

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v8i15.0266>

SÍNDROME DEL EDIFICIO ENFERMO: EVALUACIÓN Y MONITOREO

SICK BUILDING SYNDROME: EVALUATION AND MONITORING

Zúñiga-Navarrete Marco David ¹; Pérez-Rodríguez Jesús Alberto ²;
Velasco-Santamaría Tania Michelle ³; Delgado-Cárdenas Ana Fernanda ⁴;
Intriago Cedeño Narcisa Yamilec ⁵; Domínguez Reyes Daniel Geovanny ⁶

¹ Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.

Correo: marco.zuniga@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-8353-3346>.

² Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.

Correo: jesus.perez@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1578-2565>.

³ Mines Advisory Group, Quito, Ecuador. Correo: tannia.velasco@maginternational.org.

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-7732-2665>.

⁴ Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

Correo: e1316613841@live.ulead.edu.ec ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-3488-7051>

⁵ Universidad Estatal de Milagro. Guayaquil, Ecuador.

Correo: nintriagoc8@unemi.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-4050-8120>

⁶ Globe Industries Globeindsa S.A. Cuenca, Ecuador.

Correo: dominguez.dr8@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-7051-1012>

Resumen

Este artículo analiza la problemática de la contaminación en ambientes interiores en relación con el Síndrome del Edificio Enfermo, una condición que afecta la salud y el bienestar de los ocupantes debido a la acumulación de contaminantes, entre ellos los compuestos orgánicos volátiles (VOC). El objetivo principal del estudio es identificar los VOC más comunes en espacios cerrados, sus principales fuentes de emisión y los sensores más adecuados para su detección. La investigación se basa en una revisión bibliográfica sistemática, centrada en literatura científica relevante sobre la contaminación del aire interior. Se presta especial atención al desarrollo y aplicación de sistemas de monitoreo basados en sensores químicos, considerados una estrategia clave para la detección y control de VOC en tecnologías avanzadas de purificación del aire. Los resultados incluyen un listado de los VOC más frecuentemente reportados en estudios vinculados al Síndrome del Edificio Enfermo, así como una selección de sensores diseñados específicamente para la detección de estos contaminantes. Se concluye que el Síndrome del Edificio Enfermo representa una amenaza significativa para la salud en espacios interiores, lo que resalta la importancia de implementar sistemas de monitoreo eficientes que mejoren la calidad del aire y prevengan efectos adversos en la salud de los ocupantes.

Palabras clave: Edificio enfermo, Calidad del Aire Interior, Contaminantes Orgánicos Volátiles, Sensores.

Abstract

This article analyzes the issue of indoor air pollution in relation to Sick Building Syndrome, a condition that affects the health and well-being of occupants due to the accumulation of pollutants, including volatile organic compounds (VOCs). The main objective of the study is to identify the most common VOCs found in enclosed spaces, their primary sources of emission, and the most suitable sensors for their detection. The research is based on a systematic literature review, focusing on relevant scientific literature concerning indoor air pollution. Special attention is given to the development and application of monitoring systems based on chemical sensors,

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 15 de febrero de 2025.

Fecha de aceptación: 24 de abril de 2025.

Fecha de publicación: 10 de mayo de 2025.



considered a key strategy for the detection and control of VOCs in advanced air purification technologies. The results include a list of the VOCs most frequently reported in studies related to Sick Building Syndrome, as well as a selection of sensors specifically designed for the detection of these pollutants. The study concludes that Sick Building Syndrome poses a significant threat to health in indoor environments, highlighting the importance of implementing efficient monitoring systems to improve air quality and prevent adverse health effects among occupants.

Keywords: Sick Building, Indoor Air Quality, Volatile Organic Pollutants, Sensors.

1. Introducción

El aire está compuesto por una combinación de diversas sustancias, entre ellas oxígeno, nitrógeno y vapor de agua. Sin embargo, también contiene en menores cantidades ciertos contaminantes como dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, entre otros. Las fuentes de estos contaminantes pueden ser naturales, como las emisiones volcánicas, la dispersión de polen o la erosión provocada por el viento, o bien derivadas de la actividad humana, como las industrias, fábricas, comercios y viviendas (Matus & Lucero, 2002).

