte de los alcances de esta etapa, se elaboró el plan de ejecución BIM, tal como se recomienda en la literatura [8]-[10] y se determinaron los alcances de la modelación. En este caso, como corresponden a infraestructuras hipotéticas, se realizan las

modelaciones de los edificios desde la simulación y con criterios técnicos generales para estimar el rango de confort térmico. Se decidió inspeccionar los estándares de compatibilidad y la búsqueda de oportunidades para optimizar el diseño propuesto, con el fin de reducir los costos del ciclo de vida de los centros educativos y mejorar la precisión de las predicciones del edificio, como geometrías, volúmenes, entre otros. Sin embargo, según Lacomba [11], para conseguir resultados más precisos, se debe empezar a aplicar las simulaciones desde los primeros diseños, ya que, conforme avanza el proyecto, existe una mayor dificultad para hacer cambios conceptuales, tales como orientación o forma de la edificación.

Para la descripción del nivel de desarrollo (LOD), se siguió la clasificación diseñada y presentada en el BIM Forum Costa Rica [8] y anteriormente mencionada por Lacomba [12], que utiliza una referencia para generar una categorización de las representaciones tridimensionales de los elementos y su información contenida. Se planteó emplear un modelo arquitectónico con un LOD de 300, que reflejara los detalles suficientes para identificar claramente los elementos presentes de los centros educativos.

B. Modelado BIM 3D y 6D

Durante esta etapa, se revisaron primeramente los planos 2D del aula, la batería sanitaria y el comedor. En el Apéndice I del material suplementario, pueden consultarse algunos detalles de los planos que se procesaron para el modelado. Se detalló un listado general de los materiales con el fin de conocer especificaciones, densidades y conductividad térmica, entre otras propiedades. Se continuó con el desarrollo del plan de ejecución BIM, en el que se tomó en cuenta los detalles de los planos y el objetivo que se debía desarrollar para definir el nivel de alcance de la modelación [6], [10]. Como parte del desarrollo del BIM, se implementó el uso de este método correspondiente al modelado tridimensional, para generar el modelo arquitectónico de los tres módulos por separado como edificaciones independientes.

Para este modelo, se utilizó el software SketchUp, donde se empleó la información de los planos y los datos recolectados acerca de las especificaciones de los materiales. Con estos modelos desarrollados en SketchUp, se procedió a exportar el archivo hacia OpenStudio, en el que se realizó el análisis 6D. Es importante destacar que se logró trabajar por medio del *plug-in* de OpenStudio para SketchUp. Dicha herramienta permitió hacer la conexión entre el modelo 3D y el inicio del desarrollo del 6D, que es una función gratuita, al igual que el programa OpenStudio.

Esta sección del trabajo fue crucial para sentar las bases del resto de la investigación, porque permitió contar con un modelado 6D idóneo para el proyecto y poder llegar a tener simulaciones térmicas del interior de cada edificio. Se debe rescatar que, antes de decidir con cuáles programas computacionales se iba a trabajar, se revisaron varios de los disponibles en el mercado, considerando incluso versiones estudiantiles limitadas, hasta que se tomó la decisión de trabajar con el software mencionado, por

su versatilidad, gratuidad y alcance. Desde esta aplicación, se introdujeron todos los parámetros para generar los tres modelos, uno para cada plano tipo del Ministerio de Educación Pública.

Una vez finalizado el desarrollo de los modelos, se simularon las condiciones deseadas a partir de las variables climáticas, geográficas y constructivas. Con estos, se evaluó el confort térmico y la eficiencia energética dentro de cada edificio y para cada emplazamiento seleccionado. Esto permitió comparar los resultados de las diferentes zonas térmicas de cada ubicación geográfica.

Es importante destacar que, para obtener los resultados de las simulaciones, se siguió el procedimiento destacado en la Fig. 1. Primero, se importó el modelo 3D por medio del *plug-in* de OpenStudio, que fue una metodología descrita por Brackney et al. [13]. Seguidamente, se le añadieron todas las variables representadas como OSM Measures; por ejemplo, materiales, localización, archivo climático, cantidad de personas, tipos de luces y voltajes, tipo de ventanas, ventiladores, tiempo y ángulo de apertura de ventanas, tipo de vestimenta, entre otros. Una vez finalizado esto, el programa empleó el motor de cálculo EnergyPlus, que fue desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América, una agencia gubernamental [14].

Finalmente, se obtuvo un reporte con los resultados de la simulación. Estos corresponden con la información de un edificio. Una vez conseguidas varias simulaciones, se agruparon en gráficas para mostrar los diferentes comportamientos. Se graficaron los resultados de un día con las condiciones climáticas más repetidas en un año (moda), del día más caluroso en este período (máximo crítico) y del comportamiento promedio anual, para cada emplazamiento y cada edificio tipo en estudio. En el material suplementario, Apéndice II, se pueden apreciar los gráficos de los diferentes resultados mostrados para cada una de las variaciones simuladas.

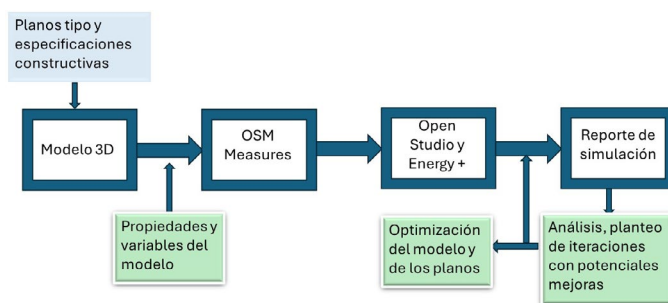


Fig. 1. Esquema de la metodología implementada con OpenStudio para la resolución de los casos analizados.

Fuente: Adaptación propia del modelo presentado por Brackney et al. [13].

Para complementar la investigación, se simularon otros parámetros, donde se tomaron los modelos originales y se les aplicaron cambios preseleccionados, uno cada vez. De esta

manera, se valoró la sensibilidad del comportamiento del diseño con respecto al cambio de materiales, geometría, localización geográfica o ubicación en el terreno. Además, se compararon los resultados originales con los obtenidos al realizar cada uno de los cambios de forma separada, con el fin de evidenciar la sensibilidad del modelo a cada variante. Así pues, se pudo comparar las mejoras de la temperatura de confort al hacer modificaciones y destacar cuáles medidas son más funcionales para zonas calientes o zonas frías.

Asimismo, se hizo un conjunto de iteraciones que permitió enriquecer el análisis, porque se contó con simulaciones aplicadas al diseño actual y a posibles ubicaciones. Dichas iteraciones se agruparon por las categorías que compartían, por ejemplo, cambio en el material de los muros o de las cubiertas. Finalmente, se compararon los resultados actuales del diseño y las medidas que pueden proveer mejores resultados a los edificios, producto de la simulación de más de 15 parámetros. En el material suplementario, se pueden ver algunos ejemplos de los planos procesados y sus variaciones (Apéndice I).

3. RESULTADOS

Entre los principales resultados de la investigación, se buscó reflejar una adecuada modelación de la realidad en cuanto al confort térmico que se puede esperar dentro de las estructuras en estudio. Se trabajaron los modelos 3D para los tres planos, que constituyen edificios típicos en la construcción de centros educativos en el país (Fig. 2, Fig. 3 y Fig. 4). Se destaca la importancia de que el modelo pueda reflejar la realidad de la manera más cercana posible, para que, posteriormente, la modelación climática sea lo más apegada a la situación real esperada. A la parte visual se le denominó en la metodología como LOD, porque muestra el desarrollo de los detalles perceptibles que componen la representación tridimensional del plano tipo. Mientras que el LOI funge como un elemento todavía más importante para la simulación, porque le da información exacta del material usado, especificaciones constructivas, tamaños, grosores, densidad, entre otros. De esta forma, se destaca que la apariencia es valiosa, pero el contenido de cada familia y elemento del modelo es lo que aporta precisión para contar con resultados acertados.

En los esquemas de los planos tipo en 3D (Fig. 2, Fig. 3 y Fig. 4), es posible observar que se logró generar una representación de los planos brindados, que funge como un paso esencial para el análisis del confort térmico. Adicionalmente, se puede apreciar que el modelo 3D cumple con bastante detalle lo descrito por los planos, lo cual es requerido en las especificaciones del LOD 300 y del LOI 300, ambos señalados en el plan de ejecución BIM. Asimismo, se logra el alcance del modelo planteado y la implementación del uso BIM estipulado. En el material suplementario, Apéndice III, se puede apreciar un ejemplo de cómo se introdujo la información detallada en el LOI 300. Cabe destacar que el LOI 300 proviene

del modelado 3D, realizado en SketchUp, mientras que el LOD se asigna en el OpenStudio con los detalles importantes de cada material.

