



Received: 07-11-2020
Accepted: 10-11-2020

Anales de Edificación
Vol. 6, N°3, 13-20 (2020)
ISSN: 2444-1309
Doi: 10.20868/ade.2020.4610

La monitorización de la calidad del aire interior como herramienta de evaluación y mejora de la salubridad de un espacio.

Indoor air quality monitoring as a tool for evaluating and improving the healthiness of a space.

M. Figols González, S. Díaz de Garayo Balsategui, X. Aláez Sarasibar

nBiot, Noáin, España (mfigols@inbiot.es)

Resumen—El artista austriaco Hundertwasser definió al edificio como la tercera piel del ser humano. Conforme a la OMS pasamos entre un 80 y un 90% de nuestro tiempo en espacios interiores, de modo que su salud condiciona la nuestra. Tanto la directiva europea EPBD, como su transposición a las normativas nacionales con el nuevo concepto de ECCN, así como otros certificados de eficiencia energética tipo Passivhaus, exigen un aumento de la estanqueidad de los edificios, de forma que la renovación de aire - la respiración del edificio - queda exclusivamente en manos de la ventilación y su regulación. Diversos estudios demuestran que el interior de los edificios puede estar del orden de 2 a 5 veces más contaminado que el exterior, además de que se vincula la adecuada calidad del aire interior, con la mejora en la productividad, bienestar y confort de trabajadores y usuarios. A los contaminantes del aire exterior, se le añaden contaminantes emitidos en el interior: desde el CO₂, el formaldehído, los compuestos orgánicos volátiles, o incluso el gas radón. ¿Cómo podemos garantizar una buena calidad del aire? El artículo que aquí se presenta realiza un repaso por los principales parámetros que definen la calidad del aire interior en edificios, su origen y presencia. Se analiza su vinculación con la salud de los usuarios, así como las tecnologías disponibles para su medición. El objetivo es medir y monitorizar la calidad del aire en base a estos parámetros para posteriormente evaluar sus niveles de concentración y valorar su idoneidad en espacios habitables saludables. En el artículo se presentan varias experiencias de monitorización de viviendas y oficinas, tanto convencionales, como de alta eficiencia energética, donde se evalúa la concentración de contaminantes interiores, su vinculación con los materiales de construcción, acabado y equipamiento, así como el propio diseño de la instalación de ventilación existente. Se contrastan datos de monitorización de la calidad del aire interior con ensayos de laboratorio, que permiten verificar el grado de precisión de los dispositivos de monitorización de la calidad del aire interior utilizados, así como la concentración específica de contaminantes interiores como el formaldehído y determinados compuestos orgánicos volátiles presentes en el aire interior. Una de las principales conclusiones de los autores, es que la exactitud de la medida no es tan determinante como la evolución de la concentración de los contaminantes. La película es más relevante que la fotografía puntual, por lo que la monitorización permite obtener información que una medición puntual no garantiza. Ante esta circunstancia, se plantean las tecnologías IoT y la IA como la combinación perfecta para realizar un buen diagnóstico de la salubridad del aire, a través de la captación de datos, análisis y propuesta de soluciones, con posibilidad de regular los dispositivos involucrados.

Palabras Clave— IAQ, Ventilación, Hermeticidad, Biohabitabilidad.

Abstract— The Austrian artist Hundertwasser defined the building as the third skin of the human being. According to the WHO, we spend between 80 and 90% of our time indoors, so your health conditions ours. Both the European EPBD directive, as well as its transposition into national regulations with the new ECCN concept, as well as other Passivhaus-type energy efficiency certificates, require an increase in the watertightness of buildings, so that the renewal of air - breathing of the building - it is exclusively in the hands of ventilation and its regulation. Various studies show that the interior of buildings can be on the order of 2 to 5 times more polluted than the exterior, in addition to that adequate indoor air quality is linked to improved productivity, well-being and comfort of workers and users. To the outside air pollutants, pollutants emitted inside are added: from CO₂, formaldehyde, volatile organic compounds, or even radon gas. How can we guarantee good air quality? The article presented here reviews the main parameters that define indoor air quality in buildings, their origin and presence. Its link with the health of users is analyzed, as well as the technologies available for its measurement. The objective is to measure and monitor air quality based on these parameters in order to subsequently evaluate its concentration levels and assess its suitability in healthy living spaces. The article presents several experiences of monitoring homes and offices, both conventional and highly energy efficient, where the concentration of interior pollutants, their link with construction materials, finishing and equipment, as well as the design of the existing ventilation installation. Indoor air quality monitoring data is contrasted with laboratory tests, which allow verifying the degree of precision of the indoor air quality monitoring devices used, as well as the specific concentration of indoor pollutants such as formaldehyde and certain compounds. volatile organics present in indoor air. One of the main conclusions of the authors is that the accuracy of the measurement is not as decisive as the evolution of the concentration of pollutants. Film is more relevant than spot photography, so monitoring provides information that spot metering does not guarantee. Given this circumstance, IoT and AI technologies are considered as the perfect combination to make a good diagnosis of air health, through data capture, analysis and proposal of solutions, with the possibility of regulating the devices involved.