La calidad del aire interior (CAI), suele ser el término empleado para hacer referencia a la pureza del aire en espacios cerrados como viviendas, oficinas, hospitales, escuelas y otros edificios. El análisis y evaluación de la CAI es clave para garantizar el bienestar de las

personas que habitan estos espacios y prevenir posibles efectos negativos en la salud causados por la contaminación interior. En este contexto, la presencia de contaminantes en ambientes interiores no solo está influenciada por la calidad del aire exterior, sino también por factores internos propios del mobiliario, construcción, ventilación, climatización, entre otros (Piñol et al., 2013).

Los compuestos orgánicos volátiles (VOC, por su sigla en inglés Volatile Organic Compounds) son una categoría relevante de contaminantes presentes en el aire (Vega et al., 2022). La mayoría de las investigaciones sobre contaminación ambiental se han llevado a cabo en áreas urbanas, donde las concentraciones más elevadas de VOC están vinculadas al tráfico vehicular y a la actividad industrial. Por otro lado, algunos estudios han centrado su atención

en la exposición de las personas a estos compuestos dentro de espacios cerrados, esto debido a su impacto negativo en el medio ambiente y los riesgos que representan para la salud humana (Chang et al., 2016). En general, los VOC se producen en espacios cerrados por materiales de construcción, artículos decorativos, productos de limpieza, humo de tabaco o leña, sistemas de ventilación, actividades domésticas y el uso de dispositivos electrónicos (Piñol et al., 2013).

El presente artículo tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica del fenómeno del "Síndrome del Edificio Enfermo" y de la contaminación ambiental en espacios interiores, así como analizar sus efectos en la salud humana. Asimismo, se busca evaluar el papel de los sistemas de monitoreo basados en sensores químicos como una herramienta para la detección temprana de contaminantes y su potencial integración con sistemas de depuración de aire, con el fin de mejorar la calidad del aire interior y prevenir problemas de salud asociados.

2. Metodología

La metodología empleada en el desarrollo de este artículo corresponde a una revisión bibliográfica. Para ello, se llevó a cabo una búsqueda sistemática de información en bases de datos científicas, priorizando aquellos artículos que abordaran la temática de la "Indoor Air Pollution". Los documentos seleccionados fueron analizados utilizando el software VOSviewer, una herramienta diseñada para examinar registros académicos y representar visualmente las relaciones temáticas existentes (Arruda et al, 2022). La Figura 1 presenta un mapa de términos clave que permitió identificar y analizar las principales palabras asociadas al estudio de la calidad del aire en espacios interiores. Aunque el universo de investigaciones relacionadas con esta temática resulta ampliamente diverso, en esta investigación, a partir del análisis de la red de co-ocurrencia de términos, se ha decidido enfocar el estudio en tres áreas primordiales: la contaminación del aire interior vinculada al síndrome del edificio enfermo, los efectos de dicha contaminación en la

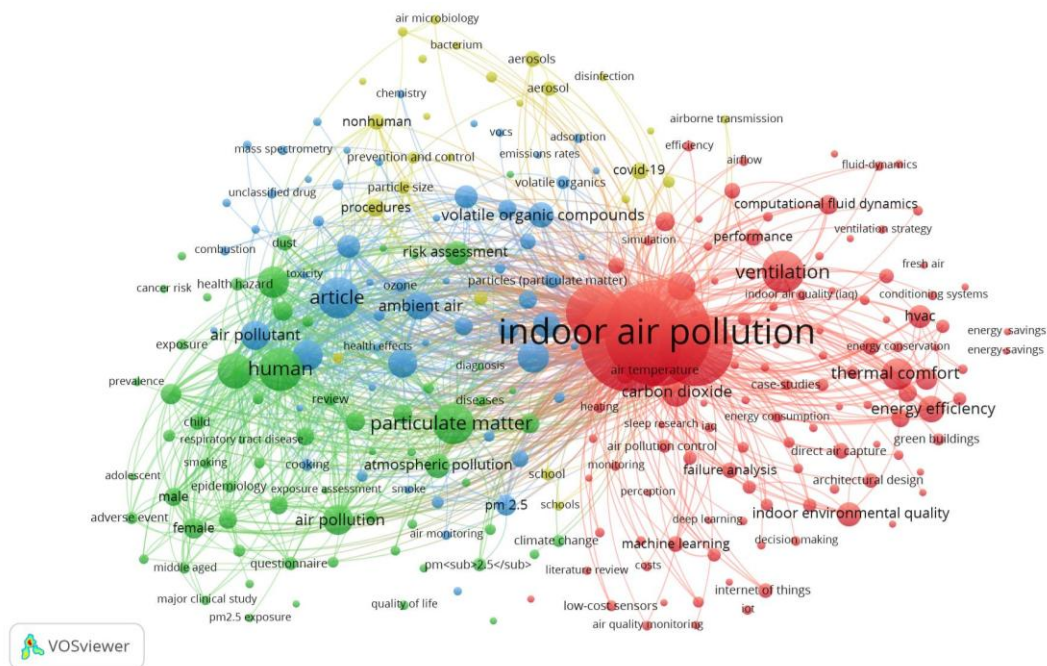
salud humana y las tecnologías de monitoreo y detección basadas en sensores, las cuales se integran en sistemas de depuración del aire.

