

CONAMA 2024

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Comportamientos sociales y episodios de contaminación atmosférica

Evidencia en escuelas de Barcelona



CONAMA 2024

COMPORTAMIENTOS SOCIALES Y EPISODIOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
EVIDENCIA EN ESCUELAS DE BARCELONA

Autor Principal: Edson Plasencia Sánchez (*Universitat de Barcelona*, Facultad de Física, Departamento de Física Aplicada, Barcelona, España)

Otros autores: Laura Esbrí (*Universitat de Barcelona*, Facultad de Física, Departamento de Física Aplicada, Barcelona, España); Yolanda Sola (*Universitat de Barcelona*, Facultad de Física, Departamento de Física Aplicada, Barcelona, España); Mireia Udina (*Universitat de Barcelona*, Facultad de Física, Departamento de Física Aplicada, Barcelona, España); Joan Bech (*Universitat de Barcelona*, Facultad de Física, Departamento de Física Aplicada, Barcelona, España); Raül Marcos (*Universitat de Barcelona*, Facultad de Física, Departamento de Física Aplicada, Barcelona, España); Montserrat Llasat-Botija (*Universitat de Barcelona*, Facultad de Física, Departamento de Física Aplicada, Barcelona, España); Laura Ceraldi (Col·legi Kostka, *Fundació Jesuïtes Educació*, Barcelona, España); Maria Carmen Llasat (*Universitat de Barcelona*, Facultad de Física, Departamento de Física Aplicada, Barcelona, España)

CONAMA 2024

COMPORTAMIENTOS SOCIALES Y EPISODIOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
EVIDENCIA EN ESCUELAS DE BARCELONA

ÍNDICE

Comportamientos sociales y episodios de contaminación atmosférica: Evidencia en escuelas de Barcelona	2
RESUMEN	2
Introducción	3
Métodos	3
Sitio de estudio y estrategia de muestreo	3
Índices de Calidad de Aire	4
Descomposición STL	6
Episodios naturales de aportes de PM	6
Manejo de datos y Valores atípicos	6
Resultados y discusión	7
Índices de Calidad de Aire	7
Descomposición STL y valores atípicos	8
Influencia de los episodios naturales	10
Influencia de los episodios no naturales	11
Conclusiones	14
Agradecimientos	14
Bibliografía	14

COMPORTAMIENTOS SOCIALES Y EPISODIOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: EVIDENCIA EN ESCUELAS DE BARCELONA

RESUMEN

En el marco del proyecto europeo I-CHANGE (*Individual Changes of Habits Needed for Green European transition*) se registraron las concentraciones de partículas suspendidas en la atmósfera (PM) con diámetros inferiores a 1 μm , 2,5 μm y 10 μm (PM1, PM_{2,5} y PM₁₀, respectivamente), cada 5 minutos en los exteriores de hasta 8 escuelas en Barcelona utilizando sensores *low-cost*. Se analizaron los registros de PM_{2,5} de 2 estaciones ubicadas en entornos urbanos distintos, pero, geográficamente cercanos y se encontró que a lo largo de 1 año, los niveles medios de PM_{2,5} fueron similares y fluctuaron casi simultáneamente, sin embargo, los valores máximos en una de ellas llegan a ser el doble de los de la otra. El comportamiento medio diario no muestra una variabilidad estacional significativa, no obstante, a escala horaria los mínimos diarios ocurren en general cerca del mediodía, pudiendo ser breves y cercanos a las 11h en primavera-verano o prolongados y hasta las 15h en otoño-invierno. En contraste, el horario de entrada y salida a las escuelas es el mismo durante todo el periodo lectivo (9 y 17h, respectivamente), por lo que su influencia en los niveles de PM parece ser de segundo orden de importancia. En cambio, los valores máximos registrados coinciden o bien con breves episodios naturales de aportes externos de PM, tales como intrusiones de viento con polvo sahariano, o bien con periodos de intensa actividad social local. Se concluye que las influencias naturales externas pueden elevar los niveles de PM de manera más significativa que las antrópicas, pero, que éstas son más persistentes sosteniendo en alto los niveles de PM incluso durante una semana.

