

Artificio

Revista en Ciencias de los Ámbitos Antrópicos
Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción
Universidad Autónoma de Aguascalientes, México.
Núm. 9 (2026) periodo enero-junio



Viabilidad de fachadas ventiladas en espacios educativos: caracterización ambiental de un aula vulnerable

Viability of ventilated facades in educational environments: Environmental characterization of a vulnerable classroom

e-ISSN
2992-7463

Site

<https://revistas.uaa.mx/index.php/artificio>

María Fernanda Ramírez Trejo

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
ORCID: 0009-0005-3092-1198
mramirez04@alumnos.uaq.mx

Juan Bosco Hernández Zaragoza

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
ORCID: 0000-0002-3680-7573
bosco@uaq.edu.mx

Teresa López Lara

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
ORCID: 0000-0001-7289-7919
lolte@uaq.mx

Recived: 2025-09-11

Accepted: 2025-11-07

Cómo citar este trabajo. How to cite this paper.

Ramírez Trejo, M. F., Hernández Zaragoza, J. B., López Lara, T. (2026). Viabilidad de fachadas ventiladas en espacios educativos: caracterización ambiental de un aula vulnerable. *Artificio* (9), eArt.0903, 31-43.

Viabilidad de fachadas ventiladas en espacios educativos: caracterización ambiental de un aula vulnerable

María Fernanda Ramírez Trejo ·
Juan Bosco Hernández Zaragoza · Teresa López Lara

Resumen

Este estudio expone una investigación aplicada mediante un estudio de caso, que analiza la viabilidad de implementar fachadas ventiladas como estrategia pasiva para mejorar el confort térmico, lumínico y acústico en espacios educativos. El análisis se realizó en un aula de la Universidad Autónoma de Querétaro, caracterizada por su alta exposición solar y la incidencia de ruido exterior. Mediante mediciones in situ de temperatura, humedad relativa, iluminancia y presión sonora, los datos obtenidos se compararon con normativa nacional e internacional, así como con literatura especializada, identificándose deficiencias ambientales significativas como sobrecalentamiento, niveles sonoros elevados y variaciones marcadas en la iluminación natural. Los resultados indican que las fachadas ventiladas constituyen una solución constructiva viable para optimizar tanto las condiciones de confort como el desempeño térmico del edificio, aportando evidencia que respalda la integración de estrategias pasivas en el diseño y rehabilitación de entornos educativos vulnerables en contextos cálidos y semiáridos.

Palabras clave: *Confort, diseño pasivo, optimización, bioclimática, neuroarquitectura*

Abstract

This work presents an applied research study using a case study methodology to analyze the feasibility of implementing ventilated façades as a passive strategy to improve thermal, visual, and acoustic comfort in educational spaces. The analysis was conducted in a classroom at the Universidad Autónoma de Querétaro, characterized by high solar exposure and external noise incidence. Through in-situ measurements of temperature, relative humidity, illuminance, and sound pressure levels, the obtained data were compared against national and international standards, as well as specialized literature, identifying significant environmental deficiencies such as overheating, elevated noise levels, and marked variations in natural lighting. The results indicate that ventilated façades constitute a viable construction solution for simultaneously optimizing indoor comfort and energy efficiency, providing evidence that supports the integration of passive strategies in the design and retrofitting of vulnerable educational environments in warm and semi-arid contexts.

Keywords: *Comfort, passive design, optimization, bioclimatic, neuroarchitecture*

INTRODUCCIÓN

En los espacios educativos, la calidad ambiental interior influye directamente en el bienestar, la concentración y el rendimiento académico de los estudiantes. Sin embargo, muchas aulas presentan condiciones poco favorables debido a la exposición directa al sol, la cercanía a fuentes de ruido exterior y la falta de ventilación natural adecuada. Estas características generan sobrecalentamiento, deslumbramiento, niveles inadecuados de iluminación natural y exceso de ruido, factores que afectan la experiencia de enseñanza-aprendizaje (Arias & Ávila, 2024).

En un entorno educativo, la relación entre las condiciones físicas del espacio y los procesos cognitivos de los estudiantes adquiere particular relevancia. En los últimos años, el campo de la neuroarquitectura ha aportado evidencia clave sobre cómo las características físicas de un espacio influyen directamente en los procesos cognitivos, emocionales y conductuales de sus usuarios. Desde esta perspectiva, variables como la iluminación natural, la exposición al ruido y la temperatura interior no solo determinan el confort

ambiental, sino que también modulan funciones como la atención sostenida, la memoria de trabajo y la capacidad de concentración.

Ante ello, resulta indispensable replantear los criterios de diseño de los espacios educativos desde una perspectiva integral y sustentable. Bajo este marco conceptual, la neuroarquitectura ofrece un sustento teórico que permite comprender cómo las condiciones ambientales de un aula inciden en el aprendizaje y el bienestar, reforzando la necesidad de implementar estrategias pasivas de diseño que optimicen el entorno físico.

Ante este escenario, resulta pertinente explorar estrategias pasivas que mejoren el desempeño ambiental sin depender exclusivamente de sistemas mecánicos. Una de estas estrategias es el uso de fachadas ventiladas, sistemas constructivos que funcionan como una “segunda piel” capaz de contribuir al confort térmico, lumínico y acústico del edificio (Cuze, 2025).