2.1 Síndrome del edificio enfermo

Como se ha indicado anteriormente, numerosas fuentes de emisión de VOC se encuentran en entornos de uso habitual, como oficinas, viviendas y aulas. Debido a esto, uno

de los principales factores que comprometen la calidad del aire en espacios cerrados es el Síndrome del Edificio Enfermo. Este fenómeno se caracteriza por un conjunto de síntomas que impactan la salud, el confort y el bienestar de las personas que ocupan dichos espacios dentro de una edificación (Daza Pérez et al., 2015).

Figura 1. Mapa de términos clave.



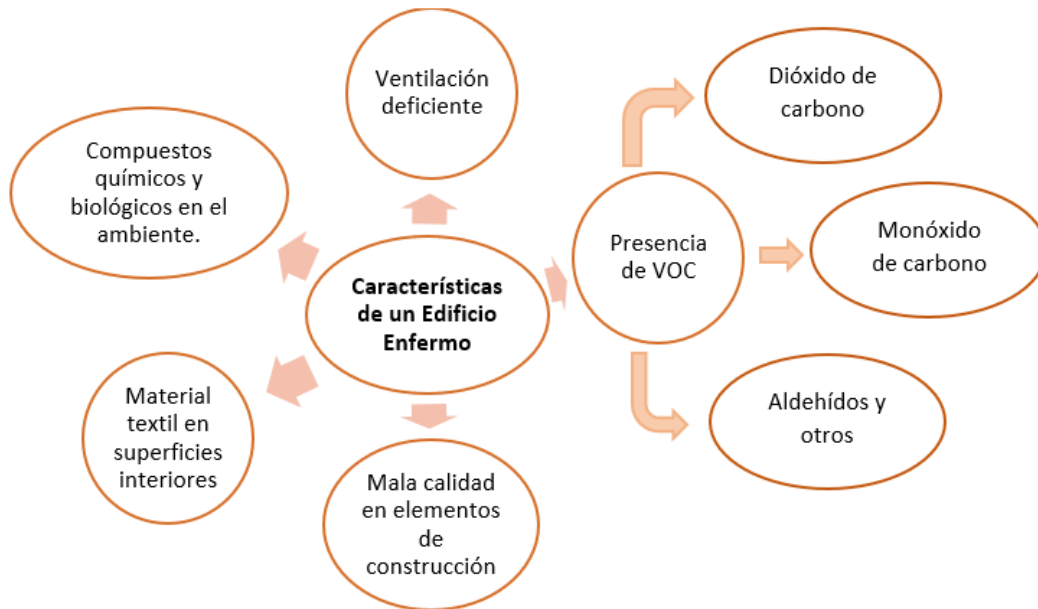
Se considera que un edificio presenta el Síndrome del Edificio Enfermo cuando entre el 10% y 30% de sus ocupantes experimentan afectaciones, y al menos el 20% manifiesta síntomas asociados a la calidad del aire interior. Entre las manifestaciones clínicas más

frecuentes se encuentran irritación y dolor ocular, cefalea, sequedad o inflamación cutánea, congestión nasal, epistaxis, estornudos, dificultad respiratoria, tos seca, náuseas, vértigo y problemas de concentración. Estos síntomas pueden aparecer mientras los

individuos permanecen en el edificio y persistir durante varias horas tras su salida (Ortiz & Haro, 2015). La

Figura 2 ilustra las principales características asociadas al síndrome del edificio enfermo.

Figura 2. Características comunes de un edificio enfermo.