INTRODUCCIÓN

El alto nivel de partículas suspendidas en la atmósfera (*particulate matter*, PM) es ya “el segundo factor de riesgo de muerte en el mundo” para niños menores de cinco años [1]. Aunque se presta mucha atención a las fuentes antropogénicas de PM (por ejemplo, plantas generadoras de energía y automóviles), eventos episódicos tales como intrusiones de polvo mineral también pueden elevar los niveles de PM y provocar efectos adversos en la calidad del aire. Una ciudad tan dinámica, económica y socialmente, como Barcelona, España, está especialmente influenciada por los comportamientos de sus residentes y visitantes, por ejemplo, en cuanto al horario y la frecuencia del uso de automóviles o al de los eventos culturales.

Conocer la concentración de PM en los entornos escolares es de suma importancia para evaluar sus efectos nocivos en la salud y el rendimiento académico de los estudiantes [2]. Algunos estudios han mostrado que la cercanía a carreteras (100-500 m), el diseño de las escuelas y los sistemas de ventilación de las mismas podrían hacer de las escuelas un microambiente con altas concentraciones de PM [3][4] de hasta $105 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el interior de aulas en Barcelona [3].

El monitoreo de la calidad del aire con equipos convencionales es costoso y escaso en centros educativos, de ahí que existe un creciente interés por implementar redes de monitoreo *low-cost* con sensores previamente evaluados y calibrados [5][6][7]. En este enfoque, desde el *Barcelona Living Lab* del Proyecto I-Change se buscó la participación de la comunidad educativa (profesores, padres y alumnos) para caracterizar ambientalmente su entorno escolar, tomar conciencia e implementar acciones para mejorarlo.

MÉTODOS

Sitio de estudio y estrategia de muestreo

En el marco del proyecto europeo I-CHANGE (*Individual Changes of HABits Needed for Green European transition*), se desplegaron hasta 8 estaciones de monitoreo ambiental *low-cost* en colegios ubicados en distintos ámbitos urbanos de la ciudad de Barcelona (España) (ver Figura 1). Dos de ellas fueron seleccionada por el importante contraste entre sus entornos pese a estar

distantes menos de 500 m: la estación 16590 ubicada cerca de una transitada avenida, a unos 13 m sobre el suelo y rodeada de edificaciones urbanas tan altas como ella y la estación 16057 ubicada cerca de una de las entradas al *Parc Güell* (un importante atractivo turístico de la ciudad), a 15 m sobre el suelo y rodeada de un entorno natural con vegetación arbórea y zonas de parking (ubicaciones 1 y 2 en la Figura 1, respectivamente,).

En ambas estaciones se han registrado las concentraciones de PM_{2,5} cada 6 minutos desde el 2023 mediante un sensor laser PMS5003 [8] integrado en una *Smart Citizen Kit* [7]. Estos sensores tienen una precisión de 10 µg/m³ de 0 a 100 µg/m³ o 10% en adelante hasta los 500 µg/m³. Tomando en cuenta las respectivas fechas de instalación y pruebas, se seleccionó el periodo comprendido entre el 15/02/2023 y el 14/02/2024 (1 año) para el presente estudio.

