



# Mientras respiramos: Informe técnico

Analisis de resultados del proyecto AYRA, financiado por las Ayudas Joan Oró para el fomento de la cultura científica en Cataluña, de la Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació



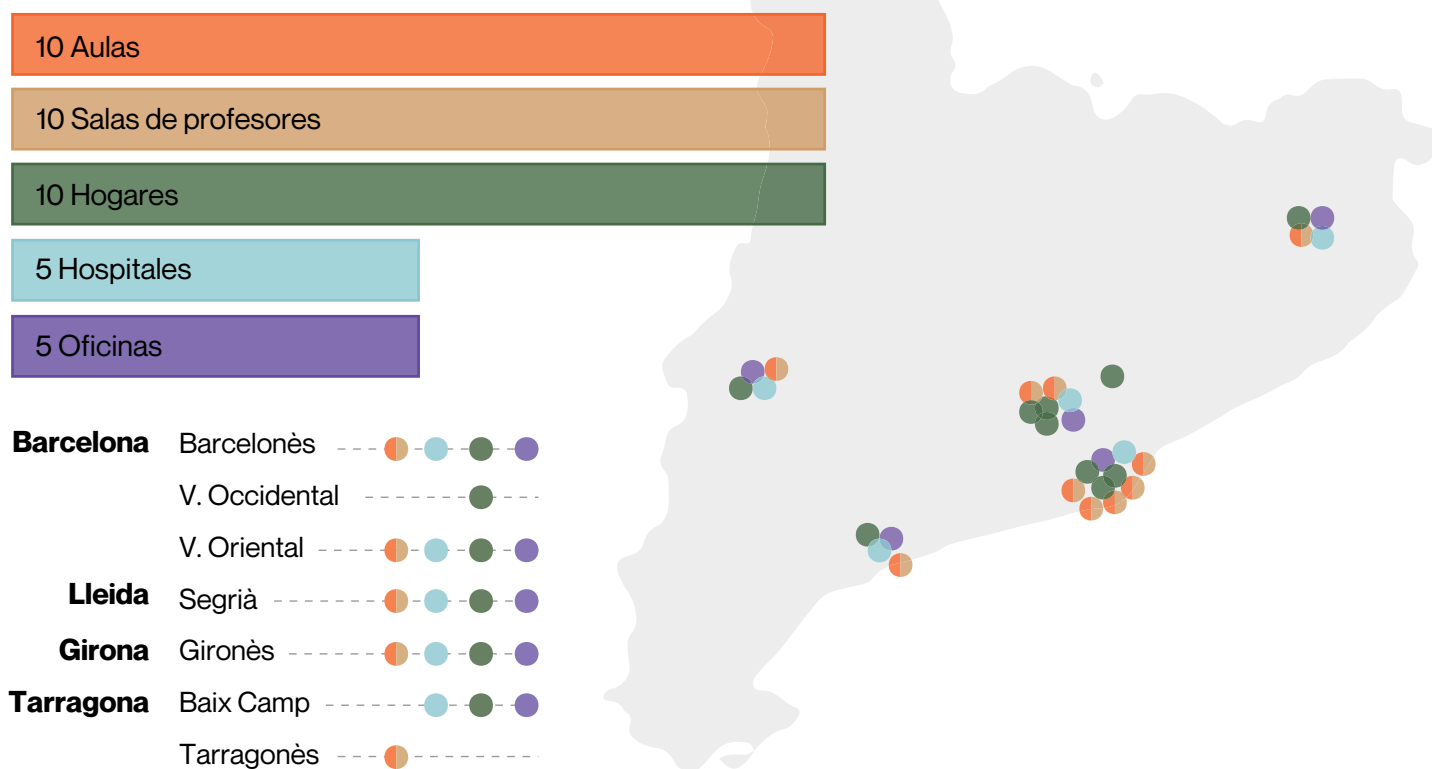
# **Mientras respiramos: Informe técnico**

Analisis de resultados del proyecto AYRA, financiado por las Ayudas  
Joan Oró para el fomento de la cultura científica en Cataluña, de la  
Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació

## Introducción, objetivos y metodología

El proyecto AYRA pretende visibilizar lo que es sin duda un problema de salud pública: la calidad del aire interior (CAI). Pasamos la mayor parte de nuestro tiempo en espacios cerrados, donde se ha visto que la contaminación del aire puede ser entre 2 y 5 veces mayor que en las calles.

Durante el mes de febrero de 2023 hemos analizado la CAI de varios espacios públicos (10 escuelas, 5 hospitales) y privados (10 viviendas, 5 oficinas) de Cataluña, repartidos por diversas comarcas de las cuatro provincias catalanas (Fig. 1).



● **Fig. 1** Descripción del conjunto de datos incluidos en el estudio. El color está asociado a la tipología de espacio.

A través de sensores digitales, hemos medido varios indicadores de CAI (temperatura, humedad relativa, CO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> i PM<sub>1</sub> y COV) de forma puntual y en función del uso de cada tipología de espacio:

- En las escuelas, hemos analizado la CAI de las aulas de ciclo superior de educación primaria (5º y 6º) antes de la hora del recreo, cuando los alumnos llevaban entre 1.30 h y 2 h de actividad lectiva, y también hemos analizado las salas de profesores durante la hora del recreo.
- En las oficinas, hemos analizado la CAI al mediodía, después de la actividad laboral habitual de la mañana.
- En los hogares, hemos analizado la CAI de la habitación más utilizada (el comedor, en la mayoría de los casos) a media tarde, durante una jornada de teletrabajo.
- En los hospitales, hemos analizado la CAI de salas de espera de urgencias a media tarde en días laborables.

También se ha recogido información complementaria de cada espacio analizado, como el tipo de ventilación, los materiales de construcción, el mobiliario de los espacios y su uso. En los casos en los que ha sido posible (escuelas y hogares), se ha pedido a los

voluntarios del estudio que no ventilaran el espacio durante las dos horas previas al análisis de CAI.