3.2 Calidad de aire interior y Efectos en la salud

La CAI es un indicador que permite evaluar el nivel de contaminación en estos ambientes, considerando la concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos. Actualmente, las personas pasan entre el 80 % y 90 % de su tiempo en espacios cerrados, como viviendas, oficinas, instituciones educativas, lugares de trabajo, gimnasios y medios de transporte, donde están expuestas a diversas sustancias contaminantes que pueden afectar su salud y bienestar. Diversos

factores influyen en la calidad del aire en interiores, como los hábitos de los ocupantes, la densidad de personas, el nivel socioeconómico, la presencia de mascotas, la ventilación y el intercambio de aire con el exterior, así como las condiciones físicas y ambientales del espacio (Cincinelli & Martellini, 2017).

Las tendencias actuales en la construcción, enfocadas en optimizar la eficiencia energética, han llevado al diseño de edificaciones con un alto grado de hermeticidad, como consecuencia,

se ha incrementado el uso de materiales sintéticos en la construcción, lo que ha favorecido la acumulación de contaminantes en los espacios interiores. Algunas investigaciones han evidenciado que los tableros de yeso empleados en viviendas y edificaciones pueden liberar compuestos perjudiciales como acetona y formaldehído, asimismo, la presencia de humedad en techos y paredes puede propiciar la proliferación de moho y hongos (Daza Pérez et al., 2015).

Los efectos adversos en la salud humana dependen tanto del tipo de contaminante como del tiempo de exposición. Esta exposición puede ocurrir mediante el contacto directo con la piel, la inhalación o la ingestión de sustancias nocivas. Diversos estudios han demostrado que los contaminantes volátiles, en particular los disolventes orgánicos como los ésteres, cetonas y el tetracloruro de carbono, pueden generar síntomas graves cuando son inhalados, incluyendo estados de embriaguez, somnolencia, vómitos, convulsiones e incluso la muerte. Asimismo, sustancias como el tiner y el benceno han sido asociadas con daños en el sistema nervioso central,

afectando específicamente el tejido nervioso (Sánchez & Alcántara, 2007)

.En este contexto, múltiples reportes clínicos han evidenciado que la exposición prolongada al tolueno puede provocar atrofia cerebral y polineuropatía en los pacientes (Martínez et al., 2002). Aunque estos compuestos son comúnmente denominados "contaminantes verdes" debido a sus características, sustancias como el etanol y el metanol pueden generar efectos adversos en la salud a largo plazo. Entre las afecciones más comunes asociadas a su exposición se encuentran la irritación ocular, la fatiga y la cefalea (Sánchez & Alcántara, 2007).

En general, al abordar la problemática de los edificios enfermos y la calidad del aire en ambientes interiores, se identifican características sintomatológicas asociadas a factores de riesgo físicos, químicos y biológicos. De manera recurrente, los usuarios expuestos a edificaciones afectadas manifiestan síntomas frecuentes en la nariz y los ojos, tales como sequedad y ardor. En menor proporción, también se reportan

molestias como dolor de cabeza, congestión nasal y debilidad general. Estos síntomas suelen presentarse mientras el individuo permanece dentro del edificio y tienden a disminuir progresivamente una vez que se abandona el entorno afectado (Agüero et al., 2022).

3.3 Sistemas de monitoreo y depuración del aire

Con el fin de abordar el impacto ambiental generado por las emisiones contaminantes, que constituyen una problemática global, se ha promovido el desarrollo de herramientas tecnológicas orientadas a monitorear, evaluar y mitigar los efectos derivados de la contaminación. En el diseño de sistemas de monitoreo y control, los sensores juegan un rol crucial, ya que permiten obtener datos que facilitan la identificación de problemas relacionados con la contaminación. Los sensores químicos, en particular, son empleados en estos sistemas para detectar compuestos orgánicos volátiles, lo que permite evaluar las condiciones tanto de ambientes interiores como exteriores (Escalona et al., 2012).

A lo largo de la historia, el control de la calidad del aire se ha llevado a cabo mediante estaciones de monitoreo fijas, equipadas con instrumentos certificados para medir contaminantes como monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno (NOx), ozono y material particulado (PM10, PM2.5). No obstante, estos equipos, además de ser relativamente grandes, pesados y costosos, requieren procesos de mantenimiento y calibración rigurosos para asegurar la precisión de los datos obtenidos. Debido a estas limitaciones, en las grandes ciudades se ha optado por el uso de redes de monitoreo ambiental remotas como complemento a las estaciones de monitoreo tradicionales (Castell et al., 2017).