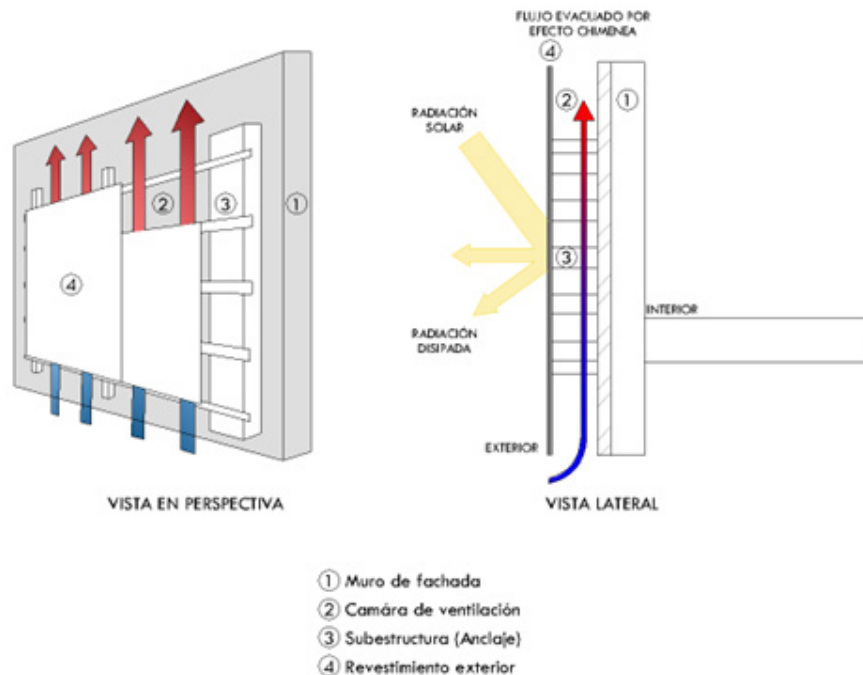


Figura 1. Composición de fachadas ventiladas. Elaboración propia, 2025.

El diseño pasivo de edificios ha ganado terreno en las últimas décadas como una estrategia clave frente al cambio climático y al incremento de los costos energéticos. Dentro de este enfoque, las fachadas ventiladas destacan como una de las soluciones más efectivas. Si bien comparten el principio de una cámara de aire con los sistemas de doble piel, se diferencian fundamentalmente por su configuración de ventilación: mientras que las fachadas de doble piel suelen incorporar cámaras con ventilación controlada, las fachadas ventiladas se basan en una cámara abierta que favorece el flujo natural de aire, generando el denominado efecto chimenea. Dicho mecanismo pasivo permite regular las condiciones interiores mediante la disipación del calor y la renovación continua del aire.

Este tipo de sistemas multicapa está constituido por un revestimiento exterior, un soporte estructural y una cámara de aire intermedia. Esta configuración favorece el efecto chimenea, mediante el cual el aire caliente acumulado asciende y es reemplazado por aire más fresco, lo que a su vez permite una evacuación pasiva del calor y contribuye a la regulación térmica del edificio. Asimismo, las fachadas ventiladas pueden apoyar el control de humedad y la atenuación del ruido exterior, mejorando las condiciones de confort y aumentando la durabilidad de la edificación (Pizzatto et al., 2025).

La cámara de ventilación es un componente esencial para el funcionamiento del "efecto chimenea" en las fachadas ventiladas, ya que un ancho reducido puede impedir la correcta evacuación del aire caliente, generando ganancias térmicas no deseadas dentro del edificio. Por el contrario, un mayor ancho de cámara disminuye la resistencia al flujo de aire, favoreciendo una ventilación natural más eficiente que contribuye a la optimización de la eficiencia energética, especialmente en climas cálidos (Aksamija, 2015).

Tal es el caso de Querétaro, que de acuerdo con datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), correspondientes al periodo 1991–2020, presenta un clima cálido semiseco, con temperaturas medias anuales de 18–22 °C, elevada exposición a radiación solar y precipitaciones concentradas en verano. Bajo estas condiciones climáticas, el adecuado dimensionamiento de la cámara de aire resulta fundamental para maximizar los beneficios térmicos y energéticos

de las fachadas ventiladas, consolidándolas como una solución eficaz dentro de la arquitectura sostenible.

De esta manera, las fachadas ventiladas se consolidan como una piel adaptable al contexto de cada edificación, ya que su diseño puede ajustarse en función de la orientación del inmueble, la geometría de la cámara de aire y la selección de materiales específicos para cada clima. Este grado de flexibilidad y personalización convierte a las fachadas ventiladas en una solución arquitectónica versátil, capaz de responder a distintas condiciones ambientales y necesidades espaciales, al tiempo que optimiza tanto el confort interior como la eficiencia energética (Vasileva et al., 2022).

Además de mejorar la eficiencia energética, las fachadas ventiladas actúan como barrera frente a la humedad y el ruido, incrementando el confort de los usuarios y la durabilidad de la edificación (Pizzatto et al., 2025). En este sentido, no se trata únicamente de una mejora ambiental, sino también de una inversión en la conservación del inmueble, la reducción de costos operativos y la creación de espacios más saludables y funcionales.