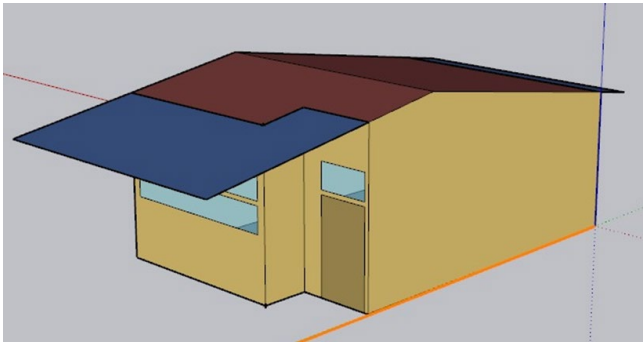


Fig. 2. Perspectiva 1 del modelo 3D del aula académica.

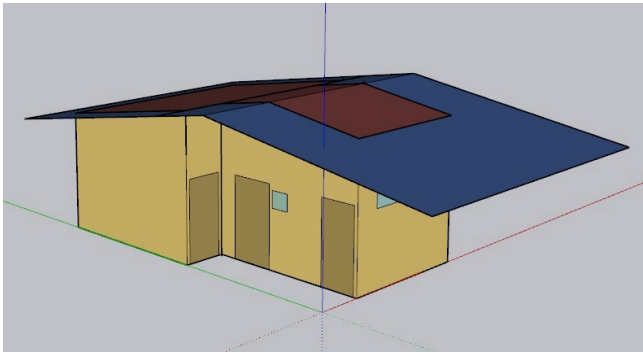


Fig. 3. Perspectiva 1 del modelo 3D de la batería sanitaria.

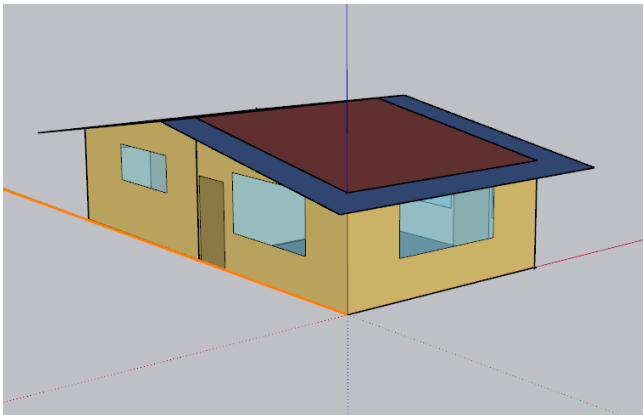


Fig. 4. Perspectiva 1 del modelo 3D del comedor.

Las modelaciones se realizaron con cada módulo por separado; no se integraron en conjunto, pues cada centro educativo los usa con una distribución diferente según convenga. En el Apéndice IV del material suplementario, se muestran las diferentes zonas térmicas utilizadas según cada tipo de distribución de espacios; fueron estas las que se utilizaron para las simulaciones.

A. Modelación de las características actuales

Para analizar la fase de la construcción de centros educativos que utilicen estos planos tipo, se consideró un mismo sistema constructivo, con una arquitectura y conformación similar, donde la envolvente emplea los mismos materiales en todos los casos. Apegado a las especificaciones constructivas que actualmente utiliza la DIE, las estructuras se construyen con un sistema de baldosas y columnas de concreto, pisos de terrazo, cubiertas de hierro y ventanas de vidrio de 3 mm. Este constituye el modelo patrón, que luego se modifica para evaluar las potenciales variantes que mejorarían el confort térmico de los edificios en estudio.

La calidad que pueda llegar a tener el modelo climático depende firmemente de lo bien que se ajusten los materiales con lo que en realidad se presenta. Por ende, para conseguir resultados verdaderamente apegados al entorno y que puedan indicar la calidad térmica, se debe contar con las especificaciones adecuada de cada material. Esto representó un reto importante para la investigación, ya que muchos de los materiales de construcción utilizados en el país no cuentan con suficiente información técnica, clara, accesible y homogénea, que pueda ser fácilmente utilizable en las modelaciones.

En el CUADRO I, se presentan las propiedades ingresadas en las simulaciones para cada material, donde se clasifican los materiales según el elemento que componen, a saber: techo, paredes, pisos, ventanas o puertas. Cabe destacar que las puertas y ventanas varían en tamaño, pero comparten la misma materia prima en su conformación. Dentro de las propiedades físicas por considerar, existen algunas más relevantes en cuanto a su aporte al confort término; por ejemplo, el calor específico influye notoriamente en la transferencia del calor, de modo que el grosor del muro es importante para estimar cuál será la tasa de calor que lo atravesará. Por otro lado, la conductividad térmica se relaciona directamente con la transferencia de calor por medio de la conducción [15].

CUADRO I
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS ACTUALMENTE EN
LOS PLANOS TIPO DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN PÚBLICA

Parte	Composición	t	κ	ρ	$C_{p,1}$	$C_{p,2}$	α_t	α_s	α_v
Cubierta									
	Lámina metálica	0.5	120	7680	0.125	450	0.9	0.2	0.6
	Aislante térmico	0.5	0.06	265	0.23	836	0.1	0.7	0.7
	Cámara de aire	20							
	Lámina Gypsum	1.27	0.16	785	0.375	1350	0.6	0.3	0.4
Muros									
	Repello (mortero) + Pintura	0.3	0.53	1570	0.23	837	0.4	0.3	0.3
	Baldosa de concreto	4	1.75	2243	0.25	880	0.6	0.8	0.65
	Repello (mortero) + Pintura	0.3	0.53	1570	0.23	837	0.4	0.3	0.3
Piso									
	Terrazo	3	0.28	2550	0.28	830	0.6	0.3	0.3
	Losa de concreto	20	1.75	2300	0.23	837	0.6	0.7	0.7
Ventanas									
	Vidrio	0.3	0.9	2490	0.23				
	Puerta								
	Lámina hierro negro cal. 18	0.5	72	7870	0.125	450	0.9	0.9	0.9

donde: t : grosor (cm); κ : conductividad térmica ($\frac{W}{K \cdot m}$); ρ : densidad ($\frac{kg}{m^3}$); $C_{p,1}$: calor específico ($\frac{Wh}{kg \cdot K}$); $C_{p,2}$: calor específico ($\frac{Wh}{kg \cdot K}$); α : absorptancia; t : térmica; s : solar; v : visible.

Como se indicó en la metodología, se trabajó con tres casos de estudio, que se emplazaron en tres diferentes ubicaciones geográficas para contar con localizaciones diferentes para cada uno. Dentro de las limitaciones de la investigación, se definió que la evaluación no se iba a realizar a centros educativo en específico, sino que se tomarían tres localizaciones que contaran con datos precisos climáticos. De este modo, se emplearon las coordenadas que presentan las tres estaciones automáticas de medición de datos meteorológicos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), para ubicar los emplazamientos que se utilizaron para las modelaciones 6D. Fue necesario proporcionar esta característica a la modelación con dos fines: primero, darle una orientación precisa dentro de OpenStudio al modelo y, segundo, conocer con exactitud que los datos representan el comportamiento del sitio.

Con el fin de comprender las condiciones que rodean a cada uno de los sitios de emplazamiento seleccionados, se analizaron los parámetros meteorológicos disponibles de forma gratuita en las estaciones meteorológicas utilizadas. Se tomaron datos del 2008 al 2021 para los tres sitios seleccionados: Nicoya, Pavas y Limón. Estos provienen de estaciones que capturaron la información y que, finalmente, fueron pasadas por un control de calidad por el Instituto Meteorológico Nacional; además, estaban disponibles en la página web de dicha institución [18]. El tipo de información empleada corresponde con el Año Típico Meteorológico, que en inglés emplea comúnmente las letras TMY, lo cual se obtuvo del sitio de Climate.OneBuilding.Org [19]. Adicionalmente, contiene

información de diversas variables, sin embargo, no todas fueron utilizadas en las simulaciones en esta sección. En la Fig. 5, se tiene un mapa que ubica las tres estaciones y muestra que representan tres partes muy diferentes de Costa Rica.