A nivel mundial, se está impulsando una tendencia para expandir la recolección de datos sobre la calidad del aire más allá de las estaciones de monitoreo tradicionales. Varios proyectos han demostrado que es posible desarrollar sistemas de monitoreo de calidad del aire utilizando sensores económicos y precisos, además de sensores no especializados que ofrecen características mejoradas. Estos

sensores, tanto de bajo costo como no específicos, pueden integrarse en nodos de sensores que conforman redes de monitoreo fijas o móviles (Lozano et al., 2019).

En los últimos años, el desarrollo de sensores de bajo costo ha facilitado la creación de nuevas herramientas para el monitoreo de la calidad del aire. Muchos de estos dispositivos han sido integrados en plataformas de código abierto como Arduino, lo que ha ampliado sus aplicaciones. Diversos estudios han demostrado que estos sensores pueden correlacionarse con equipos previamente calibrados, permitiendo reducir la cantidad de sensores que requieren ajuste y facilitando su implementación en redes de monitoreo más extensas. No obstante, su elevado consumo de energía y el tamaño de su estructura limitan su viabilidad a largo plazo. Por esta razón, la tecnología de sistemas microelectromecánicos (SMEM) ha comenzado a utilizarse para diseñar sensores más compactos y eficientes, integrando múltiples funciones en un solo chip (Park et al., 2015).

La incorporación de tecnologías de vanguardia, junto con el uso del

Internet de las Cosas (IoT) y su integración en los sistemas de control de la calidad del aire, ha impulsado el desarrollo de nuevos métodos para la toma de decisiones en el monitoreo ambiental. En este contexto, la aplicación de técnicas de inteligencia artificial ha permitido optimizar la evaluación y gestión de la calidad del aire, mejorando la precisión y eficiencia de los procesos de monitoreo (Fu et al., 2023).

Jabbar, en su propuesta, integra sensores químicos en un sistema de detección de largo alcance con el objetivo de medir la calidad del aire en entornos exteriores de manera más precisa y eficiente (Jabbar et al., 2022). Sin embargo, como se menciona en la investigación desarrollada por Jagriti Saini, aún existe un amplio campo de estudio en el desarrollo de sistemas de monitoreo y el uso de sensores para la evaluación de la calidad del aire en entornos interiores. Es fundamental profundizar en aspectos relacionados con la calibración y las especificaciones de precisión de estos sensores, con el fin de mejorar su desempeño y fiabilidad en la medición de la calidad del aire en

espacios cerrados (Saini et al., 2021).

El proceso de depuración de aire, que consiste en eliminar o reducir la cantidad de polvo y partículas presentes en el aire, se lleva a cabo comúnmente mediante la ventilación. Existen dos tipos principales de ventilación: la ventilación general, también conocida como dilución, y la ventilación por extracción localizada. La ventilación general tiene como objetivo mantener el aire en condiciones óptimas para el ser humano, garantizando un ambiente de trabajo adecuado. Esta ventilación puede ser natural, aprovechando el movimiento del aire dentro del espacio (Fierro, 2004). Se han desarrollado dispositivos comerciales para la depuración del aire, conocidos como purificadores de aire, con el objetivo de mejorar la calidad del aire en ambientes interiores como oficinas, departamentos y aulas (Rodríguez-Borges et al., 2024). El funcionamiento de estos dispositivos se basa principalmente en la ventilación del aire interior y en la utilización de diferentes filtros para

completar el proceso de depuración (Ateş & Kurtoğlu, 2017).

La biodepuración hace referencia a los procesos fisiológicos de las plantas y organismos que contribuyen a la disminución de las concentraciones de contaminantes ambientales. Este proceso se basa en métodos naturales para limpiar y prevenir la contaminación del aire, utilizando técnicas tradicionales, no invasivas y de bajo costo (Pedraza, 2013). Diversos estudios han demostrado que las plantas en ambientes interiores pueden actuar como purificadores de aire, ya que tienen la capacidad natural de absorber y sintetizar los contaminantes ambientales. A lo largo de los años, los seres humanos han mantenido una estrecha relación con la naturaleza, lo que ha llevado a la incorporación de plantas en hogares, edificios y espacios cerrados. Esta tendencia refleja el compromiso de las personas con el medio ambiente y se considera una forma de mejorar la calidad de vida. Además, las plantas en ambientes interiores tienen efectos psicológicos positivos sobre las personas, como el aumento del rendimiento en tareas diversas, la mejora de la salud y la

reducción de los niveles de estrés (Deng & Deng, 2018).