En el caso de los edificios universitarios, esta solución cobra especial importancia, dado que muchas de las infraestructuras fueron diseñadas con criterios tradicionales, sin considerar los efectos del cambio climático o la evolución de los estándares de confort ambiental. La rehabilitación pasiva de estas construcciones puede representar una estrategia de bajo impacto ambiental y alta efectividad, permitiendo actualizar el desempeño de los espacios sin recurrir a sistemas de climatización costosos y energéticamente intensivos.

El presente estudio no solo busca caracterizar las condiciones de un aula vulnerable a partir de mediciones de variables, si no que se pretende identificar los factores críticos que justifican la implementación de fachadas ventiladas. Los resultados permitirán desarrollar lineamientos de diseño específicos para reducir la carga térmica interior y mejorar el confort en espacios educativos con características similares, sirviendo como referencia para futuras intervenciones constructivas en entornos vulnerables.

DESARROLLO

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo-descriptivo, y se estructuró en dos etapas principales orientadas a evaluar las condiciones ambientales de un aula universitaria vulnerable y valorar la pertinencia de implementar fachadas ventiladas como estrategia pasiva. La medición en campo se realizó durante el mes de agosto de 2025, periodo seleccionado por representar condiciones de alta carga térmica, con el fin de caracterizar el comportamiento ambiental del aula bajo los escenarios climáticos más demandantes.

La primera etapa consistió en la caracterización ambiental de un espacio con el fin de identificar las condiciones actuales, mediante la medición de variables como temperatura exterior e interior, humedad relativa, nivel de presión sonora e iluminancia. El aula de estudio, ubicada en la Universidad Autónoma de Querétaro, fue elegida por sus condiciones de vulnerabilidad, ya que se encuentra orientada hacia el poniente —con alta exposición a radiación solar—, cercana a un área de estacionamiento y sin sistemas de control ambiental que mitiguen dichas condiciones.

Estas mediciones permitieron identificar con precisión los parámetros fuera de los rangos recomendados para ambientes educativos confortables. Los resultados obtenidos se presentan en gráficas comparativas que ilustran el comportamiento de cada variable en diferentes días y horarios, facilitando el diagnóstico ambiental del espacio. A partir de la interpretación de estos datos, fue posible identificar momentos críticos de inconfort térmico, lumínico y acústico, lo cual permitió delimitar los requerimientos específicos del espacio para su mejora.

La segunda etapa consistió en la comparación de los resultados obtenidos con referentes teóricos y normativos. Por un lado, se consideró la literatura especializada, la cual ha documentado los beneficios de las fachadas ventiladas en la reducción del sobrecalentamiento, la optimización de la iluminación natural y la mitigación del ruido exterior (Schabowicz et al., 2021; Liu et al., 2025; Lee et al., 2020). Por otro lado, se contrastaron los valores medidos con los criterios establecidos en normativa nacional e internacional, tales como la *NMX-R-084-SCFI-2015* (eficiencia energética y confort térmico), la *NMX-R-118-SCFI-2020* (iluminación y condiciones ambientales interiores), la *ISO 7730:2005* (modelos de evaluación

del confort térmico) y la *ASHRAE 55-2023* (criterios de confort térmico). Esta comparación permitió contextualizar el comportamiento ambiental del aula respecto a parámetros aceptados en el ámbito nacional e internacional.

Es así como este procedimiento permitió identificar las principales deficiencias ambientales del aula analizada y evaluar el impacto potencial de implementar fachadas ventiladas en espacios educativos. De este modo, la investigación no solo ofrece un diagnóstico detallado de la situación actual del caso de estudio, sino que también fundamenta —a partir de la teoría y de la normativa vigente— la pertinencia de aplicar estrategias pasivas de diseño para mejorar el confort y la eficiencia energética en entornos académicos.

Caracterización de caso de estudio

El aula seleccionada corresponde a un espacio académico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Presenta dimensiones aproximadas de 5.00 m de ancho por 7.00 m de profundidad, con un área de 35 m² aproximada y una altura promedio de 2.5 m.

Entre dichos factores destacan su orientación hacia el poniente, que —en combinación con el clima cálido semiseco de Querétaro, caracterizado por temperaturas elevadas y alta radiación solar durante el horario académico— genera un marcado sobrecalentamiento interior. A ello se suma la cercanía a un estacionamiento, que incrementa los niveles de ruido exterior, así como la ausencia de sistemas de control solar y barreras acústicas en la fachada. Estas características convierten al aula en un espacio representativo de problemáticas comunes en entornos universitarios y, al mismo tiempo, en un escenario idóneo para evaluar la pertinencia de implementar soluciones pasivas como las fachadas ventiladas.

Cabe destacar que, en entornos universitarios de crecimiento acelerado, muchas veces las edificaciones se construyen bajo criterios funcionales y económicos, dejando en segundo plano el análisis del comportamiento ambiental del espacio. Esto genera una alta dependencia de sistemas mecánicos de climatización, lo que implica un consumo energético

considerable y, en algunos casos, ineficiente. Ante este panorama, las estrategias pasivas como las fachadas ventiladas se presentan como una oportunidad para intervenir edificaciones existentes y optimizar sus condiciones sin modificar drásticamente su infraestructura.