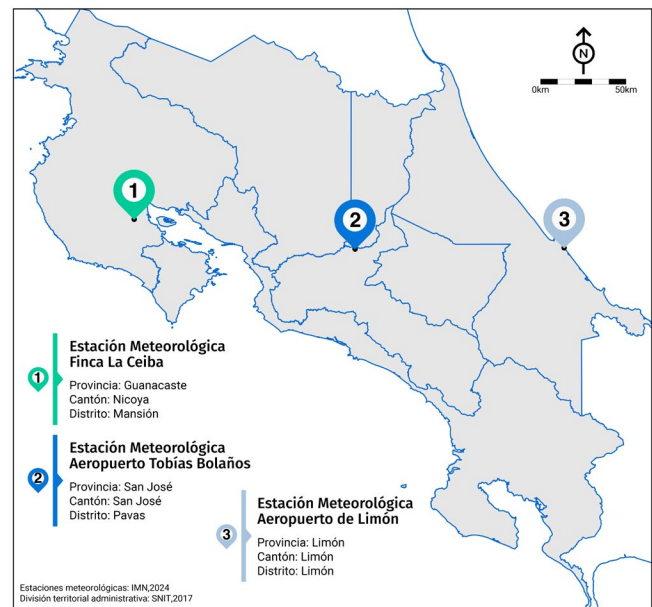


Fig. 5. Mapa de ubicación de las estaciones automáticas de Costa Rica.
Fuente: Adaptado del Instituto Meteorológico Nacional [18].

B. Resultados de las simulaciones realizadas

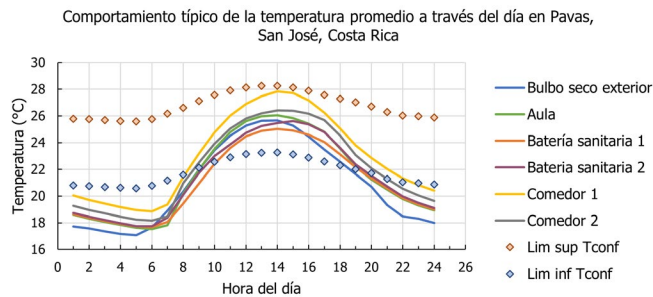
Siguiendo los pasos descritos en la metodología, se generaron las simulaciones de la temperatura operativa dentro de las zonas térmicas estipuladas y, con ello, fue posible determinar el comportamiento de los rangos térmicos al interior de los aposentos y concluir si existe una temperatura que proporcione confort térmico a sus ocupantes.

Con el fin de definir el intervalo de comodidad térmica, se empleó la ecuación J-2 del Anexo del ASHRAE 55-2017 [16], con un 80 % de aceptabilidad, la cual se evidencia en (1). Esta fórmula definida para ambientes adaptativos con ventilación natural se ve descrita a continuación:

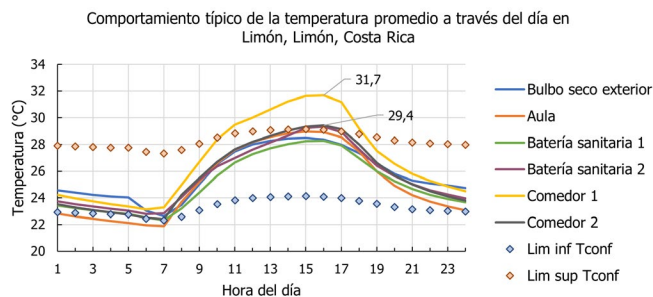
$$t_{pma(out)} = (1-\alpha)[t_{e(n-1)} + \alpha t_{rm(n-1)}] \quad (1)$$

$t_{pma(out)}$	temperatura media ponderada de una secuencia de temperaturas diarias medias de bulbo seco;
α	constante entre 0 y 1, rapidez con la que hay cambios en el clima para temperatura exterior;
$t_{e(n-1)}$	temperatura diaria media al bulbo seco para el día anterior al día en cuestión;
$t_{rm(n-1)}$	temperatura media móvil para el día anterior al día en cuestión.

Se representaron los resultados con gráficos de sensación térmica, en los cuales se representó, mediante líneas tipo envolventes, los límites superior e inferior para las temperaturas del confort térmico establecidas por dicha ecuación, los cuales señalan la temperatura óptima y varían en $\pm 2,5$ K. Un ejemplo de los principales resultados obtenidos puede verse en la Fig. 6.



(a)



(b)

Fig. 6. Comportamiento típico de la temperatura durante un día promedio en: a) Pavas y b) Limón.

En total, se realizaron 15 simulaciones, ya que se contó con tres sitios y con tres tipos de edificación, sin embargo, en dos de esos edificios, se dividió el análisis en dos zonas térmicas diferentes para realizar la simulación. Lo anterior fue necesario debido a que existen comportamientos térmicos diferenciados y a que era posible la división física del modelo de estas edificaciones. Por tanto, para el comedor, se separó la parte de la cocina de las zonas para alimentación, ya que, según el plano, en la zona de alimentación, hay ventilación cruzada, ventiladores y un área despejada. Mientras, en la zona de cocina, existen múltiples equipos, poca ventilación y un espacio bastante cerrado. De esta forma, se decidió separar el comedor típico en dos secciones: por un lado, el comedor 1, para cocina, bodega y baño; por otro, el comedor 2, para el área que comprende el espacio donde se consumen los alimentos. De una forma similar, se segmentó la batería sanitaria: la número 1 corresponde con los baños que cumplen la Ley 7600 y la número 2 comprende varios sanitarios agrupados y que son designados para hombres y mujeres.

Para las simulaciones, se emplearon los datos meteorológicos ya mencionados: se seleccionó el día promedio que corresponde con la moda estadística, las temperaturas mensuales del año promedio típico y el día con temperaturas más altas de la época seca. Por medio de las Fig. 7, se aprecian los resultados de las cinco zonas térmicas juntas y límites del confort térmico para el caso de Nicoya, como ejemplo.

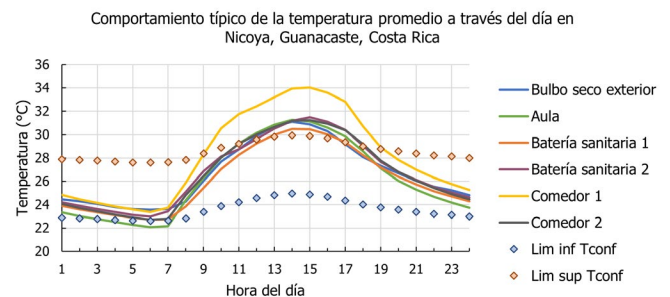


Fig. 7. Comportamiento de la temperatura en un día típico en Nicoya, Guanacaste.

Con los resultados obtenidos, se evidenció que, dentro del análisis de 24 horas, existen períodos en los que la temperatura supera las condiciones deseables de comodidad en algunos de los espacios físicos y en horas en las que se encuentra la población usuaria en las edificaciones.

La conducta común de todos los inmuebles analizados es que se presentan las temperaturas más bajas entre las 7:00 p.m. y hasta las 7:00 a.m., lo que era de esperar por la ausencia de luz solar. Pero, apenas inicia la presencia de radiación solar, se aprecian cambios de temperatura de hasta 10 °C aproximadamente, en especial, en el caso del emplazamiento en Nicoya y también en Limón, para alcanzar el máximo a eso de las dos de la tarde.

Los resultados evidenciaron que, en algunas zonas térmicas, los espacios modelados que actúan como sujeto de estudio alcanzan valores cercanos a la temperatura de bulbo exterior seca, que funge como el parámetro de guía. Esto implica que la

geometría y los materiales de los inmuebles permiten que haya poco aislamiento, lo cual provoca que las temperaturas tanto al exterior como al interior sean muy parecidas. Una explicación más amplia puede encontrarse en [17].

De manera similar, sucede con el análisis para el caso del comedor 1 (zona de cocina), pero con el agravante de que este posee equipo que genera mayor radiación, como cocina, luces, refrigeradora, entre otros, lo cual ocasiona que el confort interior se afecte aún más. Asimismo, este espacio cuenta adicionalmente con un baño y una bodega pequeña, ambos con poca ventilación, lo que no contribuye con los parámetros de temperatura interna. Estos factores producen que, en las simulaciones, se detecten situaciones críticas desde las 9:00 a.m. hasta las 7:00 p.m., tiempo en el cual se mantienen temperaturas que sobrepasan el límite superior de confort térmico. El máximo predicho en estos casos es de hasta 34 °C en el emplazamiento de Nicoya, por lo que supera las condiciones detectadas en las simulaciones de los demás inmuebles de la misma localización en hasta 2,5 °C. El comportamiento señalado se debe, en parte, al diseño y, en otra parte, a los equipos contenidos en el espacio. Por lo tanto, si los equipos no estuviesen en funcionamiento, es posible suponer que se tendrían condiciones similares a la otra zona térmica de este edificio: el comedor 2.