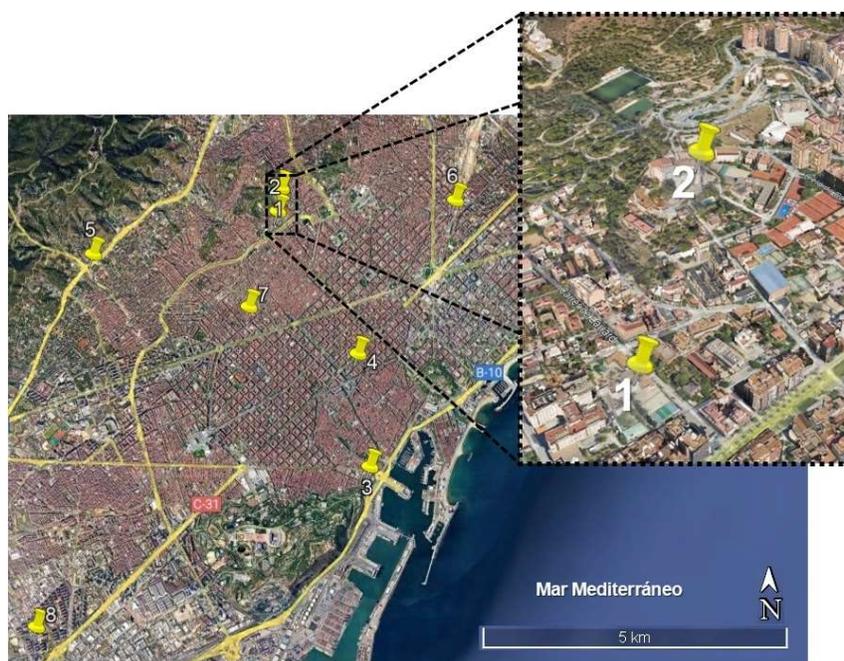


Figura 1. Ubicación de estaciones de monitoreo ambiental en Barcelona, Proyecto I-Change. 1) Escuela Kostka (Salut), 2) Escuela Kostka (Gràcia), 3) Escuela Sant Pere Claver, 4) Escuela Sagrat Cor de Jesús, 5) Escuela Sant Ignasi, 6) Escuela del Clot, 7) Infant de Jesús, 8) Centre d'Estudis Joan XXIII. El mapa base fue tomado de Google Earth.

Índices de Calidad de Aire

Los Índices de Calidad de Aire (ICA) reflejan la situación de la calidad del aire a corto plazo (a nivel diario u horario, por ejemplo). No son una herramienta diseñada para verificar el

cumplimiento de la normativa sobre la calidad del aire, cuyos valores objetivo (anuales, generalmente) son más estrictos que los que se tienen a corto plazo, sino que reflejan el impacto potencial de la calidad del aire sobre la salud y dan información de los niveles de calidad del aire de una manera sencilla para la población general. Por este motivo, se le asigna la peor categoría en términos de calidad del aire de cualquiera de los contaminantes que se tienen en consideración para su estimación, ya sean datos medidos o derivados de un modelo numérico.

El Índice de Calidad de Aire Europeo (ICA-EU) fue puesto en marcha en noviembre de 2017 por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) y la Comisión Europea. En España, después de informar a la opinión pública, atender la participación ciudadana y con el fin de dar acceso a la justicia en materia de medio ambiente, particularmente en lo referente a la calidad de aire, se promulgó la Orden TEC/351/2019 (18/03/2019) aprobando el Índice Nacional de Calidad del Aire (ICA-ES) y sus escalas de categorías y colores, disponiendo además que se publiquen de manera continua a medida que se reciban los datos desde las estaciones de medición. En la comunidad autónoma de Cataluña, en el 2022 se revisaron los umbrales establecidos del *Índex Català de Qualitat de l'Aire* (ICQA) con el objetivo de equipararse al ICA-EU/ICA-ES y mejorar la intercomparación con otros ámbitos políticos-administrativos.

Hoy en día los tres índices (ICA-UE, ICA-ES y ICQA) son coincidentes en el número de categorías, en sus valores umbrales (bandas), en los contaminantes a evaluar y en la metodología para hacerlo (ver **Tabla 1**). En lo que respecta a las partículas suspendidas en la atmósfera se asume una relación de 2:1 entre las partículas con diámetro menor o igual a 10 μm (PM_{10}) y aquellas que tienen hasta 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$), de tal manera que en adelante solo nos referiremos éstas últimas tanto para calcular los valores del índice cuanto para su análisis y discusión.