Index Terms— IAQ, Ventilation, Hermeticity, Biohabitability.

I. INTRODUCCIÓN

La calidad de los espacios que habitamos y su aire interior son, sin duda, factores clave para nuestra salud (Lévesque et al., 2018; Wargocki, 2019; La Fleur et al., 2017; Wolhoff, 2018). Múltiples campañas, como la denominada BREATH LIFE de la OMS, señalan que una de las problemáticas más acentuadas de la sociedad actual urbanita es la calidad del aire que se respira.

Pasamos entre el 80 al 90% de nuestro tiempo en el interior de espacios cerrados, de acuerdo con la OMS, donde la calidad del aire es, según la EPA (Environmental Protection Agency de los EEUU), del orden de 2 a 5 veces peor que en el exterior. Esto principalmente se debe a que a los contaminantes exteriores se le añaden los interiores, produciendo una notable disminución de una calidad del aire que ya es deficitaria en el exterior. Sus efectos sobre la salud van desde una simple sensación de somnolencia, continuar con cefaleas, irritaciones nasales y/o oculares, pudiendo derivar en procesos alérgicos e hipersensibilidades. También puede reforzar su efecto sinérgico con otras enfermedades ambientales y que afectan a la productividad de las personas es su entorno de trabajo, a su capacidad de desempeño y creatividad y, por lo tanto, también a su confort y bienestar.

El confort térmico, en general, juega un papel importante en la forma en que experimentamos los espacios donde vivimos, aprendemos y trabajamos, y también tiene implicaciones directas en la productividad y la salud de sus usuarios. Un estudio (de Dear et al., 2013) encontró que el aumento de la temperatura de la oficina en solo 1 ° C disminuyó la productividad en un 15%, mientras que otros (Fisk & William, 2002) sugieren que pequeñas diferencias de temperatura de

pocos °C pueden influir en la velocidad y precisión de los trabajadores hasta en un 20%.

Tanto la directiva europea EPBD, como su transposición a las normativas nacionales con el nuevo concepto de ECCN, así como otros certificados de eficiencia energética tipo Passivhaus, exigen un aumento de la estanqueidad de los edificios, de forma que la renovación de aire - la respiración del edificio - queda exclusivamente en manos de la ventilación y su regulación. El uso de materiales de construcción que limiten las emisiones de contaminantes al aire interior debería ser el punto de partida; y la renovación de aire, siempre necesaria, adecuada a las condiciones de uso. No obstante, tanto la manera de ventilar, como la regulación y medición de los sistemas actuales de ventilación, no es la adecuada. Estos son los motivos principales por los que ocurre este fenómeno:

- La tendencia constructiva hacia la alta eficiencia energética conlleva una mayor hermeticidad en los edificios para minimizar las pérdidas energéticas y optimizar la regulación del sistema de climatización/ventilación, cobrando por lo tanto una mayor importancia tanto las bajas emisiones al aire interior de acabados y mobiliario, como la adecuada regulación del sistema de ventilación.
- El confort termohigrométrico (T^a y HR) e incluso la concentración de CO₂, no son suficientes para definir la biohabitabilidad de un espacio. Es necesario tener en cuenta otros posibles contaminantes que condicionan la calidad del aire interior (IAQ).
- La renovación de aire en espacios de trabajo y centros educativos, donde estudiantes, profesorado y trabajadores desempeñan labores que requieren concentración, se basa generalmente en renovaciones puntuales, incumpliendo los

requisitos de renovación de aire de RITE.

- La calidad del aire interior, vinculada generalmente al trabajo de los servicios de prevención, se mide conforme a la normativa de prevención de riesgos laborales, sin embargo, se trata de mediciones puntuales en el tiempo que no permiten plantear medidas de mejora adaptadas a los patrones de uso del edificio. Esto redundaría en una mala IAQ y un control ineficiente de los sistemas de ventilación.