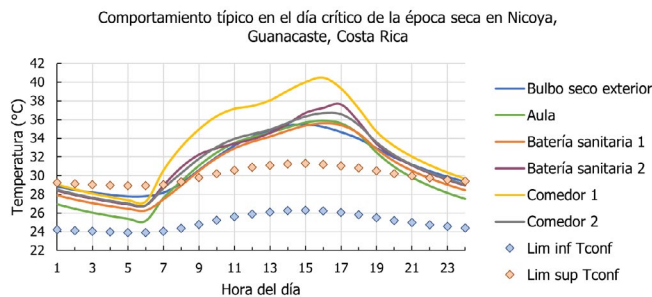


Fig. 8. Comportamiento en el día crítico de la época seca en Nicoya, Guanacaste.

De acuerdo con la información que se empleó en la caracterización climática de cada zona, se seleccionó el día que presentaba la temperatura de bulbo seco exterior más alta a lo largo del año en cada emplazamiento. Por ejemplo, para la ubicación en Nicoya, en la Fig. 8, se refleja la situación que se presenta con la temperatura operativa que van a tener los centros educativos a lo largo de la jornada bajo esa condición climática. Los resultados evidencian comportamientos similares a los discutidos anteriormente, donde el comedor 1, que corresponde

con la cocina, reporta temperaturas más altas que el resto de los aposentos estudiados. Aunque todos los edificios se encuentran fuera del rango de comodidad térmico en el período operativo de los centros educativos en Nicoya, los resultados evidencian que el módulo de aulas es el que tiene el mejor comportamiento, debido en parte a que son espacios más ventilados.

Para el segundo bloque de modelaciones, se selecciona el día que tenga la temperatura de bulbo seco exterior más alta a lo largo del año, en esta ocasión, para el emplazamiento igualmente en Nicoya. En este caso, fue posible observar comportamientos similares a los obtenidos en la Fig. 7 analizada, donde el comedor en su aposento 1, que corresponde con la cocina, nuevamente reporta temperaturas más altas. Igualmente, todos los edificios se encuentran fuera del rango de comodidad térmico en el período operativo.

Los resultados de las simulaciones evidencian, en general, que todos los edificios situados en condiciones de climas cálidos (Limón y Nicoya) presentan lapsos importantes en los que la temperatura interior se encuentra encima del límite superior. Esto representa un problema de funcionalidad del edificio, porque no permite a los ocupantes estar a gusto dentro del espacio diseñado. Ante esta problemática, existen diferentes opciones para buscar contar con un sitio optimizado a las condiciones del lugar; algunas de ellas se discuten a continuación.

C. Análisis comparativo del confort térmico para las edificaciones analizadas

En esta sección, se muestran los resultados de un conjunto de simulaciones asociadas a cambios propuestos en los diseños originales que buscan mejorar el confort térmico interior. Las simulaciones fueron realizadas para los casos en estudio en los tres emplazamientos seleccionados y surgen a partir de modelos 6D generados de los planos proporcionados por el DIE. Sin embargo, presentan la inserción de diferentes variables indicadas en el apartado metodológico, con el fin de observar los cambios ocurridos con respecto al modelo 6D original, comparar los resultados y permitir mostrar la importancia de estos modelos a la hora de tomar decisiones. Esto con el objetivo de generar unas simulaciones que muestren cambios en la envolvente del edificio y que evidencien nuevas condiciones en el comportamiento del inmueble. Los principales hallazgos se resumen en el CUADRO II; además, están disponibles en detalle los gráficos de cada simulación por tipo de cambio en el Apéndice II del material suplementario.

CUADRO II
RESUMEN DE DIFERENCIAS DE TEMPERATURA ENTRE SIMULACIONES Y MODELO:
EJEMPLO PARA EL AULA EN NICOYA

Cambio	Tipo	Cambio en la temperatura de confort en día promedio (°C)	Cambio en la temperatura de confort en día extremo (°C)
Materiales de cubierta	Doble aislante	-2,2	-2,3
	Teja	-0,7	-2,0
	Techo verde	-2,5	-1,8
Materiales de muros	Block 12	-1,1	-1,5
	Block 15	-1,3	-1,8
	Block 20	-1,6	-2,2
	Madera	-0,5	-1,4
	Aislante pared R-11	-0,6	-1,9
Pendiente de techo	25 % +	-0,4	-0,2
	35 %	-1,2	-1,2
	45 %	-1,4	-1,4
Orientación	Oeste	-0,4	-3,0
	Este	-0,7	-1,8
	Sur	0,2	0,0
Geometría	Aumento ventanas	0,1	0,1
	Disminución ventanas	-0,3	-0,2
Ventilación en techo	Simple	-1,0	-1,1
	Doble	-0,7	-0,3

Notas aclaratorias de los materiales utilizados:

Los materiales iniciales son los del CUADRO I. Para las simulaciones de mejora en eficiencia energética, únicamente se cambia el tipo de muro. Los demás cambios son materiales añadidos o cambios en la geometría. Por ejemplo, para materiales de cubiertas, todos son añadidos; por ende, todos suman capas para reducir la transmisión, ya que el diseño original carece de ellas. Para materiales de muros, el original es la baldosa prefabricada de 4 cm, en cambio, las simulaciones cambiaron este material por otras opciones.

A partir de los resultados obtenidos para el aula en Nicoya, se decidió incorporar tres de los cambios más significativos en una misma simulación. Las variantes que más aportaron y que se seleccionaron para este análisis adicional fueron: a) la reorientación del edificio hacia el oeste; b) la incorporación de una segunda capa de aislante encima del cielo; y c) la adición de una capa de aislante para pared R-11. Para esta decisión, se consideró que las tres medidas son de fácil implementación y de bajo costo, además de que no representan complicaciones constructivas significativas. También, se consideró que estas variantes eran prácticas, ya que al menos dos de los tres cambios incorporados también pueden ser añadidos a edificios ya construidos (el uso de los aislantes), lo cual permite que el MEP pudiera valorar como alternativa la intervención de centros ya construidos.

En esta ocasión, se decidió trabajar solamente en el emplazamiento de Nicoya, pues corresponde a la condición más crítica de todas las estudiadas en cuanto a altas temperaturas interiores. Así, entre los principales resultados, se evidencia que

la simulación de estos cambios en el aula en Nicoya significó disminuciones en la temperatura del orden de 8 % en promedio. Además, la curva de la temperatura llegó a situarse en un rango operativo aceptable en varios casos. En la Fig. 9, se representa este comportamiento en un día promedio en Nicoya. De este modo, se evidencia cómo, para los edificios con los planos originales del DIE, todos los aposentos se encontraban fuera de los límites de confort, mientras que, al implementar las medidas planteadas, todos los inmuebles mejoran su comportamiento térmico y se ubican dentro de rangos de comodidad térmica. Esto con la excepción del comedor 1, que sigue mostrando situaciones críticas, lo cual evidencia que el exceso de calor en este aposento de cocina se debe más al tipo de equipos radiantes dentro de la zona que a la temperatura exterior. Se destacó la curva en color verde, que corresponde con la batería sanitaria 1, porque fue uno de los aposentos que mejor reaccionó a los cambios propuesto y logra obtener una posición media entre ambos límites, por lo que llega a una situación muy cercana al comportamiento ideal.

