



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**
Seréis mis testigos

MANABÍ

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE MANABÍ

CARRERA DE ARQUITECTURA

TRABAJO DE TITULACIÓN

CALIDAD DEL AIRE Y CLIMATIZACIÓN EN UNA EDIFICACIÓN EDUCATIVA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO, INFRAESTRUCTURA Y SISTEMAS SOCIALES Y AMBIENTALES PARA UN

HÁBITAT SOSTENIBLE

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

AMBIENTE, CIUDAD, TERRITORIO Y SOCIEDAD PARA UN HÁBITAT SOSTENIBLE,

PLANIFICADO, INCLUSIVO Y SEGURO

PREVIO AL TÍTULO DE

ARQUITECTO

AUTOR

HENRY JAVIER OLIVES VERA

TUTOR

Arq. DIEGO XAVIER HIDALGO BURNEO.

PORTOVIEJO, ABRIL 2025

Certificación del Tutor

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

En la ciudad de Portoviejo a los tres días del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

ARQ. DIEGO XAVIER HIDALGO BURNEO

C.C. 1103696504

Tutor (a)

Acta de aprobación del Tribunal

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

En la ciudad de Portoviejo a los tres días del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

Arq. Aimee Del Rocio Delgado Cruz

C.C. 1105632358

Lector Revisor(a)

Arq. César Andrés Cabrera Andrade

C.C. 1315606408

Lector Revisor (a)

Arq. Diego Xavier Hidalgo Burneo

C.C. 1103696504

Tutor (a)

Declaración de Originalidad

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo.

Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

En la ciudad de Portoviejo a los tres días del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

HENRY JAVIER OLIVES VERA

C.C. 1723302129

Autor(a)

Declaración de Derecho del Autor

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

En la ciudad de Portoviejo a los tres días del mes de abril de dos mil veinte y cinco.

HENRY JAVIER OLIVES VERA

C.C. 1723302129

Autor(a)

Dedicatoria

A mis padres, Irlanda Vera y Javier Olives, por ser mi ejemplo de esfuerzo y dedicación, y por brindarme su apoyo incondicional en cada paso de mi vida.

A mi hermana, Milena Olives, por su compañía y aliento constante.

Y a mi novia, Arianna Vélez, por estar a mi lado en cada desafío, con amor y apoyo inquebrantable.

Esta tesis es para ustedes, con gratitud y cariño.

HENRY JAVIER OLIVES VERA

C.C. 1723302129

Autor(a)

Agradecimientos

A mis padres, Irlanda Vera y Javier Olives, por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo y dedicación.

Su apoyo incondicional y amor han sido la base de cada uno de mis logros.

A mi hermana, Milena Olives, por su compañía y aliento constante, recordándome siempre la importancia de seguir adelante con determinación.

A mi tutor de tesis, el arquitecto Diego Hidalgo, por su guía, paciencia y valiosos consejos que fueron clave en el desarrollo de este trabajo. Su orientación me permitió consolidar cada idea con claridad y precisión.

A mis amigos y seres queridos, quienes con su apoyo y motivación hicieron este proceso más llevadero. Gracias por estar siempre presentes, celebrando mis logros y brindándome fuerzas en cada desafío.

A todos los que, de una u otra manera, han sido parte de este camino, mi más sincero agradecimiento.

HENRY JAVIER OLIVES VERA

C.C. 1723302129

Autor(a)

Resumen

La calidad del aire y la climatización en edificaciones educativas son factores clave para garantizar la salud y el confort de los ocupantes. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la relación entre la calidad del aire interior y exterior en función del uso de sistemas de climatización en la biblioteca de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede Manabí, campus Portoviejo.

Para ello, se realizaron mediciones en distintos puntos del interior y exterior de la biblioteca en tres horarios específicos, considerando la influencia de la climatización y la ocupación del espacio. Se analizaron las variaciones en los niveles de dióxido de carbono (CO₂) y temperatura a lo largo del día, contrastando los resultados con la normativa ASHRAE.

Los resultados muestran que el uso de aire acondicionado permite mantener una temperatura estable, pero favorece la acumulación de CO₂ en los espacios interiores evaluados. Se identificó que, en ciertos momentos del día, los niveles de CO₂ superan los límites recomendados, evidenciando deficiencias en la renovación del aire.

Además, se observó que la temperatura exterior influye en la demanda de climatización, afectando las condiciones ambientales en el interior. Futuros estudios podrían monitorear las variables analizadas a largo plazo. Además, se recomienda evaluar otros factores que afectan la calidad del aire, como la presencia de patógenos, la propagación de enfermedades respiratorias y la generación de malos olores en espacios cerrados.

Esto permitiría comprender mejor los efectos de la calidad ambiental en la salud y el bienestar de los ocupantes.

Palabras clave: Diseño arquitectónico, calidad del aire, climatización, confort térmico.

Abstract

Air quality and climate control in educational buildings are key factors to ensure the health and comfort of occupants. This study aimed to evaluate the relationship between indoor and outdoor air quality based on the use of climate control systems in the library of the Pontifical Catholic University of Ecuador, Manabí campus, Portoviejo.

Measurements were taken at different points inside and outside the library at three specific times, considering the influence of climate control and space occupancy. Variations in carbon dioxide (CO₂) levels and temperature throughout the day were analyzed, comparing the results with ASHRAE standards.

The results show that the use of air conditioning helps maintain a stable temperature but promotes the accumulation of CO₂ in the evaluated indoor spaces. It was identified that, at certain times of the day, CO₂ levels exceed recommended limits, indicating deficiencies in air renewal. Additionally, it was observed that outdoor temperature influences the demand for climate control, affecting indoor environmental conditions. Future studies could monitor the analyzed variables over the long term. Furthermore, it is recommended to evaluate other factors affecting air quality, such as the presence of pathogens, the spread of respiratory diseases, and the generation of unpleasant odors in enclosed spaces.

This would allow for a better understanding of the effects of environmental quality on the health and well-being of occupants.

Keywords: architectural design, air quality, climate control, thermal comfort.

Índice

Certificación del Tutor	i
Acta de aprobación del Tribunal	ii
Declaración de Originalidad	iii
Declaración de Derecho del Autor	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice de Figuras	xii
Índice de Tablas	xiii
Introducción	14
<i>Planteamiento</i>	14
Problema General.....	14
Hipótesis Central.....	14
Justificación	14
Estado de la cuestión.....	15
<i>Formulación</i>	17
Problema específico	17
Preguntas de la investigación.....	18
Marco Teórico.....	18

Objetivos	22
Hipótesis	22
Método	22
<i>Diseño del objeto</i>	23
Tipo de investigación.....	23
Modelo de análisis	23
Unidad de análisis.....	23
Variables y Dimensiones	23
Fuente de datos	24
<i>Diseño de los procedimientos</i>	24
Campo de análisis	24
Unidad de observación.....	24
Técnicas de análisis.....	27
Instrumentos y recursos	27
Indicadores.....	27
Resultados	28
<i>Recolección y Procesamiento</i>	28
<i>Tratamiento y Análisis</i>	34
Discusiones	36
Conclusiones	38

Recomendaciones.....	40
Referencias.....	42
Anexos	44

Índice de Figuras

Figura 1: Plano de la biblioteca ubicación de ventilación mecánica.	25
Figura 2: Aire acondicionado de 53000 BTU	26
Figura 3: Aire acondicionado de 12000 BTU.....	26
Figura 4: Planta arquitectónica de biblioteca con puntos donde se tomaron medidas.....	29
Figura 5: Mosaico de fotos identificando y tomando lecturas de los parámetros de dióxido de carbono y temperatura en la biblioteca Puce Sede Manabi.....	44

Índice de Tablas

Tabla 1: Mediciones de dióxido de carbono del día lunes.....	30
Tabla 2: Mediciones de dióxido de carbono del día martes.....	30
Tabla 3: Mediciones de dióxido de carbono del día miércoles.....	30
Tabla 4: Mediciones de dióxido de carbono del día jueves	31
Tabla 5: Mediciones de dióxido de carbono del día viernes.....	31
Tabla 6: Tabla de análisis descriptivo interior C/A 08H00	31
Tabla 7: Tabla de análisis descriptivo interior S/A 08H00.....	32
Tabla 8: Tabla de análisis descriptivo exterior 08H00	32
Tabla 9: Tabla de análisis descriptivo interior C/A 12H00	32
Tabla 10: Tabla de análisis descriptivo interior S/A 12H00.....	33
Tabla 11: Tabla de análisis descriptivo exterior 12H00	33
Tabla 12: Tabla de análisis descriptivo interior C/A 17H00	33
Tabla 13: Tabla de análisis descriptivo interior S/A 17H00.....	34
Tabla 14: Tabla de análisis descriptivo exterior 17H00	34

Introducción

Planteamiento

Problema General

La calidad del aire interior (CAI) es un factor clave en el diseño arquitectónico, especialmente en espacios con alta influencia de personas, como las bibliotecas, donde estudiantes, docentes y visitantes necesitan un ambiente saludable y confortable para desarrollar sus actividades.

