Impacto Ambiental y Educativo de la Arquitectura Bioclimática en la Institución Educativa General Santander

Jorge Enrique Díaz Pinzón[1], Hernando Alberto Castellanos-Rincón[2]

RESUMEN

La arquitectura bioclimática busca aprovechar las condiciones climáticas para crear edificios más cómodos y eficientes. Este estudio, enfocado en la Institución Educativa General Santander en Soacha, Colombia, analiza cómo la luz solar y el calor afectan la infraestructura. Utilizando simulaciones, se encontró que las aulas de tres pisos, orientadas de este a oeste, reciben una alta cantidad de luz solar durante todo el año, especialmente en septiembre. Las grandes ventanas permiten el ingreso de mucha luz, lo que aumenta la temperatura interior. Como conclusión, se sugiere utilizar elementos reciclados para crear barreras móviles que controlen la entrada de luz solar sin requerir mucho mantenimiento o energía adicional. Estas barreras ayudarían a regular la temperatura interior y mejorar el confort de los estudiantes.

Palabras clave: arquitectura bioclimática; infraestructura educativa, orientación; diseño.

[1] Doctorando en Educación en la Universidad Tecnológica Latinoamericana. Docente e investigador en la Secretaría de Educación de Soacha, Colombia. ORCID: 0000-0002-8870-7769. Correo electrónico: jediazp@unal.edu.co

[2] Maestría en Gerencia de Proyectos. EIDH-I. International University. Arquitecto. Universidad de La Salle. JASB: Proyectos exitosos. ORCID: 0009-0007-0466-4137. E-mail: g3director4@jasb.com.co

La globalización incrementa la competitividad, lo que a su vez demanda una alta productividad en diseños de calidad y hace que muchos procesos secuenciales de diseño se vuelvan simultáneos, artísticos y científicos. Este proceso creativo requiere tanto estimulación creativa como el desarrollo de habilidades comunicativas. La planificación y el diseño urbanos se ven apoyados por la instrucción en SIG (Sistemas de Información Geográfica) dentro de las disciplinas de planificación[3].

El confort ambiental se imparte específicamente en tres asignaturas de diseño que combinan teoría y práctica. Los estudiantes reciben una formación inicial en una disciplina de física aplicada y clases introductorias de diseño, preparándolos para abordar problemas relacionados con el confort. Posteriormente, se espera que en los estudios de diseño más avanzados los estudiantes apliquen su conocimiento sobre confort ambiental para resolver problemas más complejos [4].

La Arquitectura Bioclimática se refiere a la construcción basada en la adaptación a las condiciones climáticas del entorno. Esta práctica promueve el uso eficiente y planificado de los recursos disponibles, teniendo como objetivo principal aprovechar el clima para brindar confort a los habitantes. Además, fomenta la utilización racional de los recursos locales para reducir el impacto ambiental que la construcción puede generar en la región[5,6,7].

El diseño bioclimático se fundamenta en el análisis de los factores climáticos de un sitio, incluyendo elementos como la radiación solar, temperatura, humedad, lluvia, y vientos[8]. Posteriormente, se realiza un análisis comparativo de los datos climáticos en relación con el confort térmico, para luego seleccionar un concepto de diseño que responda de manera pasiva al clima. Esto incluye decisiones sobre la configuración y orientación de los edificios, diseño de fachadas, iluminación natural, ventilación y

[3] Doris Kowaltowski, Lucila Labaki, Gislene Pina-Gutierres, y Valeria Gomes da Silva. 2005. *"The Challenges of Teaching Bioclimatic Architectural Design."* https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Inive/palenc/2005/Kowaltowski.pdf
[4] Fausto Tucci, *"Bioclimatic Approaches and Environmental Design: Strategies, Criteria and Requirements for an Evolution of Experimentations."* Sustainability 13 (14): 7695.2021. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-59328-5_4
[5] José García, y Víctor Fuentes. Arquitectura y Medio Ambiente en la Ciudad de México. México: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. 2000.
[6] María Tovar, y José García. *"Educational Program for Promoting the Application of Bioclimatic and Sustainable Architecture in Elementary Schools." Journal of Cleaner Production* 62: 2014. 146–152. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214014507
[7] Donald Watson, "Bioclimatic Design." En *Sustainable Built Environments*, editado por Vivian Loftness y Daniel Haase, 15–34. Nueva York: Springer. 2013.
[8] Richard Hyde, *Diseño Sensible al Clima: Un Estudio de Edificios en Climas Húmedos Moderados y Cálidos* (Nueva York: E & FN Spon, 2000).

paisajismo, con el fin de optimizar el confort interior y reducir el consumo de energía eléctrica[9,10].

La eficiencia energética es uno de los principales motores detrás de las políticas gubernamentales[11], que no solo buscan reducir los costos operativos, sino también aumentar la conciencia de los estudiantes sobre los problemas ambientales, mejorar su bienestar y potenciar su rendimiento académico mediante un diseño y renovación adecuados de escuelas y espacios. Estas intervenciones pueden mejorar el ambiente en las aulas hasta en un 50%[12,13]. La relación entre los usuarios y el entorno construido influye directamente en los niveles de comodidad y desempeño tanto de trabajadores[14] como de estudiantes[15,16]. La salud y seguridad en los espacios interiores se ha convertido en un tema central en este contexto.

Un aspecto relacionado es la caracterización de los perfiles de ocupación[17] en los edificios escolares, con el fin de optimizar la organización del espacio y evaluar su impacto en el consumo de energía[18], lo que permite prever variaciones en el rendimiento energético debido al comportamiento y movimiento de los usuarios[19].

El parque de edificios escolares existentes requiere una urgente renovación energética en línea con la visión del Gobierno de un uso continuo de los espacios, lo que aumenta las exigencias de confort y eficiencia energética[20].

[9] Ken Yeang,. *Ecodiseño: Manual de Diseño Ecológico*. Londres: John Wiley & Sons Ltd. 2008.
[10] Devi Zr, y Shinta Mochtar. *"Aplicación de Parámetros Bioclimáticos como Enfoque de Sostenibilidad en el Diseño de Edificios de Varios Pisos en Zona Tropical." Procedia Environmental Sciences, 2013.* 17: 822–830. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.02.099
[11] ENEA. *Guida all'efficienza energetica negli edifici scolastici*. Presidencia del Consejo de ministros, Ministerio del Ambiente y MIUR. 2016.
[12] MIUR (Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca). *Linee Guida per le Architetture Interne delle Scuole*. 2013.
[13] CIBSE. *TM57: Diseño Escolar Integrado*. Londres: The Chartered Institution of Building Services Engineers. 2015.
[14] David Clements, 2015. *"Lugares de Trabajo Creativo y Productivo: Una Revisión." Intelligent Buildings International* 7 (4): 183–195. https://doi.org/10.1080/17508975.2015.1050492
[15] Katrin Sailer, "La Organización Espacial y Social de la Enseñanza y el Aprendizaje: El Caso del Colegio Hogwarts de Magia y Hechicería." En SSS10 Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium, Londres. 2015.
[16] James Williams, Katrin Sailer, y Richard Priest. "Uso de una Herramienta de Análisis Espacial Interactivo en Línea para Comprender las Percepciones de los Estudiantes de Cuatro Escuelas Secundarias." En *SSS10 Actas del 10º Simposio Internacional de Sintaxis Espacial*, Londres. 2015.
[17] Mohamed, Mohamed, Mohamed Ouf, Mohamed Issa, Panagiotis Plyzois, y Peter Merkel. "Una Metodología para Evaluar los Efectos de la Ocupación y el Uso de los Edificios Escolares en su Consumo de Energía." Ponencia presentada en la 5.a Conferencia Internacional, Vancouver, 8-10 de junio. 2015.
[18] Luca Tagliabue, Marco Manfren, Elisa De Angelis, y Alessandro Ciribini. "Evaluación de Eficiencia Energética Basada en Patrones de Ocupación Realistas Obtenidos Mediante Simulación Estocástica." En *Modeling Behaviour: Design Modeling Symposium 2015*, editado por Mette Ramsgaard Thomsen et al., 2015. 469–478. Aalborg: Aalborg University Press.
[19] Luca Tagliabue, Marco Manfren, Alessandro Ciribini, y Elisa De Angelis, "Modelado de Comportamiento Probabilístico en la Simulación del Rendimiento de Edificios: El Laboratorio Brescia eLUX," *Energy and Buildings* 128 (2016): 119–131
[20] Elisa De Angelis, Luca Tagliabue, Federica Re, y Alessandro Mainini, "A Simple Method for the Comparison of Bioclimatic Design Strategies Based on Dynamic Indoor Thermal Comfort Assessment for School Buildings," *Procedia Engineering* 180 (2017): 1410–1419

En este sentido, un edificio escolar actual que cuenta con calefacción, pero no con refrigeración se ha utilizado como caso de estudio para aplicar una nueva metodología. Un aula fue usada para probar diversas soluciones de rehabilitación energética, comparando sus efectos con una línea de base en términos de reducción de la variación de la temperatura interior. Las simulaciones realizadas se contrastaron con condiciones de confort ideales mediante un enfoque original que utiliza herramientas visuales, diseñadas para facilitar a los arquitectos la evaluación y visualización de las opciones tecnológicas en construcción[21].