Es por lo tanto necesario el seguimiento continuo de la evolución de la calidad del aire interior, que permita analizar patrones de comportamiento y así conocer la pauta de uso, el perfil de ocupación, el grado y fuente de contaminación, así como el potencial de mejora de un espacio en materia de calidad del aire interior. La evaluación del comportamiento del edificio es muy variable en función del uso (hábitos de climatización y ventilación, productos de higiene y limpieza, materiales de construcción, acabado y equipamiento, posibles trabajos de reforma...), y una medición puntual no garantiza esta información.

II. DESARROLLO Y METODOLOGÍA

La metodología propuesta se basa en una solución completa y personalizada de monitorización y mejora de la calidad del aire interior (Indoor Air Quality, en adelante IAQ) en edificios, mediante la medición de parámetros del aire para mejorar la habitabilidad interior. Este sistema de medición se basa en la utilización de MICA (Medidor Inteligente de la Calidad del Aire), un dispositivo capaz de medir y monitorizar la evolución de la temperatura, la humedad relativa, el CO₂, la concentración de formaldehídos y de los compuestos orgánicos volátiles totales, recogiendo los datos de manera inalámbrica en una plataforma IoT propia en la nube, con información personalizada, representación gráfica de la evolución y propuesta de actuaciones de mejora en base a los perfiles de uso, los rangos de contaminación o al sistema de regulación existente, gracias a los algoritmos de inteligencia artificial que analizan los patrones de comportamiento detectados.

La metodología empleada se basa en 3 pilares innovadores respecto de otras soluciones detectadas en el sector de la medición de la calidad del aire interior:

- **AMPLIACIÓN DEL CONCEPTO IAQ:** al margen de la medición de temperatura y humedad relativa, se incorporan otros parámetros que determinan la biohabitabilidad del lugar seleccionado como el CO₂, los compuestos orgánicos volátiles. Tecnología que permite incorporar otros sensores como las partículas en suspensión (PM_{2.5}/PM₁₀), el ozono, el monóxido de carbono o el radón.

- **MONITORIZACIÓN CONTINUA:** la evaluación continua en el tiempo del IAQ permite establecer pautas de mejora, a partir de un perfil de uso continuo en el tiempo, que facilita el

análisis del tipo de contaminación detectadas, o de la causa de valores monitorizados fuera de rango.

- **PLATAFORMA IoT Y ANÁLISIS DE DATOS:** la gestión en tiempo real de la información monitorizada se realiza a través de plataforma en la nube My inBiot, complemento de MICA y desarrollada por inBiot Monitoring S.L. Esta plataforma ofrece información clara y accesible, evolución de los parámetros monitorizados, información personalizada sobre cada sensor y pautas de actuación, gracias a su tecnología de análisis y visualización de datos.

A. Definición de parámetros

A partir de la última actualización del DB HS3 del CTE, la concentración de CO₂ es tenida en cuenta como indicador de un aire interior adecuado – como tal, el CO₂ no es un contaminante, sin embargo, en altas concentraciones es tóxico por desplazamiento de oxígeno, además de que altos niveles continuados (>800 ppm) condicionan el confort, la capacidad de concentración, bienestar y productividad en espacios interiores. Su monitorización es clave como indicador de que el sistema de renovación de aire funciona adecuadamente.

Los parámetros ambientales que determinan la calidad de un ambiente interior saludable se clasifican según su naturaleza en físicos (como la temperatura, las radiaciones, el ruido...), químicos (como sustancias y/o compuestos orgánicos e inorgánicos) o biológicos, con diversas consecuencias sobre las personas, el medio natural y los edificios. La calidad del aire interior viene principalmente definida por sus parámetros químicos (contaminantes químicos, CO₂, temperatura interior, humedad relativa, partículas en suspensión, radón, etc.) y/o biológicos (hongos, esporas, ácaros).

El formaldehído es el siguiente parámetro que se incorpora a la clásica medición de calidad de aire de temperatura y humedad. Es el aldehído más importante, y quizá la sustancia tóxica (clasificada como cancerígena, mutágena, neurotóxica, sensibilizante y alérgica) más común en los espacios interiores. En condiciones normales de temperatura y presión el formaldehído se presenta como un gas, con un olor punzante, intenso y penetrante. Es hidrosoluble y muy volátil. Es una sustancia de amplia presencia en la industria debido a su utilización como adhesivo, biocida, conservante, desengrasante, desinfectante, disolvente, fungicida, limpiador, protector de madera, entre otros usos. Muy presente en interiores de edificios, debido a materiales de construcción – tableros de virutas aglomeradas y otros materiales derivados de la madera, equipamiento, tratamientos o productos de higiene y cosmética, o gases de escape y humo de tabaco – como consecuencia de una combustión lenta.