CUADRO III
RESUMEN DE DIFERENCIAS DE TEMPERATURA ENTRE SIMULACIONES Y MODELOS ORIGINALES

Ubicación	Zona térmica	Diferencia reportada de temperatura interior para el día promedio (°C)	Diferencia promedio de Temperatura de confort para el día extremo (°C)
Nicoya	Aula	-1,1	-1,6
	Batería sanitaria 1	-2,4	-4,0
	Batería sanitaria 2	-1,1	-1,4
	Comedor 1	-0,3	-3,0
	Comedor 2	-1,7	-2,6
Pavas	Aula	0,0	0,5
	Batería sanitaria 1	-1,1	-2,9
	Batería sanitaria 2	-0,5	-0,5
	Comedor 1	1,4	-1,6
	Comedor 2	-0,2	-1,2
Limón	Aula	-0,7	-0,8
	Batería sanitaria 1	-1,8	-3,1
	Batería sanitaria 2	-0,7	-1,0
	Comedor 1	-0,2	-2,1
	Comedor 2	-1,1	-1,7

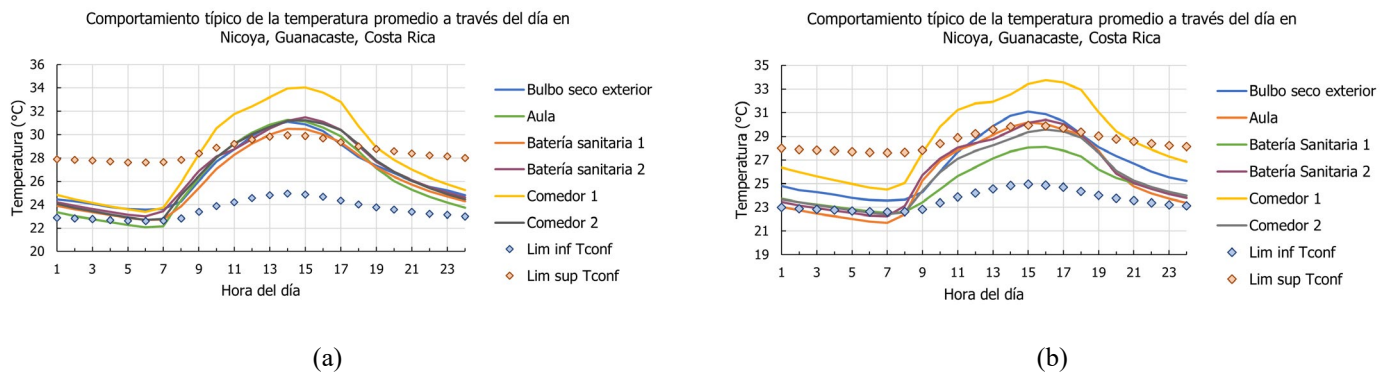


Fig. 9. Comportamiento del día típico según: a) plano tipo del DIE y b) plano con cambios sugeridos, en Nicoya, Guanacaste.

Posteriormente, se evaluó el comportamiento de los edificios con las tres modificaciones seleccionadas en los otros emplazamientos estudiados, para determinar la variación de la temperatura que en promedio se logra obtener al implementar las mejoras. Los resultados se presentan en el CUADRO III:

Al realizar la comparación, se debe considerar que los valores en positivo representan un aumento de la temperatura,

situación que solo ocurrió en el aula y el comedor 1 de Pavas; en cambio, los valores negativos representan una disminución de la temperatura interior, que se logra en los demás casos. Por consiguiente, se evidencia que las mejoras sugeridas, en su gran mayoría, representan reducciones en la temperatura, producto de la incorporación de los aislantes y la reubicación, lo que se refleja en una mejora de la envolvente de cada edificio.

CONCLUSIONES

Con la presente investigación aplicada, se pudieron demostrar algunos aspectos clave de la importancia de la implementación del BIM y de las simulaciones que pueden realizarse con las herramientas tecnológicas descritas, para conocer, de antemano, los resultados en el desempeño de las edificaciones. Esto incluso antes de invertir en su construcción y como parte de la optimización de los procesos de diseño. Por ello, el modelado 6D resulta una herramienta poderosa y muy versátil para la toma de decisiones en todo nivel. A continuación, se presentan otras consideraciones relevantes de la investigación.

Primeramente, fue posible demostrar el cambio de la temperatura de confort al variar parámetros de la simulación y sopesar la efectividad de cada una de las variantes contempladas. Se señala la importancia de contar con este tipo de análisis para evidenciar numéricamente ganancias térmicas según la forma en que se emplean algunos de los elementos estudiados en estos parámetros. De este modo, se identificaría con mayor facilidad el comportamiento y sería posible adecuar los diseños antes de construirlos, ya que los cambios pueden ser más fáciles de implementar y a un menor costo.

En segundo lugar, los rangos de confort térmico fluctúan de acuerdo con la localización de la edificación por analizar y de las condiciones climáticas que varían según la ubicación geográfica. Generar un único plano para cualquier condición induce a que se deba realizar un diseño extremadamente robusto para que pueda adaptarse a cualquier situación climática. Tal como se observó, al realizar las simulaciones de las condiciones actuales, el mismo plano puede presentar comodidad térmica en zonas como San José, pero ser inviable en emplazamientos como Nicoya, pues las condiciones del contexto varían fuertemente, lo que induce a un discomfort en el horario operativo principal del período lectivo. Por ende, contar con un solo juego de planos tipo para centros educativos es altamente ineficiente a nivel energético.

En tercer lugar, el diseño planteado actualmente por el Ministerio de Educación Pública presenta grandes variaciones de temperatura a lo largo del día, por el tipo de materiales que conforman la envolvente del edificio. Se demostró que materiales como la madera, los diferentes tipos de bloques o emplear aislante en las paredes reduce estas fluctuaciones, así como disminuye las temperaturas internas.

En cuarto lugar, se demostró que el aposento de la cocina (comedor 1) en todos los sitios de estudio se encontró fuera de los rangos térmicos durante todos los días críticos y en la mayoría de los días típicos. Asimismo, con la incorporación de cambios, fue una zona que, pese a mejorar su comportamiento, siguió por encima de los rangos superiores. De este modo, se concluye que su diseño no es funcional y es necesario promover un rediseño total del plano asignado para el comedor, porque su geometría conceptual provoca discomfort térmico a los ocupantes durante toda su jornada laboral.

Finalmente, se recalca la importancia de continuar con investigaciones similares a la presente, que exploren otras posibles ventajas del uso de estas tecnologías para optimizar los

diseños de futuras construcciones. Especialmente, se recomienda complementar en futuras investigaciones el uso combinado del BIM 6D con el BIM 5D, a fin de demostrar que BIM ayuda a tomar decisiones óptimas, balanceando los mejores resultados respecto al rendimiento térmico con el coste óptimo. Esto permitiría ver si las potenciales mejoras en rendimiento energético, que se consiguen con materiales de mayor calidad o especialmente diseñados para el control de la temperatura, reflejan un ahorro real en el coste global de la edificación y en qué período se logra recuperar las inversiones adicionales.

ROLES DE LOS AUTORES

Luis Alejandro Quirós Avendaño: Conceptualización, Curación de Datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Recursos, Software, Visualización, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición.

Nidia Cruz Zúñiga: Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Metodología, Administración del proyecto, Recursos, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición

REFERENCIAS

- [1] Comisión Económica para América Latina y el Caribe de la Organización de Naciones Unidas, *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile: Publicación de Naciones Unidas, 2018. [en línea]. Disponible en: www.issuu.com/publicacionescepal/stacks
- [2] W. Gonzalez y C. Lesmes, “Siete dimensiones de un proyecto de Construcción con la metodología Building Information Modeling”, *L'Esprit Ingenieur*, vol. 8, no. 1, ene. 2017. [en línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/339300817_Siete_dimensiones_de_un_proyecto_de_construccion_con_la_metodologia_Building_Information_Modeling_Revista_LEsprit_Ingenieur_8_1_2017?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6Ii9kaXJlY-3QiLCJwYWdlIjoicHVibGljYXRpb24ifX0#full-text
- [3] Programa Estado de la Nación, “Octavo Estado de la Educación 2021”, Consejo Nacional de Rectores, Pavas, Costa Rica, sep. 2021.
- [4] F. Denis, *The guide to Building Information Modelling*. Bruselas, Bélgica: ADEB-VBA, oct. 2015. [en línea]. Disponible en: www.vub.ac.be/ARCH/ae-lab/transform
- [5] P. Smith, “BIM implementation - Global strategies”, *Procedia Engineering*, vol. 85, pp. 482–492, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.10.575.
- [6] M. Carmona y E. Mata, “Propuesta para la implementación de la metodología BIM en los proyectos de obra pública de Costa Rica”, *Met. y Mat.*, vol. 10, pp. 35-47, dic. 2019, doi: 10.15517/mym.v10i0.42257.