MARCO TEÓRICO

Uno de los principales objetivos de la arquitectura bioclimática es proteger el medio ambiente al mismo tiempo que se crean espacios confortables y duraderos para los residentes[22]. Los edificios bioclimáticos aplican estrategias de diseño y uso cotidiano para reducir el consumo de energía. Entre las más comunes se encuentran:

- **Diseño bioclimático y eficiente**: Se adaptan al clima y contexto local para disminuir el consumo energético y evitar pérdidas de recursos.
- **Control y uso inteligente del espacio**: Se planifica la construcción de manera que los espacios estén optimizados para un uso eficiente de la energía.
- **Uso de materiales sostenibles**: Se emplean materiales como madera, piedra, fibras naturales o reciclados para reducir el impacto ambiental.
- **Energías renovables**: Los edificios bioclimáticos incorporan fuentes de energía renovable como solar, geotérmica, eólica o hidráulica para minimizar su gasto energético.
- **Materiales inteligentes**: Se utilizan tecnologías avanzadas como ventanas con cristales que se oscurecen, tejas que almacenan calor solar, o materiales que se autorreparan para prolongar su vida útil.

[21] Ibid.,17.
[22] Iberdrola. "Arquitectura Bioclimática, las Construcciones que Respetan el Medio Ambiente." 2023. https://www.iberdrola.com/innovacion/que-es-arquitectura-bioclimatica

En cuanto al diseño bioclimático, este incorpora varios elementos y técnicas que ayudan a reducir el consumo energético y el impacto ambiental, tales como la orientación del edificio, el aislamiento adecuado de las paredes, techos y puertas, la ventilación natural y los sistemas de acumulación de calor, como bombas e intercambiadores térmicos. El confort higrotérmico se puede lograr controlando el flujo de aire y la radiación solar, especialmente en climas cálidos.

Según la **Norma Técnica Colombiana NTC-4595**[23], en el capítulo sobre confort higrotérmico, se especifica que las condiciones ambientales deben asegurar que el clima no interfiera en las actividades de los usuarios en instituciones educativas. Esta norma prioriza el diseño del edificio como herramienta de regulación climática mediante la ventilación natural y el control de la radiación solar, en lugar de depender de sistemas mecánicos.

En arquitectura bioclimática, un edificio se considera una herramienta de regulación climática si está diseñado para proporcionar confort térmico y visual sin recurrir a fuentes de energía no renovables[24] (ICONTEC, 2020). Para esto, se deben estudiar las condiciones climáticas locales, analizando variables como temperatura, humedad, radiación solar, precipitaciones y viento. Dependiendo del clima, las estrategias de diseño se ajustan para reducir la entrada de calor en climas cálidos y aumentarla en climas fríos.

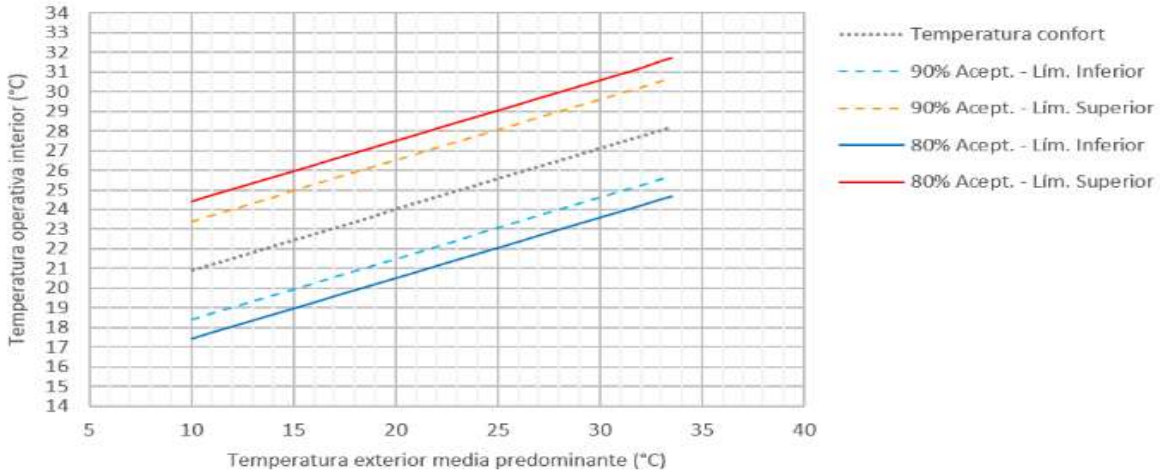
La **clasificación climática** establece tres zonas:

- **Zona de clima frío**: con altitudes superiores a 1800 metros y temperaturas entre 12 °C y 17 °C.
- **Zona de clima templado**: entre 800 y 1800 metros de altitud, con temperaturas de 18 °C a 24 °C.
- **Zona de clima cálido**: altitudes de 0 a 800 metros y temperaturas superiores a 24 °C.

[23] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. *Norma Técnica Colombiana NTC 4595 Ingeniería Civil y Arquitectura Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares*. 2020. https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-96894_Archivo_pdf.pdf
[24] Ibid.,20.

Desde 2004, la norma **ASHRAE Standard 55** ha propuesto un método para evaluar el confort térmico en edificios sin sistemas de refrigeración o calefacción. Los ocupantes pueden ajustar su confort térmico mediante acciones como cambiarse de ropa o abrir ventanas, siendo la ventilación natural el principal medio de regulación térmica[25]. Este método se basa en la ecuación de confort adaptativo, que considera la temperatura exterior como un factor clave en la percepción del calor, definiendo dos rangos de temperatura de operación según la temperatura exterior promedio mensual[26].

Figura 1. Rangos de temperatura operativa aceptable de acondicionamiento natural de los espacios.



Fuente: Ordoñez (2021).

ASOLAMIENTO

Se analiza la dirección y frecuencia de los rayos solares durante las distintas épocas del año utilizando un mapa solar, que permite evaluar los impactos solares en una fecha, hora y dirección específicas. La posición del sol en relación con cualquier punto en la superficie de la Tierra se determina por los ángulos de acimut y latitud, los cuales dependen de la latitud, la fecha y la hora de la ubicación de interés para capturar

[25] Andrés Ordoñez, "Estándar ASHRAE 55," 2020. https://www.seiscubos.com/conocimiento/estandar-ashrae-55
[26] Ibid.

la luz solar. En arquitectura, el término asoleamiento o soleamiento se refiere a la necesidad de permitir la entrada de luz solar en un espacio interior o exterior para lograr el confort, concepto que es clave en los edificios bioclimáticos[27].

ILUMINANCIA

La iluminancia es una medida que refleja la densidad del flujo luminoso. Se describe como la proporción entre el flujo de luz que llega a una superficie y el área de esta. La intensidad de la luz no está condicionada por las características de las superficies, por lo que puede medirse en cualquier espacio y calcularse a partir del brillo. Además, la iluminación disminuye proporcionalmente al cuadrado de la distancia respecto a la fuente de luz, conforme a la ley de la inversa del cuadrado en fotometría[28].

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Factores meteorológicos como la temperatura y la humedad influyen de manera directa o indirecta en el rendimiento de los estudiantes de la Institución Educativa General Santander, ubicada en 4.5837° de latitud norte y -74.2184° de longitud oeste en el municipio de Soacha, Cundinamarca (Figura 2). Por ejemplo, se han registrado temperaturas máximas dentro de las aulas entre 24°C y 33°C. Los cambios de temperatura en un entorno escolar impactan directamente la capacidad de los estudiantes para concentrarse, aprender y retener información. Según la NTC-4595, el rango de confort térmico se sitúa entre los 18°C y 24°C, lo que indica que las mediciones en las aulas superan este límite de confort. Debido a esta situación, ha surgido la necesidad de implementar estrategias de arquitectura bioclimática, lo que permitiría obtener una visión precisa de las condiciones en las aulas y llevar un registro de datos que ayuden a solucionar esta problemática en la institución.

[27] Ylengam. "Efectos de Asoleamiento." 2019. https://dokumen.tips/documents/efectos-de-asoleamiento-arquitectura.html
[28] Arqhys. "La Iluminancia." 2012. https://www.arqhys.com/contenidos/iluminancia.html

Figura 2. Ubicación de la I.E. General Santander.