La calidad del aire interior está directamente relacionada con la eficiencia en los espacios interiores y exteriores, ya que esta regula la renovación del aire, la dispersión de contaminantes y el control de las condiciones ambientales como la temperatura.

Hipótesis Central

La hipótesis que se desprende de la teoría general sostiene que el recambio constante de aire en los espacios interiores y exteriores mejora la calidad del aire al reducir contaminantes y mantener niveles óptimos de oxígeno. Este proceso impacta positivamente en la salud y el bienestar de los ocupantes, al minimizar riesgos asociados a la acumulación de dióxido de carbono (CO₂) y otras partículas nocivas.

Justificación

La renovación del aire no solo responde a una necesidad funcional, sino que también la posiciona como un modelo de edificación sostenible en el ámbito académico y comunitario. Este proyecto busca registrar y analizar las condiciones ambientales tanto en el interior como en el exterior del edificio, respetando su diseño arquitectónico y garantizando intervenciones armoniosas con su estética y funcionalidad.

La circulación continua de aire fresco a través de aberturas ubicadas estratégicamente y otros métodos de ventilación influye en los niveles de CO₂ y temperatura dentro y fuera del

espacio. Mantener un adecuado flujo de aire es esencial en espacios educativos, ya que impacta en la salud, el bienestar y la productividad de los usuarios.

Estado de la cuestión

En cuanto al diseño de espacios de salud, Coaguila (2024) propuso estrategias de ventilación natural para controlar infecciones respiratorias en un centro de salud en Juliaca, Perú. El estudio destacó el impacto positivo de la ventilación cruzada y las chimeneas solares para reducir la concentración de patógenos en el aire, estableciendo recomendaciones específicas para este tipo de espacios.

Fernández et al. (1998) exploraron las soluciones de ventilación natural en edificios enfermos, caracterizados por problemas de calidad del aire interior. Utilizaron simulaciones y ensayos en túneles de viento, además de encuestas a usuarios, para evaluar el confort térmico y lumínico. Los resultados señalaron que sistemas como las chimeneas solares y la ventilación cruzada pueden mitigar los síntomas del *Síndrome del Edificio Enfermo*.

En un contexto urbano, Orrego (2019) analizó la calidad del aire en tres edificios de oficinas en Bogotá. Su enfoque incluyó monitoreo ambiental y encuestas a usuarios, concluyendo que los edificios con sistemas de ventilación natural bien diseñados logran niveles aceptables de confort térmico y calidad del aire, aunque varían según la ubicación y las actividades realizadas en ellos.

Morán et al. (2017) investigaron la relación entre la calidad del aire interior y el *Síndrome del Edificio Enfermo* en Trujillo, Perú. El estudio encontró que una ventilación deficiente y la presencia de materiales como asbesto y formaldehídos incrementaban significativamente la prevalencia de este síndrome. Los resultados subrayan la necesidad de mejorar los sistemas de ventilación y controlar el uso de materiales nocivos.

En relación con la contaminación del aire en zonas industriales, Cuesta Santos et al. (1996) compararon la calidad del aire interior y exterior en un área urbana de La Habana con alta influencia industrial y tráfico automotor. Los resultados mostraron que el dióxido de azufre y las partículas en suspensión alcanzaban mayores concentraciones en el exterior, mientras que gases como el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno predominaban en interiores. Se sugirió la implementación de estrategias de ventilación que reduzcan la acumulación de contaminantes en espacios cerrados sin comprometer la calidad ambiental.

En cuanto a la relación entre la envolvente de un edificio y la calidad del aire, Salazar et al. (2023) estudiaron un complejo multifamiliar en Lima para analizar el impacto de la orientación, los materiales y la ventilación mecánica en la calidad del aire interior y exterior. Se determinó que los departamentos con menor incidencia solar eran más propensos a la proliferación de moho, afectando especialmente a espacios cerrados como cocinas y baños. Se concluyó que una adecuada elección de materiales y estrategias de ventilación puede mejorar el confort térmico y reducir los riesgos para la salud de los habitantes.

Sobre la exposición de niños a contaminantes atmosféricos, Cortez-Lugo et al. (1998) evaluaron los niveles de ozono y dióxido de nitrógeno en un jardín de niños en la Ciudad de México. Se encontró que las concentraciones de estos contaminantes eran más altas en el exterior, pero influían en la calidad del aire en el interior de las aulas, especialmente en horarios de mayor exposición solar. Se propuso ajustar la programación de actividades para reducir la exposición de los niños a estos contaminantes, evitando recreos en momentos críticos.

Respecto a la ventilación en espacios educativos, Zambrano y Fumo (2008) estudiaron los niveles de dióxido de carbono en la biblioteca de la Universidad Nacional Experimental del Táchira. Se identificó que, aunque la ventilación general del edificio era adecuada, en las horas de

mayor ocupación del primer piso se alcanzaban concentraciones elevadas de CO₂. Los investigadores recomendaron una redistribución del sistema de ventilación para optimizar la circulación del aire y evitar la acumulación de biofluentes.

Estos estudios evidencian la importancia de monitorear la calidad del aire en distintos entornos y proponen soluciones para mejorarla, desde la infraestructura verde hasta la optimización de la ventilación en edificaciones. En conjunto, resaltan la relevancia de la ventilación natural y la gestión de la calidad del aire como estrategias clave para mejorar el confort ambiental, la salud pública y la eficiencia energética, adaptándose a las condiciones específicas de cada entorno.

Formulación

Problema específico

La calidad del aire en espacios académicos, como la biblioteca PUCE, sede Manabí, se ve comprometida por factores arquitectónicos que limitan la ventilación natural, a pesar de contar con numerosos ventanales. Estos ventanales permanecen cerrados la mayor parte del tiempo, lo que impide la entrada de aire fresco. En lugar de aprovechar la ventilación natural, la biblioteca depende exclusivamente de sistemas de aire mecánico para mantener condiciones aceptables, lo que incrementa significativamente el consumo energético y los costos operativos, además de generar un impacto ambiental negativo. Esta situación probablemente plantea riesgos para la salud y el bienestar de los usuarios. Es necesario identificar cómo las características arquitectónicas del edificio, la falta de uso de los ventanales y la dependencia de aire mecánico influyen en la circulación de aire para desarrollar estrategias de ventilación pasiva que optimicen la calidad ambiental interior.

Preguntas de la investigación

Con base en lo anterior, surge el cuestionamiento de cómo varían los niveles de CO₂ y la temperatura entre los espacios interiores y exteriores de la biblioteca en diferentes momentos del día y bajo distintas condiciones de climatización.

Asimismo, se plantea la interrogante sobre el impacto del uso de aire acondicionado en la concentración de CO₂ y la temperatura. Esto ayudará a identificar si el uso de aire acondicionado mejora la calidad del aire o si, por el contrario, contribuye a la acumulación de dióxido de carbono en los espacios cerrados.

Marco Teórico

La calidad del aire interior (CAI) es un elemento fundamental en el diseño de edificios habitables, especialmente en espacios donde las personas permanecen durante largos períodos de tiempo, como las bibliotecas. Un ambiente con buena calidad del aire es aquel que proporciona niveles adecuados de oxígeno, mantiene concentraciones mínimas de contaminantes y asegura condiciones térmicas confortables para los ocupantes.

Diversos factores influyen en la calidad del aire interior, entre ellos la concentración de dióxido de carbono (CO₂), la presencia de partículas en suspensión, la proliferación de patógenos y la regulación de la humedad. Un entorno con deficiencias en estos aspectos puede generar efectos negativos en la salud, tales como fatiga, dolores de cabeza, alergias e incluso afecciones respiratorias. En casos más severos, una mala calidad del aire puede derivar en el Síndrome del Edificio Enfermo (SEE), caracterizado por molestias recurrentes en los ocupantes debido a una ventilación inadecuada y la acumulación de contaminantes en espacios cerrados.

