REVISTA CIENTÍFICA
Ciencia y Método
ISSN 3103-1072

EDITORIAL GRUPO AEA

Artículo Científico

Desempeño de la ventilación natural y concentración de CO_2 en salas de espera de hospitales públicos: evaluación ambiental y espacial en el contexto climático ecuatoriano

Natural Ventilation Performance and CO_2 Concentration in Public Hospital Waiting Rooms: An Environmental and Spatial Assessment in the Ecuadorian Climate Context

Barreiro-García, Luis Antonio [1]
https://orcid.org/0000-0002-4707-8433
lbarreirog@msuteq.edu.ec
Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Montes-Ferrín, José Gregorio[3]
https://orcid.org/0000-0001-5301-4877
gregorio.montes@espam.edu.ec
Ecuador, Manabí, Escuela Superior Politecnica Agropecuaria de Manabi Manuel Felix Lopez.

Barreiro-García, José Daniel [2]
https://orcid.org/0009-0006-7184-3285
josepdanielb-1993@hotmail.com
Ecuador, Investigador independiente

Barreiro-Vinces, Carlos Andres [4]
https://orcid.org/0009-0003-4150-6913
anbavin08@gmail.com
Ecuador, Investigador independiente

Autor de correspondencia [1]

DOI / URL: https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n4/298

Resumen: La renovación insuficiente del aire en salas de espera hospitalarias puede favorecer la acumulación de aire exhalado. El objetivo fue analizar la relación entre ventilación natural y concentración de dióxido de carbono, considerando su aplicabilidad a hospitales públicos ecuatorianos. Se desarrolló una revisión bibliográfica narrativa de alcance exploratorio, con síntesis temática y comparación descriptiva de estudios experimentales, observacionales, simulaciones y documentos técnicos. La evidencia mostró que la concentración de dióxido de carbono depende de la ocupación, la generación metabólica y el aporte de aire exterior. Las modificaciones de aberturas y conexiones exteriores favorecieron la renovación, mientras la geometría condicionó la distribución de contaminantes. La diversidad climática ecuatoriana y las condiciones operativas condicionan la aplicabilidad de las estrategias, sin que la compatibilidad térmica garantice suficiencia sanitaria. Se concluye que la evaluación debe integrar condiciones ambientales, configuración espacial y ocupación. La ventilación natural presenta potencial de mejora, pero requiere validación local y monitoreo contextualizado. La concentración de dióxido de carbono no permite, por sí sola, determinar la presencia de patógenos ni demostrar reducciones de infecciones.

Palabras clave: ventilación natural; dióxido de carbono; calidad del aire interior; salas de espera; arquitectura hospitalaria.

Received: 30/Sep/2026
Accepted: 28/Oct/2026
Published: 25/Nov/2026

Cita: Barreiro-García, L. A., Montes-Ferrín, J. G., Barreiro-García, J. D., & Barreiro-Vinces, C. A. (2026). Desempeño de la ventilación natural y concentración de CO_2 en salas de espera de hospitales públicos: evaluación ambiental y espacial en el contexto climático ecuatoriano. *Revista Científica Ciencia Y Método*, *4*(4), 462-475. https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n4/298

Revista Científica Ciencia y Método (RCyM)
https://revistacym.com
revistacym@editorialgrupo-aea.com
info@editoriagrupo-aea.com

© 2026. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.**

Abstract:

Insufficient air renewal in hospital waiting rooms may promote the accumulation of exhaled air. This study aimed to analyze the relationship between natural ventilation and carbon dioxide concentration, considering its applicability to Ecuadorian public hospitals. An exploratory narrative literature review was conducted using thematic synthesis and descriptive comparison of experimental and observational studies, simulations, and technical documents. The evidence showed that carbon dioxide concentration depends on occupancy, metabolic production, and outdoor air supply. Modifications to openings and connections to outdoor spaces improved air renewal, while spatial geometry influenced contaminant distribution. Ecuador's climatic diversity and operational conditions affect the applicability of ventilation strategies, and thermal suitability alone does not ensure adequate healthcare ventilation. The review concludes that assessments should integrate environmental conditions, spatial configuration, and occupancy. Natural ventilation offers potential improvements but requires local validation and context-specific monitoring. Carbon dioxide concentration alone cannot determine the presence of pathogens or demonstrate reductions in infections.

Keywords: natural ventilation; carbon dioxide; indoor air quality; waiting rooms; hospital architecture.