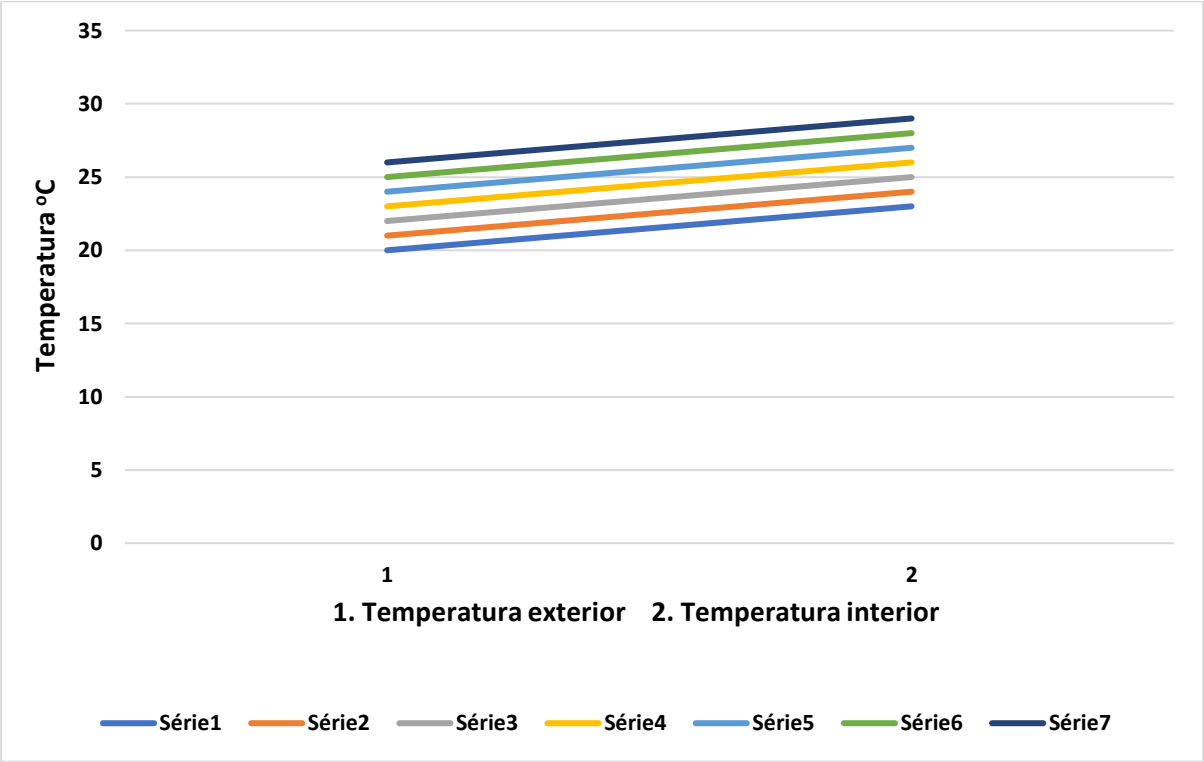


Fuente: Google[29]

La Figura 3 muestra los datos de temperatura interior y exterior registrados en las aulas durante el mes de mayo de 2023. Se observa que la temperatura interior fluctuó entre 24°C y 29°C, superando el rango de confort establecido en la Norma Técnica 4595 (18°C - 24°C). Estos resultados evidencian la necesidad de implementar medidas para mejorar las condiciones térmicas en la Institución Educativa General Santander, lo cual puede favorecer el rendimiento académico.

[29] Google. 2024. *Vista Satelital de la Institución Educativa General Santander, Soacha, Cundinamarca, Colombia*. Google Maps. https://www.google.com/maps

Figura 3. Temperatura exterior e interior en las aulas de clase.



Fuente: Díaz & Rodríguez[30]

METODOLOGÍA

Este estudio se realizó con un enfoque descriptivo basado en simulaciones, esta metodología combina la rigurosidad de un enfoque descriptivo con la flexibilidad y potencia de la simulación. Se utiliza para modelar y analizar sistemas complejos, ya sean físicos, sociales o abstractos, con el objetivo de comprender su comportamiento, identificar patrones y predecir posibles resultados[31].

[30]Jorge Enrique Díaz- Pinzón, y Jorge Rodríguez- González. "Monitoreo de Temperatura en el Aula de Clase Basada en Arduino." *El Ágora USB* 24 (1):2024. 268–280. https://doi.org/10.21500/16578031.7192

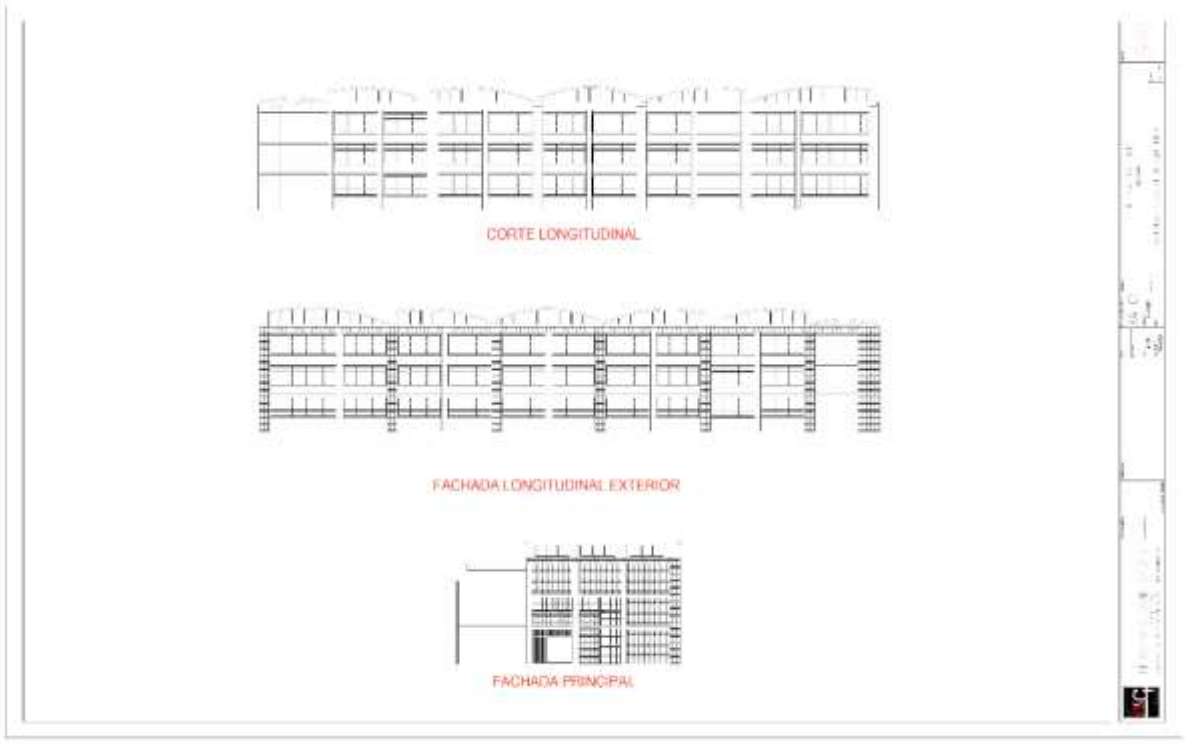
[31] Nicolás Medina y Julián Escobar, "Envolventes Eficientes: Relación entre Condiciones Ambientales, Espacios Confortables y Simulaciones Digitales," *Revista de Arquitectura (Bogotá)* 21, no. 1 (2019): 90–109. https://doi.org/10.14718/revarq.2019.21.1.2140

El objetivo del método propuesto es permitir la evaluación de la capacidad de envolvimiento para mejorar las condiciones de confort interior en un entorno de flotación libre. Las temperaturas internas en la zona térmica (Tzone) se calcularon mediante simulaciones dinámicas y datos climáticos horarios específicos para Colombia.

RESULTADOS

En los proyectos arquitectónicos desarrollados en los últimos años, ha sido fundamental implementar procedimientos orientados a lograr una eficiencia integral, abarcando todos los aspectos relacionados con el diseño arquitectónico. En el caso que nos ocupa, con un proyecto ya construido y algunos cambios en el diseño, surge la necesidad de verificar ciertos aspectos clave para evaluar la eficiencia energética de la edificación en su uso cotidiano.

Figura 4. Modelo arquitectónico de la I.E. General Santander.



Fuente: los autores

Por ello, y tras analizar la problemática, se propone la creación de un modelo descriptivo que permita aproximarse a la situación actual de la obra. Para ello, se parte de planos antiguos realizados a mano, los cuales sirven como base para desarrollar un modelo digital en 2D. Este modelo permitirá verificar los espacios, recorridos, puntos de servicio, alturas, vanos, así como el entorno y elementos importantes de la implantación. De este modo, se elabora el modelo arquitectónico en 2D utilizando el programa AUTOCAD[32], lo que facilita la creación de una representación digital casi exacta del plano original (ver figura 4).