Tabla 1. Categorías del Índice Nacional de Calidad de Aire (ICA-ES) para PM

Contaminante	Categoría del Índice (basado en concentraciones móviles cada 24h en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	Buena	Razonablemente buena	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Extremadamente desfavorable
Partículas en suspensión $\text{PM}_{2,5}$	0-10	10-20	20-25	25-50	50-75	75-800
Partículas en suspensión PM_{10}	0-20	20-40	40-50	50-100	100-150	150-1200

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica (2020)

Descomposición STL

Mediante técnicas estadísticas, de una serie temporal pueden obtenerse los componentes: tendencia, estacionalidad y ruido. El método de descomposición: *Seasonal and Trend decomposition using locally estimated scatterplot smoothing* (STL) es robusto y versátil; puede manejar cualquier tipo de estacionalidad de manera dinámica dentro de un rango temporal previamente definido, además es robusto frente a puntos extremos [9]. Este método se encuentra implementado en la mayoría de programas estadísticos y de análisis matemáticos tales como SPSS, ArcGIS o Matlab.

Episodios naturales de aportes de PM

El Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) por encargo del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITERD), evalúa periódicamente la ocurrencia de episodios de aportes transfronterizos de PM procedentes de zonas desérticas del norte de África (episodios africanos) y de otro tipo de episodios externos de aporte de PM que puedan inducir a la superación de los niveles límite de PM₁₀ y/o PM_{2,5} en España. En sus informes anuales [10] el CSIC logra identificar fechas y niveles de impactos del polvo mineral africano (SD), combustión de biomasa (BB) en incendios forestales, y episodios de resuspensión local (LR) originada por situaciones de viento intenso que afectan zonas con escasa vegetación para 9 zonas del territorio español. La ciudad de Barcelona se encuentra dentro de la denominada zona Noreste, un cuadrante que abarca toda la extensión de las comunidades autónomas de Cataluña y Aragón. En dicha zona se registraron 83 días de aportes naturales de PM durante el 2023.

Manejo de datos y Valores atípicos

Se asignó como hora de registro, al minuto múltiplo de 5 más próximo a la hora de registro de cada una de las lecturas de las estaciones de monitoreo ambiental con frecuencia de 6 minutos, de tal manera que, por ejemplo, la lectura de PM_{2,5} a las 00:03h en una estación y la registrada a las 00:04h en la otra, resulten simultáneas a las 00:05h. Los registros faltantes en cada una de las series temporales fueron completados mediante interpolación lineal. Se descompusieron las series interpoladas mediante el método STL utilizando 12 datos para estimar la componente

tendencia (equivalente a realizar una interpolación lineal horaria móvil). Luego se construyeron 2 nuevas series temporales al restar la componente tendencia al valor PM_{2,5} interpolado (o equivalentemente al sumar la componente estacional con el error). En estas nuevas series se definieron los valores atípicos (*outliers*) como aquellos mayores en valor absoluto a 3 veces la desviación estándar. Todas estas operaciones y las demás pruebas de correlación o contraste se realizaron utilizando el IBM SPSS Statics versión 29. Las gráficas se obtuvieron mediante Microsoft EXCEL o IBM SPSS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índices de Calidad de Aire

El 54% del tiempo la estación 16057 (ubicada en el punto 2 de la Figura 1) tuvo un ICA categorizado como bueno, mientras que la estación 16590 lo tuvo el 57% del tiempo. Sin embargo, a nivel estacional solo durante primavera y otoño ambas estaciones presentaron mayoritariamente una buena calidad de aire (entre 62 y el 66% del tiempo), en verano alrededor del 35%, el 12% y el 10% del tiempo las estaciones tuvieron un ICA Razonablemente bueno, Regular o Desfavorable, respectivamente. Durante el invierno, los ICA fueron Desfavorables hasta el 20% del tiempo y Muy desfavorables hasta el 3% (ver Figura 2). Generalmente, las situaciones más adversas para la salud en invierno se relacionan con condiciones anticiclónicas y de subsidencia que no favorecen la advección y/o dilución de las partículas en la atmósfera, esto podría ser una explicación a los hallazgos y un análisis futuro a realizar. Ninguno de los periodos de tiempo con un valor de ICA determinado presentó un nivel de correlación significativo ($r > 0.3$) ni con la estación del año, el mes, la hora o el día de la semana en alguna de las estaciones (datos no mostrados).