1. Introducción

Las salas de espera hospitalarias reúnen pacientes, acompañantes y trabajadores en espacios donde la permanencia compartida puede favorecer la exposición a aerosoles respiratorios. Cuando la renovación del aire resulta insuficiente, estas áreas adquieren relevancia para la prevención de infecciones, especialmente si concurren personas con enfermedades transmisibles todavía no diagnosticadas. Escombe et al. (2007) demostraron que la apertura de puertas y ventanas modifica la ventilación de ambientes sanitarios. Este antecedente plantea un problema para los hospitales públicos ecuatorianos: establecer bajo qué condiciones ambientales y espaciales la ventilación natural proporciona una renovación suficiente durante la ocupación habitual.

La concentración de dióxido de carbono (CO_2) permite aproximarse a este problema porque el gas exhalado se acumula cuando su generación supera la eliminación mediante aire exterior. Su interpretación exige considerar la concentración exterior, el número de ocupantes, la actividad metabólica y el tiempo de permanencia. Peng y Jimenez (2021) explican que el exceso de CO_2 puede orientar la evaluación de la exposición al aire exhalado, aunque su relación con el riesgo infeccioso cambia entre actividades y ambientes. Por tanto, constituye un indicador indirecto de ventilación

respecto de la ocupación, sin equivaler a una medición de patógenos ni garantizar seguridad mediante un umbral universal.

El desempeño de la ventilación natural depende de la velocidad y dirección del viento, las diferencias térmicas, el área efectiva de apertura y la disposición de entradas y salidas. La profundidad de las salas y las obstrucciones interiores también condicionan la distribución del aire. Como referencia técnica, las directrices de la Organización Mundial de la Salud proponen 60 litros por segundo por paciente para salas generales y departamentos ambulatorios ventilados naturalmente (Atkinson et al., 2009). Este caudal debe diferenciarse de las renovaciones por hora y examinarse junto con la ocupación, evitando atribuir suficiencia ambiental a la existencia de ventanas.

En Ecuador, la diversidad climática impide asumir que una configuración arquitectónica tendrá resultados equivalentes en todas las regiones. Chimborazo y Vuille (2021) muestran que la complejidad topográfica y las interacciones atmosféricas generan contrastes climáticos regionales. Esta heterogeneidad exige estudiar cómo la temperatura, las precipitaciones y el viento condicionan el uso de las aberturas. Desde esta perspectiva, el frío o la lluvia pueden restringir su apertura, mientras los ambientes cálidos requieren compatibilizar renovación y confort (Álvarez-Laborde et al., 2026). Por ello, la evaluación debe relacionar las condiciones meteorológicas con las características del edificio y sus patrones de funcionamiento.

Los antecedentes ecuatorianos ofrecen un punto de partida, aunque sus alcances deben delimitarse. Quinga-Quillupangui et al. (2023) estudiaron el CO_2 y el síndrome del edificio enfermo en emergencia, hospitalización y quirófano del Hospital Básico de Machachi. Su enfoque evidencia interés local por la calidad ambiental hospitalaria, pero corresponde a áreas distintas de las salas de espera. En consecuencia, resulta pertinente integrar críticamente los conocimientos disponibles sobre ocupación, geometría y ventilación, examinando su aplicabilidad a estos espacios. La contribución de esta revisión consiste en relacionar evidencia ambiental y arquitectónica con las particularidades climáticas y operativas de los hospitales públicos.

La evidencia latinoamericana respalda la utilidad de examinar intervenciones espaciales. En dos hospitales de Lima, Escombe et al. (2019) evaluaron cuatro salas de espera y dos consultorios mediante pruebas con CO_2 como gas trazador. Las modificaciones arquitectónicas incrementaron la mediana de ventilación de 5,3 a 16 renovaciones por hora; la mediana de reducción del riesgo de tuberculosis estimado mediante modelización alcanzó 72 %. Estos resultados sugieren oportunidades de mejora mediante aperturas y ventilación cruzada; sin embargo, la reducción estimada no representa infecciones clínicamente observadas ni permite trasladar automáticamente los valores obtenidos al parque hospitalario ecuatoriano.

La revisión se justifica por su contribución a decisiones de diseño, mantenimiento y gestión de aforos que vinculen protección sanitaria y condiciones de uso (Vélez-Guerrero et al., 2026). Su viabilidad deriva de la disponibilidad de estudios experimentales, evaluaciones ambientales y orientaciones técnicas susceptibles de

comparación crítica. Wilson et al. (2024), por ejemplo, obtuvieron 127.680 mediciones de CO_2 en 32 áreas de dos hospitales, mostrando diferencias espaciales y temporales de ventilación. Este tipo de evidencia permite organizar indicadores y reconocer limitaciones metodológicas, considerando calibración, ubicación de sensores y variabilidad de ocupación antes de formular recomendaciones aplicables.