Las mediciones a estas variables ambientales se realizaron con equipos como termohigrómetro digital, luxómetro y sonómetro, en diferentes horarios representativos de la jornada académica, aproximadamente a las 10:00, 14:00 y 18:00 horas, durante una semana del mes de agosto, con el propósito de caracterizar de manera precisa las condiciones reales del espacio. Durante esta fase se realizaron mediciones in situ de las variables ambientales:

- Iluminancia (lux) mediante un luxómetro, con el fin de identificar si los niveles de luz natural se encontraban dentro de los rangos recomendados.
- Nivel de presión sonora (dBA) mediante un sonómetro, identificando la incidencia de ruido al interior del aula y su posible afectación en el confort acústico.
- Temperatura (°C) y humedad relativa (%) mediante un termohigrómetro, con el propósito de determinar el grado de sobrecalentamiento y el confort térmico percibido en el espacio.

Los resultados obtenidos se organizaron en gráficas comparativas que muestran el comportamiento de cada variable, lo cual permitió identificar qué

parámetros se encuentran fuera de los rangos de confort recomendados para ambientes de enseñanza-aprendizaje.

Se inició con mediciones térmicas al exterior e interior del aula, donde se evidenciaron diferencias térmicas notables. Mientras la temperatura exterior alcanzó valores máximos de 32 °C a 37 °C, el interior del aula se mantuvo en un rango entre 25 °C y 30 °C. Esta gráfica permite visualizar la correlación entre condiciones exteriores e interiores, lo que evidencia la escasa capacidad de la envolvente del edificio para amortiguar las condiciones del entorno.

La humedad relativa en el interior del aula mostró fluctuaciones moderadas, con valores que oscilaron entre 37% y 48% durante las mediciones realizadas. En general, se registraron niveles más bajos en las primeras horas del día, con una tendencia de incremento hacia las 18:00 h. El registro de estas variaciones permite comprender cómo la ventilación natural influye en la renovación del aire y en la estabilidad de las condiciones higrotérmicas dentro del aula.

Para facilitar la interpretación conjunta del comportamiento térmico y la humedad relativa, se elaboró una gráfica combinada en la que ambas variables se representan sobre un mismo eje temporal, empleando escalas independientes. Esta integración permite identificar con mayor claridad la relación entre los aumentos de temperatura y las variaciones de humedad observadas en el aula, particularmente durante los horarios de mayor carga térmica.

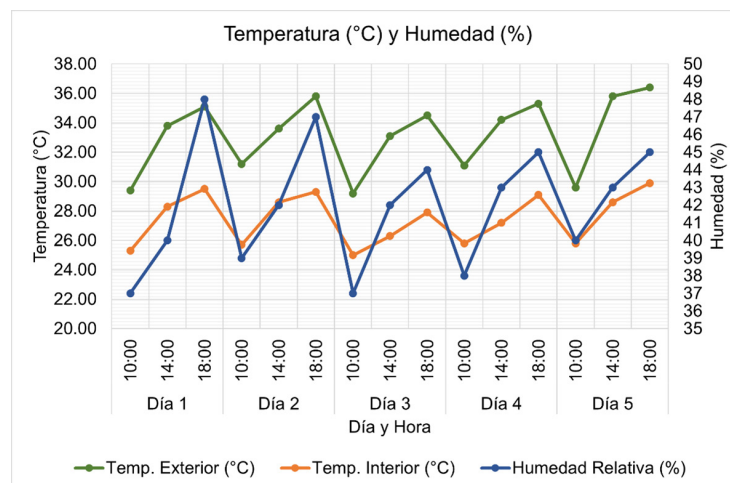


Figura 2. Temperatura exterior e interior en comparación de humedad relativa. Elaboración propia, 2025.

Los valores registrados de iluminancia oscilaron entre 680 lux y 1050 lux a lo largo del día. La gráfica muestra un patrón ascendente hacia las 14:00 h, coincidiendo con el momento de mayor incidencia solar, seguido de una ligera disminución en el horario de la tarde.

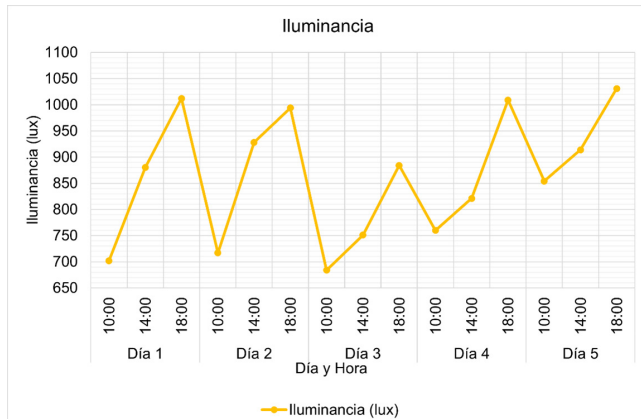


Figura 3. Iluminancia. Elaboración propia, 2025.