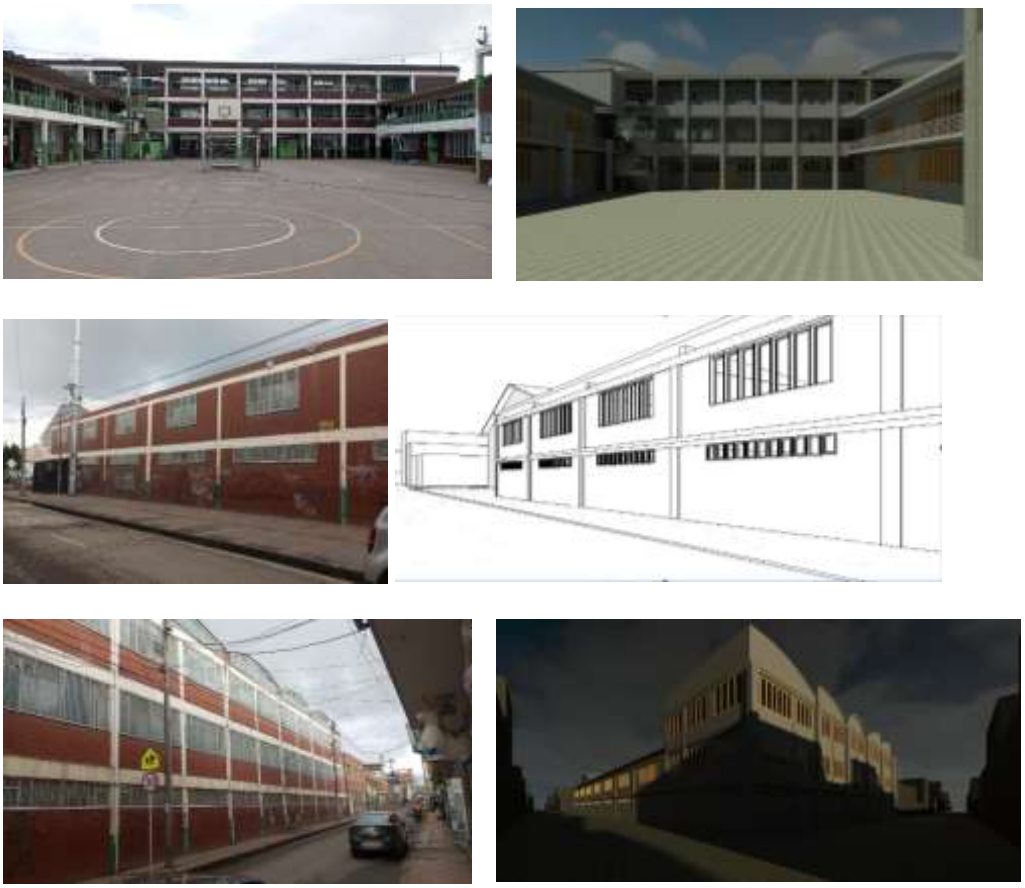
Además, se cuenta con un registro fotográfico que se utiliza como soporte para identificar detalles específicos o modificaciones en el volumen, como ventanas, escaleras o el entorno. (ver figura 5).

Con el dibujo en planta y los alzados o fachadas, se procede a crear el volumen tridimensional utilizando el programa REVIT[33]. Este software no solo permite generar el modelo 3D de la construcción, sino también verificar materiales, cantidades, volúmenes específicos de cada espacio y detalles generales inherentes a un proyecto constructivo. Para el desarrollo del modelo, se consideraron los detalles y elementos constructivos más relevantes, como concreto, tejas, placas, ventanas y vidrios.

Figura 5. Modelo del entorno e interior de la I.E. General Santander.



[32] AutoDesk. 2019. AUTOCAD*, versión 19.*
[33] AutoDesk. 2019. *Revit*, versión 19.



Fuente: los autores

Además, el modelo se ubicó geográficamente en su sitio exacto para analizar la incidencia de la luz solar, permitiendo observar el movimiento del sol en relación con la tierra y realizar un estudio solar específico. Esto facilita determinar los días y meses con mayor o menor incidencia solar sobre la construcción (ver figura 6).

Como complemento al análisis de los factores climáticos que afectan las aulas, el programa también genera espectros de iluminancia, los cuales muestran las áreas con mayor y menor exposición a la luz solar, medidas en lux.

Figura 6. Maqueta en 3D de la I.E. General Santander.

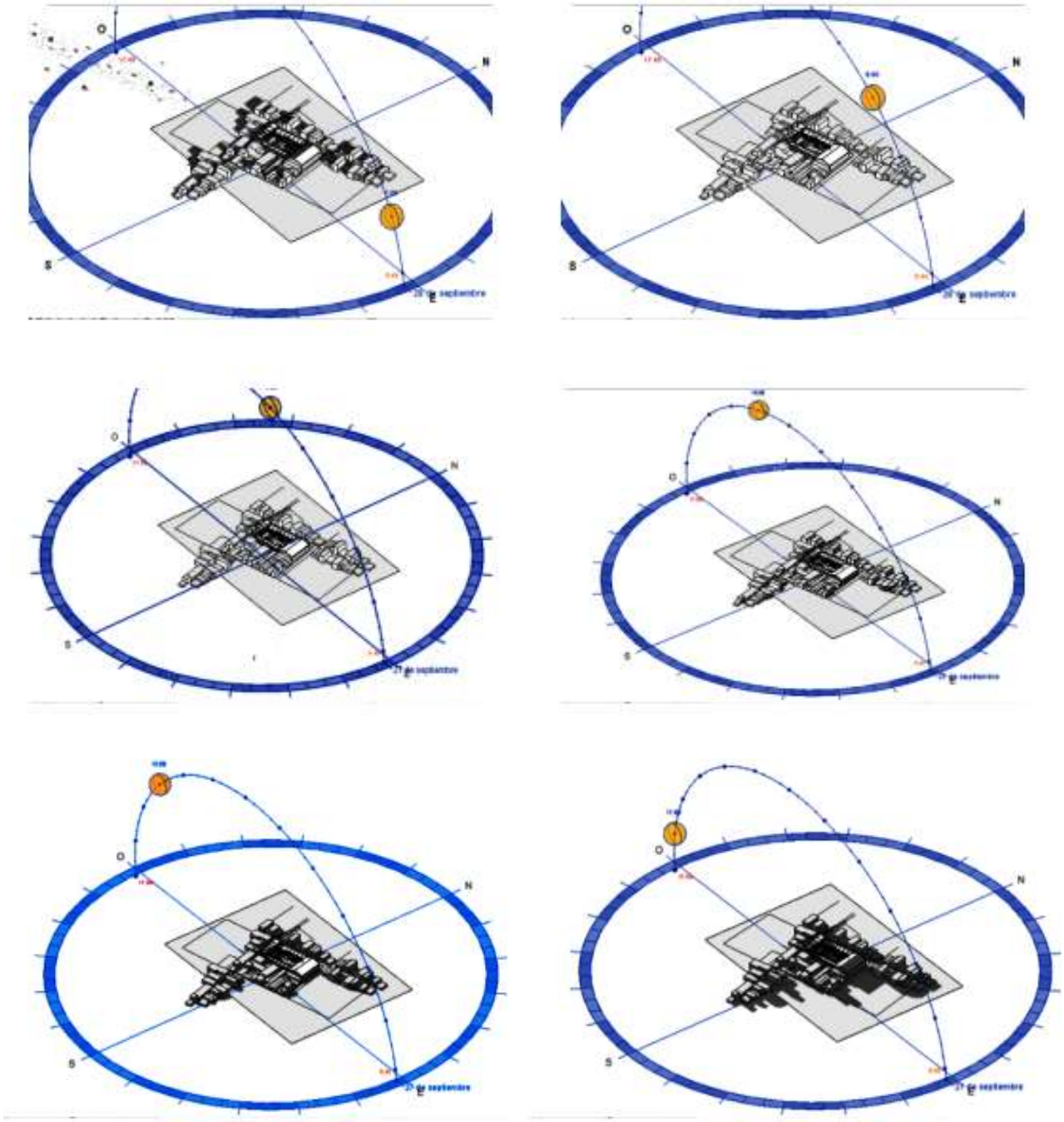


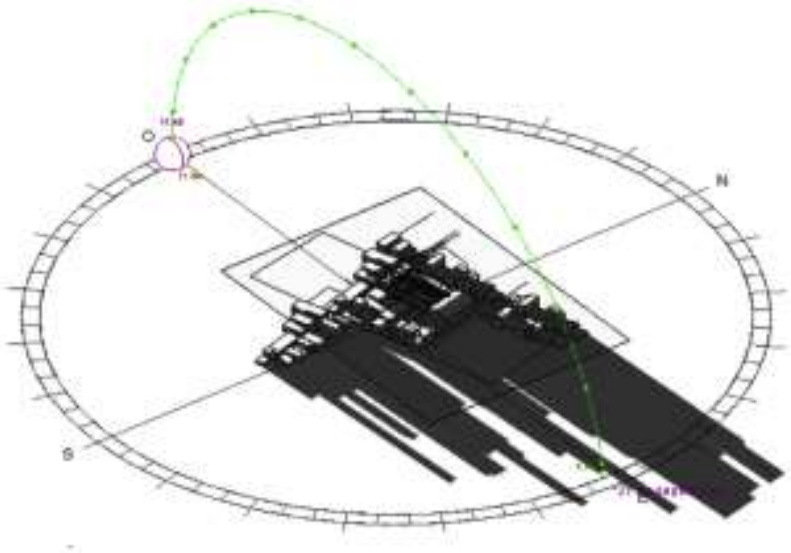
Fuente: los autores

Como se mencionó anteriormente, se evaluó la dirección y frecuencia de los rayos solares en distintas épocas del año sobre la I.E. General Santander, determinándose que septiembre de 2023 fue el mes con mayor exposición solar. Para analizar el recorrido del sol, se utilizó el programa REVIT[34], como se observa en la figura 7.