3. Resultados y discusión

En síntesis, de acuerdo con los estudios realizados se presenta una

tabla que recopila los principales contaminantes volátiles presentes en edificios enfermos que provocan efectos en la salud humana (Oyarzún, 2010).

Tabla 1. Principales contaminantes orgánicos volátiles y su efecto en la salud humana.

Contaminante	Ubicación	Efecto
Hidrocarburos aromáticos: Benceno, Tolueno o aromatizantes clorados	Combustión de gasolina, humo del tabaco, pintura, plásticos, explosivos, alfombras.	Irritación ocular, fatiga, cefalea e incluso el desarrollo de enfermedades graves como cáncer de hígado o leucemia.
Disolventes polares apróticos: Cetonas.	Productos industriales como disolventes, pinturas, plásticos	Dificultades respiratorias, debido a su capacidad de inhibir la cadena respiratoria y causar daño pulmonar. Además, la exposición a estos compuestos puede afectar otros sistemas del organismo, como el sistema nervioso central y el sistema hepático, así como provocar afecciones cutáneas, incluyendo dermatitis
Monóxido de carbono	Ambientes interiores, humo del tabaco, calefones a gas, estufas, motores de gasolina, linternas y garajes.	Reducción de la capacidad motora, alteraciones en el sistema nervioso central y autónomo, lo que puede provocar irritabilidad, disminución de la percepción auditiva, entre otros efectos adversos.
Dióxido de carbono	Respiración humana y de los animales.	Hipoxemia, acompañada de hiperventilación, aumento de la temperatura corporal, sudoración excesiva y dificultades para concentrarse.

Con base en el análisis bibliográfico realizado, se evidencia que la calidad del aire en ambientes interiores no se ve afectada por un único compuesto químico, sino por una combinación de diversos contaminantes (Guillén et al., 2025). Esta mezcla puede generar efectos

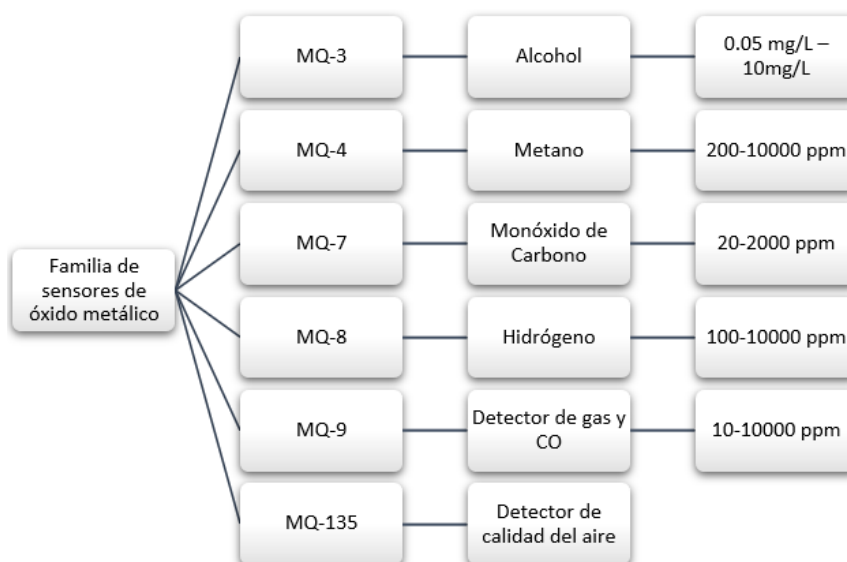
adversos en la salud humana, especialmente en contextos asociados al Síndrome del Edificio Enfermo. En consecuencia, se hace necesario el uso de sistemas de monitoreo que integren una variedad de sensores, capaces de detectar de manera precisa la presencia de

compuestos orgánicos volátiles (VOC) y otros contaminantes que puedan encontrarse en dichos entornos (Younes et al., 2023).