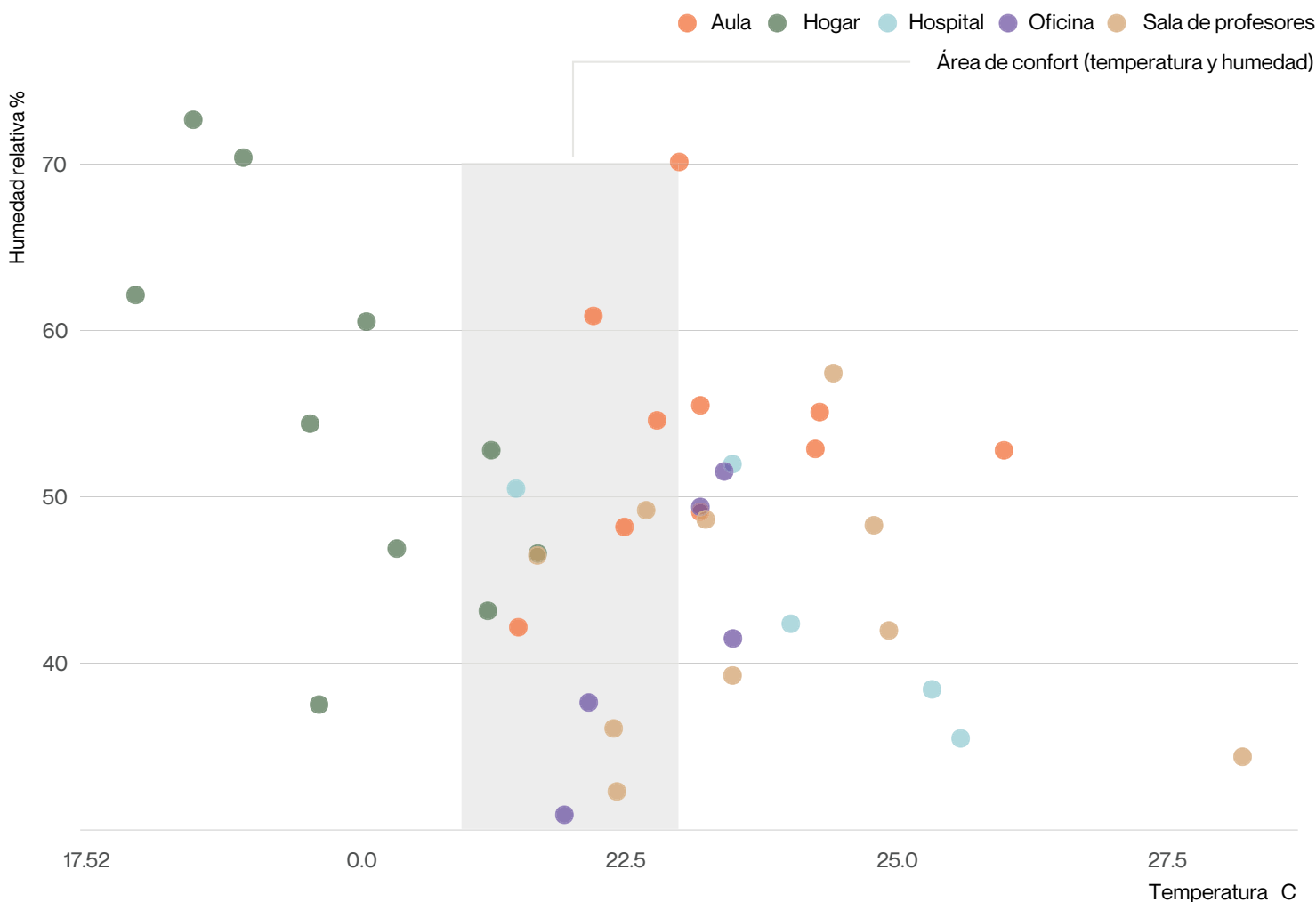
## **Resultados 1: Los indicadores de calidad del aire interior (CAI)**

### **1. Confort: temperatura y humedad**

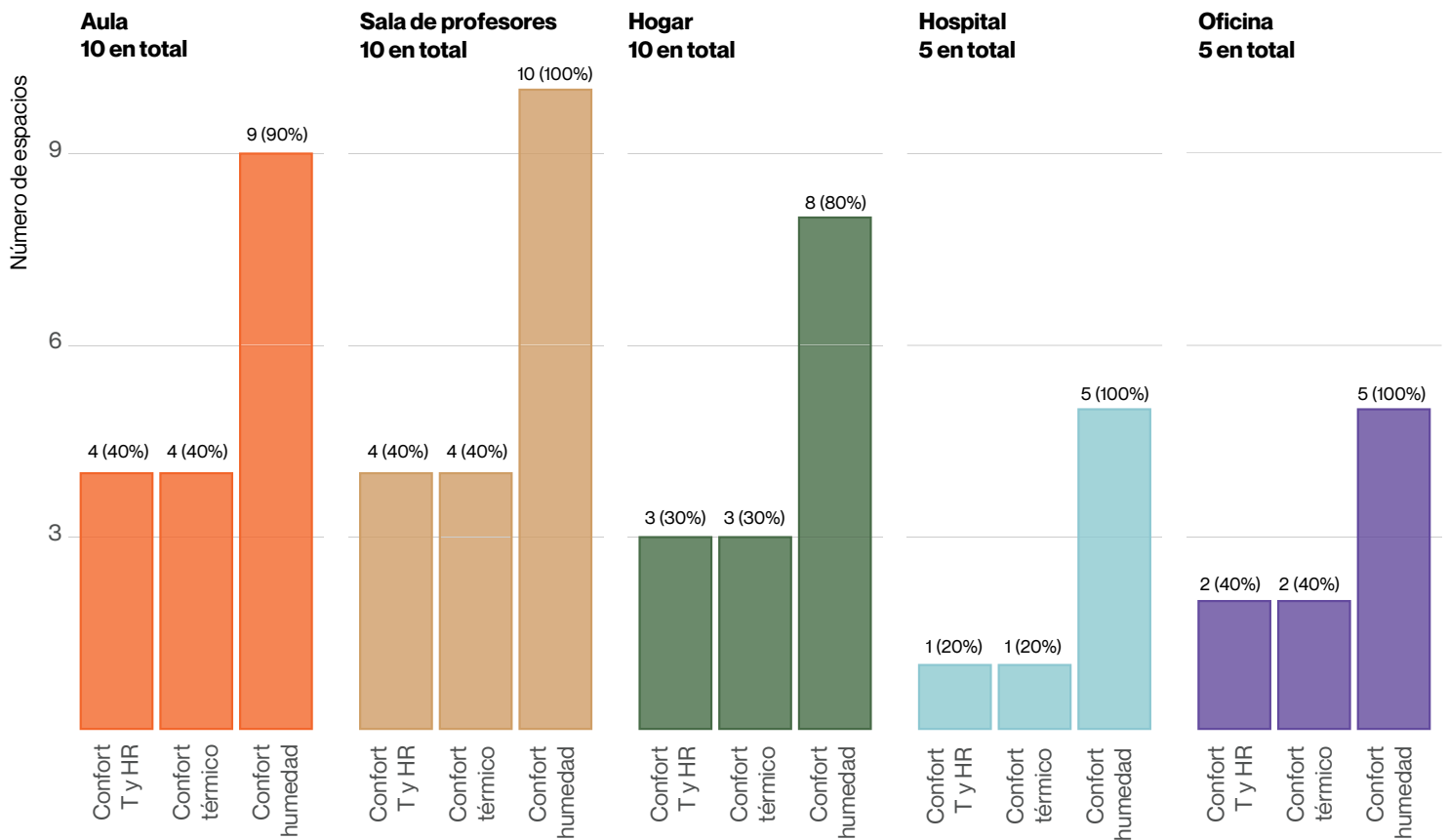
Las oficinas son espacios con un confort térmico y de humedad más controlado. Por lo general, los espacios que hemos estudiado tienen la humedad relativa dentro de los rangos recomendados, pero más de la mitad de los espacios tienen temperaturas fuera del rango recomendado.