[34] Ibid.

Figura 7. Asoleamiento septiembre-2023, I.E. General Santander.

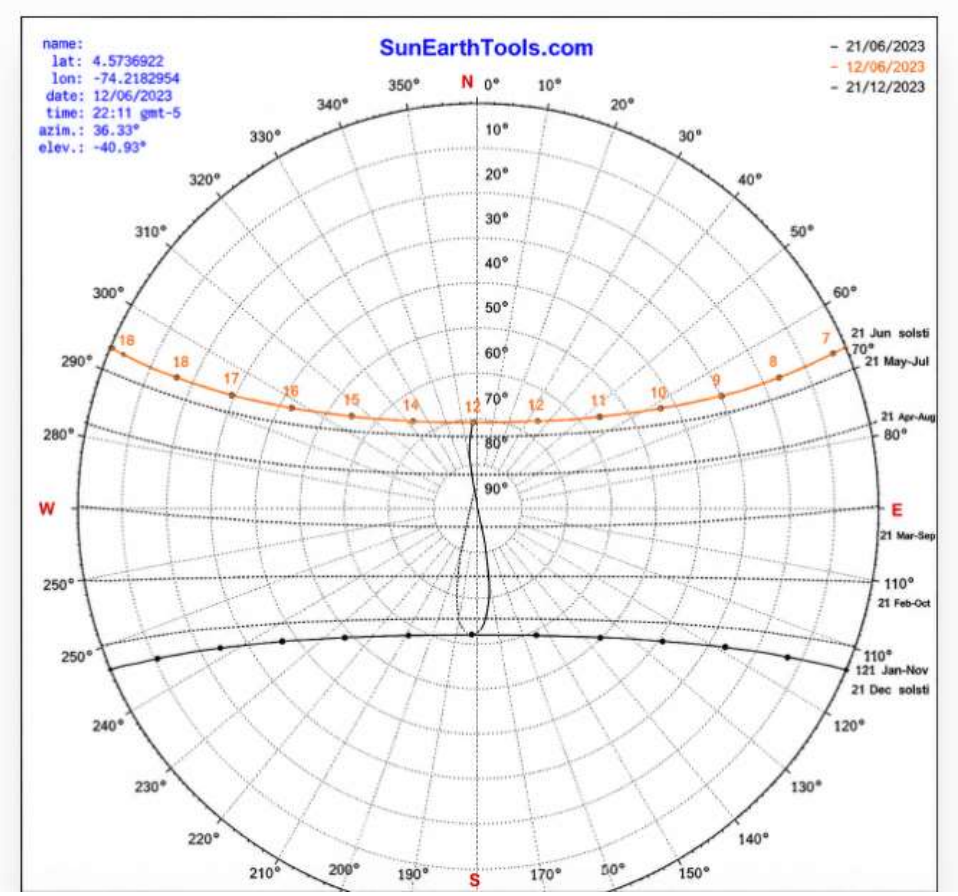




Fuente: los autores

La figura 8 muestra una analema, que describe la curva trazada por la posición del Sol en el cielo al observarlo a la misma hora todos los días del año, tomada desde la I.E. General Santander, ubicada en el municipio de Soacha, Cundinamarca, Colombia.

Figura 8. Analema observada desde la Institución Educativa General Santander, año 2023.



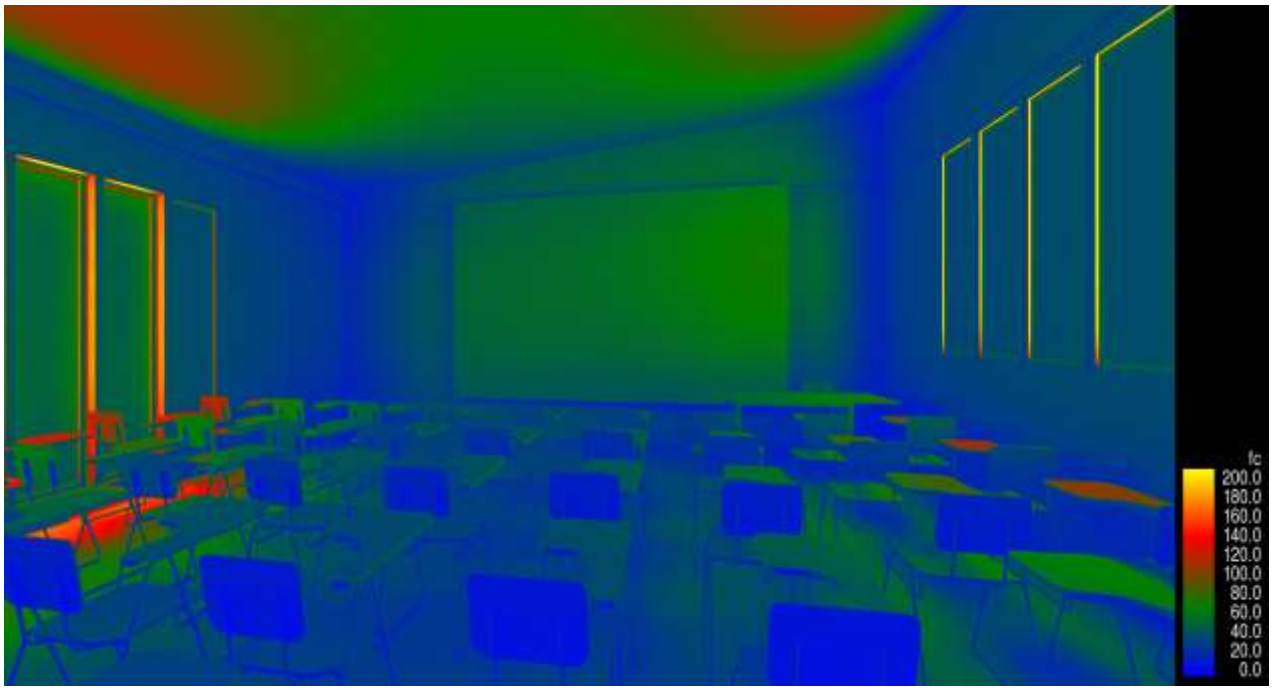
Fuente: SunEarthTools[35]

En la figura 9 se observa que, en febrero de 2023, el volumen de dos pisos frente a la calle, específicamente en su nivel superior, recibe rayos de luz de la manera representada en la gráfica. El impacto es relativamente menor debido a la protección proporcionada por el corredor lateral con ventanas, siendo el costado sur el más afectado. Esta área parece ofrecer un confort aparente en las aulas, pero al analizar más detenidamente la gráfica, se identifican focos de espectro de iluminancia en el techo y el suelo, causados por la proximidad a las ventanas y corredores. Además, el material del tejado, que como se ha mencionado previamente, refracto calor al interior debido a su constante exposición al exterior. Las aberturas amplias generan condensación, lo

[35] Sun Earth Tools. "Cálculo de la Posición del Sol en el Cielo." 2023. https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es

que incrementa la temperatura y crea zonas cálidas, un fenómeno que se intensifica con la cantidad de estudiantes en el aula.

Figura 9. Iluminancia observada segundo piso, febrero de 2023.