El desarrollo de sistemas para la estimación y monitoreo de concentraciones de gases en ambientes interiores requiere una adecuada selección de sensores, considerando su aplicación específica. Según la revisión bibliográfica realizada, los sensores de óxidos metálicos (MOX) y los sensores ópticos son los más utilizados en este tipo de sistemas debido a su sensibilidad,

disponibilidad y costo. En el ámbito comercial, la empresa Hanwei Electronics destaca por ofrecer sensores de bajo costo capaces de detectar concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (VOC). Partiendo de las características técnicas proporcionadas por el fabricante, en la Figura 3 se presentan los distintos tipos de sensores, sus aplicaciones típicas y los rangos de detección asociados, lo que facilita una visión comparativa para su selección adecuada en función del análisis de contaminantes y la calidad del aire interior (Flórez-Martínez et al., 2020).

Figura 3. Características de medición de los sensores de óxido metálico de la familia MQ.



4. Conclusiones

El tiempo prolongado que las personas permanecen en espacios

cerrados incrementa su exposición a los compuestos orgánicos volátiles generados en el ambiente interior. Aunque muchos individuos han

desarrollado cierta tolerancia y se han acostumbrado a convivir con estos contaminantes, esto no implica la ausencia de efectos sobre la salud.

Las consecuencias pueden variar desde manifestaciones leves, como irritaciones menores o molestias olfativas de corta duración, hasta efectos adversos más graves, incluyendo daño en órganos vitales, el desarrollo de cáncer o trastornos psicológicos con repercusiones a largo plazo

Con el objetivo de optimizar la calidad del aire en espacios interiores como oficinas, viviendas y aulas, se han desarrollado y comercializado dispositivos conocidos como purificadores de aire. Estos equipos se basan principalmente en la mejora de la ventilación del aire interior, incorporando además diversos sistemas de sensores que permiten su monitoreo y depuración de manera eficiente. Cabe destacar las propuestas innovadoras impulsadas por investigadores y desarrolladores, quienes han integrado el uso de plantas con tecnologías de monitoreo y medición ambiental, dando lugar a soluciones

híbridas que contribuyen al control de la calidad del aire en entornos cerrados de manera sostenible y tecnológicamente avanzada.

Bibliografía

- Agüero Corzo, E. del C., Dávila Morán, R. C., Guanilo Paredes, C. E., Ruiz Nizama, J. L., Velarde Dávila, L., Zapana Diaz, D., & Palomino Quispe, J. F. (2022). Prevalencia del síndrome del edificio enfermo en trabajadores de la industria manufacturera. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 62, 47–54.
- Arruda, H., Silva, E. R., Lessa, M., Proença, D., & Bartholo, R. (2022). VOSviewer y Bibliometrix. *Journal of the Medical Library Association*, 392-395.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9782747/>
- Borges, C. G. R., De León, K. L. A., Rodríguez, J. A. P., & Cedeno, R. A. (2024). Metodología para la planificación estratégica de un parque ecoindustrial en Esmeraldas-Ecuador. *Revista de ciencias sociales*, 30(2), 274-290.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9603966>
- Castell, N., Dauge, F. R., Schneider, P., Vogt, M., Lerner, U.,

- Fishbain, B., Broday, D., & Bartonova, A. (2017). Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates? *Environment International*, 99, 293–302.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.007>
- Chang, Y., Qu, H., Duan, X., Mu, L., & Reed, M. A. (2016). VOC detection using multimode E-nose composed of bulk acoustic wave resonator and silicon nanowire field effect transistor array. *Proceedings of IEEE Sensors*, 1–3.
<https://doi.org/10.1109/ICSENS.2016.7808606>
- Cincinelli, A., & Martellini, T. (2017). Indoor air quality and health. *Int J Environ Res Public Health*, 14(11).
<https://doi.org/10.3390/ijerph14111286>
- Daza Pérez, M. Á., Martínez Benavides, D. X., & Caro Hernández, P. A. (2015). Contaminación microbiológica del aire al interior y el síndrome del edificio enfermo. *Biociencias*, 10(2), 37–50.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5460365>
- Deng, L., & Deng, Q. (2018). The basic roles of indoor plants in human health and comfort. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 25, Issue 36, pp. 36087–36101).
<https://doi.org/10.1007/s11356-018-3554-1>
- Escalona, L., Manganiello, L., López-Fonseca, M., & Vega, C. (2012). Los sensores químicos y su utilidad en el control de gases contaminantes. *Revista INGENIERÍA UC*, 19(1), 74–88.
<https://www.redalyc.org/pdf/707/70732261010.pdf>
- Fierro González, M. D. (2004). Dimensionamiento de un sistema de depuración de aire para eliminar la materia particulada producida en un aserradero [Universidad de Cádiz].
<https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/6591/33267455.pdf>
- Flórez-Martínez, A., Vargas-Flórez, J. O., Perez-Waltero, H. E., & Quintana-Fuentes, L. F. (2020). Análisis de componentes principales utilizando python para identificar clúster asociados a muestras de cacao seco sano e infectado con monilia en Norte de Santander. *Aibi revista de investigación*, 16-22.
<https://revistas.udes.edu.co/aibi/article/view/1618/1810>
- Fu, L., Li, J., & Chen, Y. (2023). An innovative decision making method for air quality monitoring based on big data-assisted artificial intelligence