Otro grupo de contaminantes serían los compuestos orgánicos volátiles (COVs). Los COVs son liberados frecuentemente por disolventes, pinturas y otros productos de uso común. Existen más de 120.000 sustancias químicas y más

de 12 millones de compuestos publicados. De los cuales, únicamente una pequeña parte está estudiada desde una perspectiva médica y tan sólo existen valores límite para unas 500, solamente en el ámbito laboral/profesional. En el ámbito residencial no se cuenta con regulación específica en el ámbito de la contaminación por compuestos orgánicos volátiles – más allá de recomendaciones. Y en el sector terciario, los valores límite no están pensados desde la perspectiva de la prevención, sino de la seguridad laboral (altas concentraciones).

Adicionalmente, la medición de parámetros como las partículas en suspensión (PM1, PM2,5 y PM10), el ozono, el monóxido de carbono y el radón, complementarían la gama de sensores a incorporar en dispositivo MICA:

B. Tecnología

MICA realiza lecturas de la calidad del aire de forma periódica, con el intervalo configurado por el usuario en función del tipo de espacio, el sistema de ventilación y el objetivo de la monitorización y que puede ser desde 1 minuto de rango de datos. Un botón táctil permite hacer una lectura instantánea, activando una luz que se enciende a modo de semáforo para informar del estado general de la calidad del aire.

Los datos de MICA son transferidos a la Plataforma de Datos en la nube My inBiot. My inBiot permite visualizar los datos registrados mediante opciones configurables (el formato se adapta a cualquier tipo de pantalla, Tablet o Smartphone), de modo que, en función de los valores obtenidos, se establece un prediagnóstico y se ofrecen una serie de consejos para mejorar la calidad del aire. Mediante esta metodología de mejora continua, se permite hacer un seguimiento de la calidad del aire ininterrumpido, validando o rechazando las acciones que nos llevan a disfrutar de una óptima calidad del aire.

La evolución de MICA permite incluir nuevos sensores y parámetros para medir la biohabitabilidad, así como proporcionar un nivel de conectividad con los dispositivos del entorno que le permita actuar sobre la regulación de la ventilación y climatización. A su vez, dota a la plataforma My inbiot de capacidad y funcionalidades para gestionar cargas masivas de datos y proporcionar informes automatizados mediante el Business Intelligence.

De esta forma, el desarrollo de una solución de monitorización de la calidad del aire, con una integralidad y comunicación universal en el campo de la medición del aire en edificios, supone una novedad a nivel internacional. Actualmente se pueden encontrar en el mercado distintos dispositivos enfocados a medir la calidad del aire interior, sin embargo, estos no son capaces de comunicarse con todos los protocolos de comunicación disponibles en los edificios, mientras que la mayoría de ellos tampoco permiten su integración con otros equipos o sistemas del mercado.

Por otra parte, el enfoque de los servicios de la Plataforma hacia los edificios en general y hacia la Calidad del Aire interior

en particular, supone una novedad nacional. En España no existe ninguna Plataforma Internet of Things abierta para su integración con otras plataformas/dispositivos, que esté plenamente enfocada hacia la monitorización en edificios y que convierta los datos de la calidad del aire en información fácilmente interpretable por el usuario y con un enfoque de mejora continua.

C. Experiencias de monitorización

La metodología propuesta se verifica en la monitorización de diversos edificios, que permiten la obtención de datos y comprobación del estado de la calidad del aire interior:

- Edificio de oficinas: monitorización de tres espacios abiertos de 250, 335 y 335 m², y 37, 54 y 54 personas de ocupación por planta respectivamente. Edificio de construcción y estructura convencional, sistema de climatización y renovación de aire centralizado.
- Escuela infantil: escuela infantil etapa 0 – 3. Monitorización de aula de uso continuado (99 m²) y sala de dormitorio (48 m²), con una ocupación de 31 niños/as y 3 educadoras.
- Vivienda de alta eficiencia energética: vivienda de 80 m² reformada en su totalidad, con modificación de distribución y criterios de alta eficiencia energética (passivhaus sin certificar). Test de estanqueidad n50, de 0,38 renov/hora, sistema de ventilación mecánica de doble flujo con recuperador de calor y suelo radiante como sistema de calefacción
- Escuela de educación primaria I: aula de 2º de Educación Primaria
- Escuela de educación infantil y primaria II: aula de 2º y 3º de Educación Infantil y aula de 6º de educación Primaria.