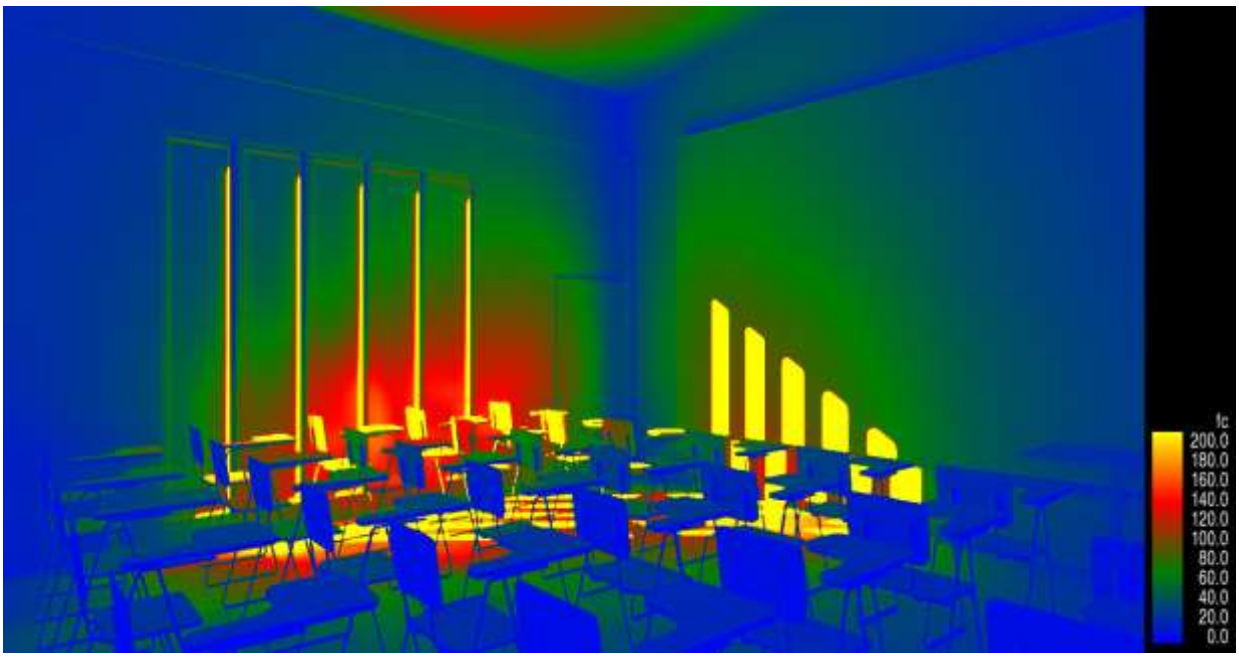


Fuente: los autores

En la figura 10 se muestra que, en junio de 2023, el mayor impacto en el volumen de dos pisos del corredor interno frente a las canchas en el nivel superior se refleja en los rayos de luz según la gráfica. El impacto observado es moderado debido a la protección proporcionada por el corredor lateral con ventanas, siendo el costado norte el más afectado. Aunque el área de aula parece ofrecer un confort aparente, presenta zonas de penumbra debido a que solo hay vanos en un costado. Al igual que en el costado norte, se detecta iluminancia en vidrios, techos y suelos, causada por la proximidad a las ventanas y corredores. Además, el material del tejado, al estar en constante contacto con el exterior, transmite calor al interior por su calentamiento continuo. La afectación varía según la zona y el tiempo del año, siendo más notable en mayo, junio y julio. En los demás meses, el calor generado por la incidencia solar en tejas y muros también incrementará las temperaturas internas debido a la transmisión

de calor. Esto sugiere la necesidad de implementar medidas para mejorar la ventilación, gestionar la ventilación cruzada y aislar el tejado para reducir la temperatura.

Figura 10. Iluminancia observada segundo piso, junio de 2023.



Fuente: los autores

En la figura 11 se observa que, en septiembre de 2023, la construcción de tres pisos presenta un notable impacto en sus niveles superiores, donde los rayos solares inciden de la manera indicada en la gráfica. Este efecto es considerable porque estos espacios reciben más luz solar y, por lo tanto, más calor, debido a la falta de obstáculos en los pisos superiores. Los rayos solares afectan directamente ambos lados del volumen, provocando un calentamiento continuo de los muros y generando un ambiente caluroso. Además, los ventanales grandes permiten una mayor transmisión de luz y calor. Para mejorar las condiciones internas, se deben implementar medidas como la ventilación cruzada, la instalación de barreras para reducir el impacto solar, y el aislamiento de las placas con cielos rasos y cámaras de aire. También se recomienda incorporar vegetación para filtrar la luz y reducir la temperatura del aula. Las áreas extensas en rojo y amarillo indican una fuerte presencia de luz y absorción de calor en

pisos, muros y techos, lo que resulta en una carga térmica que eleva la temperatura en casi toda el aula.

Figura 11. Iluminancia observada tercer piso, septiembre de 2023.

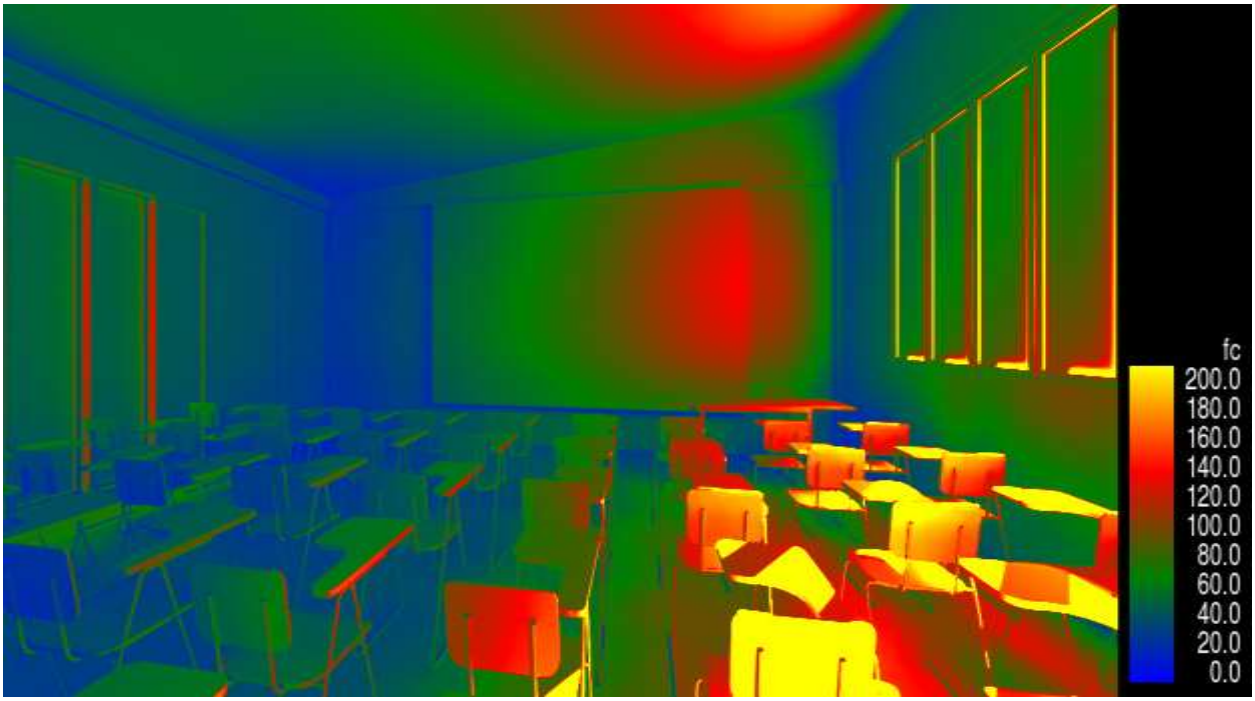


Fuente: los autores

En la figura 12 se observa que, en junio de 2023, el volumen de dos pisos frente a la calle en su nivel superior recibe rayos de luz de la manera mostrada en la gráfica. El impacto se concentra en los laterales con ventanas, siendo el costado norte el más afectado. Estos espacios, con mayor exposición al sol y, por ende, al calor, experimentan un impacto menor de los rayos solares en ambos lados del volumen, aunque la cara norte es más afectada debido a que la cara sur está protegida por la zona de circulación, lo que impide que los rayos entren directamente. Esto provoca un calentamiento en los muros, con un impacto mayor en el costado norte, resultando en áreas relativamente frescas y otras con calor y exposición directa al sol. Además, la cubierta recibe rayos solares constantemente, lo que provoca un calentamiento continuo de las tejas y una acumulación de calor en la parte superior del aula. Se observan amplias áreas en verde y azul que indican zonas protegidas y con menor

impacto de luz, aunque también se detectan focos específicos que muestran absorción de luz y calor cerca de la fachada.