El objetivo de este artículo es analizar críticamente, mediante una revisión bibliográfica, la relación entre el desempeño de la ventilación natural y la concentración de CO_2 en salas de espera hospitalarias, considerando factores ambientales, espaciales y de ocupación, para valorar la aplicabilidad de la evidencia a hospitales públicos del contexto climático ecuatoriano y fundamentar criterios de evaluación ambiental e intervención arquitectónica. Asimismo, se identificarán vacíos documentales que orienten futuras investigaciones y protocolos de monitoreo hospitalario.

2. Materiales y métodos

La investigación adopta un diseño documental de alcance exploratorio, mediante una revisión bibliográfica narrativa orientada a examinar la relación entre el desempeño de la ventilación natural y la concentración de dióxido de carbono en salas de espera hospitalarias. El análisis integra evidencia sobre las características ambientales, la configuración espacial y las condiciones de ocupación que intervienen en la renovación del aire. La unidad de análisis corresponde a los documentos seleccionados, de los cuales se extraen los resultados y fundamentos técnicos necesarios para valorar su aplicabilidad al contexto climático ecuatoriano.

La estrategia de búsqueda contempla bases bibliográficas y plataformas académicas como PubMed, SciELO, Redalyc y Google Académico, complementadas con documentos técnicos de organismos sanitarios e instituciones ecuatorianas vinculadas con salud, infraestructura y meteorología. Se emplean términos en español e inglés relacionados con ventilación natural, dióxido de carbono, calidad del aire interior, salas de espera, hospitales públicos, ventilación cruzada y clima ecuatoriano. Estos descriptores se combinan mediante los operadores booleanos AND y OR. Para favorecer la trazabilidad, el registro de búsqueda considera la fuente consultada, la fecha, la combinación utilizada y los documentos identificados.

La selección prioriza publicaciones de los últimos diez años e incorpora estudios anteriores cuando aportan fundamentos metodológicos o antecedentes relevantes para comprender la ventilación hospitalaria. Se consideran artículos originales, investigaciones experimentales, estudios observacionales, simulaciones ambientales y orientaciones técnicas disponibles en español o inglés. Los documentos deben abordar al menos una de las dimensiones del estudio y proporcionar información suficiente sobre sus procedimientos o fundamentos. Se excluyen registros duplicados,

contenidos de carácter comercial, publicaciones sin autoría identificable y trabajos cuya relación con el problema sea únicamente tangencial.

La revisión documental se organiza mediante una lectura inicial de títulos y resúmenes, seguida del examen del texto completo de las publicaciones pertinentes. La pertinencia se determina según la correspondencia con el objetivo, el tipo de espacio evaluado y la información disponible sobre ventilación, CO_2, ocupación y condiciones climáticas. Se distingue la evidencia obtenida directamente en salas de espera de aquella procedente de consultorios, hospitalización u otros ambientes sanitarios. Estos últimos aportan antecedentes complementarios, cuya utilización depende de la semejanza de sus condiciones físicas y operativas con los espacios de interés.

La extracción de información contempla una matriz que reúne autoría, año, país, diseño del estudio, características del establecimiento, tipo de ventilación y procedimientos de evaluación. También registra dimensiones y volumen de los recintos, disposición de puertas y ventanas, superficie de apertura, ocupación, condiciones meteorológicas y resultados ambientales. En los estudios instrumentales se examinan las características, ubicación y calibración de los sensores, así como la duración y frecuencia del monitoreo. Las mediciones ambientales de CO_2 se diferencian de las pruebas que emplean este gas como trazador para estimar tasas de renovación del aire.

El análisis combina una síntesis temática con la comparación descriptiva de los resultados cuantitativos disponibles. Las concentraciones de CO_2, las renovaciones por hora y los caudales por persona o paciente se interpretan según sus unidades, condiciones de medición y población de referencia. La valoración crítica considera la claridad metodológica, la representatividad temporal, el registro de ocupación y las limitaciones reconocidas por cada estudio. Debido a la diversidad de diseños y escenarios, la síntesis conserva los resultados en su contexto y evita establecer equivalencias entre indicadores que representan aspectos diferentes del desempeño ambiental.

La contextualización para Ecuador relaciona los hallazgos con las diferencias regionales de temperatura, humedad, precipitación, altitud y exposición al viento. Se examina cómo estas condiciones pueden favorecer o restringir las estrategias de apertura y ventilación cruzada descritas en la literatura. La interpretación diferencia los resultados medidos, las estimaciones obtenidas mediante simulación y las propuestas de adaptación arquitectónica. A partir de esta comparación se identifican criterios de evaluación, posibilidades de intervención y vacíos de conocimiento que puedan orientar posteriores investigaciones en hospitales públicos ecuatorianos.