- [7] Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, “Hoja de Ruta para la adopción de BIM en Costa Rica”, Gobierno de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2022.
- [8] J. Montenegro et al., *Guía de implementación BIM para empresas*. San José, Costa Rica: BIM Forum Costa Rica y Cámara Costarricense de la Construcción, ago. 2018. [en línea]. Disponible en: www.construccion.co.cr/BimForum
- [9] J. Messner et al., *BIM Project Execution Planning Guide-Version 2.2*. University Park, PA, Estados Unidos: Penn State, 2019.
- [10] C. Soto, S. Manriquez, N. Tala, C. Suaznabar y P. Henriquez, *Guía para la implementación de Building Information Modelling a nivel de pilotos en proyectos de construcción pública*. Washington, DC, Estados Unidos: Banco Interamericano de Desarrollo, oct. 2022, doi: 10.18235/0004528.
- [11] R. Lacombe et al., *Manual de arquitectura solar*. Ciudad de México, México: Trillas, abr. 1991.
- [12] P. Dohmen, P. Liebsch y H. Sautter, *LOD / LOI DEFINITIONEN Informationen zur Detaillierungs- und Informationstiefe BIM V1.0 Ein Dokument des BIM Praxisleitfadens*, 2016.
- [13] L. Brackney, A. Parker, D. Macumber y K. Benne, *Building Energy Modeling with OpenStudio*. Cham, Suiza: Springer International Publishing, may. 2018.
- [14] National Renewable Energy Laboratory, Estados Unidos., *OpenStudio 1.9.0 Basic Workflow Guide*. (2015). [en línea]. Disponible en: http://nrel.github.io/OpenStudio-user-documentation/img/pdfs/openstudio_interface_quickstart.pdf
- [15] A. Maristany y S. Angiolini, *Calor, envolventes y eficiencia energética Instalaciones 2B*. Córdoba, España: Editorial de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Univ. Nacional de Córdoba, 2017.
- [16] *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, ASHRAE 55-2017, ASHRAE, 2017.
- [17] L. A. Quirós, “La metodología BIM 6D para la evaluación del confort térmico y eficiencia energética aplicada a edificaciones tipo de centros educativos del MEP”, Tesis de licenciatura, Univ. de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2024.
- [18] Instituto Meteorológico Nacional, “Estaciones Automáticas”. IMN.ac.cr. <https://www.imn.ac.cr/web/imn/estaciones-automaticas> (accesado en ene. 24, 2023).
- [19] L. Lawrie y D. Crawley, “Repository of free climate data for building performance simulation”. Climate.OneBuilding.Org. <https://climate.onebuilding.org/> (accesado en feb. 3, 2023).

APÉNDICE I

DETALLES DE PLANOS PROCESADOS

A. Detalle de paredes compartidas



Fig. 10. Detalle de paredes compartidas.

B. Planta arquitectónica de aula académica

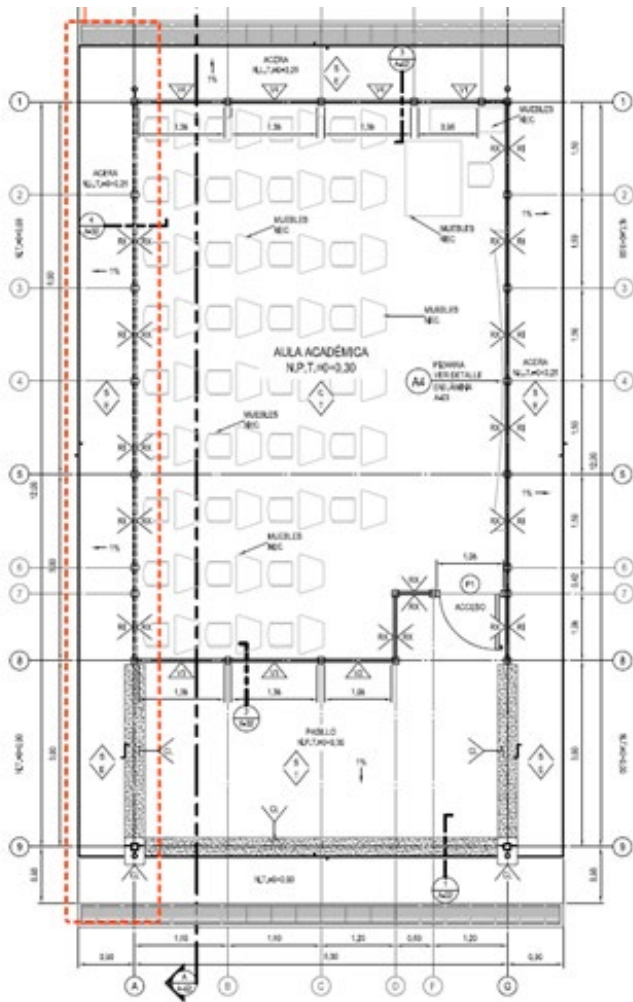


Fig. 11. Planta arquitectónica de planta académica.

C. Planta arquitectónica de batería sanitaria

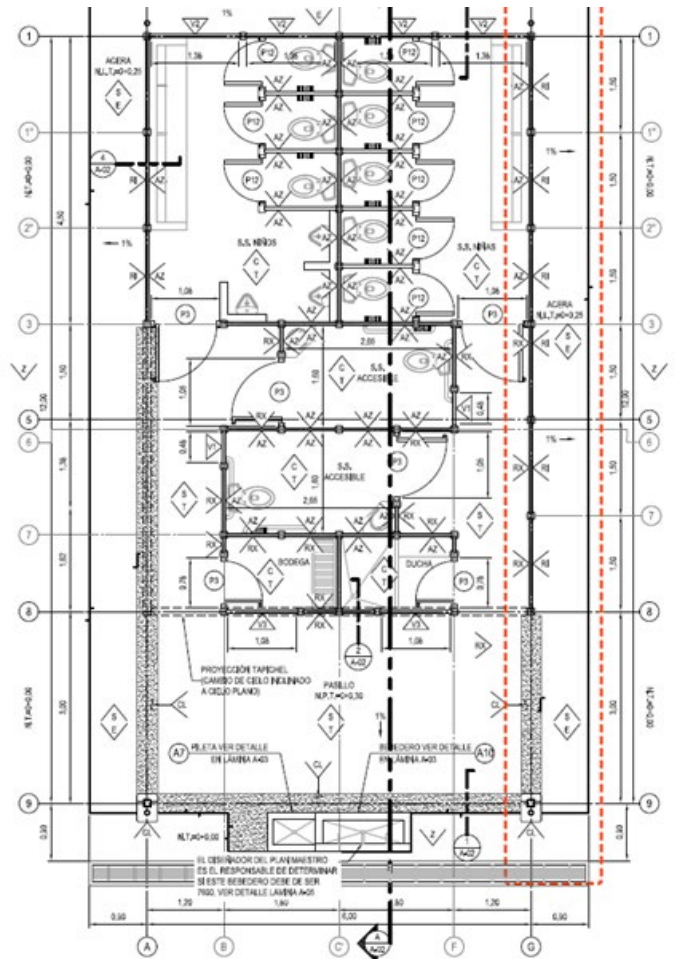


Fig. 12. Planta arquitectónica de batería sanitaria.

D. Planta arquitectónica de comedor

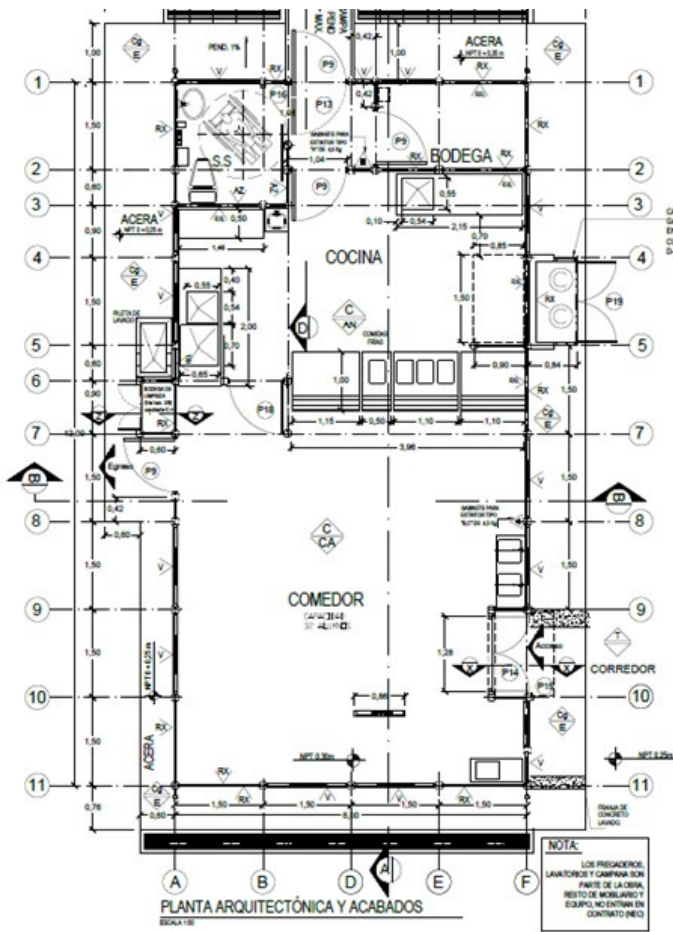


Fig. 13. Planta arquitectónica de comedor.