III. RESULTADOS

A. Edificio de oficinas

La monitorización de la calidad del aire en estas oficinas se realiza para plantear propuestas de mejora en la calidad del aire interior, principalmente en relación con la humedad relativa baja. Se detecta una caída progresiva en la humedad relativa interior en la monitorización continua, causa directa de discomfort, por su contribución a la irritación y sequedad de las mucosas respiratorias y oculares y una mayor proliferación de polvo en suspensión.

El cálculo de la semana tipo y los rangos de confort detectados representan un exceso de temperatura interior, así como una humedad relativa inferior al 40% el 95 % del tiempo de ocupación, con valores medios en torno al 30% de HR y mínimos cercanos al 25% de HR. La tecnología utilizada en la monitorización ha permitido, a partir del cálculo de la humedad específica, seleccionar la actuación de mejora necesaria para mantener unas condiciones de confort higrotérmico ideales de 21°C y una humedad relativa del 50%. Estas condiciones

implican la necesidad de humidificación (Soreanu, 2016) del ambiente de entre 2,06 a 2,37 l/h según espacio, a través de un humidificador evaporativo portátil con capacidad evaporativa entre 1,5 y 2 l/h, y, por lo tanto, un funcionamiento puntual.

Como valor complementario, la empresa alojada en este edificio tiene mobiliario certificado libre de formaldehído, información que se verifica gracias a la monitorización y valores continuos inferiores a 40 µg/m³.

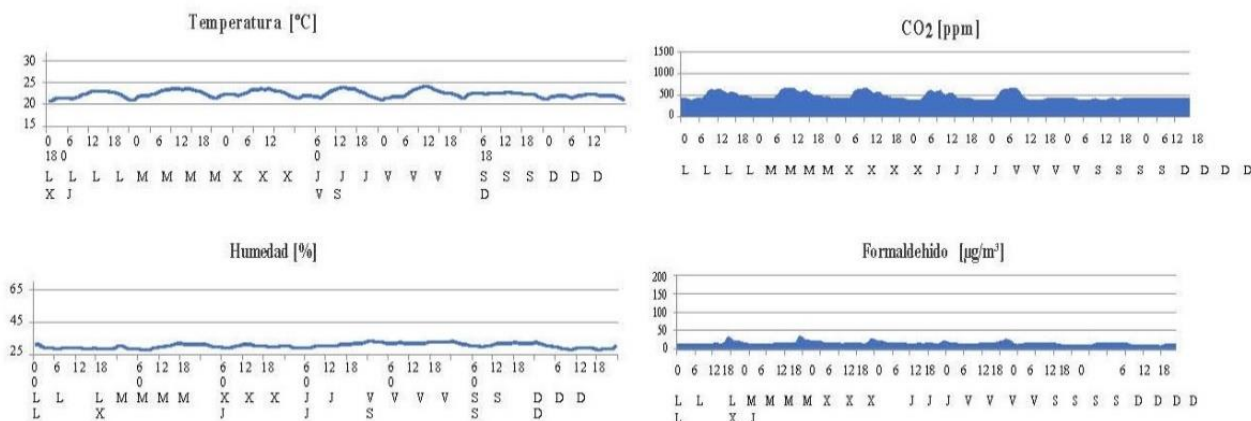


Fig.1. Semana tipo de la evolución de los 4 parámetros monitorizados.

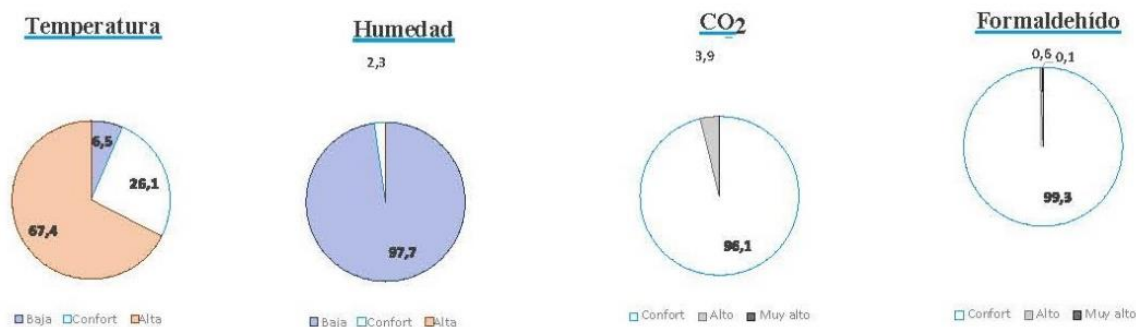


Fig.2. Porcentajes de tiempo en valores de confort.

