# CALIDAD DEL AIRE EN ESPACIOS INTERIORES FRECUENTADOS POR POBLACIÓN VULNERABLE

Elisabeth Alonso-Blanco[1*], Francisco J. Gómez-Moreno[1], Manuel Pujadas[1], Elías Díaz-Ramiro[1], Javier Fernández[1], Francisco Lozano[1], Pablo Ruiz[1], Carlos Yagüe[2], Mariano Sastre[2], Adolfo Narros[3], Dulcenombre Gómez-Garre[4], Rafael Borge[3]

[1] Departamento de Medio Ambiente, CIEMAT, 28040 Madrid, España
[2]Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica, UCM, 28040 Madrid, España
[3]Departamento de Ingeniería Química y Medioambiental, UPM, 28006 Madrid, España
[4]Laboratorio de Biología Vascular y Microbiota, IdISSC, 28040 Madrid, España

**Palabras Claves:** Calidad del aire interior; edificio público; población vulnerable; partículas ultrafinas; *equivalent Black Carbon*; PM

***Correo electrónico del autor que presenta:** elisabeth.alonso@ciemat.es

## OBJETIVOS

La calidad del aire interior (CAI) es una preocupación mundial por sus efectos sobre la salud, especialmente en poblaciones vulnerables. Su evaluación se ve limitada por la falta de normativas y métodos estandarizados, aunque la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) reconoce su importancia estableciendo valores de referencia aplicables tanto a ambientes interiores como exteriores.

Identificar las fuentes de contaminación interior y la contribución del aire exterior es fundamental para evaluar la exposición y mejorar la CAI. En este contexto, el proyecto **AIRTEC2-CM (TEC-2024/ECO-283)** estudia la influencia de la contaminación exterior, la ocupación, la limpieza, la ventilación natural y el uso de purificadores de aire portátiles sobre la CAI en edificios públicos.

El estudio busca identificar los principales factores que determinan las concentraciones de contaminantes en el interior, aportando información útil para desarrollar estrategias de mejora de la CAI.

## METODOLOGÍA

Se realizaron campañas de medición simultánea y en tiempo real de contaminantes interiores y exteriores en una sala polivalente de un centro universitario (junio de 2025 y febrero de 2026) y un hospital (mayo de 2026) (Fig. 1).




Se monitorizaron contaminantes regulados en el aire exterior ($PM_{10}$, $PM_{2.5}$, $NO_x$ y $O_3$) y no regulados ($PM_1$, concentración de partículas ultrafinas (NP) y *equivalent Black Carbon* (eBC)).

Las concentraciones de PM se midieron con un espectrómetro láser (Mini-LAS, Grimm), el eBC con microetalómetros (AE51 y MA200), el NP mediante contadores por condensación (MAGIC) y su distribución de tamaños con Partectors 2 (Naneos).

El NO y $NO_2$ se midieron con analizadores Thermo 42i y 42i-TL, respectivamente, y el $O_3$ con un Sabio 6030. Además, se emplearon captadores pasivos tipo Palmes para medir $NO_2$ en ambos ambientes.

Se registró el $CO_2$ interior como indicador indirecto de ocupación y ventilación, junto con datos meteorológicos in situ y de estaciones oficiales para interpretar los resultados.

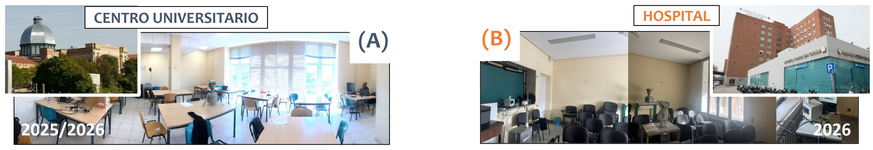



Figura 1 – *Localización de los puntos de muestreo en la ciudad de Madrid: (A) Centro Universitario y (B) Hospital.*

## RESULTADOS

### 1 Influencia de la infiltración de aire exterior

Los contaminantes asociados al tráfico (NP, eBC, NO y $NO_2$) mostraron patrones similares en interiores y exteriores, aunque con variaciones más lentas y retardadas en el interior (Fig. 2). El muestreo pasivo mostró mayores concentraciones de $NO_2$ cerca de puertas y ventanas, similares a las del exterior.

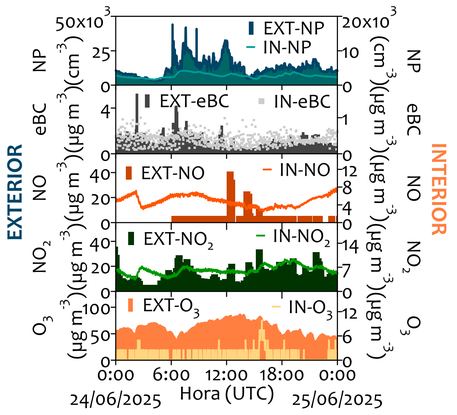



Figura 2 – *Ejemplo de la influencia de la infiltración de aire exterior en la calidad del aire interior del centro universitario durante un día sin ocupación.*

### 2 Efectos de la Ocupación

En el centro universitario y el hospital, los periodos de alta ocupación coincidieron con mayores concentraciones másicas de partículas ($PM_x$) y niveles de $CO_2$ superiores a 1000 ppm. El aumento de $PM_x$ se atribuyó a la resuspensión de partículas por la actividad de los ocupantes (Fig. 3).