3. Resultados

3.1. Desempeño ambiental y espacial de la ventilación natural en salas de espera hospitalarias

3.1.1. Relación entre concentración de CO_2, renovación del aire y ocupación

La literatura examinada muestra que la concentración de CO_2 constituye una expresión del balance entre la generación metabólica de los ocupantes y la eliminación del gas mediante el aporte de aire exterior. Su interpretación requiere considerar las características de la población y la dinámica de utilización del recinto. Persily y de Jonge (2017) demostraron que la producción de CO_2 varía según la edad, la masa corporal y la actividad física; por consiguiente, asumir una emisión uniforme para pacientes, acompañantes y trabajadores puede introducir incertidumbre en la estimación de los caudales de ventilación.

La variabilidad del aforo adquiere especial relevancia en salas de espera, donde los ingresos y las salidas dificultan alcanzar condiciones estacionarias. Deol et al. (2021) evaluaron una sala de espera de atención primaria mediante registros de CO_2 interior y exterior y recuentos de ocupantes. Dos procedimientos de estimación en régimen transitorio produjeron caudales absolutos de 2.407 y 2.743 L/s, respectivamente. Estos valores corresponden al recinto completo. El hallazgo evidencia la posibilidad de estimar la ventilación durante el funcionamiento habitual, aunque los amplios intervalos de confianza y la sensibilidad a los supuestos metabólicos aconsejan interpretar los resultados junto con sus condiciones de obtención.

La evidencia hospitalaria confirma que el aforo, por sí solo, tampoco explica las diferencias de concentración. Ehelepola y Thilakarathna (2024) estudiaron 21 hospitales docentes de Sri Lanka y registraron promedios de 514 ppm en exteriores, 749 ppm en departamentos ambulatorios y 795 ppm en unidades de emergencia. Aunque los departamentos ambulatorios presentaban mayor concurrencia, en diez hospitales las concentraciones fueron superiores en emergencia. Los autores plantearon como posibles explicaciones el menor volumen de estos espacios y la mayor apertura exterior de las áreas ambulatorias. Esta interpretación señala la interacción entre ocupación y capacidad efectiva de dilución, sin demostrar una relación causal independiente para cada factor.

Respecto de la exposición infecciosa, Peng y Jimenez (2021) encontraron que la concentración de CO_2 asociada con un mismo riesgo absoluto puede variar en más de dos órdenes de magnitud entre ambientes y actividades. Por ello, una lectura aislada o su comparación con un umbral universal no permite establecer seguridad sanitaria. En salas de espera resulta más informativo examinar el exceso respecto del exterior, su persistencia temporal y su correspondencia con la ocupación. El CO_2 aporta información sobre la acumulación de aire exhalado, pero no cuantifica directamente la presencia ni la viabilidad de agentes patógenos.

3.1.2. Influencia de la configuración espacial y las aberturas en la ventilación natural

La configuración arquitectónica condiciona el aprovechamiento de las diferencias de presión que movilizan el aire. Atkinson et al. (2009) describen la ventilación cruzada mediante aberturas situadas en fachadas opuestas y trayectorias suficientemente despejadas. Desde esta perspectiva, la superficie acristalada constituye una referencia incompleta: interesa la apertura operativa y su conexión con una salida que permita atravesar el espacio ocupado (Álvarez-Laborde et al., 2026).

Los resultados experimentales de Escombe et al. (2019) muestran la magnitud que pueden alcanzar las modificaciones espaciales. En dos hospitales de Lima, la incorporación de lucernarios abiertos incrementó la ventilación media de una sala de espera de 5,5 a 14,5 renovaciones por hora. En otro caso, la comparación entre una sala compartida y una nueva sala exterior destinada a pacientes respiratorios registró valores medios de 8,1 y 61,6 renovaciones por hora, respectivamente. Las intervenciones incluyeron diferentes configuraciones, por lo que sus resultados no representan el efecto aislado del tamaño de las ventanas. Evidencian, más ampliamente, la relevancia de conectar entradas y salidas de aire y reducir las restricciones impuestas por la envolvente.

La heterogeneidad espacial también aparece en la investigación computacional. Wei et al. (2024) compararon doce configuraciones de espacios ambulatorios de espera y obtuvieron probabilidades medias de infección modeladas entre 3,47 % y 19,75 %. Las simulaciones consideraron impulsión y retorno mecánicos, por lo que sus resultados aportan evidencia complementaria sobre geometría y distribución de contaminantes. Su contribución para esta revisión consiste en mostrar que la forma del recinto y la localización de los accesos pueden modificar la exposición, incluso cuando se mantiene una estrategia de ventilación definida. Estos porcentajes representan estimaciones bajo condiciones específicas del modelo y no incidencias clínicas observadas.