B. Escuela infantil

Las condiciones de partida de este edificio resultan favorables en materia de confort higrotérmico, siendo el CO₂ el parámetro más destacable de la monitorización. Es posible observar los picos de concentración en el dormitorio monitorizado, alcanzando niveles de CO₂ por encima de lo deseable en este espacio, el 54,3% del tiempo. Y valores de formaldehído medios o altos el 31,3% del tiempo de ocupación monitorizado. Se realiza una actuación de mejora de la calidad del aire interior, mediante la integración de elementos naturales, como estrategia de fitorremediación y aprovechar la capacidad natural de determinadas plantas para filtrar contaminantes interiores y aportar oxígeno al ambiente interior, presentando mejoras sutiles tanto en la concentración de CO₂ como de

formaldehído, tal y como se recogen en las figuras 3 y 4.

C. Rehabilitación de vivienda de alta eficiencia

Tras varias semanas de monitorización continua, se detectan de manera continuada altos niveles de formaldehído en el interior de la vivienda, con picos que pueden alcanzar los 1.000 µg/m³ y una media diaria por encima de 150 µg/m³ (cuando los valores recomendados por la OMS no deberían superar los 100 µg/m³). A pesar de disponer de un sistema de ventilación mecánica de doble flujo con recuperador de calor, éste no es capaz de reducir los picos de formaldehído mientras que la ventilación manual con ventanas, sí. La concentración de CO₂ se mantiene en niveles de confort el 65% del tiempo.

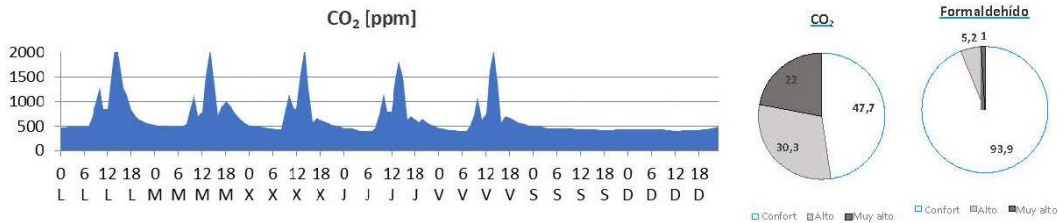


Fig.3. Evolución de la concentración de CO₂ en el dormitorio

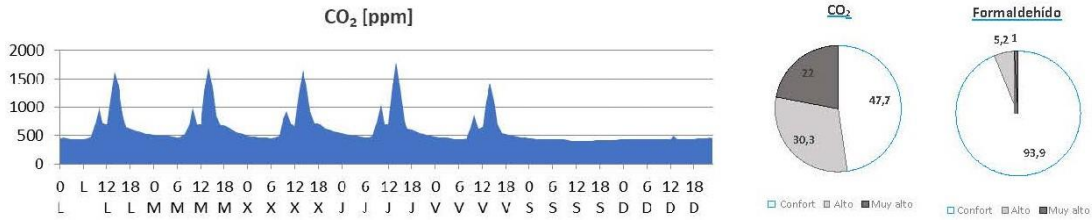


Fig. 4. Evolución de la concentración de CO₂ en el dormitorio tras la colocación de plantas de interior



Fig. 5. Aula principal con plantas de interior.



Fig. 6. Dormitorio con 15 unidades de sansevierias.

D. Rehabilitación de vivienda de alta eficiencia

Tras varias semanas de monitorización continua, se detectan de manera continuada altos niveles de formaldehído en el interior de la vivienda, con picos que pueden alcanzar los 1.000 µg/m³ y una media diaria por encima de 150 µg/m³ (cuando los valores recomendados por la OMS no deberían superar los 100 µg/m³). A pesar de disponer de un sistema de ventilación mecánica de doble flujo con recuperador de calor, éste no es capaz de reducir los picos de formaldehído mientras que la

ventilación manual con ventanas, sí. La concentración de CO₂ se mantiene en niveles de confort el 65% del tiempo.