Este comportamiento refleja directamente la influencia del movimiento solar y la respuesta del espacio en función de su orientación. La distribución de la luz natural en el aula se mantiene relativamente uniforme, evitando contrastes abruptos o deslumbramientos severos, lo que contribuye a mantener condiciones visuales estables durante el horario académico.

Los niveles de presión sonora registrados en el interior del aula oscilaron entre 65 dBA y 75 dBA, presentando picos más altos durante los horarios de mayor actividad urbana, particularmente hacia las 14:00 h y 18:00 h. Este comportamiento refleja la influencia directa de las fuentes externas de ruido, como el tránsito vehicular y las actividades del estacionamiento cercano.

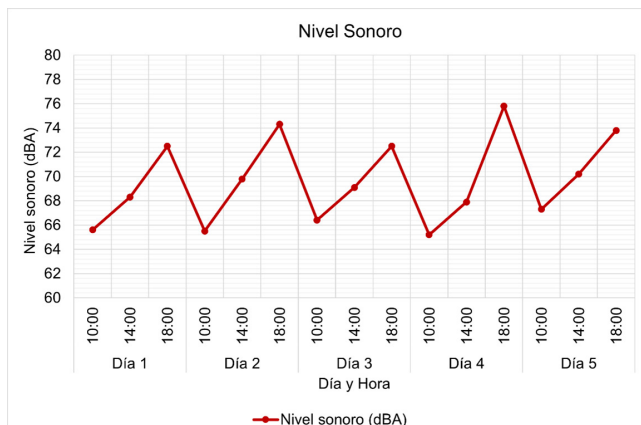


Figura 4. Nivel Sonoro. Elaboración propia, 2025.

Aunque la fachada ventilada puede aportar beneficios térmicos y de iluminación, los resultados sugieren que su diseño debe considerar también estrategias para el control del ruido, como barreras acústicas o materiales absorbentes, con el fin de garantizar un confort integral dentro del espacio.

El análisis de las gráficas obtenidas —derivadas de mediciones in situ realizadas durante una semana en tres horarios diferentes de la jornada de clase, con una duración aproximada de 3 minutos por variable para permitir la estabilización de los valores registrados— evidencia que el aula presenta condiciones ambientales poco favorables en términos de temperatura, iluminación, humedad y niveles sonoros. Estos resultados justifican la pertinencia de implementar fachadas ventiladas como estrategia pasiva, al ofrecer una solución capaz de mejorar el confort térmico y lumínico, así como de integrarse a mejoría del control acústico para optimizar de manera integral el ambiente de aprendizaje.

Análisis comparativo frente a la literatura

Como segunda etapa del análisis, los resultados obtenidos in situ serán comparados con estudios previos, con el objetivo de identificar tendencias, patrones y posibles correlaciones. Esta revisión comparativa permitió establecer vínculos entre las condiciones reales del aula y los beneficios reportados por diversas investigaciones sobre fachadas ventiladas como estrategia pasiva.

En este sentido, la literatura reporta que las fachadas ventiladas pueden generar beneficios en distintos aspectos del confort interior, especialmente en climas cálidos o con alta incidencia solar, como es este caso. En este contexto, estudios como los de Schabowicz et al. (2021) demuestran que las fachadas ventiladas contribuyen eficazmente a la reducción del sobrecalentamiento en aulas expuestas a radiación solar directa. La circulación de aire dentro de la cámara de ventilación permite disipar el calor acumulado en la envolvente, mientras que las juntas abiertas favorecen la evacuación del calor incluso en condiciones de baja velocidad del viento. Así, un diseño consciente de fachadas ventiladas no solo mejora el confort térmico de los ocupantes, sino que también puede disminuir la demanda energética destinada a sistemas de enfriamiento durante los

meses cálidos, justificando su implementación como estrategia de diseño pasivo en entornos educativos.

En cuanto a la iluminancia, los valores registrados mostraron variaciones considerables a lo largo del día, con incrementos notorios hacia el mediodía y una disminución progresiva por la tarde. Las mediciones, realizadas en el plano de trabajo horizontal a 0.75 m de altura, registraron niveles que evidencian una entrada de luz natural poco regulada. Este comportamiento, asociado a la orientación poniente del aula y a la ausencia de dispositivos de control solar, genera deslumbramiento parcial y contrastes visuales pronunciados que pueden comprometer el confort visual y la productividad de los estudiantes.

Asimismo, se enfatiza que la orientación y la geometría de la fachada tienen un papel decisivo no solo en el confort lumínico, sino también en la reducción de la carga térmica del edificio. Esto refuerza la pertinencia de soluciones como las fachadas ventiladas para optimizar simultáneamente eficiencia energética y bienestar visual en entornos educativos, donde se requiere mantener un equilibrio entre luz natural, control térmico y calidad del ambiente visual.