Más de la mitad de los espacios analizados en escuelas (60%), hogares (60%), hospitales (80%) y oficinas (60%) tienen un confort térmico y de humedad relativa fuera de los rangos recomendables por la normativa UNE 171330-1:2008 de Calidad Ambiental en Interiores<sup>1</sup> (Fig.2 y Fig. 3).

Hemos encontrado valores de humedad relativa adecuados según la normativa (30-70% en invierno, UNE 171330-1:2008) en la gran mayoría de espacios estudiados (entre el 80-100%), pero el porcentaje de espacios con temperatura adecuada (21-23°C en invierno según UNE 171330-1:2008) es mucho más bajo (entre 20-40% de los espacios) (Fig.3).



● **Fig. 2** Distribución de los espacios en función del confort térmico (eje X) y la humedad relativa (eje Y). El color está asociado a la tipología de espacio.



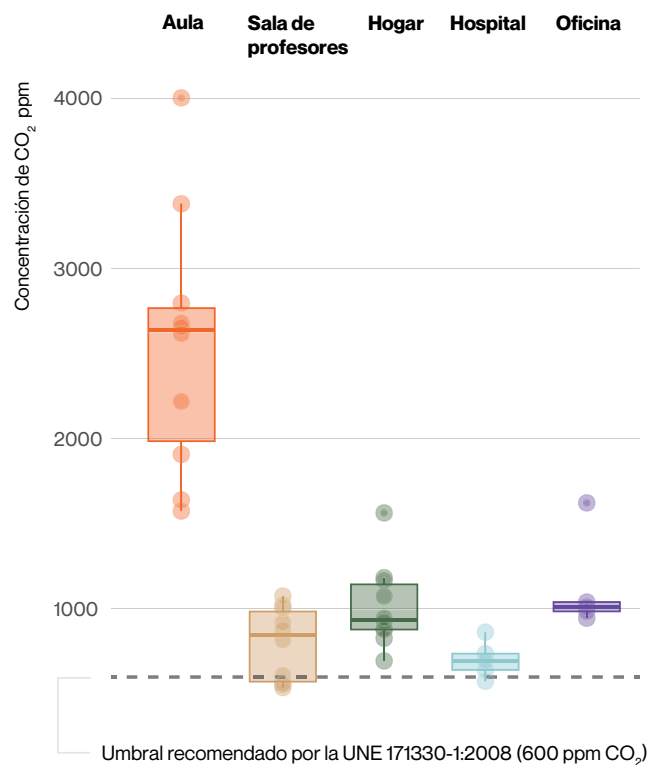
● **Fig. 3** Gráfico de barras del número de espacios (eje Y) en condiciones de confort térmico, de humedad o confort de ambas (eje X). El color está asociado a la tipología de espacio.

## 2. El CO<sub>2</sub>

**El CO<sub>2</sub> se acumula rápidamente en todo tipo de espacios y fácilmente supera los umbrales recomendados para el bienestar y la salud, independientemente del uso, ocupación o tipo de actividad que se lleve a cabo.**

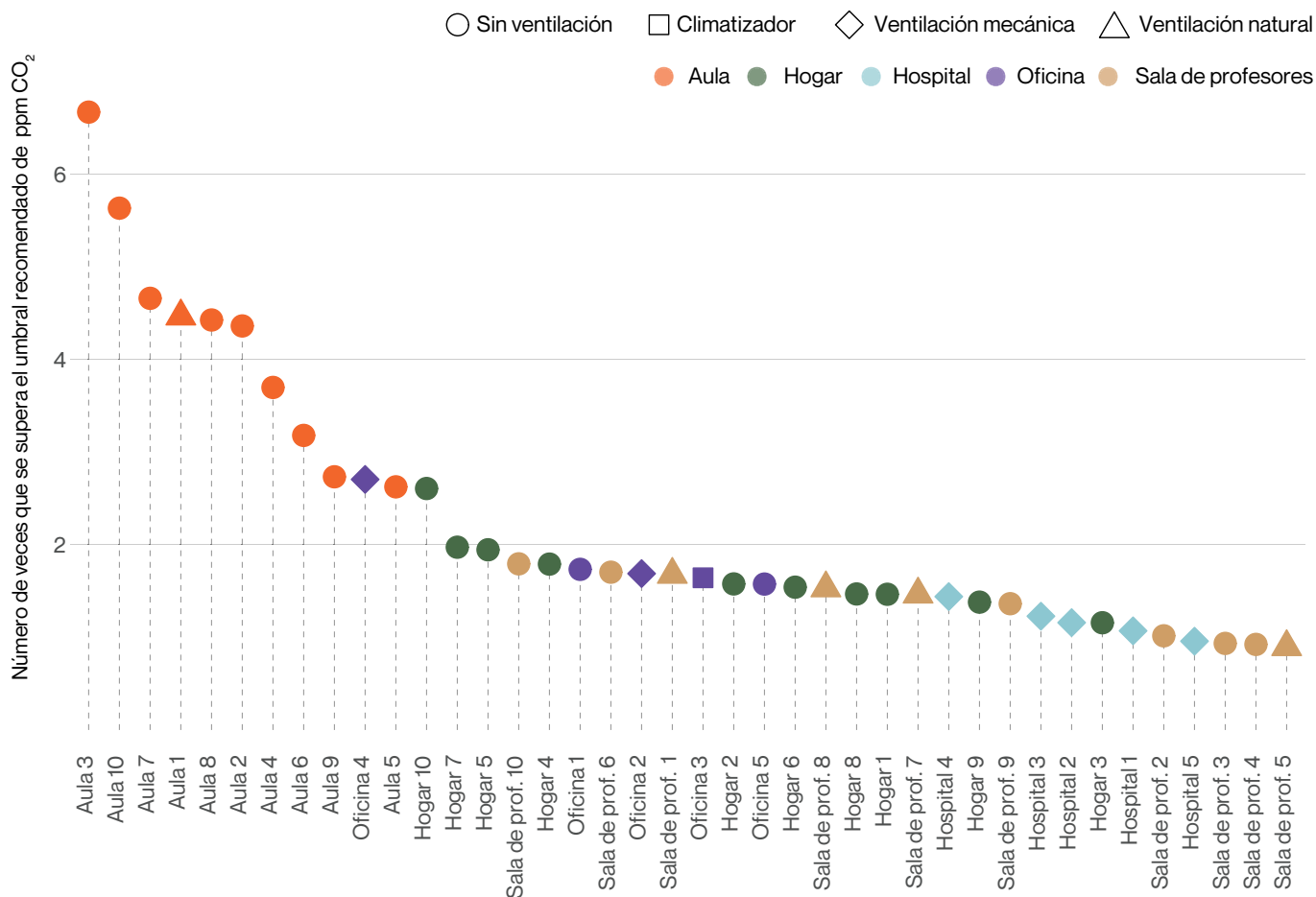
Todos los espacios que hemos analizado muestran niveles de CO<sub>2</sub> por encima del umbral recomendado de 600 ppm (según UNE 171330-1:2008) (Fig.4).