APÉNDICE II

GRÁFICOS DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

A. Muros

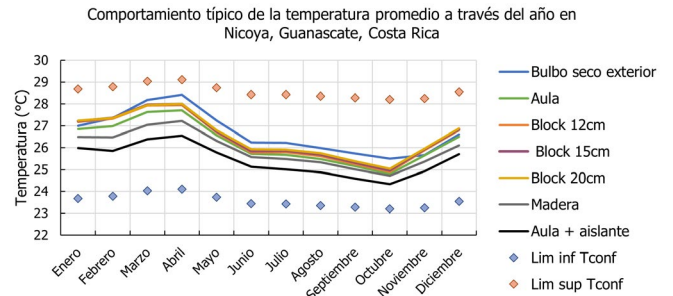


Fig. 14. Comportamiento típico de la temperatura promedio a través del año en Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

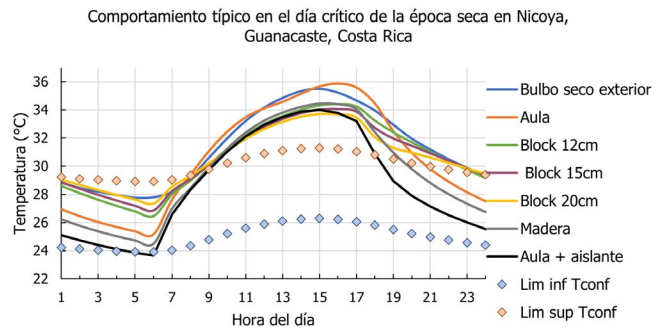


Fig. 15. Comportamiento típico en el día crítico de la época seca en Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

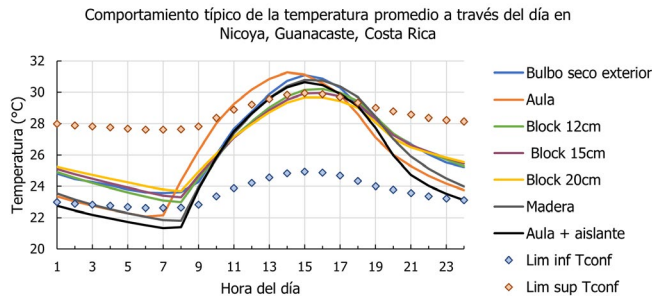


Fig. 16. Comportamiento típico de la temperatura promedio a través del día en Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

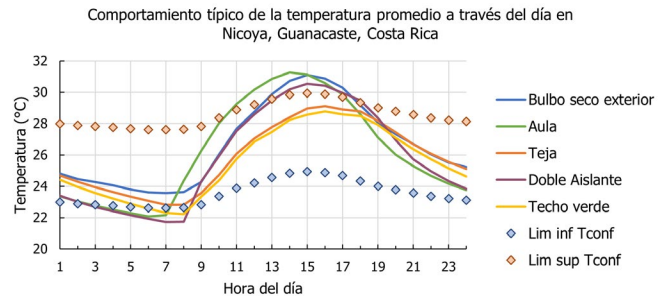


Fig. 19. Comportamiento típico de la temperatura promedio del día en Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

B. Techos

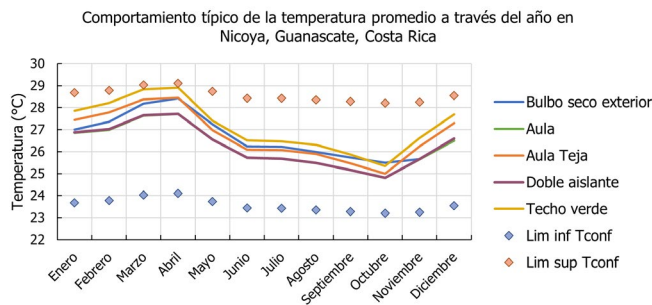


Fig. 17. Comportamiento típico de la temperatura promedio a través de un año en Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

C. Orientación del edificio

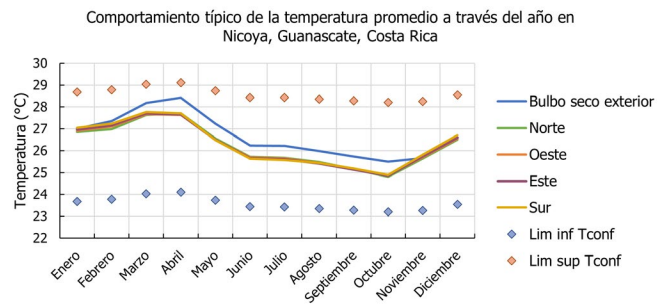


Fig. 20. Comportamiento típico de la temperatura promedio a través de un año en Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

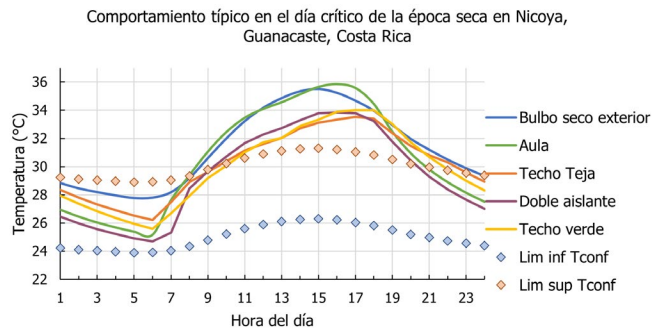


Fig. 18. Comportamiento típico en el día crítico de la época seca en Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

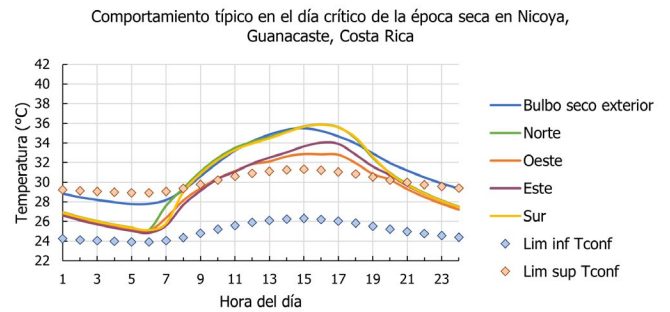


Fig. 21. Comportamiento típico en el día crítico de la época seca en Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

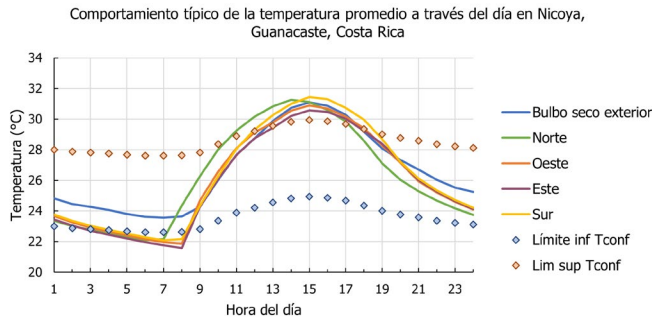


Fig. 22. Comportamiento típico de la temperatura promedio a través del día en Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

D. Pendientes de techos

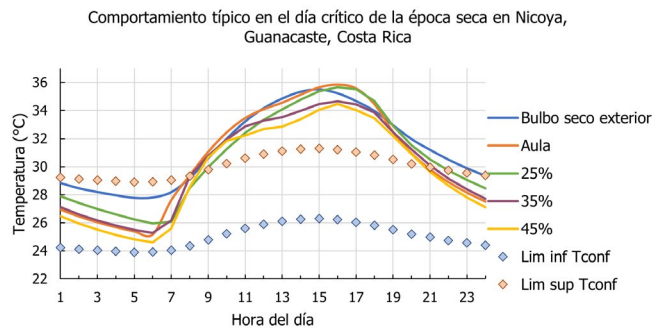


Fig. 23. Comportamiento típico en el día crítico de la época seca en Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