Para garantizar un ambiente saludable en bibliotecas y otros espacios de alta ocupación, es esencial controlar los niveles de CO₂ y otros contaminantes, asegurando una adecuada

renovación del aire. En este contexto, también se vuelve fundamental realizar mediciones periódicas que permitan evaluar el comportamiento ambiental del edificio. Aunque la normativa ASHRAE 62.1 no establece una frecuencia exacta para las mediciones, sí recomienda que estas se realicen en condiciones de ocupación real y en los horarios de mayor uso del espacio, para reflejar fielmente el estado de la ventilación. Otras guías, como las del INSHT y FENERCOM, refuerzan esta idea al señalar que las mediciones deben abarcar varios días y franjas horarias clave, de modo que se puedan detectar variaciones significativas en la concentración de CO₂, especialmente en zonas críticas del edificio. Medir en distintos momentos del día permite identificar picos de concentración y evaluar la eficacia del sistema de climatización y ventilación bajo diferentes condiciones de carga ocupacional.

Cuando la normativa local no especifica criterios específicos para ciertos usos, se recomienda aplicar estándares internacionales como los de la ASHRAE, que establecen límites para la concentración de CO₂ y parámetros de confort térmico.

Dentro del marco regulatorio, la calidad del aire interior se clasifica en distintas categorías en función del tipo de edificación y su uso. Los espacios con mayores exigencias, como hospitales o laboratorios, deben cumplir con estándares más estrictos, mientras que áreas comerciales o de recreación tienen requisitos menos rigurosos. En bibliotecas y salas de lectura, se recomienda mantener un aire de buena calidad para garantizar el bienestar y la concentración de los usuarios.

La ASHRAE establece que la concentración de CO₂ en interiores no debe superar los 700 ppm por encima del nivel exterior, ya que valores superiores pueden generar incomodidad y afectar la productividad y la salud de los ocupantes. Además, recomienda que la temperatura interior se mantenga entre 20 °C y 25 °C para garantizar el confort térmico. Estos parámetros

buscan prevenir problemas derivados de una ventilación deficiente y asegurar que los espacios cerrados ofrezcan condiciones ambientales óptimas.

Es importante señalar que ASHRAE cuenta con dos normas distintas pero complementarias relacionadas con la calidad del aire interior: ASHRAE 62.1 y ASHRAE 62.2. La primera, ASHRAE 62.1, es aplicable a edificaciones comerciales, institucionales y de uso público, como escuelas, oficinas o bibliotecas, mientras que la norma ASHRAE 62.2 está dirigida a edificaciones residenciales, como viviendas unifamiliares o multifamiliares de hasta tres pisos. Aunque tienen ámbitos de aplicación diferentes, ambas comparten el objetivo común de garantizar una ventilación adecuada que permita alcanzar una calidad aceptable del aire interior. En el caso de ASHRAE 62.2, se establecen tasas mínimas de ventilación continua, ventilación localizada para áreas como cocinas y baños, y límites para contaminantes como humedad excesiva, compuestos orgánicos volátiles y monóxido de carbono. Si bien no aplica directamente en espacios institucionales como bibliotecas, su enfoque técnico puede ser útil como referencia complementaria, especialmente en zonas de uso mixto o áreas residenciales dentro de campus educativos.

Adicionalmente, otras normativas y guías técnicas respaldan y complementan los valores establecidos por la ASHRAE. La Guía de Calidad del Aire Interior elaborada por FENERCOM (2016) establece que una buena calidad del aire se logra cuando el CO₂ se mantiene por debajo de los 900 a 1000 ppm. En cuanto a la temperatura interior, recomienda rangos de 20 °C a 24 °C en invierno y de 23 °C a 26 °C en verano, con una humedad relativa entre el 30% y el 70%. Por su parte, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), en su actualización BOE-A-2021-4572, establece límites similares y clasifica la calidad del aire en categorías (IDA1

a IDA4), siendo IDA1 la de mayor calidad, con un máximo de 500 ppm de CO₂ sobre el aire exterior.

Asimismo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce que concentraciones superiores a 1000 ppm de CO₂ pueden afectar negativamente la salud y el rendimiento cognitivo, recomendando su control como medida de prevención, aunque sin establecer un límite normativo específico. En el ámbito laboral, el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSHT) también establece parámetros de referencia para espacios de oficinas, sugiriendo mantener la temperatura entre 21 °C y 23 °C en invierno y entre 23 °C y 26 °C en verano, mientras que el CO₂ es utilizado como indicador indirecto de ventilación adecuada. Estas normativas refuerzan la importancia de una regulación precisa de los parámetros ambientales, especialmente en espacios de alta ocupación como las bibliotecas, donde se busca garantizar no solo el confort, sino también la salud y productividad de los usuarios.

Un aspecto clave que influye en la calidad del aire es la climatización, que se refiere al proceso de regulación de la temperatura, humedad y calidad del aire en un espacio cerrado. Un sistema de climatización eficiente no solo mantiene una temperatura estable, sino que también controla la renovación del aire, evitando la acumulación de CO₂ y otros contaminantes.

Existen diferentes tipos de climatización, cada uno con sus ventajas y limitaciones. La climatización natural aprovecha la ventilación generada por diferencias de presión y temperatura entre el interior y el exterior del edificio, promoviendo un recambio constante de aire sin necesidad de consumo energético adicional. Por otro lado, la climatización mecánica utiliza dispositivos como aires acondicionados, sistemas de ventilación forzada o calefacción para regular las condiciones ambientales. Aunque este método es altamente efectivo para el control térmico, su uso sin una adecuada renovación del aire puede generar acumulaciones de CO₂ en

espacios cerrados. Finalmente, la climatización híbrida combina estrategias naturales y mecánicas para mejorar la eficiencia energética y garantizar una mejor calidad ambiental en distintos escenarios.

En espacios como bibliotecas, donde la afluencia de personas varía a lo largo del día, la climatización desempeña un papel crucial en la regulación del confort térmico y la calidad del aire. Un sistema mal diseñado o deficiente puede provocar fluctuaciones de temperatura, acumulación de contaminantes y una sensación de disconfort térmico entre los usuarios. Es por ello que se recomienda evaluar continuamente el desempeño del sistema de climatización y ajustarlo según las necesidades del espacio, asegurando el cumplimiento de las normativas de calidad del aire y confort térmico.

Objetivos

Como propósito más amplio de este estudio se tiene analizar la relación entre la calidad del aire interior y exterior respecto de las condiciones de climatización. Para lo cual, en primera instancia, se propone evaluar la variación de los niveles de CO₂ y de la temperatura en a lo largo del día y en días sucesivos. Y, además, analizar el impacto de los sistemas de climatización en la calidad del aire interior.

Hipótesis

En concordancia con los estudios revisados, la calidad del aire exterior influye en la calidad del aire interior, siendo la mayor concentración de contaminantes hacia el mediodía. Sin embargo, en espacios cerrados y climatizados, la contaminación interior es independientemente de la exterior.

Método

Diseño del objeto

Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva pues observará la variable sin llegar a explicaciones ni predicciones.

Modelo de análisis

El modelo de análisis se basa en la teoría de la calidad del aire en edificaciones modernas, utilizando un enfoque normativo para evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad del aire en la biblioteca Puce Sede Manabí. Este enfoque permite analizar las condiciones ambientales y la ocupación del espacio en relación con las regulaciones establecidas por normativas internacionales, como las de ASHRAE, con el objetivo de determinar si los parámetros evaluados cumplen con los requisitos establecidos para garantizar una adecuada calidad del aire en espacios interiores.

Unidad de análisis

La unidad de análisis es la biblioteca, espacio destinado a al estudio en el contexto general de climas cálidos y húmedos, y particular de la educación superior, lo cual significa que se emplaza dentro de un campus universitario.

Variables y Dimensiones

El estudio se enfoca en el análisis de dos variables fundamentales: la calidad del aire y la climatización. En primer lugar, la calidad del aire se evalúa a través de la concentración de dióxido de carbono (CO₂), un indicador clave para determinar el nivel de pureza del ambiente interior y su impacto en la salud y el confort de los ocupantes.

Por otro lado, la climatización se analiza considerando la temperatura del espacio, una dimensión esencial para garantizar condiciones térmicas adecuadas en el interior de la

edificación. La relación entre ambas variables permite comprender cómo influyen en el bienestar de los usuarios y en la eficiencia del diseño del espacio construido.