En cuanto a las aulas, sólo dos horas después de empezar la jornada y con actividad lectiva sedentaria, se acumulan niveles de CO<sub>2</sub> entre 3 y 7 veces superiores al valor recomendado (Fig.5). Esto es seguramente debido a la alta ocupación de las aulas (entre 12 y 27 personas) combinada con la ausencia de ventilación durante la toma de muestra. Las oficinas y hogares muestran valores similares entre sí, superiores al umbral recomendado e incluso del doble, pero mucho menores a los de las aulas. Por último, los hospitales muestran los niveles menores de CO<sub>2</sub> de todo el estudio, incluso en aquellas salas de espera con más ocupación (32 personas).

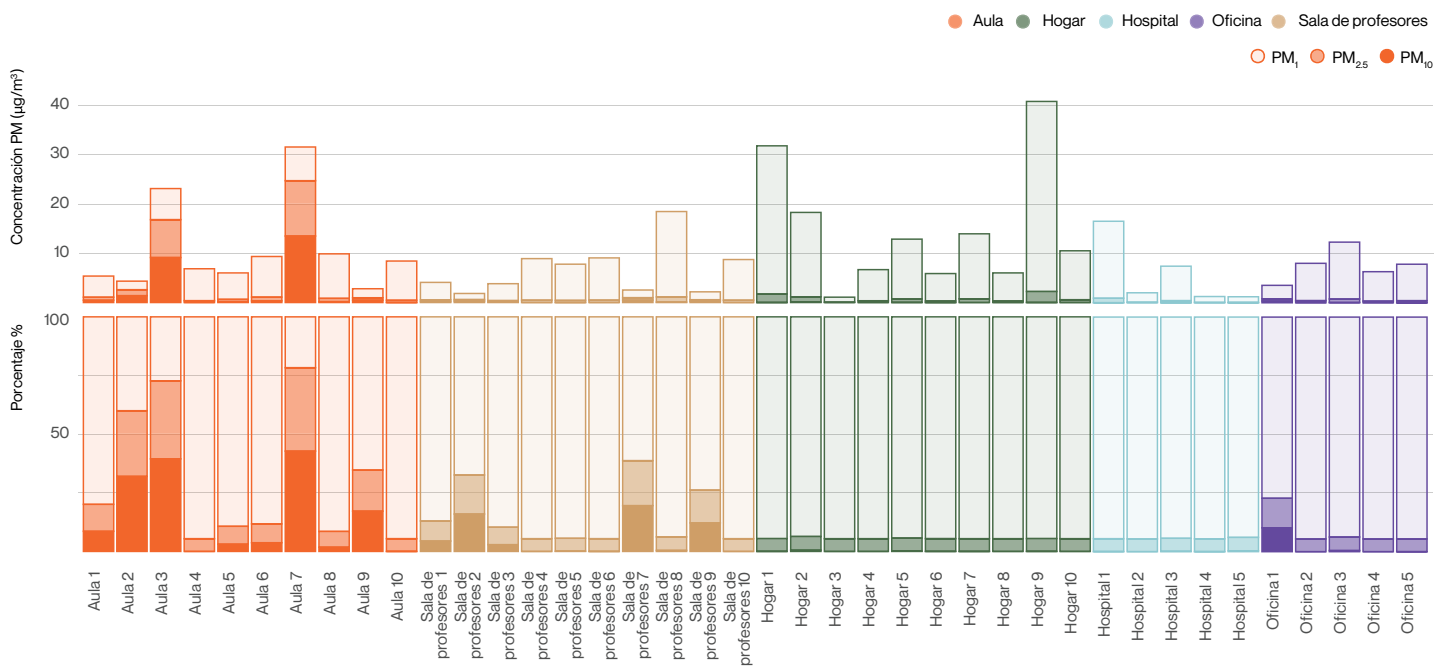


● **Fig. 4**

Diagrama de cajas de la distribución de concentraciones de CO<sub>2</sub> (ppm, eje Y) en cada tipo de espacio (eje X). El color está asociado a la tipología de espacio.



● **Fig. 5** Visualización del número de veces que la concentración de CO<sub>2</sub> (ppm, eje Y) de cada espacio individual (eje X) supera el umbral recomendado de 600 ppm. El color está asociado a la tipología de espacio y la forma al sistema de ventilación en marcha durante la evaluación de la calidad del aire interior.



● **Fig. 6** El gráfico de barras superior cuantifica la concentración de PM (eje Y) en cada espacio individual (eje X). El gráfico de barras inferior indica la proporción de cada tipo de PM (eje Y) de cada espacio individual (eje X). El color está asociado a la tipología de espacio y el tono al tamaño de las PM.

### 3. El material particulado (PM)

La mayoría de PM en el aire interior de hogares, hospitales y oficinas es < 1 um (PM<sub>1</sub>), mientras que en las escuelas encontramos concentraciones más elevadas de PM de mayor tamaño (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>).

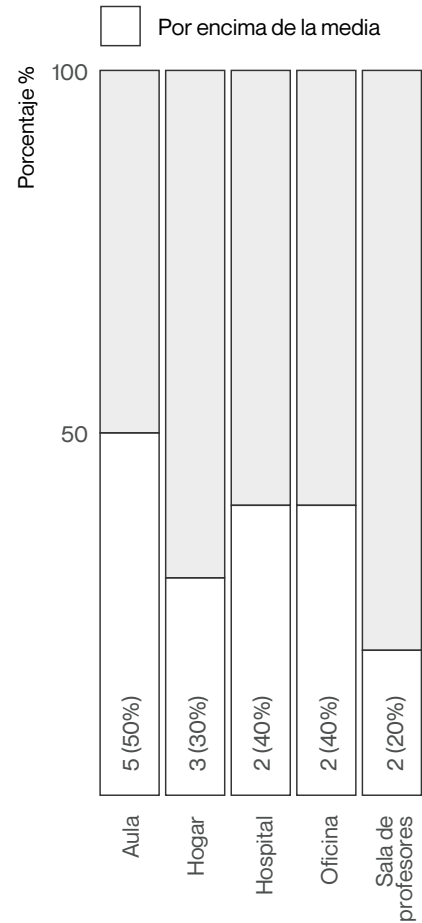
Los hogares han sido los espacios en los que hemos encontrado valores más elevados de partículas, seguidos de las escuelas. En el caso de los hospitales, tres de ellos tenían niveles de PM cercanos a 0, pero dos tenían niveles similares a los de las oficinas y la mayoría de aulas y hogares (Fig.6). En ningún caso hemos registrado valores de PM superiores al límite recomendado por la OMS (15 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>2.5</sub> al día y 45 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>10</sub> al día)<sup>2</sup>.