Respecto a los niveles de presión sonora registrados en el aula, que oscilaron entre 65 dBA y 75 dBA, reflejan la influencia de fuentes externas. Estos hallazgos concuerdan con estudios sobre fachadas de doble piel (Lee et al., 2020) que evidencian su eficacia como barrera acústica frente al ruido vehicular y urbano. Investigaciones experimentales muestran que se pueden lograr reducciones de ruido de 33 a 37 dBA, dependiendo del espesor de la cámara de aire, el tipo de material exterior utilizado y el grado de hermeticidad del sistema. Además, se ha demostrado que una configuración con geometría cerrada, pero ventilada, puede mejorar significativamente el aislamiento acústico sin comprometer la circulación del aire, contribuyendo así a un confort integral en espacios sensibles al ruido como las aulas.

Evaluación frente a normativa

El análisis de los datos obtenidos en el aula revela que los parámetros de temperatura interior, iluminancia y nivel de presión sonora exceden, en distintos momentos del día, los rangos recomendados por

normas nacionales e internacionales relacionadas con el confort ambiental en edificios educativos.

En cuanto el confort térmico, las temperaturas interiores registradas, entre 25 °C y 30 °C, superan en ocasiones los límites de confort establecidos por *NMX-R-084-SCFI-2015*, *ISO 7730* y *ASHRAE 55*, especialmente durante las horas de mayor radiación solar (14:00–18:00 h). Estas normativas coinciden en señalar que una temperatura interior superior a 26 °C puede reducir la capacidad de concentración, provocar fatiga térmica e incluso generar inconfort fisiológico si no existen mecanismos adecuados de ventilación o enfriamiento pasivo.

Por otra parte, los niveles de iluminancia, que oscilaron entre 680 lux y 1050 lux, cumplen parcialmente con los criterios establecidos en la *NMX-R-118-SCFI-2020*, que sugiere un mínimo de 500 lux para actividades de lectura y escritura. Sin embargo, los picos de iluminancia registrados durante el mediodía pueden generar deslumbramiento parcial, alteraciones visuales y aumento de la fatiga ocular, especialmente en aulas sin dispositivos de control solar como cortinas o filtros. Esto evidencia la necesidad de integrar sistemas de fachada que permitan modular la entrada de luz, garantizando uniformidad y estabilidad visual durante toda la jornada académica.

Respecto al confort acústico, los niveles de presión sonora medidos (65–75 dBA) exceden con frecuencia los límites recomendados para espacios de aprendizaje, que de acuerdo con la *NMX-R-118-SCFI-2020* deberían mantenerse por debajo de los 50 dBA. La exposición continua a ruidos externos que no solo interfieren en la comprensión auditiva y la concentración de los estudiantes, sino que también puede aumentar los niveles de estrés y reducir la calidad de la enseñanza. Por lo tanto, se considera prioritario incorporar medidas pasivas de aislamiento acústico, como las fachadas ventiladas con capas fonoabsorbentes, que actúen como escudo frente a las fuentes sonoras externas sin comprometer la ventilación natural del espacio.

En síntesis, la confrontación de los resultados con la normativa vigente confirma que el aula en estudio presenta condiciones ambientales que se alejan de los parámetros de confort recomendados. Esta situación valida la urgencia de aplicar soluciones arquitectónicas

pasivas como las fachadas ventiladas, que, al responder de manera simultánea a problemáticas térmicas, lumínicas y acústicas, permiten mejorar la calidad del ambiente interior sin incrementar el consumo energético del edificio.

RESULTADOS

El análisis de las condiciones ambientales del aula de estudio evidenció variaciones significativas en los parámetros de temperatura, humedad relativa, iluminancia y presión sonora, revelando deficiencias en el confort ambiental. Las mediciones térmicas mostraron que, durante los horarios de mayor radiación solar (14:00–16:00 h), la temperatura exterior alcanzó máximos de 32–37 °C, mientras que el interior del aula se mantuvo entre 25–30 °C, superando en múltiples ocasiones los rangos de confort establecidos por la *NMX-R-084-SCFI-2015* y la *ASHRAE 55-2023*. Este comportamiento confirma la incidencia directa de la orientación poniente y la falta de sistemas de protección solar, que generan una acumulación de calor significativa al interior del espacio.

El aula, al encontrarse expuesta de forma prolongada a la radiación solar vespertina, actúa como una caja térmica, acumulando calor en las superficies de muros, pisos y techos. Esta inercia térmica, sumada a la baja renovación de aire, provoca una sensación térmica incómoda para los usuarios durante los horarios de clase más concurridos. En efecto, los datos muestran una persistencia del calor incluso después del pico solar, lo que sugiere que el aula no disipa eficientemente el calor acumulado durante el día, agravando la sensación de inconfort térmico hacia el final de la jornada académica.

La humedad relativa, con valores entre 37% y 48%, se mantuvo dentro de parámetros aceptables, aunque su tendencia ascendente hacia el final del día evidencia una ventilación natural insuficiente y la presencia de una inercia térmica elevada. Esta condición puede estar relacionada tanto con la baja tasa de intercambio de aire como con la acumulación de calor y vapor generado por la ocupación del aula. La combinación de temperaturas elevadas y niveles medios de humedad relativa incrementa la carga térmica percibida, lo cual repercute en el confort higrotérmico de los usuarios.