3.1.3. Aplicabilidad de las estrategias de ventilación al contexto climático ecuatoriano

La evidencia ecuatoriana permite reconocer diferencias territoriales relevantes para la adaptación de estrategias pasivas. Delgado-Gutierrez et al. (2024) analizaron 38 localidades mediante un modelo de confort adaptativo. Para el escenario climático actual, estimaron una posibilidad de utilización de ventilación natural cercana al 80 % de los días del año en la conurbación Guayaquil–Samborondón–Durán, frente al 9 % en el Distrito Metropolitano de Quito. Estos porcentajes expresan compatibilidad térmica según los criterios del modelo; no corresponden a caudales medidos en hospitales ni a porcentajes de cumplimiento sanitario. Su principal aporte es evidenciar que una solución arquitectónica uniforme puede encontrar restricciones climáticas diferentes dentro del país.

En la Sierra, la aceptación térmica requiere una consideración específica. Gallardo et al. (2016), en una oficina naturalmente ventilada de Quito, encontraron una temperatura de neutralidad reportada por los ocupantes de 22,1 °C, mientras el modelo de voto medio previsto estimaba 24,1 °C. También identificaron condiciones relativamente frías durante la mañana. Aunque el estudio corresponde a un ambiente administrativo, sus resultados muestran la importancia de contrastar las predicciones con la experiencia de los usuarios. La transferencia a salas hospitalarias exige reconocer diferencias de actividad, vestimenta y condición clínica, además de valorar la exposición a corrientes de aire.

La viabilidad operativa constituye otra dimensión de la adaptación. Arthur et al. (2025), en hospitales de Liberia, documentaron barreras para mantener abiertas puertas y ventanas relacionadas con privacidad, mosquitos, contaminación exterior y climatización. Las intervenciones mediante aberturas con lamas y extractores eólicos mejoraron la ventilación, mientras las mallas presentaron efectos limitados. Los autores señalaron que no se midió el tiempo efectivo de apertura, lo que restringe la explicación de estos resultados. Para Ecuador, este antecedente permite formular una inferencia de diseño: los dispositivos de protección deben evaluarse conjuntamente con su resistencia al flujo y con las prácticas que determinan su utilización cotidiana.

La adaptación hospitalaria requiere, por tanto, verificar simultáneamente suficiencia de caudal, distribución del aire y aceptabilidad térmica. Atkinson et al. (2009) proponen como referencia técnica 60 L/s por paciente para salas generales y departamentos ambulatorios ventilados naturalmente, y contemplan sistemas híbridos cuando las fuerzas naturales resultan insuficientes. Aplicado al contexto ecuatoriano, este planteamiento fundamenta evaluaciones por emplazamiento y periodo climático, con registros de ocupación y CO_2, antes de atribuir eficacia sanitaria a una estrategia sustentada únicamente en su potencial bioclimático.

La Tabla 1 sintetiza los principales resultados cuantitativos y delimita su alcance interpretativo. Su lectura permite distinguir las concentraciones de CO_2, los caudales, las renovaciones por hora y las estimaciones climáticas, evitando tratarlos como indicadores equivalentes del desempeño hospitalario.

Tabla 1

Síntesis de los hallazgos sobre ventilación, ocupación y configuración espacial y su contextualización climática

Estudio y contexto	Indicador evaluado	Resultado principal	Interpretación y alcance
Ehelepola y Thilakarathna (2024) 21 hospitales de Sri Lanka	Concentración de CO_2	Promedios: 514 ppm en exteriores, 749 ppm en departamentos ambulatorios y 795 ppm en emergencia.	La diferencia respecto del exterior identifica acumulación de aire exhalado. Debe interpretarse junto con la ocupación y las características del recinto.

Deol et al. (2021) Sala de espera de atención primaria	Caudal de aire exterior con ocupación variable	Dos métodos estimaron 2.407 y 2.743 L/s para el recinto completo.	Estimaciones para el recinto completo; no representan caudales recomendados por persona.
Escombe et al. (2019) Dos hospitales de Lima	Renovaciones por hora después de intervenciones arquitectónicas	Lucernarios: de 5,5 a 14,5 renovaciones/hora. Comparación con una nueva sala exterior: 8,1 frente a 61,6 renovaciones/hora.	Las mejoras dependen de la intervención y las condiciones del recinto.
Wei et al. (2024) Doce configuraciones de espera hospitalaria simuladas	Probabilidad de infección modelada	Probabilidades medias entre 3,47 % y 19,75 %, según la configuración espacial.	La geometría modifica la distribución de contaminantes. La simulación utilizó ventilación mecánica y no mide directamente la eficacia de la ventilación natural.
Delgado-Gutierrez et al. (2024) 38 localidades ecuatorianas	Potencial de ventilación natural según confort adaptativo	Escenario actual: aproximadamente 80 % de los días en Guayaquil–Samborondón–Durán, frente a 9 % en Quito.	Los porcentajes representan compatibilidad térmica modelada, no mediciones de caudal ni cumplimiento sanitario hospitalario.