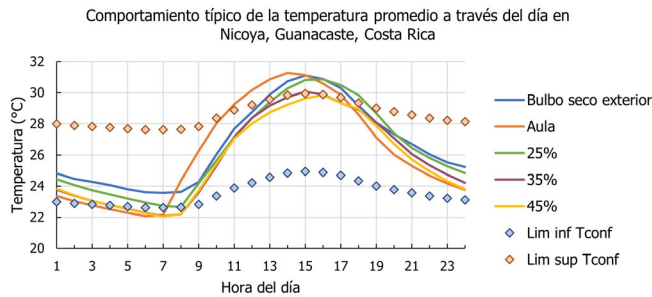


Fig. 24. Comportamiento típico de la temperatura promedio a través del día en Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

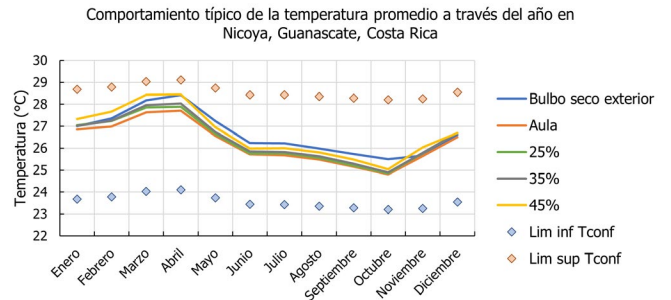


Fig. 25. Comportamiento típico de la temperatura promedio a través del año en Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

E. Ventanas

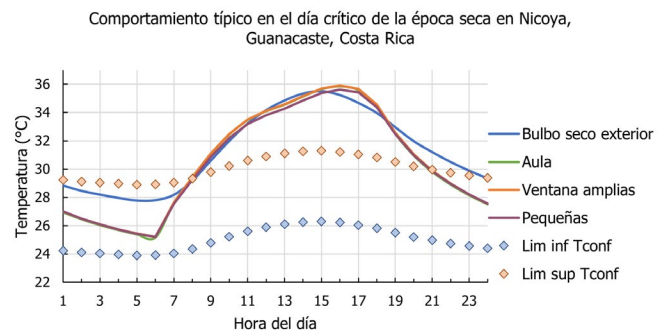


Fig. 26. Comportamiento típico en el día crítico de la época seca en Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

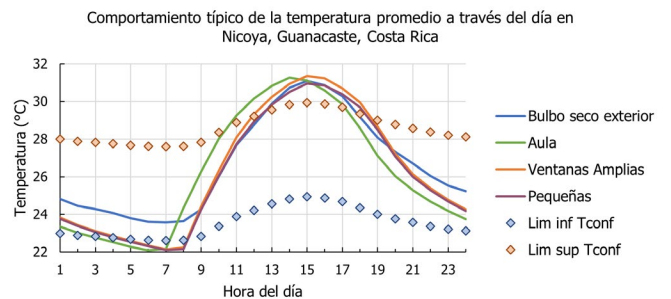


Fig. 27. Comportamiento típico de la temperatura promedio a través del día en Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

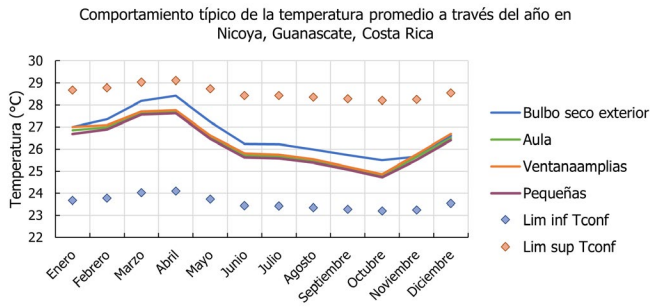


Fig. 28. Comportamiento típico de la temperatura promedio a través del año en Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

F. Ventilación

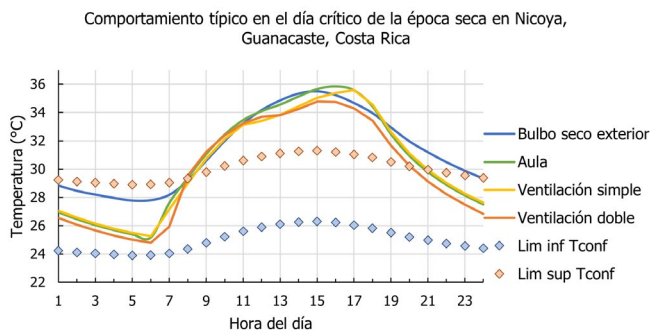
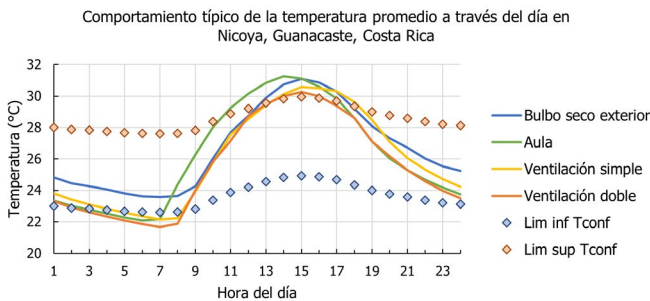


Fig. 29. Comportamiento típico en el día crítico de la época seca en Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.



AU1-Baldosa de Concreto Prefabricado

AU1-Baldosa de Concreto Prefabricado

Measure Tags (Optional):

Standard: Standard Source:

Standards Category: Concrete Standards Identifier:

Composite Framing Material: Composite Framing Configuration:

Composite Framing Depth: Composite Framing Size:

Composite Cavity Insulation:

Roughness: Rough **Thickness:** 0.040000 m

Conductivity: 1.2 W/m-K **Density:** 2243.000000 kg/m³

Specific Heat: 880 J/kg-K **Thermal Absorptance:** 0.6

Solar Absorptance: 0.750000 **Visible Absorptance:** 0.650000

Fig. 31. LOI 300 (detallado de materiales).

APÉNDICE IV ZONAS TÉRMICAS

A. Zonas térmicas de aula académica

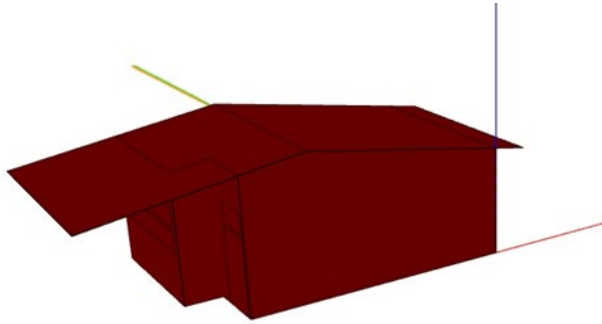


Fig. 32. Zonas térmicas de aula académica.

B. Zonas térmicas de batería sanitaria

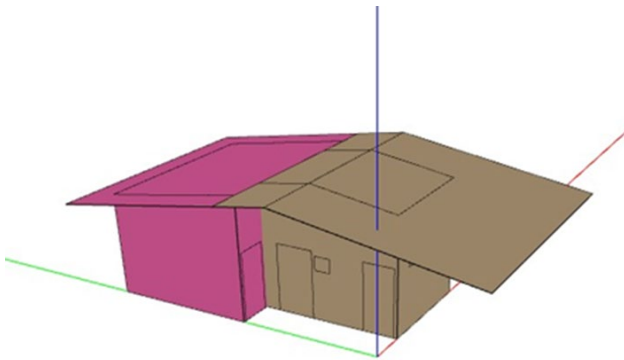


Fig. 33. Zonas térmicas de batería sanitaria.

C. Zonas térmicas de comedor

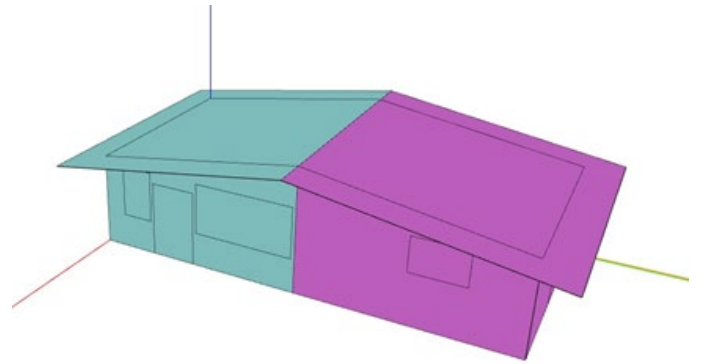


Fig. 34. Zonas térmicas de comedor.