Los valores de iluminancia registrados oscilaron entre 680 lux y 1050 lux a lo largo del día. Cabe señalar que la medición se realizó en el plano de trabajo horizontal, con el sensor posicionado en la zona central del salón a una altura aproximada de 0.75 m. Si bien la *NMX-R-118-SCFI-2020* establece un rango recomendado de 300–500 lux para tareas generales, los picos de iluminancia registrados durante el mediodía sugieren la presencia de deslumbramiento parcial, que puede comprometer el confort visual y la productividad. La entrada excesiva de luz natural sin filtros o dispositivos de control genera contrastes visuales incómodos, reflejos sobre las superficies de trabajo y una mayor fatiga ocular. A pesar de que la luz natural es deseable por sus beneficios sobre la salud y el rendimiento, es imprescindible regular su intensidad para evitar efectos negativos en el entorno educativo.

El análisis gráfico de los datos mostró un comportamiento lumínico con un patrón ascendente hacia las 14:00 h, seguido de una disminución paulatina hacia la tarde. Esta dinámica coincide con el trayecto solar y confirma que la orientación poniente del aula permite una fuerte ganancia lumínica durante las horas de máxima radiación. La implementación de fachadas ventiladas con capas exteriores perforadas o móviles podría mitigar estos efectos, permitiendo modular la cantidad de luz entrante sin bloquearla completamente.

En lo referente al confort acústico, los niveles de presión sonora representaron uno de los hallazgos más críticos: las mediciones oscilaron entre 65 y 75 dBA, superando ampliamente el rango recomendado de 35–45 dBA para aulas según normativa internacional.

Es importante destacar que estas mediciones se realizaron con el aula desocupada, por lo que los niveles registrados son atribuibles exclusivamente a fuentes externas, representando una condición base crítica. Las principales fuentes identificadas fueron el tránsito vehicular, la actividad del estacionamiento colindante y el flujo peatonal. La fachada existente, carente de aislamiento o elementos de control acústico, no contribuye a mitigar estas emisiones. Este nivel de ruido constituye una barrera significativa para la comprensión verbal y la concentración, afectando directamente el proceso de aprendizaje.

El análisis gráfico permitió identificar patrones horarios claros: un incremento simultáneo de temperatura e iluminancia entre las 12:00 y 14:00 h, así como picos de ruido durante las horas de mayor actividad urbana. Esta superposición de variables críticas intensifica las condiciones de inconfort percibidas por los ocupantes. Por ejemplo, la combinación de ruido externo elevado con una sensación térmica incómoda puede generar fatiga cognitiva y afectar directamente la calidad del aprendizaje.

Estos resultados refuerzan la necesidad de estrategias de diseño pasivo integradas, donde las fachadas ventiladas podrían desempeñar un papel clave no solo en la disipación térmica, sino también en el control lumínico y acústico. La implementación de este tipo de sistemas permitiría abordar de forma simultánea las principales deficiencias identificadas, mejorando la habitabilidad del aula y contribuyendo a una arquitectura más eficiente, saludable y adaptada al contexto climático.

Limitaciones del estudio

Si bien este estudio caracteriza de manera robusta las condiciones ambientales de un aula vulnerable y fundamenta la viabilidad teórica de las fachadas ventiladas, es importante señalar sus limitaciones. La principal reside en su naturaleza de estudio de caso, centrado en un único espacio educativo con características específicas, lo cual limita la generalización directa de los resultados. Asimismo, la evaluación del desempeño de la fachada ventilada es predictiva, basada en literatura y normativa, y no en la medición física de un prototipo implementado.

Lineas futuras de investigación

Se recomienda ampliar el estudio a distintas tipologías de espacios educativos y orientaciones, así como incorporar simulaciones mediante software especializado para comparar diferentes materiales, geometrías de cámara y configuraciones de control solar. Del mismo modo, sería pertinente evaluar prototipos físicos o intervenciones piloto que permitan validar experimentalmente el potencial de las fachadas ventiladas.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos reflejan una problemática común en edificios educativos de climas cálidos-semi-secos: el sobrecalentamiento interior, la iluminación no controlada y la exposición al ruido urbano.

Estudios previos (Schabowicz et al., 2021; Liu et al., 2025) coinciden en que las fachadas ventiladas constituyen una de las estrategias pasivas más efectivas para mitigar estas condiciones negativas ambientales. Aunado a que el sobrecalentamiento en un aula está directamente ligado a la incomodidad, la distracción y la fatiga mental. Las fachadas ventiladas, al reducir la temperatura interior de manera pasiva, mitigan este estrés térmico, creando un ambiente que favorece la concentración y el rendimiento cognitivo, un principio fundamental de la neuroarquitectura.

En el ámbito lumínico, los resultados demuestran la necesidad de un control más preciso de la radiación solar directa. Investigaciones recientes (Liu et al., 2025) destacan que la incorporación de lamas o louvres ajustables en fachadas ventiladas puede equilibrar el ingreso de luz natural, reduciendo la incidencia directa hasta en un 41.5% sin sacrificar niveles de iluminación adecuados. En este contexto, el diseño de una envolvente adaptativa no solo mejora el confort visual, sino que también contribuye a la reducción de la demanda energética asociada a iluminación artificial.