Nota. Elaboración propia a partir de los estudios citados. CO_2 = dióxido de carbono; ppm = partes por millón; L/s = litros por segundo. Los caudales, las concentraciones, las renovaciones por hora y las probabilidades modeladas representan magnitudes diferentes y no deben compararse como indicadores equivalentes. Los resultados internacionales y las estimaciones climáticas requieren contrastación antes de trasladarse a salas de espera de hospitales públicos ecuatorianos.

4. Discusión

Los hallazgos examinados permiten interpretar la ventilación natural como una estrategia cuyo desempeño depende de la interacción entre configuración arquitectónica, condiciones ambientales y utilización del espacio. Las mejoras documentadas por Escombe et al. (2019) y la asociación entre ventilación natural y menores concentraciones de CO_2 observada por Crews et al. (2024) respaldan su pertinencia en establecimientos sanitarios. Sin embargo, la convergencia entre ambos estudios debe interpretarse atendiendo a sus diferencias metodológicas: las intervenciones arquitectónicas aportan evidencia sobre modificaciones concretas, mientras la investigación observacional identifica asociaciones condicionadas por las características de los establecimientos. Esta distinción impide atribuir una superioridad general a una modalidad de ventilación independientemente de su diseño y funcionamiento.

La relación entre CO_2 y ocupación introduce una consideración metodológica decisiva. Persily y de Jonge (2017) muestran que la generación metabólica del gas presenta variaciones individuales, mientras Deol et al. (2021) evidencian la necesidad de considerar condiciones transitorias cuando el aforo fluctúa. En consecuencia, una

concentración elevada puede reflejar tanto un aporte insuficiente de aire exterior como una demanda de ventilación incrementada por la concurrencia. Para las salas de espera, esta interacción exige interpretar las mediciones mediante registros simultáneos de ocupación y condiciones operativas. De lo contrario, podrían atribuirse a deficiencias arquitectónicas variaciones relacionadas con cambios temporales en la utilización del recinto.

La utilidad del CO_2 como indicador ambiental tampoco equivale a una medición directa de la exposición infecciosa. Peng y Jimenez (2021) advierten que su relación con el riesgo depende del ambiente y de las actividades desarrolladas. Jia et al. (2025) profundizan esta limitación al distinguir entre la emisión de CO_2 por todos los ocupantes y la emisión de aerosoles infecciosos exclusivamente por las personas infectadas, además de reconocer mecanismos adicionales de eliminación de partículas. Por ello, espacios con concentraciones semejantes de CO_2 pueden presentar condiciones de exposición diferentes. El monitoreo adquiere mayor valor como instrumento para orientar ajustes de ventilación que como criterio autónomo para certificar seguridad sanitaria.

La dimensión espacial amplía esta interpretación, puesto que una tasa global de renovación no describe necesariamente la distribución del aire en todas las zonas ocupadas. Wei et al. (2024) muestran que la geometría y la disposición de los accesos modifican las concentraciones de partículas y las probabilidades de infección modeladas. Aunque su estudio corresponde a ventilación mecánica, resulta pertinente para cuestionar la suficiencia de las evaluaciones exclusivamente volumétricas. En contraste, las intervenciones de Escombe et al. (2019) aportan evidencia experimental sobre el aprovechamiento de aperturas y conexiones exteriores. La lectura conjunta sugiere evaluar tanto el caudal disponible como las trayectorias que permiten renovar el aire en las zonas de permanencia.

La transferencia de estos conocimientos a Ecuador requiere diferenciar la aptitud bioclimática de la suficiencia sanitaria. Delgado-Gutierrez et al. (2024) identifican diferencias territoriales en el potencial de utilización de ventilación natural bajo criterios de confort adaptativo, mientras Gallardo et al. (2016) muestran discrepancias entre las predicciones térmicas y las sensaciones reportadas en un ambiente naturalmente ventilado de Quito. Tales antecedentes permiten cuestionar la aplicación de soluciones uniformes, pero no establecen por sí mismos las condiciones aceptables para pacientes hospitalarios. Una menor compatibilidad térmica del modelo tampoco implica que deba interrumpirse la renovación del aire; plantea la necesidad de compatibilizarla con el control de corrientes y el acondicionamiento térmico. Esta última constituye una inferencia de diseño que requiere validación en los espacios asistenciales.