Como complemento a la monitorización a través del dispositivo MICA se realizan tomas de muestras para su análisis en laboratorio que complementen la información monitorizada, tanto de formaldehído, como de screening de COVs.

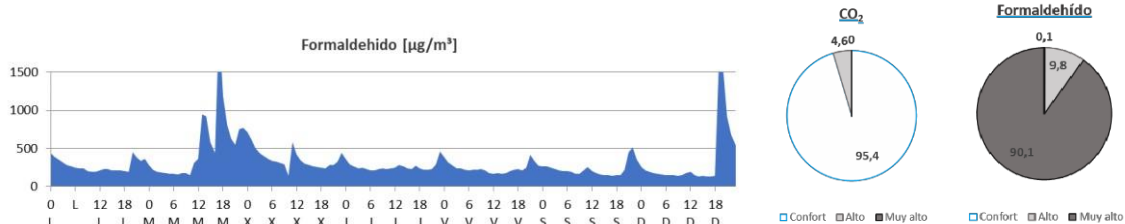


Fig.7. Evolución de la concentración de formaldehído en salón.

En el laboratorio se detecta concentración significativa de formaldehído (89,2 y 18,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en salón y dormitorio respectivamente), acetato de etilo (18,23 y 22,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y ciclohexano (20,89 y 18,24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), como compuestos significativos, con una concentración superior a los 0,08 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ – límite de detección del laboratorio empleado. Tanto en el caso del acetato de etilo, como del ciclohexano, se trata de compuestos irritantes y neurotóxicos en concentraciones dentro de valores normativos, pero por encima de valores de recomendación por su riesgo toxicológico (Guidance values - AGOEF) (AGÖF, 2019), empleadas principalmente como adhesivos.

La alta volatilidad del formaldehído en un espacio con un sistema de ventilación de doble flujo con recuperador de calor implicaría su completa eliminación gracias a este sistema. Sin embargo, los valores monitorizados se mantienen en valores altos o muy altos más del 90% del tiempo de ocupación tanto en el dormitorio como en el salón. Además, cuando se realiza la renovación de aire a través de apertura de ventanas en fachadas opuestas, los niveles monitorizados recuperan la normalidad.

La reacción cruzada del sensor electroquímico con otros compuestos implica la presencia de otros compuestos en el aire interior. En este caso, el elevado peso molecular en relación con el aire interior tanto del acetato de etilo como del ciclohexano, reflejan un déficit en el funcionamiento del sistema de ventilación de doble flujo. Dado que las bocas de impulsión y extracción del sistema de ventilación están ubicadas en techo, y que el dispositivo de monitorización estaba colocado a una altura no superior a 40 cm., la renovación de aire no estaba siendo efectiva para una renovación completa de la totalidad del volumen de aire interior, limitando la renovación al estrato superior del aire de las estancias.

En este sentido, una ventilación manual con ventanas de manera puntual resultaba más efectiva ya que sí que realiza un barrido del aire de la estancia, eliminando los compuestos de mayor peso molecular.

E. Monitorización de escuelas I y II

Las experiencias de monitorización de la calidad del aire en escuelas muestran resultados significativos en la concentración de CO_2 principalmente, con porcentajes de entre el 50 y el 60% del tiempo de ocupación con valores altos (>800 ppm) o muy altos (>1200 ppm), incumpliendo las recomendaciones y exigencias de RITE. Los valores de concentración de formaldehído resultan menos significativos – las fuentes de contaminación presentes en productos de limpieza son de aplicación fuera del horario de ocupación regular del alumnado.

IV. CONCLUSIONES

Una de las principales conclusiones de los autores, es que la exactitud de la medida no es tan determinante como la evolución de la concentración de los contaminantes. La película es más relevante que la fotografía puntual, por lo que la monitorización permite obtener información que una medición puntual no garantiza. Ante esta circunstancia, se plantean las tecnologías IoT y la IA como la combinación perfecta para realizar un buen diagnóstico de la salubridad del aire, a través de la captación de datos, análisis y propuesta de soluciones, con posibilidad de regular los dispositivos involucrados.