- technique. *Journal of Innovation & Knowledge*, 8(2), 100294.
<https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100294>
- Guillén, V. A. M., Pérez-Rodríguez, J. A., & Rodríguez-Borges, C. G. (2025). Análisis de metodologías empleadas en los sistemas de gestión energética y sus indicadores. *Revista Científica FINIBUS-Ingeniería, Industria y Arquitectura*, 8(15), 103-111.
<https://publicacionescd.uleam.edu.ec/index.php/finibus/article/view/966>
- Jabbar, W. A., Subramaniam, T., Ong, A. E., Shu'lb, M. I., Wu, W., & de Oliveira, M. A. (2022). LoRaWAN-Based IoT System Implementation for Long-Range Outdoor Air Quality Monitoring. *Internet of Things*, 19, 100540.
<https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100540>
- Lozano, J., Suárez, J. I., Meléndez, F., Rodríguez, S., Arroyo, P., Herrero, J. L., & Carmona, P. (2019). Personal electronic systems for citizen measurements of air quality. 2019 5th {Experiment} {International} {Conference} (Exp.at'19), 315–319.
<https://doi.org/10.1109/EXPA T.2019.8876471>
- Martínez, A., Luna, G., Calvo, J. M., Valdés-Cruz, A., Magdaleno-Madrigal, V., Fernández-Mas, R., Martínez, D., & Fernández-Guardiola, A. (2002). Análisis espectral (3D) electroencefalográfico de los efectos de la inhalación de compuestos orgánicos volátiles industriales sobre el sueño y la atención en el humano. *Salud Mental*, 25(4), 56–67.
- Matus C., P., & Lucero Ch., R. (2002). Norma primaria de calidad del aire. In *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias* (Vol. 18, Issue 2, pp. 112–122).
<https://doi.org/10.4067/s0717-73482002000200006>
- Ortiz Terán, F., & Haro Haro, B. (2015). Síndrome del edificio enfermo en los bloques académicos de una institución de educación superior. *Enfoque UTE*, 6(2), 15–24.
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n2.57>
- Oyarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. In *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias* (Vol. 26, Issue 1, pp. 16–25).
<https://www.scielo.cl/pdf/rcher/v26n1/art04.pdf>
- Park, I., Yang, D., & Kang, K. (2015). Microfabricated and Nanoengineered Chemical Sensors for Air Quality Monitoring System (pp. 141–170).
https://doi.org/10.1007/978-94-017-9981-2_6

- Pedraza Ortiz, L. J. (2013). La Biodepuración del Aire con Plantas Purificantes y Ornamentales, como Alternativa Ambiental en el Siglo XXI. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Saini, J., Dutta, M., & Marques, G. (2021). Sensors for indoor air quality monitoring and assessment through Internet of Things: A systematic review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 66. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08781-6>
- Sánchez Montero, J. M., & Alcántara León, A. R. (2007). Compuestos orgánicos volátiles en el medio ambiente. Monografías de La Real Academia Nacional. <https://www.academia.edu/download/50135434/vocs.pdf>
- Vega, E., Ramírez, O., Sánchez-Reyna, G., Chow, J. C., Watson, J. G., López-Veneroni, D., & Jaimes-Palomera, M. (2022). Volatile organic compounds and carbonyls pollution in Mexico City and an urban industrialized area of Central Mexico. *Aerosol and Air Quality Research*, 22, Article 210386. <https://doi.org/10.4209/aaqr.210386>
- Younes, J., Volentini, E. D., & Albaca Paraván, C. (2023). Medición y registro de la calidad del aire. *Investigación, Desarrollo e Innovación*, 44, 26–43. https://www.facet.unt.edu.ar/revistacet/wp-content/uploads/sites/28/2024/02/Revista_CET_N_44_2023_26_43.pdf