Al separar el PM en función de su tamaño, vemos una gran diferencia en esta composición entre las aulas y el resto de los espacios estudiados (Fig.6). Mientras que en los hogares, hospitales y oficinas, la inmensa mayoría (~90%) de las partículas son PM<sub>1</sub>, en las aulas vemos que el PM<sub>10</sub> fluctúa entre el 5-40% del total y el PM<sub>2.5</sub> entre el 10-25% del total.

### 4. Los compuestos orgánicos volátiles (COV)

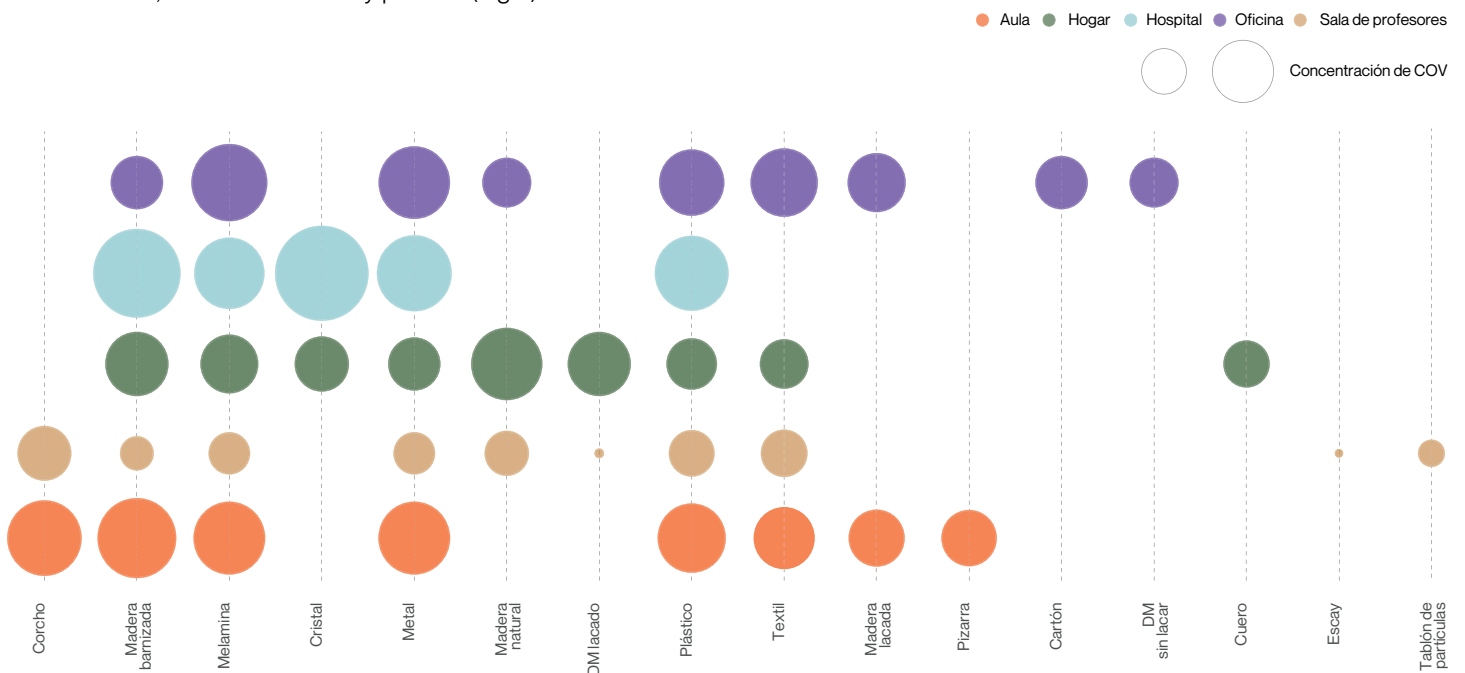
Comparando los valores de COV entre los espacios que hemos analizado, hemos detectado que el 50% de las aulas tienen valores de COV por encima de la media, un valor que desciende a la mitad en la sala de profesores. En oficinas y hospitales encontramos el 40% de los espacios por encima de la media, mientras que en los hogares sólo pasa en 3 de los 10 que hemos estudiado (Fig.7).

Al calcular la media de COV por espacio y en función de la presencia de cada tipo de material de mobiliario, vemos que los valores más elevados de COV coinciden en los hospitales y aulas con melamina, madera barnizada y plástico (Fig.8).



● Fig. 7

Gráfico de barras de la cantidad de espacios con valores de COV por encima de la media de todos los espacios analizados.



● Fig. 8 Gráfico de puntos de la comparativa de concentraciones de COV (tamaño de los puntos) en cada tipología de espacio (colores) según la presencia de los diferentes tipos de material de mobiliario (eje X).