Fuente de datos

La calidad del aire y la climatización son fundamentales en el análisis de espacios interiores. Su evaluación requiere mediciones especializadas para obtener datos precisos sobre contaminantes y condiciones térmicas, garantizando el cumplimiento de los estándares de confort y salud.

Diseño de los procedimientos

Campo de análisis

El caso de estudio se localiza en Portoviejo, una ciudad de clima cálido y húmedo ubicada en la provincia de Manabí, en el centro occidente de Ecuador. Específicamente, se centra en la biblioteca del campus que la PUCE, sede Manabí, mantiene en esta ciudad. Se trata de una edificación educativa situada en un entorno urbano, pero hacia el interior de un predio de alrededor de 2 hectáreas, en situación aislada.

Unidad de observación

La biblioteca, reconocida por su diseño funcional y moderno, se caracteriza por la integración de materiales contemporáneos como vidrio, acero y hormigón. Su distribución arquitectónica se desarrolla en una sola planta, con una altura de cielo raso variable que oscila entre 3 y 6 metros. El espacio cuenta con salas de lectura cerradas, delimitadas por mampostería de carpintería de aluminio y vidrio, así como áreas comunes ubicadas junto al área de archivo, algunas de ellas completamente aisladas. Además, los exteriores que rodean la biblioteca están diseñados como zonas de encuentro, con pisos impermeables que facilitan su mantenimiento y uso.

En cuanto a la climatización del edificio, se han identificado distintos sistemas de aire acondicionado distribuidos estratégicamente según el tipo de espacio y su función. En las salas

de lectura cerradas, se cuenta con un total de cinco unidades de aire acondicionado, cada una con una capacidad de 12,000 BTU/h, destinadas a mantener un ambiente térmico confortable para los ocupantes.

Por otro lado, en los espacios abiertos tipo área de lectura, se han identificado tres unidades de aire acondicionado con una capacidad de 53,000 BTU/h cada una. Estos equipos permiten regular la temperatura en zonas con mayor flujo de personas, garantizando una distribución eficiente del aire en áreas más amplias.

Figura 1

Plano de la biblioteca ubicación de ventilación mecánica.

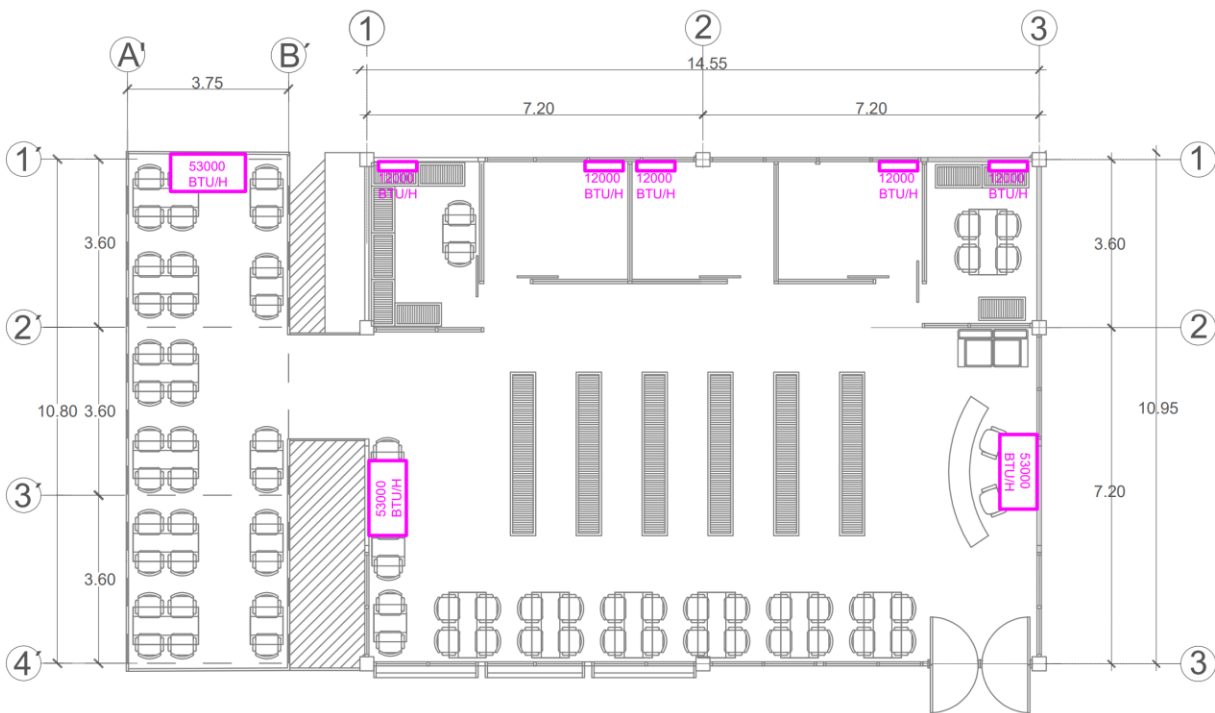


Figura 2

Aire acondicionado de 53000 BTU.



Figura 3

Aire acondicionado de 12000 BTU.



Técnicas de análisis

El estudio se enfocó en el análisis de dos variables fundamentales: la calidad del aire y la climatización. La primera se evaluó a través de la concentración de dióxido de carbono (CO₂), mientras que la segunda se analizó considerando la temperatura del ambiente.

Para comprender el comportamiento de estas variables, se llevó a cabo un análisis comparativo de las mediciones en distintos escenarios. Se tomaron en cuenta las variaciones en las condiciones climáticas naturales a lo largo del día, así como la influencia del uso de sistemas mecánicos de ventilación en los espacios estudiados. Además, en cada uno de estos escenarios se evaluó la concentración de CO₂ para identificar posibles fluctuaciones y su impacto en la calidad del aire interior.

Los resultados obtenidos fueron contrastados con los estándares de calidad del aire establecidos en la normativa vigente, asegurando así una evaluación objetiva y basada en criterios técnicos. Asimismo, se realizó un análisis descriptivo con el objetivo de comparar las condiciones ambientales en los diferentes escenarios, permitiendo identificar patrones y posibles mejoras en la regulación de la climatización y la calidad del aire en los espacios analizados.

Instrumentos y recursos

Para medir tanto la calidad del aire cuanto la temperatura se utilizó un medidor digital portátil, particularmente el Medidor CO₂ 7755 AZ.

Indicadores

La (NEC) de 2015 no especifica límites exactos de concentración de CO₂ para bibliotecas. Sin embargo, a nivel internacional, la *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), en su Estándar 62.1, sugiere mantener una concentración de CO₂ en interiores que no exceda 700 ppm. Dado que las concentraciones típicas de CO₂ en el aire

exterior oscilan entre 300 y 500 ppm, esto implica que las concentraciones interiores deberían mantenerse por debajo de 1000 a 1200 ppm para asegurar una calidad aceptable del aire interior.

Resultados

Recolección y Procesamiento

Las mediciones se llevaron a cabo durante cinco días: jueves a sábado y lunes a martes de la semana consecutiva. Esto se realizó en tres horarios específicos (08H00, 12H00 y 17H00) en tres puntos considerados clave del interior y su correspondiente en el exterior de la biblioteca. En todos los momentos, las mediciones interiores se realizaron en dos circunstancias: con el sistema de climatización encendido, así como con este apagado por un mínimo de 10 minutos. Respecto de los puntos considerados críticos, que se muestran en la Figura 4, cabe decir que la distribución de la biblioteca y los puntos de medición del aire identifican tres zonas críticas en el interior (PI1, PI2 y PI3) y sus equivalentes en el exterior (PE1, PE2 y PE3).

PI1, cerca de la entrada y áreas de estudio grupales, registra alta concentración de CO₂ por el constante flujo de personas. PI2, en la sala de lectura cerrada, presenta mayor riesgo de acumulación de CO₂ si la climatización es insuficiente. PI3, en una zona aislada, permite evaluar la uniformidad del sistema de climatización.

Comparar estos puntos con los valores exteriores permite detectar deficiencias en la renovación del aire. Si los niveles de CO₂ superan el estándar ASHRAE (700 ppm sobre el exterior) o la temperatura está fuera del rango recomendado (20 °C – 25 °C), el confort térmico no está garantizado.