La sostenibilidad de las intervenciones depende, asimismo, de su viabilidad operativa. Arthur et al. (2025) documentan barreras de privacidad, protección frente a insectos y climatización que condicionan la apertura de puertas y ventanas. Estos resultados

sugieren que la eficacia potencial de una modificación puede reducirse cuando su utilización cotidiana resulta incompatible con las necesidades del servicio. La cuestión trasciende, por tanto, la incorporación física de aberturas e involucra mantenimiento, responsabilidades de operación y verificación del desempeño. En concordancia, Atkinson et al. (2009) contemplan alternativas híbridas cuando las fuerzas naturales no proporcionan la ventilación requerida, lo que favorece una selección tecnológica sustentada en las condiciones efectivamente verificadas.

El alcance de esta interpretación está delimitado por el carácter exploratorio y narrativo de la revisión. La heterogeneidad entre mediciones ambientales, intervenciones arquitectónicas, simulaciones y evaluaciones de confort impide tratarlas como evidencias equivalentes de reducción de infecciones. Además, la diversidad de periodos de observación, procedimientos instrumentales y escenarios asistenciales restringe la comparación directa. La evidencia ecuatoriana utilizada aporta fundamentos climáticos y térmicos, pero requiere complementarse con evaluaciones específicas en salas de espera de hospitales públicos. Estas limitaciones sitúan los hallazgos como una base para formular criterios de evaluación y nuevas preguntas de investigación, sin permitir una estimación del desempeño del conjunto de la infraestructura hospitalaria nacional.

Una agenda de investigación derivada de esta revisión debería priorizar estudios multicéntricos que integren monitoreo continuo de CO_2 interior y exterior, recuentos simultáneos de ocupantes y caracterización meteorológica. También resulta pertinente examinar la distribución espacial del aire y comparar intervenciones antes y después de su implementación durante distintos periodos climáticos. La incorporación de registros sobre apertura de ventanas, mantenimiento y tiempos de permanencia permitiría distinguir restricciones físicas de condiciones de operación. Con este enfoque, las futuras investigaciones podrían determinar qué combinaciones arquitectónicas y tecnológicas mantienen una renovación suficiente durante la demanda asistencial habitual y bajo las particularidades climáticas de cada emplazamiento.

5. Conclusiones

El desempeño de la ventilación natural en salas de espera hospitalarias depende de la interacción entre las condiciones ambientales, la configuración espacial y la dinámica de ocupación. La concentración de CO_2 constituye un indicador útil para examinar la acumulación de aire exhalado y orientar la evaluación de la renovación del aire, siempre que se interprete junto con la concentración exterior, el aforo y la duración de las mediciones. Su utilización aislada no permite determinar la presencia de agentes patógenos ni establecer un nivel universal de seguridad sanitaria.

La evidencia analizada respalda el potencial de las intervenciones arquitectónicas que favorecen la apertura efectiva, la ventilación cruzada y la conexión con espacios exteriores. Sin embargo, la existencia de ventanas o una tasa global de renovación

elevada no garantizan una distribución homogénea del aire en las zonas de permanencia. La efectividad de estas estrategias también está condicionada por su funcionamiento cotidiano, el mantenimiento y la aceptación de los usuarios. Por tanto, la evaluación ambiental debe integrar las características físicas del recinto con las prácticas que sostienen o restringen su ventilación durante la actividad asistencial.

En el contexto ecuatoriano, la diversidad climática exige adaptar las estrategias a cada emplazamiento y diferenciar el potencial de confort térmico de la suficiencia de ventilación hospitalaria. Los antecedentes examinados permiten fundamentar criterios de evaluación e intervención, pero no establecer el desempeño real del conjunto de hospitales públicos ni cuantificar una reducción de infecciones atribuible a la ventilación natural. La contribución de esta revisión consiste en articular las dimensiones ambientales, espaciales y operativas para orientar decisiones contextualizadas, cuya validación requiere mediciones en salas de espera bajo condiciones habituales de ocupación y durante distintos periodos climáticos.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

DECLARACIÓN SOBRE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

“Los autores declaran que no utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa en la elaboración de este manuscrito.”

Referencias Bibliográficas

Álvarez-Laborde, A. O., Vélez-Guerrero, C. R., Vinueza-Mendoza, G. W., & Chévez-Franco, G. A. (2026). Estrategias pasivas de ventilación natural en climas cálido-húmedos. *Revista Científica Ciencia y Método, 4*(1), 320–331. https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/153

Arthur, R. F., Styczynski, A., Srinivasan, K., Tandanpolie, A., Bemah, P., Bell, E., Andrews, J. R., Baer, T., & Salinas, J. L. (2025). Effectiveness and acceptability of ventilation modifications in healthcare facilities, Liberia 2022–2023. *Antimicrobial Stewardship & Healthcare Epidemiology, 5*(1), e190. https://doi.org/10.1017/ash.2025.10077

Atkinson, J., Chartier, Y., Pessoa-Silva, C. L., Jensen, P., Li, Y., & Seto, W.-H. (Eds.). (2009). *Natural ventilation for infection control in health-care settings*. World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9789241547857