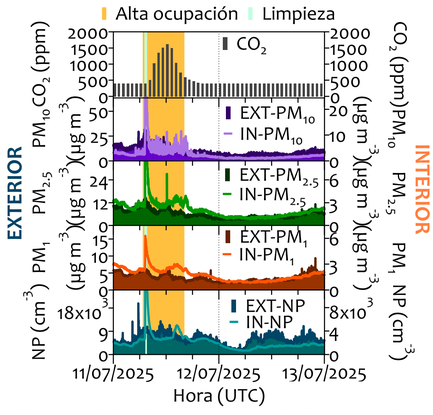



Figura 3 – *Ejemplo de la influencia de la elevada ocupación (12–14 personas) y las actividades de limpieza realizadas el día 11/07/2025, en comparación con las condiciones de desocupación del día 12/07/2025, sobre la calidad del aire interior del centro universitario.*

### 3 Impacto de las actividades de limpieza

Las actividades de limpieza aumentaron las concentraciones interiores de partículas ($PM_x$ y NP), alcanzando niveles de NP hasta 11 veces superiores a los previos (Fig. 4), por encima de los registrados en el exterior y del valor de referencia diario de la OMS (20.000 $cm^{-3}$; OMS, 2021).

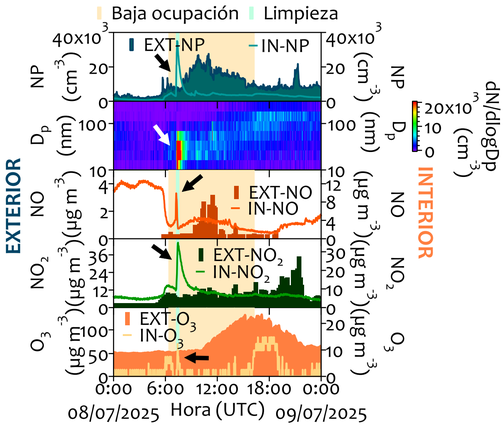



Figura 4 – *Ejemplo de la influencia de la baja ocupación (4 personas) y de las actividades de limpieza realizadas el día 08/07/2025 sobre la calidad del aire interior del centro universitario.*

### 4 Efecto de la ventilación y de purificadores

Los purificadores redujeron hasta un 80 % las partículas generadas por la quema de incienso, de 30.000 a menos de 5.000 partículas $cm^{-3}$. Sin embargo, su eficacia frente a contaminantes gaseosos fue limitada, requiriendo filtros específicos como los de carbón activado. La ventilación natural redujo el $CO_2$, pero favoreció la entrada de contaminantes del tráfico y $O_3$, elevando sus concentraciones interiores (Fig. 5).

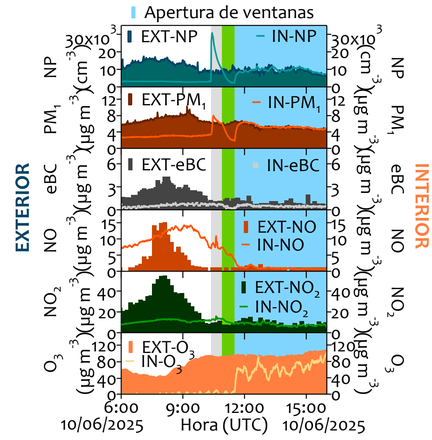



Figura 5 – *Ejemplo de la influencia del uso de un purificador de aire portátil y de la ventilación natural mediante la apertura de ventanas sobre la calidad del aire interior del centro universitario el día 10/06/2025.*

## RECOMENDACIONES

**(1)** Evitar ventilar los espacios interiores durante los periodos de alta contaminación exterior, especialmente en las horas punta de tráfico.

**(2)** Ventilar los espacios interiores cuando el $CO_2$ supere las 1000 ppm, indicativo de una ventilación insuficiente para la ocupación.

**(3)** Mantener las ventanas abiertas durante las actividades de limpieza para reducir la concentración de contaminantes en el aire interior.

**(4)** Utilizar purificadores de aire durante las actividades que generen concentraciones elevadas de partículas en suspensión en espacios interiores.

## REFERENCIAS

OMS (2021) *Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire.* ISBN: 978-92-4-003546-1. https://iris.who.int/handle/10665/346062.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el proyecto AIRTEC2-CM (TEC2024/ECO-283), financiado por la Comunidad de Madrid, y el proyecto HYNU-CLIM (PID2024-161276OA-I00), financiado por el MCIN/AEI y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), bajo el lema 'Una manera de hacer Europa'.