En el aula analizada, los niveles de presión sonora registrados (65–75 dBA) exceden ampliamente los valores recomendados para espacios educativos. Es así como este factor da como resultado un estrés crónico, activando el sistema nervioso simpático y dificultando la concentración y la memoria. Al actuar como una barrera acústica adicional, las fachadas ventiladas ayudan a crear un entorno sonoro más tranquilo, reduciendo la carga cognitiva y permitiendo una mejor focalización de la atención.

Estudios como los de Lee et al. (2020) señalan que el uso de fachadas de doble piel con materiales fonoabsorbentes puede proporcionar una atenuación acústica significativa de entre 33 y 37 dBA, dependiendo del diseño del sistema y de los materiales empleados.

La mejora en confort térmico, lumínico y acústico derivada de la implementación de fachadas ventiladas también puede analizarse desde un enfoque de neuroarquitectura. Desde esta perspectiva, se analiza la interacción entre el entorno construido y los procesos cerebrales, la creación de espacios educativos con condiciones ambientales óptimas es crucial. Factores como el estrés térmico, el ruido persistente y el deslumbramiento no solo generan incomodidad, sino que impactan directamente en la capacidad de aprendizaje, la memoria y el bienestar emocional de los estudiantes. En este sentido, las estrategias pasivas como las fachadas ventiladas se presentan no solo como una solución técnica, sino como una herramienta para diseñar entornos que apoyen positivamente la neuro cognición.

Finalmente, esta discusión expone la necesidad de un enfoque integral en el diseño arquitectónico y constructivo. La ventilación natural, el control solar y la protección acústica no deben abordarse como sistemas independientes, sino como componentes interrelacionados que actúan de forma sinérgica sobre el ambiente interior. La fragmentación del diseño en soluciones parciales puede conducir a intervenciones ineficientes o incluso contraproducentes. En cambio, una mirada integral que considere los múltiples factores ambientales desde las primeras etapas del proyecto arquitectónico permite desarrollar estrategias más eficaces, adaptadas al contexto climático, funcional y urbano de cada caso.

Referencias

Aksamija, A. (2015). Design methods for sustainable, high-performance building facades. *Advances in Building Energy Research*, 10(2), 1–23. <https://doi.org/10.1080/17512549.2015.1083885>

Arias, S., & Ávila, R. (2024). Requerimientos de calidad ambiental interior en aulas de educación superior. *Artificio*, 6, eC1–eC16.

Cuce, P. M., & Cuce, E. (2025). Ventilated facades for low-carbon buildings: A review. *Processes*, 13(7), 2275. <https://doi.org/10.3390/pr13072275>

Lee, J., Lee, S., & Kim, Y. (2020). Acoustic design strategies for educational spaces: A review of research trends. *Journal of the Acoustical Society of America*, 148(3), 1234–1248.

Lou, S., Luo, X., Chen, Z., Gao, Z., Wang, R., Feng, L., Zhang, G., Zhang, Y., Zhao, Y., & Li, B. (2025). Multi-objective optimization of daylighting performance and solar radiation for building geometry using a hybrid evolutionary algorithm. *Scientific Reports*, 15, 26644. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-12165-6>

Pizzatto, S. M. dos S., Pizzatto, F., Raupp-Pereira, F., Arcaro, S., Angioletto, E., & Klegues Montedo, O. R. (2025). Ventilated facade system: A review. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 64, 100443. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2025.100443>

Schabowicz, K., Zawiślak, L., & Staniów, P. (2021). Efficiency of ventilated facades in terms of airflow in the air gap. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 1–13. <https://reference-global.com/article/10.2478/sgem-2021-0014>

Vasileva, I. L., Nemova, D. V., Vatin, N. I., Fediuk, R. S., & Karelina, M. I. (2022). Climate-adaptive façades with an air chamber. *Buildings*, 12(3), 366. <https://doi.org/10.3390/buildings12030366>

María Fernanda Ramírez Trejo

Fernanda Ramírez, arquitecta egresada del Instituto Tecnológico de Querétaro, donde se especializó en diseño urbano arquitectónico sustentable. Certificada como BIM Modeler por Autodesk, lo que subraya su interés a la metodología BIM. Amante de soluciones constructivas eficientes, combinando creatividad y rigor técnico en cada proyecto. Actualmente estudiante de maestría en ciencias de la construcción por la Universidad Autónoma de Querétaro.



Política de acceso abierto

La Revista Artificio proporciona un acceso abierto a su contenido, basado en el principio de que ofrecer un acceso libre a las investigaciones ayuda a incrementar el intercambio global del conocimiento. Artificio no cobra ni cobrará ningún cargo a sus lectores por concepto de suscripción, ni a los autores por enviar, procesar o publicar sus artículos.

Como condición de publicación, los autores acuerdan liberar sus derechos de autor bajo una licencia compartida, específicamente la licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a cualquier persona compartir, copiar, transformar y redistribuir el material en cualquier medio o formato bajo los siguientes términos:

- *Dar crédito al autor del texto
- *No hacer uso del material con propósitos comerciales
- *Compartir: copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
- *Adaptar: remezclar, transformar y crear obras derivadas del material
- *Si se remezcla, transforma o crea obras derivadas del material, se deben distribuir las nuevas contribuciones bajo la misma licencia que la original.