Chimborazo, O., & Vuille, M. (2021). Present-day climate and projected future temperature and precipitation changes in Ecuador. *Theoretical and Applied Climatology, 143*(3–4), 1581–1597. https://doi.org/10.1007/s00704-020-03483-y

Crews, C., Angwaawie, P., Abdul-Mumin, A., Yabasin, I. B., Attivor, E., Dibato, J., & Coffee, M. P. (2024). Assessing ventilation through ambient carbon dioxide concentrations across multiple healthcare levels in Ghana. *PLOS Global Public Health, 4*(8), e0003287. https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0003287

Delgado-Gutierrez, E., Canivell, J., Bienvenido-Huertas, D., & Hidalgo-Sánchez, F. M. (2024). Adaptive comfort potential in different climate zones of Ecuador considering global warming. *Energies, 17*(9), 2017. https://doi.org/10.3390/en17092017

Deol, A. K., Scarponi, D., Beckwith, P., Yates, T. A., Karat, A. S., Yan, A. W. C., Baisley, K. S., Grant, A. D., White, R. G., & McCreesh, N. (2021). Estimating ventilation rates in rooms with varying occupancy levels: Relevance for reducing transmission risk of airborne pathogens. *PLOS ONE, 16*(6), e0253096. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253096

Ehelepola, N. D. B., & Thilakarathna, H. M. A. (2024). Respiratory infection transmission risk and indoor air quality at outpatient departments and emergency treatment units of Sri Lankan teaching hospitals. *PLOS Global Public Health, 4*(2), e0002862. https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0002862

Escombe, A. R., Oeser, C. C., Gilman, R. H., Navincopa, M., Ticona, E., Pan, W., Martínez, C., Chacaltana, J., Rodríguez, R., Moore, D. A. J., Friedland, J. S., & Evans, C. A. (2007). Natural ventilation for the prevention of airborne contagion. *PLOS Medicine, 4*(2), e68. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0040068

Escombe, A. R., Ticona, E., Chávez-Pérez, V., Espinoza, M., & Moore, D. A. J. (2019). Improving natural ventilation in hospital waiting and consulting rooms to reduce nosocomial tuberculosis transmission risk in a low resource setting. *BMC Infectious Diseases, 19*, Article 88. https://doi.org/10.1186/s12879-019-3717-9

Gallardo, A., Palme, M., Lobato-Cordero, A., Beltrán, R. D., & Gaona, G. (2016). Evaluating thermal comfort in a naturally conditioned office in a temperate climate zone. *Buildings, 6*(3), 27. https://doi.org/10.3390/buildings6030027

Jia, W., Cheng, P., Fontana, L., Chan, P. W., Wargocki, P., & Li, Y. (2025). Interpreting CO_2 monitoring for assessing airborne transmission risk in indoor environments. *Journal of Hazardous Materials, 499*, Article 140257. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.140257

Peng, Z., & Jimenez, J. L. (2021). Exhaled CO_2 as a COVID-19 infection risk proxy for different indoor environments and activities. *Environmental Science & Technology Letters, 8*(5), 392–397. https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00183

Persily, A., & de Jonge, L. (2017). Carbon dioxide generation rates for building occupants. *Indoor Air, 27*(5), 868–879. https://doi.org/10.1111/ina.12383

Quinga-Quillupangui, C. E., Navarrete-Arboleda, E. D., Vega-Falcón, V., & Chiriboga-Larrea, G. A. (2023). Síndrome del edificio enfermo y CO_2 en las áreas de emergencia, hospitalización y quirófano. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria de Ciencias de la Salud. Salud y Vida, 7*(2), 994–1000. https://doi.org/10.35381/s.v.v7i2.3495

Vélez-Guerrero, C. R., Quintero-Chere, F. E., Álvarez-Laborde, A. O., & Chévez-Franco, G. A. (2026). Efectos sobre la salud, bienestar y sostenibilidad del diseño biofílico en arquitectura. *Revista Científica Zambos, 5*(1), 25–34. https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n1/165

Wei, L., Liu, G., Yuan, Y., Liu, W., & Li, W. (2024). Numerical evaluation of space form design for outpatient waiting space to reduce airborne infection risk in hospitals. *Journal of Building Engineering, 83*, 108473. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108473

Wilson, N. M., Calabria, C., Warren, A., Finlay, A., O'Donovan, A., Passerello, G. L., Ribaric, N. L., Ward, P., Gillespie, R., Farrel, R., McNarry, A. F., & Pan, D. (2024). Quantifying hospital environmental ventilation using carbon dioxide monitoring – a multicentre study. *Anaesthesia, 79*(2), 147–155. https://doi.org/10.1111/anae.16124