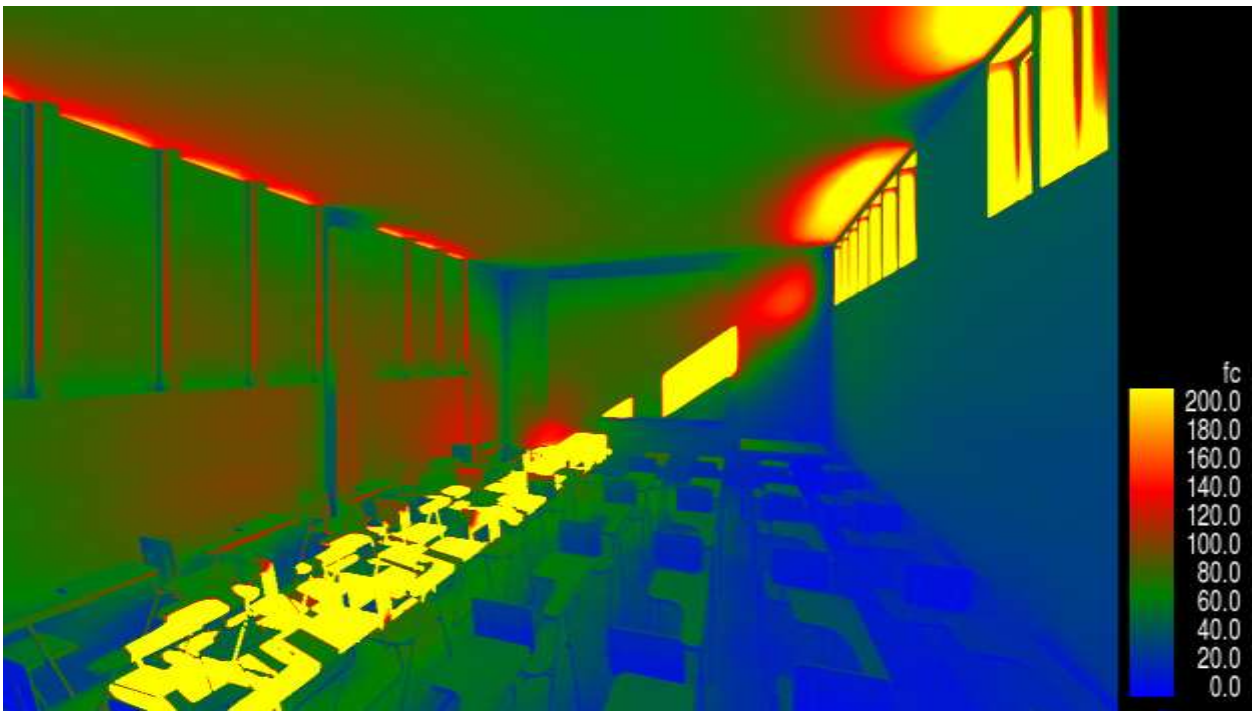
Figura 12. Iluminancia observada segundo piso, junio de 2023.



Fuente: los autores

En la figura 13 se muestra que, en septiembre de 2023, el recorrido solar está más perpendicular a la construcción del volumen de tres pisos. Los rayos de luz impactan en el primer piso de la manera indicada en la gráfica. El impacto no es tan significativo porque los espacios en los pisos bajos reciben menos luz solar y calor, ya que están protegidos por los pisos superiores, que generan sombra en la zona exterior. Además, las ventanas de menor tamaño contribuyen a mantener un ambiente menos caluroso. Los ventanales, si se utilizan adecuadamente, facilitan la ventilación cruzada, permitiendo la salida del aire caliente generado por la alta demanda de estudiantes. Se observan áreas más pequeñas en rojo y amarillo en los perímetros exteriores del aula y en los cielos rasos, lo que se debe a materiales macizos como el concreto y el ladrillo, que absorben calor y lo transmiten al interior.

Figura 13. Perpendicularidad solar tercer piso, septiembre de 2023.



Fuente: los autores

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La implementación del mobiliario en las instituciones educativas debe ser adecuada para satisfacer las necesidades de los usuarios. Según Allanta[36], los muebles educativos deben estar correctamente distribuidos en los espacios, con el objetivo de proporcionar una buena postura, visibilidad, coordinación e interacción con los estudiantes, asegurando comodidad. Además, el mobiliario debe ser apropiado en los tres niveles educativos, con dimensiones que ofrezcan confort sin causar molestias. Según Quesada[37], el mobiliario debe ser ergonómico y anatómico para que los alumnos

[36] Julio Allanta, *Infraestructura Educativa Básica Regular para Lograr una Educación de Calidad en el Distrito La Yarada-Los Palos – Tacna. 2017.* https://renati.sunedu.gob.pe/browse?type=subject&value=Infraestructura+Educativa
[37] Mauricio Quesada Mora, "Condiciones de la Infraestructura Educativa en la Región Pacífico Central: Los Espacios Escolares que Promueven el Aprendizaje en las Aulas," *Revista Educación* 43, no. 1 (2018): 1–26. https://doi.org/10.15517/revedu.v43i1.28179

puedan prestar atención sin fatigarse, siendo indispensable en un entorno educativo adecuado.

Los elementos que contribuyen a un adecuado confort educativo incluyen la implementación de la arquitectura bioclimática y multisensorial, lo que mejora la calidad educativa. Según Barret[38], el confort educativo es uno de los principales aspectos de la arquitectura, proporcionando ambientes adecuados a los usuarios y aprovechando los recursos naturales. Asimismo, UNESCO[39] definen el confort educativo como el que ofrece comodidad y bienestar tanto a estudiantes como a docentes.

La aplicación de la arquitectura bioclimática en las instituciones educativas es clave, ya que genera ambientes confortables. Mamani y Cruz[40] explican que esta arquitectura está diseñada inteligentemente para lograr un confort adecuado en los espacios educativos con costos mínimos, aprovechando las condiciones climáticas locales. Según Wieser[41], esto incluye orientar las aulas para optimizar el uso de la luz natural, emplear paneles solares, diseñar techos con pendientes para drenar el agua de lluvia, proteger los ambientes de una ventilación excesiva y elegir colores que favorezcan la iluminación. Además, diversos factores dependerán de la creatividad y habilidad del arquitecto para desarrollar un proyecto que integre estética, funcionalidad, estructura y, lo más importante, el cumplimiento de las normativas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La estrategia de diseño bioclimático aplicada en la Institución Educativa General Santander en el municipio de Soacha-Cundinamarca, Colombia, con un enfoque en la iluminación, mostró que la inclinación solar no superó los 25 grados. Por lo tanto, las horas de mayor calor se producen alrededor del mediodía, cuando el sol

[38] Peter Barrett, Fay Davies, Yufan Zhang, y Lucinda Barrett, "The Impact of Classroom Design on Pupils' Learning: Final Results of a Holistic, Multi-level Analysis," *Building and Environment* 89 (2015): 118–133. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132315000700
[39] UNESCO. *La Conceptualización de la UNESCO sobre Calidad: Un Marco para el Entendimiento, el Monitoreo, y la Mejora de la Calidad Educativa*. París: EFA Global Monitoring Report. 2019.
[40] Edison Roque Mamani, y Edy Eduardo Cruz-Apaza. *Confort Térmico en el Centro Educacional para el Deficiente Visual - C.E.B.E. Nuestra Sra. de Copacabana de la Ciudad de Puno*. 2018. http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7528
[41] Markus Wieser, *Consideraciones Bioclimáticas en el Diseño Arquitectónico: El Caso Peruano.* https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/28699

está casi vertical sobre las construcciones. En septiembre, los rayos solares impactan directamente en las aulas del volumen de tres pisos, que recibe incidencia solar durante todo el año debido a la orientación este-oeste de sus ventanas. Las grandes áreas de ventanas generan una mayor recepción de luz y, por ende, una temperatura más alta en ciertos momentos del día, especialmente entre las 10 a.m. y las 4 p.m.

Entre abril y agosto de 2023, los rayos de luz se inclinarán hacia el norte aproximadamente 23 grados, proyectando luz en diagonal en las aulas y afectando la disposición de los tableros y a los estudiantes cercanos a las ventanas. Sin embargo, la luz no alcanzará a iluminar toda el aula, conservando zonas de penumbra.

Durante los equinoccios de marzo y septiembre de 2023, se observará una inclinación solar de aproximadamente 34 grados, afectando el costado sur de los salones orientados hacia la calle y generando penumbra en los salones internos adyacentes a edificaciones vecinas.

El impacto del recorrido solar, que alcanza alrededor de 50 grados sobre las construcciones, y la incidencia casi directa sobre los tejados, genera un efecto invernadero que eleva las temperaturas hasta un 35% más de lo esperado.

Para mitigar estos impactos en los volúmenes de dos pisos, se recomienda enfocar los esfuerzos en aislar el tejado del volumen interno del aula mediante la creación de una barrera que impida el paso del calor generado por el tejado. Esto puede lograrse mediante la instalación de un cielo raso con barrera térmica, la implementación de ventilación cruzada para evacuar constantemente el aire caliente, y la utilización de barreras naturales con vegetación colgante, preferiblemente con materiales reciclados.