La decisión de realizar las mediciones durante cinco días consecutivos responde a la necesidad de obtener un registro representativo de las condiciones reales de ocupación y uso de la biblioteca, cubriendo tanto días laborales como de fin de semana. Si bien no existe una norma

específica que exija este número de días o franjas horarias concretas, diversos documentos técnicos —como la Guía de Calidad del Aire Interior (FENERCOM, 2016) o las recomendaciones del INSHT (2015)— sugieren realizar evaluaciones en condiciones reales de funcionamiento. En este caso, se eligieron los horarios de 08H00, 12H00 y 17H00 porque coinciden con momentos de operación activa de la biblioteca y afluencia variable de usuarios, lo que permite captar situaciones de mayor demanda de ventilación y obtener más datos útiles para el análisis. Esto favorece la identificación de patrones de comportamiento ambiental y posibles deficiencias en el sistema de climatización.

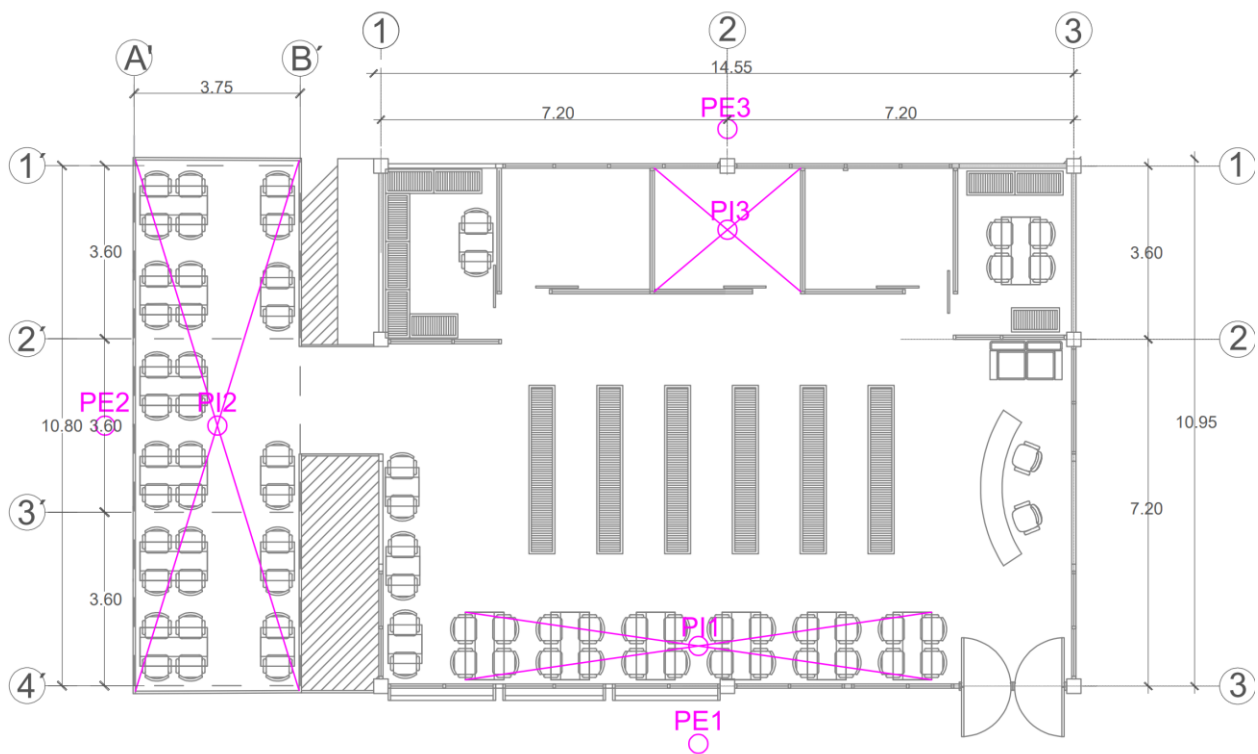


Figura 4

Planta arquitectónica de biblioteca con puntos donde se tomaron medidas.

Los valores correspondientes a las mediciones en cada uno de los escenarios planteados se muestran en las Tablas 1-5.

Tabla 1*Mediciones de dióxido de carbono del día lunes*

MEDICIONES DE DIOXIDO DE CARBONO, TEMPERATURA Y HUMEDAD																		
DIA	LUNES																	
I/E	CON A/C						SIN A/C						EXTERIOR					
PUNTO	P1		P2		P3		P1		P2		P3		P1		P2		P3	
M	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C
08H00 am	719	24.6	772	23.8	783	26.4	591	27.0	550	27,6	564	28.2	545	24.7	495	21.3	478	26.3
12H00 pm	721	26.8	766	25.1	776	22.5	544	29.0	508	28.1	510	28.1	434	29.3	417	29.6	489	31.8
17H00 pm	842	25.6	823	23.6	815	23.2	594	27.6	554	27.2	566	27.4	489	27.4	468	28.1	456	27.9

Tabla 2*Mediciones de dióxido de carbono del día martes*

MEDICIONES DE DIOXIDO DE CARBONO, TEMPERATURA Y HUMEDAD																		
DIA	MARTES																	
I/E	CON A/C						SIN A/C						EXTERIOR					
PUNTO	P1		P2		P3		P1		P2		P3		P1		P2		P3	
M	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C
08H00 am	731	24.9	773	23.7	769	24.8	580	27.4	558	27.8	564	28.1	498	29.9	490	27.4	479	26.5
12H00 pm	726	25.8	754	26.0	795	24.1	560	28.1	521	28.8	509	27.0	464	29.4	437	28.4	491	29.9
17H00 pm	930	24.5	921	25.0	922	26.9	531	28.4	542	28.1	538	26.4	456	28.9	451	29.7	417	31.0

Tabla 3*Mediciones de dióxido de carbono del día miércoles*

MEDICIONES DE DIOXIDO DE CARBONO, TEMPERATURA Y HUMEDAD																		
DIA	MIERCOLES																	
I/E	CON A/C						SIN A/C						EXTERIOR					
PUNTO	P1		P2		P3		P1		P2		P3		P1		P2		P3	
M	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C
08H00 am	880	25.5	861	26.8	825	25.1	556	27.0	548	28.4	518	26.0	470	29.1	437	29.5	447	27.8
12H00 pm	823	24.5	804	25.0	887	26.1	553	29.3	547	29.1	508	28.7	422	30.3	463	28.9	489	28.8
17H00 pm	735	24.6	839	27.0	895	24.0	537	28.9	520	28.3	519	27.3	291	30.5	465	28.8	474	27.3

Tabla 4*Mediciones de dióxido de carbono del día jueves*

MEDICIONES DE DIOXIDO DE CARBONO, TEMPERATURA Y HUMEDAD																		
DIA	JUEVES																	
I/E	CON A/C						SIN A/C						EXTERIOR					
PUNTO	P1		P2		P3		P1		P2		P3		P1		P2		P3	
M	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C
08H00 am	725	24.1	780	23.9	779	25.0	584	27.8	561	28.1	570	28.5	553	28.4	495	27.8	484	26.9
12H00 pm	730	25.6	750	25.8	801	21.0	568	28.6	513	28.7	501	27.0	455	29.0	420	28.9	492	30.0
17H00 pm	936	24.1	924	24.8	900	26.3	554	26.1	551	30.5	540	26.2	460	30.2	437	30.5	408	30.8

Tabla 5*Mediciones de dióxido de carbono del día viernes*

MEDICIONES DE DIOXIDO DE CARBONO, TEMPERATURA Y HUMEDAD																		
DIA	VIERNES																	
I/E	CON A/C						SIN A/C						EXTERIOR					
PUNTO	P1		P2		P3		P1		P2		P3		P1		P2		P3	
M	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C	CO2	°C
08H00 am	732	25.3	775	24.9	783	24.8	590	28.1	554	29.4	567	29.8	479	29.5	491	28.2	487	27.0
12H00 pm	745	26.2	762	26.0	810	21.5	573	28.5	520	29.0	508	26.8	443	28.6	431	29.2	487	29.5
17H00 pm	943	27.6	899	25.2	891	26.8	525	25.5	543	29.2	536	26.1	458	30.1	433	29.9	415	30.2