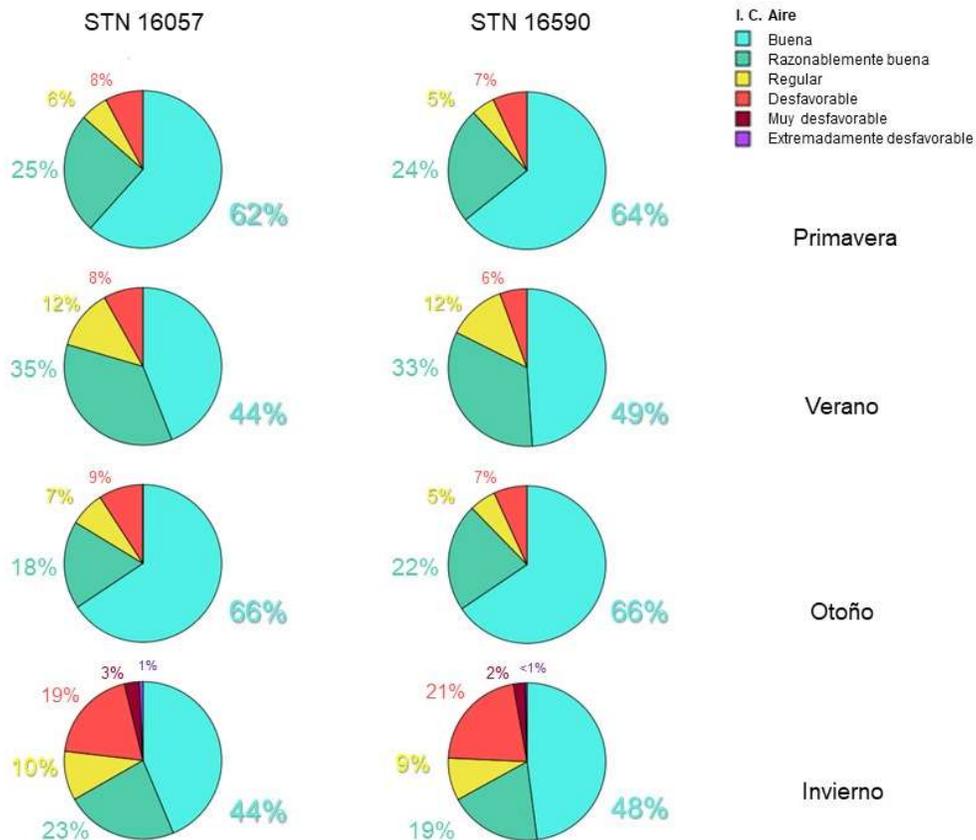


Figura 2. Evolución de la distribución de la calidad de aire en las estaciones de monitoreo ambiental durante el año (Febrero 2023 a Febrero 2024).

Descomposición STL y valores atípicos

Para ambas estaciones, las medias semanales de la componente tendencia (horaria) oscilaron típicamente entre 5 y 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, superando los 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante las semanas 1 (15-21/02/2023), 34 (4-10/10/2023) y 50 (24-30/01/2024) del periodo de análisis, estas semanas serían Desfavorables para la salud en el sentido de los ICA. Sin embargo, fue durante las semanas 6 (22-28/03/2023), 19 (21-27/06/20223), 21 (05-11/07/20223), 50 (24-30/01/2024) y 52 (7-13/02/2024) cuando la componente tendencia (horaria) presentó valores que superan los 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en ambas estaciones, una situación Extremadamente desfavorable para la salud en el sentido de los ICA. Los valores máximos de la componente tendencia (horaria) alcanzaron los 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación 16057 y los 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la 16590.

En ambas estaciones, la componente tendencia (horaria) típicamente comenzó y terminó un día con valores más altos que los presentes hacia la mitad del día, pero, este “valle” puede comenzar tan temprano como las 10 u 11h (verano) o tan tarde como las 15h (invierno) y extenderse brevemente (primavera) o prolongadamente (otoño). Las diferencias entre los distintos días de la semana o entre días laborables y no laborables no fueron evidentes en ninguna de las dos estaciones, excepto por el hecho que en invierno los valores medios se mantuvieron sobre los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante toda la mañana todos los días. Además, las noches de los viernes en verano tuvieron los valores medios de la componente tendencia (horaria) más altos y las madrugadas de ellos en invierno los valores más bajos.