La dificultad para la medición de los contaminantes en el aire radica en la necesidad de conocer qué compuesto o sustancia se quiere analizar, para poder elegir el método de análisis más adecuado. Sin embargo, la utilización de aparataje de alta precisión, exactitud (y coste) limita el acceso a esta información, por lo que queda relegado a servicios de prevención y no permite la mejora continua y el enfoque hacia el bienestar y la salud de trabajadores y usuarios. La monitorización continua, junto con sensores electroquímicos (formaldehído) o (MOX – metal oxide, para TVOC) permite combinar la innovación tecnológica y la salud para identificar el estado de la calidad del aire interior de nuestros edificios, cuantificarla, y, por lo tanto, valorar el margen de mejora. Para, de esta manera, plantear soluciones específicas y adaptadas a cada proyecto.

La tecnología electroquímica del sensor de formaldehído empleado reacciona a su vez con determinados gases presentes y frecuentes en ambientes interiores, pudiendo ofrecer un valor de medición distorsionado. El sensor es especialmente sensible ante la presencia de alcoholes (etanol), por lo que su presencia en productos de higiene y limpieza implica valores elevados de formaldehído. Sin embargo, esta información siempre es indicativa de presencia de contaminantes en ambientes interiores, como paso previo a un ensayo de laboratorio y como indicador de alarma. En casos como el de la vivienda de alta eficiencia presentada, la monitorización deriva en un ensayo de laboratorio de concentración de formaldehído y screening de compuestos orgánicos volátiles, que complementa la información y que ofrece interesantes resultados sobre el propio diseño de la instalación de renovación de aire y su capacidad de renovar completamente el aire de una estancia.

La calidad del aire en centros educativos, principalmente en lo que tiene que ver con la concentración de CO_2 (y por lo tanto la eficacia del sistema de renovación de aire, sea manual o automático) es determinante en el confort y desempeño de estudiantes y profesorado, y dista mucho de estar garantizando niveles normativos y mucho menos, niveles que garanticen

espacios saludables.

Esto implica la necesidad de un cambio en la forma de ventilar los edificios, su diseño y su regulación en función de una calidad del aire interior real. Además de una toma de conciencia de la importancia de los materiales de construcción y renovación, equipamiento, pero también de los productos utilizados para su limpieza y mantenimiento en la calidad del aire interior.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se nutre del trabajo en desarrollo durante 2019 y 2020 de los proyectos de I+D de Gobierno de Navarra “Internet of Buildings” y “BioSmart Ventilation”, del recién estrenado programa NEOTEC 2019 del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial, CDTI, del Ministerio de Ciencia e Innovación, y el ya concluido programa Smart Iruña Lab, del Ayuntamiento de Pamplona, desarrollado durante 2019. Agradecimiento especial a las entidades colaboradoras (Gobierno de Navarra, CDTI, Ayuntamiento de Pamplona), así como a todo el equipo de inBiot Monitoring S.L.

REFERENCIAS

AGÖF (2019). Guidance Values for Volatile Organic Compounds in Indoor Air, Accedido el 18 de noviembre de 2019. Disponible en: <https://cutt.ly/wrJGdhP>.

- de Dear, R.J., Akimoto, T., Arens, E.A., Brager, G., Candido, C., Cheong, K.W.D., Li, B., Nishihara, N., Sekhar, S.C., Tanabe, S., Toftum, J., Zhang, H. and Zhu, Y. (2013), Progress in thermal comfort research over the last twenty years. *Indoor Air*, 23: 442-461. doi:10.1111/ina.12046
- Fisk, William & J, William. (2002). How IEQ affects health, productivity. *Ashrae Journal - ASHRAE J.* 44.
- La Fleur L, Moshfegh B, Rohdin P. (2017). Measured and predicted energy use and indoor climate before and after a major renovation of an apartment building in Sweden. *Energy and Buildings*, Volume 146, Pages 98-110, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.042>.
- Lévesque B, Huppé V, Dubé M, Fachehoun R.C. (2018). Impact of indoor air quality on respiratory health: results of a local survey on housing environment. *Public Health*, Volume 163, Pages 76-79, ISSN 0033-3506, <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2018.06.015>.
- Soreanu, G. (2016). 12 - Biotechnologies for improving indoor air quality, Start-Up Creation, Woodhead Publishing, 2016, Pages 301-328, ISBN 9780081005460, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100546-0.00012-1>.
- Wargocki P, (2019). Productivity and Health Effects of High Indoor Air Quality. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Elsevier, ISBN 9780124095489, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.01993-X>
- Wolkoff P. (2018). Indoor air humidity, air quality, and health –An overview. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Volume 221, Issue 3, Pages 376-390, ISSN 1438-4639, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.01.015>.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.