Es fundamental utilizar elementos reciclados que sean fáciles de adaptar y manejar, para crear barreras móviles que puedan ajustarse para controlar la incidencia solar sin necesidad de mantenimiento constante ni equipos mecánicos que aumenten la carga energética.

Para el futuro de estos tejados (como el de asbesto), se sugiere considerar la instalación de paneles solares fotovoltaicos, que no solo proporcionen una fuente de energía renovable, sino que también actúen como un aislante al reducir la temperatura

de la cubierta y disminuir el uso de energía eléctrica asociada con la generación de calor.

Referencias

Allanta, Julio. Infraestructura Educativa Básica Regular para Lograr una Educación de Calidad en el Distrito La Yarada-Los Palos – Tacna. 2017.https://renati.sunedu.gob.pe/browse?type=subject&value=Infraestructura+Educativa

Arqhys. "La Iluminancia." 2012. https://www.arqhys.com/contenidos/iluminancia.html

AutoDesk. AUTOCAD, versión 19. 2019.

AutoDesk. Revit, versión 19. 2019.

Barrett, Peter, Fay Davies, Yufan Zhang, y Lucinda Barrett. "The Impact of Classroom Design on Pupils' Learning: Final Results of a Holistic, Multi-level Analysis." Building and Environment 89: (2015): 118–133. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132315000700

CIBSE. TM57: Diseño Escolar Integrado. Londres: The Chartered Institution of Building Services Engineers. 2015.

Clements, David. "Lugares de Trabajo Creativo y Productivo: Una Revisión." Intelligent Buildings International 7 (4): (2015): 183–195. https://doi.org/10.1080/17508975.2015.1050492

De Angelis, Elisa, Luca Tagliabue, Federica Re, y Alessandro Mainini. "A Simple Method for the Comparison of Bioclimatic Design Strategies Based on Dynamic Indoor Thermal Comfort Assessment for School Buildings." Procedia Engineering 180. (2017): 1410–1419. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.201.

Díaz-Pinzón, Jorge Enrique, y Jorge Rodríguez González. "Monitoreo de Temperatura en el Aula de Clase Basada en Arduino." El Ágora USB 24 (1): (2024): 268–280. https://doi.org/10.21500/16578031.7192

ENEA. Guida all'efficienza energetica negli edifici scolastici. Presidencia del Consejo de ministros, Ministerio del Ambiente y MIUR. 2016.

García, José, y Víctor Fuentes. Arquitectura y Medio Ambiente en la Ciudad de México. México: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. 2000.

Google. Vista Satelital de la Institución Educativa General Santander, Soacha, Cundinamarca, Colombia. Google Maps. 2024. https://www.google.com/maps

Husin, S. N. F. S., y Z. Y. H. Harith. "El Rendimiento de la Luz del Día a Través de Varios Tipos de Ventanas en Viviendas Edificio." Procedia – Social and Behavioral Sciences 36 (2012): 196–203.

Hyde, Richard. Diseño Sensible al Clima: Un Estudio de Edificios en Climas Húmedos Moderados y Cálidos. Nueva York: E & FN Spon, 2000.

Iberdrola. "Arquitectura Bioclimática, las Construcciones que Respetan el Medio Ambiente." 2023. https://www.iberdrola.com/innovacion/que-es-arquitectura-bioclimatica

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Norma Técnica Colombiana NTC 4595 Ingeniería Civil y Arquitectura Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares. 2020. https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-96894_Archivo_pdf.pdf

Kowaltowski, Doris C. K., Lucila Labaki, Gislene Pina Gutierres, y Valéria Gomes da Silva. "The Challenges of Teaching Bioclimatic Architectural Design." 2005. https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Inive/palenc/2005/Kowaltowski.pdf

Mamani Edison Roque, y Cruz-Apaza Edy Eduardo. Confort Térmico en el Centro Educacional para el Deficiente Visual - C.E.B.E. Nuestra Sra. de Copacabana de la Ciudad de Puno. 2018. http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7528

Medina, Nicolás, y Julián Escobar. "Envolventes Eficientes: Relación entre Condiciones Ambientales, Espacios Confortables y Simulaciones Digitales." Revista de Arquitectura (Bogotá) 21 (1) (2019): 90–109. https://doi.org/10.14718/revarq.2019.21.1.2140

MIUR (Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca). Linee Guida per le Architetture Interne delle Scuole. 2013.

Mohamed, Mohamed, Mohamed Ouf, Mohamed Issa, Panagiotis Plyzois, y Peter Merkel. "Una Metodología para Evaluar los Efectos de la Ocupación y el Uso de los Edificios Escolares en su Consumo de Energía." Ponencia presentada en la 5.a Conferencia Internacional, Vancouver, 8-10 de junio. 2015.

Ordoñez, Andrés. "Estándar ASHRAE 55." 2020. https://www.seiscubos.com/conocimiento/estandar-ashrae-55

Quesada Mora, Mauricio. "Condiciones de la Infraestructura Educativa en la Región Pacífico Central: Los Espacios Escolares que Promueven el Aprendizaje en las Aulas." Revista Educación 43 (1) (2018): 1–26. https://doi.org/10.15517/revedu.v43i1.28179

Sailer, Katrin. “La Organización Espacial y Social de la Enseñanza y el Aprendizaje: El Caso del Colegio Hogwarts de Magia y Hechicería.” En SSS10 Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium, Londres. 2015.

Sun Earth Tools. "Cálculo de la Posición del Sol en el Cielo." 2023. https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es

Tagliabue, Luca, Marco Manfren, Alessandro Ciribini, y Elisa De Angelis. “Modelado de Comportamiento Probabilístico en la Simulación del Rendimiento de Edificios: El Laboratorio Brescia eLUX.” Energy and Buildings 128. (2016): 119–131. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.066.

Tagliabue, Luca, Marco Manfren, Elisa De Angelis, y Alessandro Ciribini. “Evaluación de Eficiencia Energética Basada en Patrones de Ocupación Realistas Obtenidos Mediante Simulación Estocástica.” En Modeling Behaviour: Design Modeling Symposium, editado por Mette Ramsgaard Thomsen et al., 469–478. Aalborg: Aalborg University Press. 2015.

Tovar, María, y José García. “Educational Program for Promoting the Application of Bioclimatic and Sustainable Architecture in Elementary Schools.” Journal of Cleaner Production 62: (2014): 146–152. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214014507

Tucci, Fausto. “Bioclimatic Approaches and Environmental Design: Strategies, Criteria and Requirements for an Evolution of Experimentations.” Sustainability 13 (14) (2021): 7695. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-59328-5_4

UNESCO. La Conceptualización de la UNESCO sobre Calidad: Un Marco para el Entendimiento, el Monitoreo, y la Mejora de la Calidad Educativa. París: EFA Global Monitoring Report. 2019.

Watson, Donald. “Bioclimatic Design.” En Sustainable Built Environments, editado por Vivian Loftness y Daniel Haase, (2013): 15–34. Nueva York: Springer.

Wieser, Markus. Consideraciones Bioclimáticas en el Diseño Arquitectónico: El Caso Peruano.2011. https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/28699

Williams, James, Katrin Sailer, y Richard Priest. “Uso de una Herramienta de Análisis Espacial Interactivo en Línea para Comprender las Percepciones de los Estudiantes de Cuatro Escuelas Secundarias.” En SSS10 Actas del 10º Simposio Internacional de Sintaxis Espacial, Londres. 2015.

Yeang, Ken. Ecodiseño: Manual de Diseño Ecológico. Londres: John Wiley & Sons Ltd. 2008.

Ylengam. "Efectos de Asoleamiento." 2019.https://dokumen.tips/documents/efectos-de-asoleamiento-arquitectura.html

Zr Devi L, y Shinta Mochtar. “Aplicación de Parámetros Bioclimáticos como Enfoque de Sostenibilidad en el Diseño de Edificios de Varios Pisos en Zona Tropical.” Procedia

Environmental Sciences, 17 (2013): 822–830. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.02.099

Environmental and Educational Impact of Bioclimatic Architecture at the General Santander Educational Institution

Abstract

Bioclimatic architecture seeks to take advantage of climatic conditions to create more comfortable and efficient buildings. This study, focused on the General Santander Educational Institution in Soacha, Colombia, analyzes how sunlight and heat affect infrastructure. Using simulations, it was found that the three-story classrooms, oriented east to west, receive a high amount of sunlight throughout the year, especially in September. The large windows allow a lot of light to enter, which increases the interior temperature. In conclusion, it is suggested to use recycled elements to create mobile barriers that control the entry of sunlight without requiring much maintenance or additional energy. These barriers would help regulate the interior temperature and improve student comfort.

Keywords: bioclimatic architecture; educational infrastructure, orientation; design.

Recibido: 28/05/2025
Aprobado: 04/03/2026