Por otro lado, aunque el valor medio de la componente estacional (horaria) es menor a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para ambas estaciones, los valores máximos son semejantes a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para las estaciones 16057 y 16590 respectivamente. Esta diferencia de niveles entre los componentes estacionales de ambas estaciones no siempre está presente, más bien, en la mayoría de los casos los respectivos componentes tienen valores semejantes y menores a $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

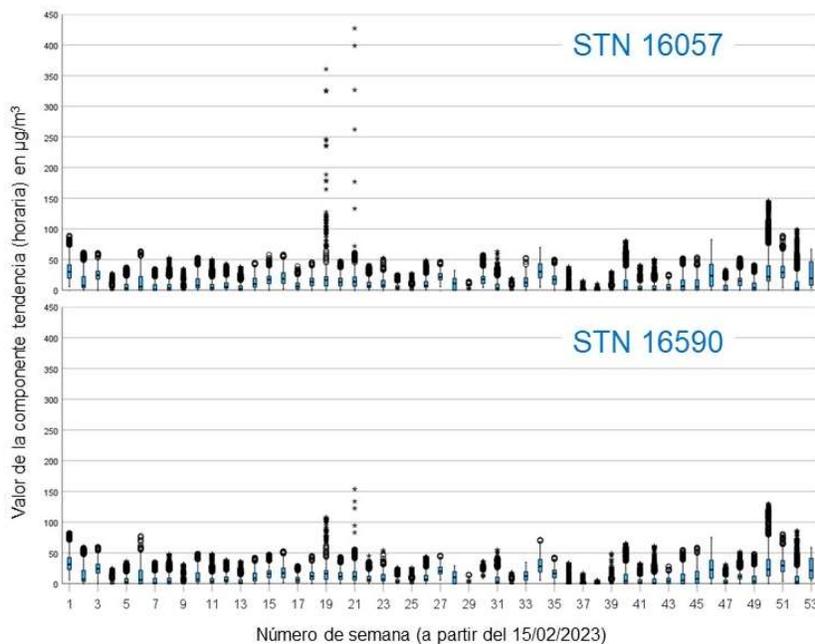


Figura 3. Evolución de la componente tendencia de la descomposición STL (horaria) para cada una de las estaciones de monitoreo ambiental, representada a partir de diagramas de cajas semanales con puntos para los *outliers*.

Según se definió en la sección anterior, los valores atípicos para ambas estaciones ocurrieron cuando la diferencia absoluta entre el valor registrado y la componente estacional (horaria) fue mayor a $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Así, los valores máximos y mínimos relativos en las series no son necesariamente atípicos, sino, solo cuando ocurrieron de manera abrupta. En total se tienen 242 y 864 valores atípicos para las estaciones 16057 y 16590 respectivamente. Estos valores atípicos (*outliers*) están distribuidos en 74 y 168 días respectivamente en las estaciones, pero, de manera conjunta en 39 días.

Influencia de los episodios naturales

Tras examinar cada uno de los 39 días con valores atípicos en relación a los periodos de aportes naturales de PM no se encontró una relación directa. Más aún, solo el 37% de los días con valores atípicos del 2023 coinciden con episodios naturales de aportes de PM identificados por el CSIC. Por ejemplo, durante el episodio de BB del martes 16/03/2023 ambas estaciones registraron concentraciones superiores a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta las 9h y luego un descenso importante a valores por debajo de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que se mantuvieron así el resto del día. De manera similar, el domingo 28/05/2023 fue identificado un episodio SD y en los registros se tienen concentraciones de PM_{2,5} que durante toda la madrugada son superiores a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y que luego transitan hacia concentraciones inferiores a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a partir de las 16h con abruptos incrementos mayores o iguales a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alrededor de las 4, 14 y 20h que no duran más de 15 minutos.