Tabla 6*Tabla de análisis descriptivo interior C/A 08H00*

ANÁLISIS DESCRIPTIVO									
INTERIOR C/A - 08H00									
P1			P2			P3			
X	CO2	°C	X	CO2	°C	X	CO2	°C	°C
Media	757.4	24.88	Media	792.2	24.62	Media	787.8	25.22	
Error estándar	30.73857511	0.24979992	Error estándar	17.25514416	0.586003413	Error estándar	9.645724441	0.300665928	
Mediana	731	24.9	Mediana	775	23.9	Mediana	783	25	
Desviación típica	68.73354348	0.558569602	Desviación típica	38.5836753	1.310343466	Desviación típica	21.56849554	0.672309453	
Curtosis	4.887111091	-0.870931953	Curtosis	4.869571727	2.188254832	Curtosis	3.823516582	4.258457984	
Asimetría	2.203642439	-0.440112266	Asimetría	2.201127476	1.607300201	Asimetría	1.824338524	2.032684376	
Intervalo	161	1.4	Intervalo	89	3.1	Intervalo	56	1.6	
Mínimo	719	24.1	Mínimo	772	23.7	Mínimo	769	24.8	
Máximo	880	25.5	Máximo	861	26.8	Máximo	825	26.4	

Tabla 7*Tabla de análisis descriptivo interior S/A 08H00*

ANÁLISIS DESCRIPTIVO								
INTERIOR S/A - 08H00								
P1			P2			P3		
X	CO2	°C	X	CO2	°C	X	CO2	°C
Media	580.2	27.46	Media	554.2	28.425	Media	556.6	28.12
Error estándar	6.37495098	0.218174242	Error estándar	2.416609195	0.3473111	Error estándar	9.713907556	0.611064645
Mediana	584	27.4	Mediana	554	28.25	Mediana	564	28.2
Desviación típica	14.25482374	0.487852437	Desviación típica	5.403702434	0.694622199	Desviación típica	21.72095762	1.366382084
Curtosis	3.080442255	-2.026339948	Curtosis	-1.937277163	1.783564659	Curtosis	4.746894857	2.107924717
Asimetría	-1.714193871	0.382399693	Asimetría	0.15020143	1.289700967	Asimetría	-2.161857224	-0.772745074
Intervalo	35	1.1	Intervalo	13	1.6	Intervalo	52	3.8
Mínimo	556	27	Mínimo	548	27.8	Mínimo	518	26
Máximo	591	28.1	Máximo	561	29.4	Máximo	570	29.8

Tabla 8*Tabla de análisis descriptivo exterior 08H00*

ANÁLISIS DESCRIPTIVO								
EXTERIOR - 08H00								
P1			P2			P3		
X	CO2	°C	X	CO2	°C	X	CO2	°C
Media	509	28.32	Media	481.6	26.84	Media	475	26.9
Error estándar	16.99117418	0.938296328	Error estándar	11.196428	1.429195578	Error estándar	7.190271205	0.258843582
Mediana	498	29.1	Mediana	491	27.8	Mediana	479	26.9
Desviación típica	37.99342048	2.098094373	Desviación típica	25.03597412	3.195778465	Desviación típica	16.07793519	0.578791845
Curtosis	-2.861408876	3.628519811	Curtosis	4.834852141	3.940985722	Curtosis	4.014897732	1.037647583
Asimetría	0.335728011	-1.866625377	Asimetría	-2.190026676	-1.884719806	Asimetría	-1.945311719	0.967016894
Intervalo	83	5.2	Intervalo	58	8.2	Intervalo	40	1.5
Mínimo	470	24.7	Mínimo	437	21.3	Mínimo	447	26.3
Máximo	553	29.9	Máximo	495	29.5	Máximo	487	27.8

Tabla 9*Tabla de análisis descriptivo interior C/A 12H00*

ANÁLISIS DESCRIPTIVO								
INTERIOR C/A - 12H00								
P1			P2			P3		
X	CO2	°C	X	CO2	°C	X	CO2	°C
Media	749	25.78	Media	25.58	813.8	Media	559.6	28.7
Error estándar	18.92881401	0.38	Error estándar	0.22	19.12955828	Error estándar	5.182663408	0.207364414
Mediana	730	25.8	Mediana	25.8	801	Mediana	560	28.6
Desviación típica	42.32611487	0.849705831	Desviación típica	0.491934955	42.77499269	Desviación típica	11.58878768	0.463680925
Curtosis	4.078173444	1.10960628	Curtosis	-3.073219042	3.539022732	Curtosis	-1.184504302	-0.725797729
Asimetría	2.001160934	-0.657225987	Asimetría	-0.514077236	1.753735274	Asimetría	-0.290482844	0.075232167
Intervalo	102	2.3	Intervalo	1	111	Intervalo	29	1.2
Mínimo	721	24.5	Mínimo	25	776	Mínimo	544	28.1
Máximo	823	26.8	Máximo	26	887	Máximo	573	29.3

Tabla 10

Tabla de análisis descriptivo interior S/A 12H00

ANÁLISIS DESCRIPTIVO								
INTERIOR S/A - 12H00								
P1			P2			P3		
X	CO2	°C	X	CO2	°C	X	CO2	°C
Media	28.74	507.2	Media	443.6	29.32	Media	29	489.6
Error estándar	0.174928557	1.593737745	Error estándar	7.433707016	0.281780056	Error estándar	0.197484177	0.871779789
Mediana	28.8	508	Mediana	443	29.3	Mediana	28.9	489
Desviación típica	0.391152144	3.563705936	Desviación típica	16.62227421	0.63007936	Desviación típica	0.441588043	1.949358869
Curtosis	2.100474177	4.015748031	Curtosis	-1.18441575	1.530179114	Curtosis	0.579881657	-0.817174515
Asimetría	-1.376860895	-1.928895333	Asimetría	-0.089946417	0.89229494	Asimetría	0.029032744	-0.080998291
Intervalo	1	9	Intervalo	42	1.7	Intervalo	1.2	5
Mínimo	28.1	501	Mínimo	422	28.6	Mínimo	28.4	487
Máximo	29.1	510	Máximo	464	30.3	Máximo	29.6	492

Tabla 11

Tabla de análisis descriptivo exterior 12H00

ANÁLISIS DESCRIPTIVO								
EXTERIOR - 12H00								
P1			P2			P3		
X	CO2	°C	X	CO2	°C	X	CO2	°C
Media	443.6	29.32	Media	433.6	28.98	Media	489.6	30
Error estándar	7.433707016	0.281780056	Error estándar	8.195120499	0.193390796	Error estándar	0.871779789	0.496990946
Mediana	443	29.3	Mediana	431	28.9	Mediana	489	29.9
Desviación típica	16.62227421	0.63007936	Desviación típica	18.32484652	0.432434966	Desviación típica	1.949358869	1.111305539
Curtosis	-1.18441575	1.530179114	Curtosis	1.505017132	1.337470331	Curtosis	-0.817174515	2.354046124
Asimetría	-0.089946417	0.89229494	Asimetría	1.242125708	0.22630215	Asimetría	-0.080998291	1.207683411
Intervalo	42	1.7	Intervalo	46	1.2	Intervalo	5	3
Mínimo	422	28.6	Mínimo	417	28.4	Mínimo	487	28.8
Máximo	464	30.3	Máximo	463	29.6	Máximo	492	31.8

Tabla 12

Tabla de análisis descriptivo interior C/A 17H00

ANÁLISIS DESCRIPTIVO								
INTERIOR C/A - 17H00								
P1			P2			P3		
X	CO2	°C	X	CO2	°C	X	CO2	°C
Media	877.2	25.28	Media	881.2	25.12	Media	884.6	25.44
Error estándar	40.02174409	0.6303967	Error estándar	21.09597118	0.546260011	Error estándar	18.20604295	0.768505042
Mediana	930	24.6	Mediana	899	25	Mediana	895	26.3
Desviación típica	89.49134036	1.409609875	Desviación típica	47.17202561	1.221474519	Desviación típica	40.70994964	1.718429516
Curtosis	0.748331489	1.974072032	Curtosis	-2.797048517	2.018055186	Curtosis	3.601450445	-2.554621111
Asimetría	-1.327614004	1.500698979	Asimetría	-0.496986719	0.708500698	Asimetría	-1.727968281	-0.653736404
Intervalo	208	3.5	Intervalo	101	3.4	Intervalo	107	3.7
Mínimo	735	24.1	Mínimo	823	23.6	Mínimo	815	23.2
Máximo	943	27.6	Máximo	924	27	Máximo	922	26.9