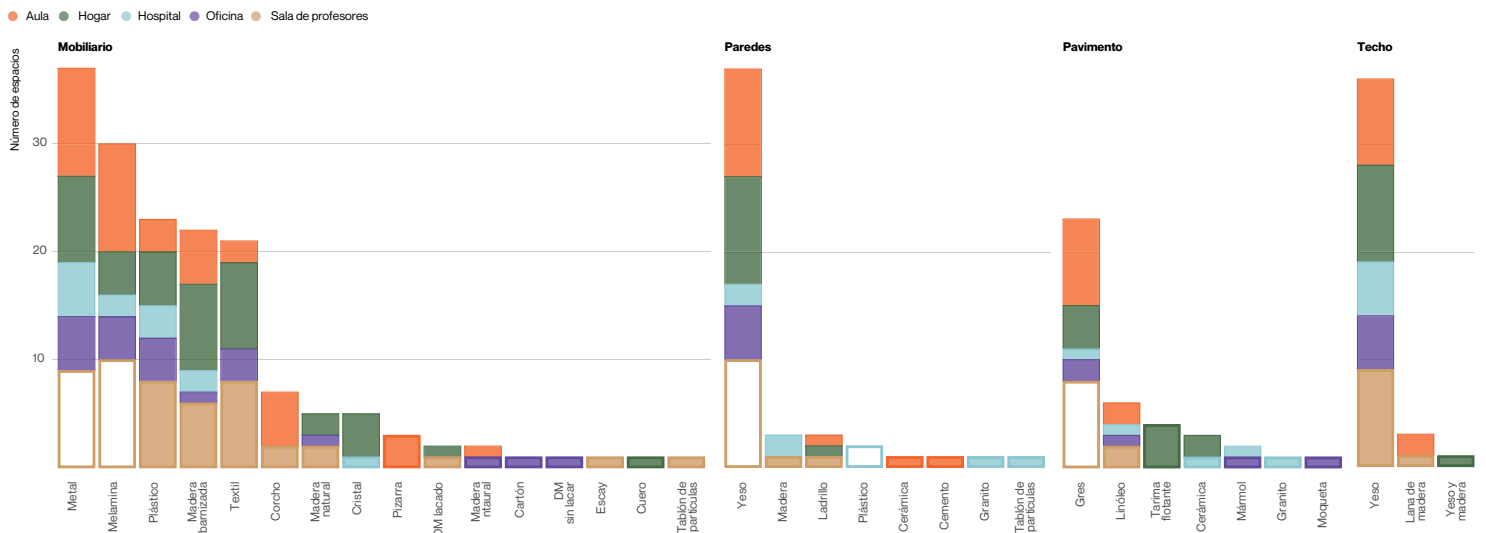
## Resultados 2: La calidad del aire interior (CAI) y el espacio

Para entender las medidas de calidad del aire, es necesario estudiar el entorno para saber cómo puede estar afectando. Por este motivo hemos observado variables como los materiales del mobiliario y construcción, la presencia de animales y los hábitos de uso de los espacios como encender incienso o velas, el tipo de cocina o el tipo de actividad (en los casos en los que se pudiera aplicar).

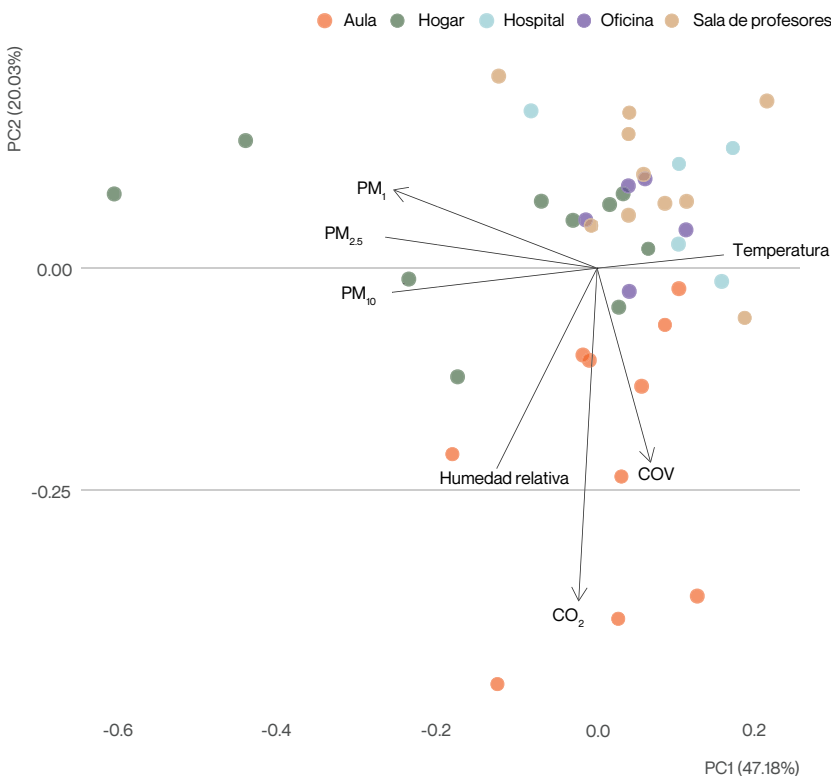
Los materiales de mobiliario más comunes son los de contrachapado (especialmente los muebles de melamina con patas metálicas en aulas, oficinas y hospitales), plástico y madera

barnizada. El textil es muy utilizado en los hogares y, en menor medida, en aulas y oficinas (Fig.9). En cuanto a la construcción, el material predominante en paredes y techos es el yeso, mientras que la mayoría de los pavimentos de los espacios analizados son de gres (seguido del linóleo) (Fig.9).

Los materiales de mobiliario son reconocidos emisores de COV. Si comparamos los diferentes tipos de materiales en función de los valores de PM y COV de los espacios donde están presentes, vemos cómo los espacios con mobiliario de plástico, melamina, textil y madera barnizada tienen un perfil similar de concentraciones de este tipo de contaminantes (Fig.10).



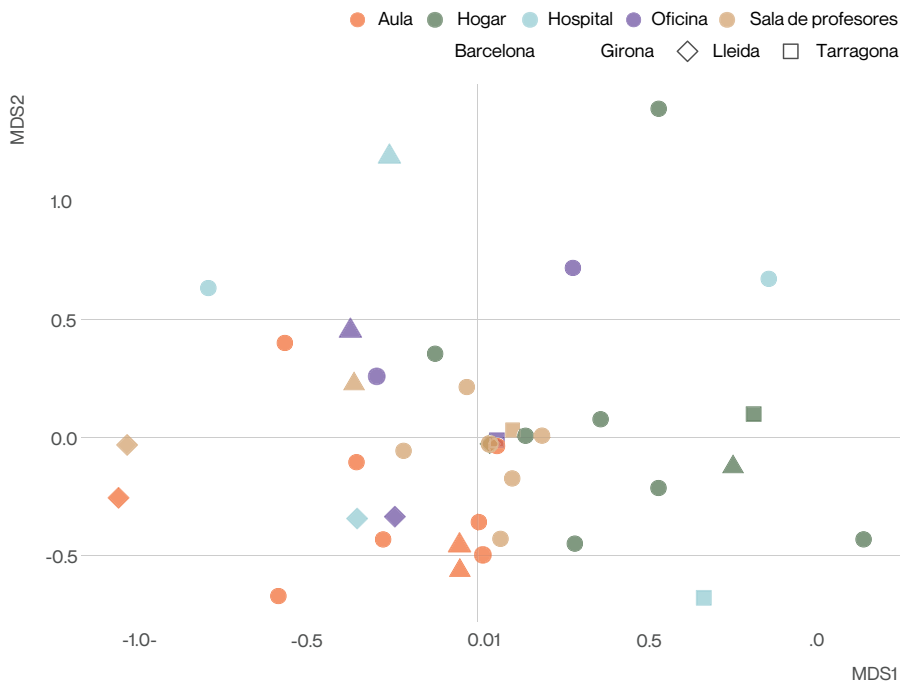
● **Fig. 9** Gráfico de barras de la cantidad de espacios (eje Y) en los que hay presentes cada tipo de material de mobiliario, paredes, pavimento y techo (eje X).