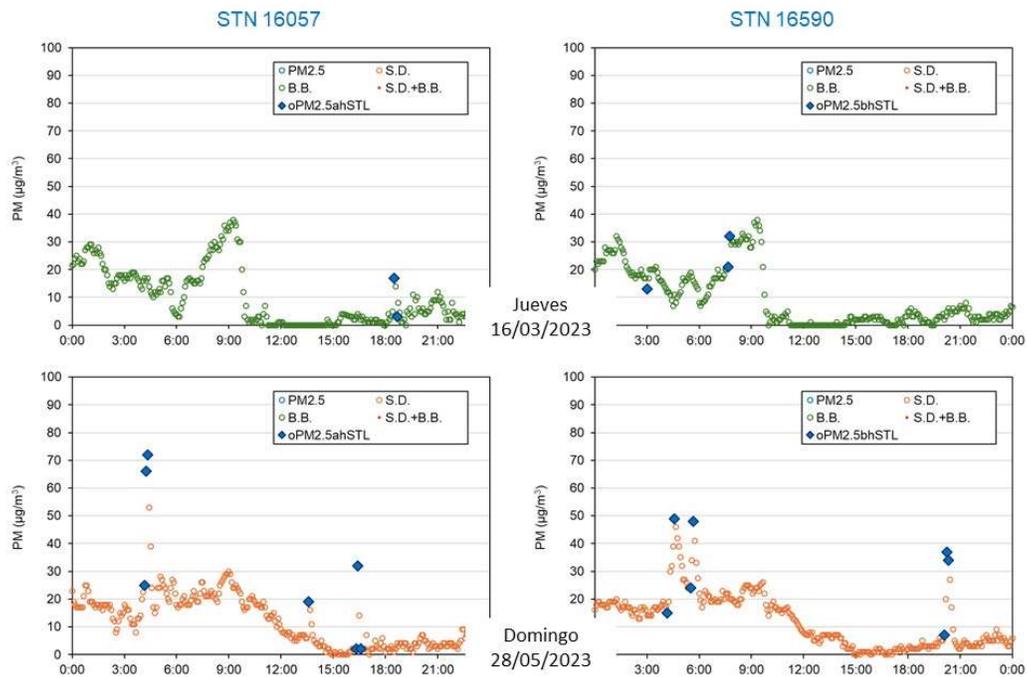


Figura 4. Concentraciones de PM_{2,5} durante 2 episodios naturales de aporte de PM: quema de biomasa (BB) en las figuras superiores e intrusión de polvo sahariano (SD) en las figuras inferiores. Los diamantes azules señalan los valores atípicos.

Influencia de los episodios no naturales

Los valores atípicos ocurridos en días no identificados como episodios naturales de aportes de PM pueden agruparse de la siguiente manera: los que se distinguen significativamente del valor medio horario del registro y los que están dentro de un comportamiento sostenido en el registro. Por ejemplo, los días miércoles 22/03/2023, martes 20/04/2023, sábado 24/06/2023 o sábado 30/09/2023 el registro muestra incrementos abruptos de hasta más de 30 µg/m³ por encima del valor medio horario que duran alrededor hasta una hora. Por otro lado, el viernes 28/04/2023, el domingo 04/06/2023 o el martes 16/01/2024 el registro de PM_{2,5} contiene valores mayores a 30 µg/m³ que oscilan hasta los 50 µg/m³ durante unas 6 horas con subidas y bajadas de frecuencia variable.