Tabla 13*Tabla de análisis descriptivo interior S/A 17H00*

ANÁLISIS DESCRIPTIVO								
INTERIOR S/A - 17H00								
P1			P2			P3		
X	CO2	°C	X	CO2	°C	X	CO2	°C
Media	548.2	27.3	Media	542	28.66	Media	539.8	26.68
Error estándar	12.43141183	0.65345237	Error estándar	5.958187644	0.55910643	Error estándar	7.53923073	0.278208555
Mediana	537	27.6	Mediana	543	28.3	Mediana	538	26.4
Desviación típica	27.7974819	1.46116392	Desviación típica	13.32291259	1.250199984	Desviación típica	16.85823241	0.622093241
Curtosis	2.036976057	-2.351693916	Curtosis	2.377068042	0.292255039	Curtosis	2.192509463	-3.084950824
Asimetría	1.499256422	-0.281287418	Asimetría	-1.443029216	0.650900343	Asimetría	0.776187621	0.491380929
Intervalo	69	3.4	Intervalo	34	3.3	Intervalo	47	1.3
Mínimo	525	25.5	Mínimo	520	27.2	Mínimo	519	26.1
Máximo	594	28.9	Máximo	554	30.5	Máximo	566	27.4

Tabla 14*Tabla de análisis descriptivo exterior 17H00*

ANÁLISIS DESCRIPTIVO								
EXTERIOR - 17H00								
P1			P2			P3		
X	CO2	°C	X	CO2	°C	X	CO2	°C
Media	470.8	29.42	Media	450.8	29.4	Media	434	29.44
Error estándar	7.870196948	0.573933794	Error estándar	7.088018059	0.424264069	Error estándar	13.05756486	0.768505042
Mediana	460	30.1	Mediana	451	29.7	Mediana	417	30.2
Desviación típica	17.59829537	1.283354978	Desviación típica	15.8492902	0.948683298	Desviación típica	29.19760264	1.718429516
Curtosis	-3.247784554	0.602066129	Curtosis	-2.753785017	-1.024074074	Curtosis	-2.040171653	-2.800257425
Asimetría	0.586548135	-1.248671959	Asimetría	-0.033079301	-0.453845405	Asimetría	0.758307548	-0.550278391
Intervalo	35	3.1	Intervalo	35	2.4	Intervalo	66	3.7
Mínimo	456	27.4	Mínimo	433	28.1	Mínimo	408	27.3
Máximo	491	30.5	Máximo	468	30.5	Máximo	474	31

Tratamiento y Análisis

Se identificaron diferencias significativas en la temperatura del aire y la concentración de CO₂, analizando cómo varían estos parámetros en función de la ventilación, la ocupación del espacio y el uso de sistemas mecánicos de climatización.

Los datos obtenidos muestran variaciones significativas en las concentraciones de CO₂ y en la temperatura según el día, la hora y la ubicación de la medición. El día lunes, a las 12H00 pm, se registró la temperatura más alta en el punto exterior (P3), alcanzando los 31.8 °C. Este valor se explica por la mayor exposición solar en ese horario, lo que generó un aumento en la

radiación térmica sobre las superficies y el entorno. Por otro lado, la mayor concentración de CO₂ se detectó el día viernes a las 17H00 pm en el punto con aire acondicionado (P1), con un valor de 943 ppm. Este incremento en la concentración de CO₂ podría atribuirse a la acumulación progresiva de ocupantes en el espacio cerrado, junto con la posible insuficiencia de renovación del aire en el ambiente climatizado.

Esta comparación de este estudio fue evaluar las condiciones ambientales en diferentes entornos con el fin de comprender la influencia de la ventilación y la temperatura en la calidad del aire interior. La comparación entre espacios con y sin aire acondicionado, así como la inclusión de mediciones en exteriores, permite identificar patrones de variabilidad en los niveles de CO₂ y temperatura a lo largo del día. Estos resultados son fundamentales para proponer estrategias de optimización en la ventilación natural y el uso de sistemas de climatización, asegurando un ambiente más saludable y confortable para los ocupantes.

Ahora con respecto a las tablas 6 a la 14 de análisis descriptivo identificamos la media: A las 08h00, el interior con aire acondicionado registra un promedio de 779 ppm de CO₂ y mantiene la temperatura más baja, con 25,1 °C. En el interior sin aire acondicionado, la concentración de CO₂ desciende a 564 ppm, aunque la temperatura se eleva hasta unos 28,0 °C, superando incluso al exterior, donde el CO₂ promedia 516 ppm y la temperatura alcanza 26,8 °C.

Al llegar el mediodía (12h00), el interior con aire acondicionado presenta nuevamente valores altos de CO₂ (en torno a 707 ppm), a la vez que su temperatura se mantiene en unos 26,8 °C. El interior sin aire acondicionado muestra un descenso significativo de CO₂ (cerca de 480 ppm), pero la temperatura se incrementa a 29,0 °C. Por su parte, el exterior conserva los valores más bajos de CO₂ (unos 456 ppm) y presenta la temperatura más elevada (aproximadamente 29,3 °C).

Ya por la tarde (17h00), el interior con aire acondicionado llega a su nivel más alto de CO₂, con un promedio cercano a 881 ppm, aunque mantiene una temperatura moderada, de unos 25,4 °C. El interior sin aire acondicionado registra 536 ppm de CO₂ y una temperatura de aproximadamente 27,6 °C, mientras que el exterior se sitúa con 452 ppm de CO₂ y alcanza la temperatura más elevada, de alrededor de 29,4 °C.

A lo largo de la jornada, se observa cómo el interior con aire acondicionado tiende a presentar las concentraciones de CO₂ más altas en cada horario, acompañado de la temperatura más baja. El exterior, por el contrario, registra la menor concentración de CO₂ pero las temperaturas más elevadas, especialmente al mediodía y en la tarde. Finalmente, el interior sin aire acondicionado se queda en un nivel intermedio de CO₂, con un calor generalmente más notable que el espacio climatizado.

Discusiones

Los resultados obtenidos en este estudio refuerzan la evidencia previa sobre la importancia de un sistema eficiente para garantizar la calidad del aire en espacios cerrados. La acumulación de CO₂ en la biblioteca varió significativamente según la ocupación y el uso del sistema de climatización, alcanzando niveles de hasta 943 ppm en momentos críticos, particularmente en el punto climatizado P1 a las 17h00 del viernes. Este hallazgo concuerda con el estudio de Zambrano y Fumo (2008), quienes identificaron que en bibliotecas universitarias las concentraciones de CO₂ aumentan en horarios de alta afluencia, lo que sugiere que los sistemas actuales no están logrando una renovación del aire adecuada en los periodos de mayor ocupación.

Si bien el sistema de climatización contribuyó a regular la temperatura en algunos momentos del día, no logró mantener un equilibrio homogéneo en toda la biblioteca. En la zona

PI3 (área aislada) se identificaron fluctuaciones térmicas significativas, lo que indica que la distribución del aire no es uniforme. Esto coincide con los hallazgos de Orrego (2019), quien señaló que los edificios con soluciones bien diseñadas logran mejores condiciones ambientales con menor dependencia de sistemas mecánicos. Asimismo, el estudio de Salazar et al. (2023) destacó que la envolvente del edificio influye en la acumulación de contaminantes, lo que sugiere que las características arquitectónicas de la biblioteca pueden estar afectando la eficiencia del sistema de climatización.

Otro aspecto relevante es la relación entre la calidad del aire interior y exterior. Se observó que la temperatura en exteriores alcanzó los 31.8 °C en P3 a las 12H00, lo que afectó el confort térmico en el interior. Este resultado coincide con la investigación de Cuesta Santos et al. (1996) y Cortez-Lugo et al. (1998), quienes encontraron que la contaminación exterior y la exposición solar pueden influir en las condiciones ambientales dentro de los edificios. La alta temperatura registrada en el exterior podría estar generando una mayor demanda en el sistema de climatización, lo que pone en evidencia la necesidad de considerar estrategias de mitigación térmica pasiva, como sombreamiento o el uso de materiales con mejor inercia térmica.

Los nuevos datos también muestran que el interior climatizado presentó las concentraciones más altas de CO₂ en todos los horarios, con promedios de 779 ppm a las 08h00, 707 ppm al mediodía y 881 ppm a las 17h00, manteniendo siempre temperaturas entre 25,1 °C y 26,8 °C. En contraste, el interior sin climatización registró menores niveles de CO₂ (564 ppm, 480 ppm y 536 ppm en los mismos horarios), aunque con temperaturas más elevadas, alcanzando un pico de 29.0 °C al mediodía. Este comportamiento confirma que, aunque la climatización regula la temperatura, también puede favorecer la acumulación de CO₂ cuando la renovación del aire es insuficiente.