● **Fig. 10**

Gráfico de ordenación PCA de los espacios individuales (puntos) en función de los niveles de indicadores de calidad del aire interior (temperatura, humedad relativa,  $CO_2$ ,  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  y COV). Las flechas corresponden a cada indicador y están orientadas en la dirección de incremento del valor de cada indicador. El color está asociado a cada tipología de espacio.



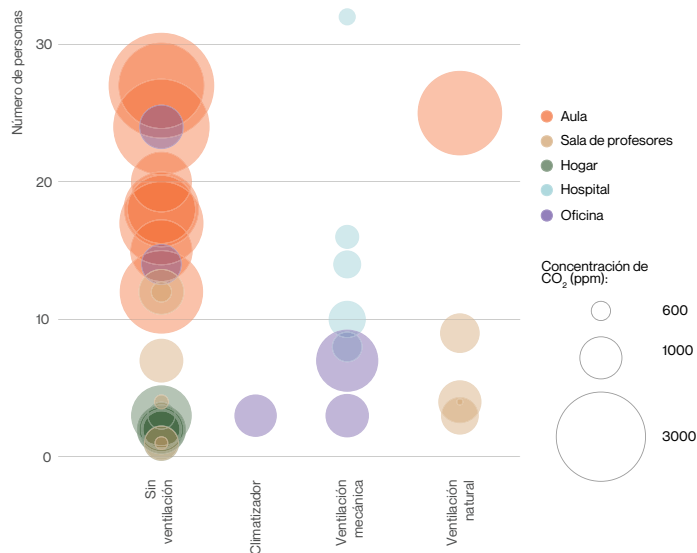


● **Fig. 11**

Gráfico de ordenación NMDS de distancias de Jaccard entre los distintos espacios individuales (puntos) en función de la presencia o ausencia de los materiales de mobiliario detectados en este estudio. El color está asociado a la tipología de espacio y la forma a la provincia donde se ubica cada espacio.

Si ordenamos los espacios de acuerdo con los indicadores de CAI (temperatura, humedad relativa, CO<sub>2</sub>, COV y PM) vemos que las variables que mejor explicarían la variación entre ellos son, sobre todo, el PM (PC1, 47.18%), seguido de la concentración de CO<sub>2</sub> (PC2, 20.03%). Si nos fijamos en la distribución de los espacios en el análisis de componentes principales (PCA) (Fig.10) en función de estas características, encontramos que las aulas y salas de profesores, a pesar de compartir edificio, tienen CAI diferentes. Los hogares y hospitales también muestran cierta segregación respecto al resto de espacios mientras que las oficinas carecen de un perfil de CAI que las distinga del resto.

Si ordenamos los espacios de acuerdo con los materiales de su mobiliario a través de un análisis multidimensional no métrico (NMDS) (Fig.11), no vemos una separación clara de los hospitales respecto al resto de espacios. Esto quiere decir que, aunque los hospitales están destinados a la salud, el uso de los materiales del mobiliario de las salas de espera de urgencias es similar al de las aulas, oficinas u hogares analizados.

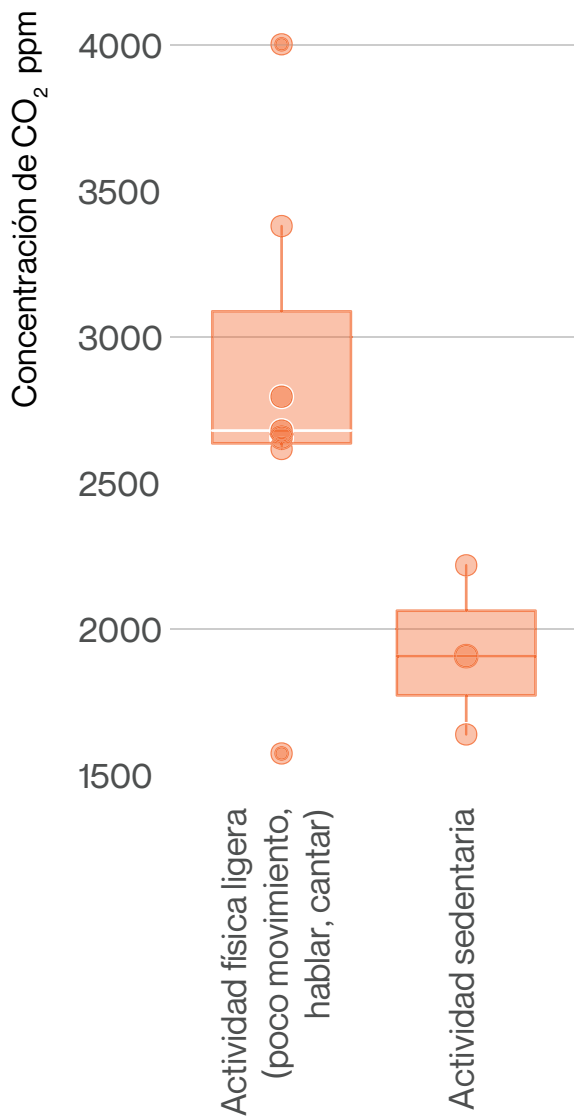


● **Fig. 12**

Gráfico de puntos de la concentración de CO<sub>2</sub> (ppm, tamaño de los puntos) de cada espacio individual en función del número de personas presentes durante la evaluación de la calidad del aire interior (eje Y) y el tipo de ventilación en marcha (eje X). El color está asociado a la tipología de espacio.

Espai	Ocupació màxima	Ocupació mínima	Ocupació mitjana
Aula	27	12	20.3
Sala de mestres	12	1	5.7
Llar	3	1	2.1
Hospital	32	8	16
Oficina	24	3	10.2

● **Taula 1.** Valores de ocupación máxima, mínima y media en cada tipo de espacio.