En términos normativos, la ASHRAE establece que la concentración de CO₂ en interiores no debe superar los 700 ppm sobre el nivel exterior y que la temperatura óptima debe situarse entre 20 °C y 25 °C. Sin embargo, los resultados muestran que en varios puntos críticos de la biblioteca estos límites fueron excedidos, especialmente en PI1 y PI2, con valores de hasta 943 ppm en el área climatizada. Esto refuerza la idea de que el sistema actual no está cumpliendo completamente con los estándares internacionales. Investigaciones previas, como las de Morán et al. (2017), han demostrado que la falta de renovación adecuada del aire en espacios cerrados contribuye a la acumulación de contaminantes, lo que puede afectar el confort y la salud de los ocupantes.

Los datos obtenidos en este estudio evidencian que la climatización, por sí sola, no es suficiente para mantener niveles óptimos de calidad del aire. Estudios como el de Coaguila (2024) han resaltado la importancia de estrategias adicionales en el control de contaminantes en interiores, destacando la efectividad de mecanismos como el uso de chimeneas solares y otros métodos pasivos para mejorar la circulación del aire. La aplicación de este tipo de soluciones en la biblioteca permitiría reducir la acumulación de CO₂ y disminuir la dependencia de los sistemas mecánicos.

Conclusiones

Este estudio permitió analizar la relación entre la calidad del aire interior y exterior en función del uso de sistemas de climatización, identificando variaciones significativas en la concentración de CO₂ y la temperatura a lo largo del día. Se evidenció que el interior climatizado presentó las concentraciones más altas de CO₂ en todos los horarios, alcanzando un máximo de 943 ppm el viernes a las 17h00, mientras que el interior sin climatización mostró valores más bajos, con un mínimo de 480 ppm al mediodía. En contraste, el exterior registró las concentraciones más bajas

de CO₂, situándose entre 452 y 516 ppm, lo que indica una mejor renovación del aire en espacios abiertos.

En términos térmicos, el uso del aire acondicionado mantuvo temperaturas más estables, con valores entre 25,1 °C y 26,8 °C, mientras que el interior sin climatización alcanzó hasta 29,0 °C al mediodía, superando incluso la temperatura exterior en algunos momentos. La temperatura más alta registrada en exteriores fue de 31,8 °C en P3, atribuida a la exposición solar y al incremento de la radiación térmica en horas pico.

Estos hallazgos reflejan que el sistema de climatización actual no garantiza una distribución homogénea del aire ni un control eficiente de la acumulación de CO₂ en espacios cerrados, especialmente en áreas de alta ocupación como la sala de lectura y las zonas grupales. La comparación con la normativa ASHRAE evidencia que en ciertos momentos del día los niveles de CO₂ superaron los 700 ppm sobre el nivel exterior, lo que indica deficiencias en la renovación del aire y posibles impactos en el confort de los ocupantes.

Además, se confirmó que la ocupación influye directamente en la acumulación de CO₂, ya que los valores más altos coincidieron con los horarios de mayor afluencia de personas, particularmente en la tarde. Esto subraya la importancia de estrategias que permitan regular el aire interior de manera más eficiente para evitar concentraciones excesivas de contaminantes en espacios cerrados.

En general, este estudio resalta la necesidad de optimizar la gestión del sistema de climatización, asegurando un equilibrio entre calidad del aire y confort térmico. La identificación de patrones de variabilidad en los niveles de CO₂ y temperatura proporciona una base para futuras investigaciones que permitan mejorar el diseño y la regulación de los sistemas de

climatización en espacios de alta ocupación, garantizando condiciones ambientales más saludables para los usuarios.

Recomendaciones

En términos generales, el estudio cumplió con sus objetivos, ya que logró identificar patrones de variabilidad en los niveles de CO₂ y temperatura, además de demostrar cómo la climatización influye en la calidad del aire. No obstante, los resultados también evidenciaron la necesidad de complementar el sistema actual con estrategias adicionales que permitan una distribución más eficiente del aire y un control más efectivo de la temperatura.

Este estudio abre varias líneas de investigación sobre la calidad del aire en bibliotecas y espacios de alta ocupación. Una primera área clave es el monitoreo a largo plazo, considerando variaciones estacionales para evaluar cómo el clima influye en la temperatura y la concentración de CO₂ en interiores. Además, se recomienda evaluar otros factores que afectan la calidad del aire, como la presencia de patógenos, la propagación de enfermedades respiratorias y la generación de malos olores en espacios cerrados. Esto permitiría comprender mejor los efectos de la calidad ambiental en la salud y el bienestar de los ocupantes.

También se recomienda analizar estrategias para optimizar la circulación del aire y mejorar la eficiencia térmica en edificaciones, explorando el uso de materiales con mayor inercia térmica y ajustes en el sistema de climatización. Dado que la ocupación influye en la acumulación de CO₂, sería útil replicar este análisis en aulas, oficinas o auditorios para identificar patrones comunes y soluciones específicas para cada contexto.

Además, futuras investigaciones podrían correlacionar la percepción del confort de los usuarios con mediciones técnicas mediante encuestas, proporcionando un enfoque más integral. Asimismo, sería relevante ampliar el análisis comparando los resultados con normativas

internacionales y regulaciones locales para evaluar su aplicabilidad en distintos contextos climáticos y arquitectónicos.

Estas investigaciones contribuirían a optimizar el diseño y funcionamiento de espacios cerrados, garantizando mejores condiciones ambientales y mayor bienestar para sus ocupantes.

Referencias

- Allen, J. G., MacNaughton, P., Cedeno-Laurent, J. G., Spengler, J. D., Vallarino, J., & Bernstein, A. (2017). Green buildings and health. *Current Environmental Health Reports*, 4(1), 1-10. Consultado 8 de noviembre del 2024 en <https://doi.org/10.1007/s40572-017-0130-1>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2019). *Standard 62.1-2019: Ventilation for acceptable indoor air quality*. ASHRAE. Consultado el 31 de octubre del 2024.
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (2021). *Indoor air quality (IAQ)*. Consultado el 21 de noviembre del 2024 en <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq>
- Carrer, P., Wargocki, P., Fanetti, A., Bischof, W., De Oliveira Fernandes, E., & Kephelopoulos, S. (2015). What does the scientific literature tell us about the ventilation–health relationship in public and residential buildings? *Building and Environment*, 94, 273-286. Consultado el 31 de octubre del 2024 en <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.08.011>
- De Gennaro, G., Dambruoso, P. R., Di Gilio, A., Palmisani, J., & Tutino, M. (2014). Indoor air quality in schools. *Environmental Chemistry Letters*, 12, 467-482. Consultado el 21 de noviembre del 2024 en <https://doi.org/10.1007/s10311-014-0477-6>
- Fisk, W. J., Black, D., & Brunner, G. (2012). Benefits and costs of improved indoor air quality and climate in offices. *Indoor Air*, 22(5), 340-356. Consultado el 13 de noviembre del 2024 en <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2012.00779.x>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-HS-CL: Climatización*. Quito, Ecuador. Consultado el 28 de noviembre del 2024

- Morawska, L., Tang, J. W., Bahnfleth, W., Bluyssen, P. M., Boerstra, A., Buonanno, G., & Yao, M. (2021). How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimized? *Environment International*, 142, 105832. Consultado el 19 de diciembre del 2024 en <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>
- Nazaroff, W. W. (2013). Exploring the consequences of climate change for indoor air quality. *Environmental Research Letters*, 8(1), 015022. Consultado el 19 de diciembre del 2024 en <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015022>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. WHO Press. Consultado el 12 de enero del 2025 en <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>
- Seppänen, O., Fisk, W. J., & Mendell, M. J. (1999). Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air*, 9(4), 226-252. Consultado el 16 de enero del 2025 en <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1999.t01-1-00003.x>
- Sundell, J. (2004). On the history of indoor air quality and health. *Indoor Air*, 14(7), 51-58. Consultado el 13 de enero del 2025 en <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00273.x>

Anexos

Figura 5

Mosaico de fotos identificando y tomando lecturas de los parámetros de dióxido de carbono y temperatura en la biblioteca Puce Sede Manabi