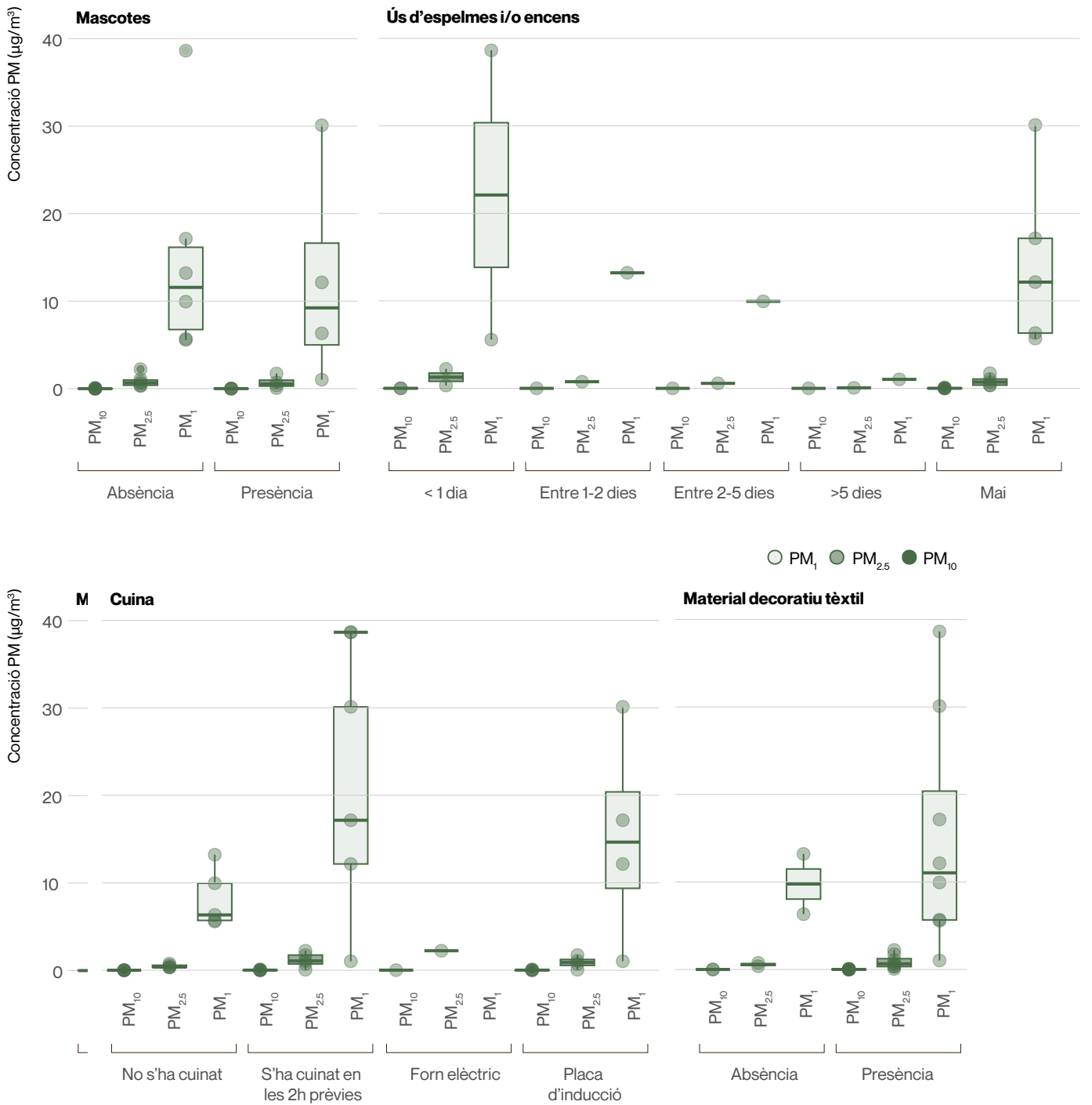


En cuanto a los sistemas de ventilación y uso del espacio, vemos que en los lugares con mayor ocupación (las aulas, Tabla 1), independientemente de su superficie, se acumulan los niveles de  $\text{CO}_2$  más elevados del estudio cuando no existe ningún sistema de ventilación en marcha (Fig.12). Sin embargo, los sistemas de ventilación centralizada de las salas de espera de los hospitales consiguen reducir significativamente la concentración de  $\text{CO}_2$  a pesar de tener ocupaciones similares o más elevadas al de las aulas (>30 personas). El sistema de ventilación centralizada que hemos encontrado en dos de las cinco oficinas estudiadas no es tan efectivo como el de los hospitales, ni siquiera con valores mucho más bajos de ocupación. Aunque son efectivos en la reducción de los niveles de  $\text{CO}_2$ , los sistemas de ventilación de los hospitales no son suficientes para reducir también los valores de COV (Fig.8).

La intensidad de las actividades llevadas a cabo en un espacio también afectan a los niveles de  $\text{CO}_2$ . En aulas con actividad física media (clases de música, actividades dinámicas o participativas) o a medida que avanza el día, es fácil que los niveles de  $\text{CO}_2$  se sigan acumulando si no se procura una ventilación regular (Fig. 13).

● **Fig. 13**

Diagrama de cajas de la distribución de concentraciones de  $\text{CO}_2$  (ppm, eje Y) en las aulas en función del nivel de actividad desarrollada durante la evaluación de calidad del aire interior (eje X).



● **Fig. 14**

Diagrama de caixes de la distribució de concentracions de PM ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , eix X) segons en hàbit de ús de l'espai als llars. El to dels colors està associat al mida del PM.

Los hábitos de uso del espacio son determinantes para los niveles de contaminación del aire interior (Fig.14). En los hogares hemos visto que los valores de PM son elevados en los espacios en los que se había cocinado en las dos horas previas a la toma de medidas, tanto con horno eléctrico como con placa de inducción. También hemos detectado valores más elevados de PM1 allí donde el mobiliario incluye materiales textiles, debido seguramente a la dificultad que supone la limpieza regular de este tipo de material.

## **Conclusiones**

Esperamos que este estudio transmita la importancia de entender la calidad del aire interior como un asunto complejo que viene acompañado por un contexto espacial que es clave y que no podemos obviar, tanto en lo que se refiere a la presencia de ciertos materiales, como por el uso que se hace del espacio, los sistemas de ventilación que actúan, su frecuencia de uso y su eficacia. La inclusión de espacios heterogéneos repartidos por el territorio catalán evidencia que, aunque la contaminación atmosférica puede influenciar la CAI, es lo que ocurre dentro de los edificios lo que determina su salubridad.

Gracias a los resultados que hemos obtenido y entendiendo la particularidad de cada tipología de espacio que hemos analizado, hemos desarrollado unas guías de acciones de mejora de la CAI específicas para oficinas, hogares, hospitales y escuelas, que quieren servir de ayuda para tomar conciencia de esta problemática invisible y empoderarnos para mejorarla.

**- Puedes encontrar las guías aquí:**

<https://mentrespirem.com/accions-canvi>

## **Bibliografía**

<sup>1</sup>[UNE 171330-1:2008](#) Calidad ambiental en interiores. Parte 1: Diagnóstico de calidad ambiental interior.

<sup>2</sup>[WHO global air quality guidelines](#). Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Autoria del proyecto:

Marc Conangla Bermejo - Dirección del proyecto

Marta Royo Lionch - Investigación científica

Con el soporte de la FCRI (Convocatoria Joan Oró 2022).