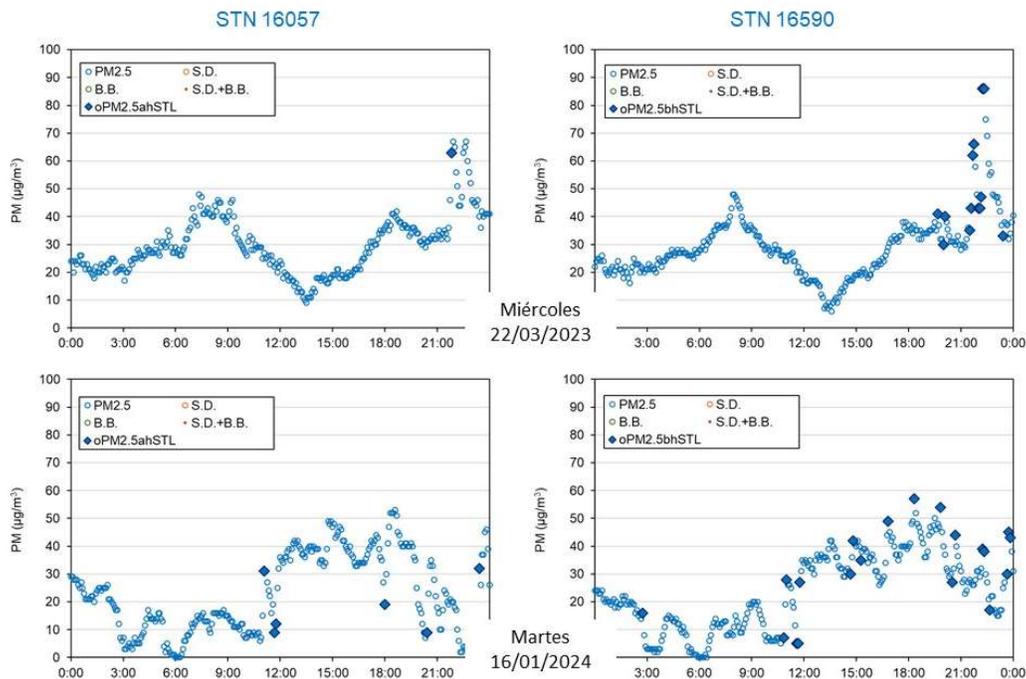


Figura 5. Concentraciones de PM_{2,5} durante episodios no naturales de aporte de PM. Diamantes azules para valores atípicos y círculos abiertos para otros valores.

También ocurren valores atípicos en los siguientes periodos: del 6 al 13/06/2023, sin episodios naturales, con máximos cerca de la media noche y valores superiores a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, del 21 al 24/06/2023 con episodios de SD y valores iguales o menores a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, excepto por la noche del 23/06/2023 cuando se celebró la verbena de Sant Joan y se alcanzaron los máximos absolutos (620 y 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para las estaciones 16057 y 16590 respectivamente). Entre el 3 y el 12/07/2023 ocurrieron episodios BB y SD, registrándose brevemente valores cercanos a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Entre el 22/12/2023 y el 2/01/2024 (fiestas de navidad) no hubieron episodios naturales, los niveles se mantuvieron por encima de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ casi todo el tiempo, con rápidas y breves oscilaciones, alcanzando los 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De hecho, el Departamento de Medio Ambiente y Sostenibilidad de la Generalitat de Catalunya emitió diversos avisos preventivos por niveles moderados de PM₁₀ en Barcelona entre el 19/12/2023 y el 02/01/2024 [11]. Los avisos preventivos se emiten si la media diaria de PM₁₀ del día anterior es superior a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en más de una estación de referencia y la previsión a 24 horas indica que los valores se mantendrán elevados y se continuará superior el valor diario indicado. Entre el 23 y 28/01/2024, los valores

medios se incrementaron día a día y los registros superaron los $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El 13 de febrero de 2024 con una media de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ es significativamente diferente al día siguiente 14/02/2024 cuando se registraron valores de hasta $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y una media de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La mayoría de las fechas analizadas se encuentran fuera del calendario escolar (Del 01/09/2022 al 20/06/2023 y desde el 01/09/2023 hasta el final del registro) o en días no laborables (sábados y domingos), y más bien coinciden con celebraciones sociales en la ciudad, al menos cuando se registran las máximas concentraciones en ambas estaciones: Sant Joan, navidad y fin de año. Durante los episodios naturales de aportes de PM como SD se tienen registro de altos niveles de PM, pero, son muy breves como se ve en la Figura 4, en cambio, en otros periodos de tiempo se desarrollaron episodios donde los niveles altos de PM son más persistentes y no siguen el comportamiento horario prevalente, sino que se vuelven más erráticos o con una marcada tendencia a incrementarse por la noche, entre las 21h y las 2h del día siguiente.

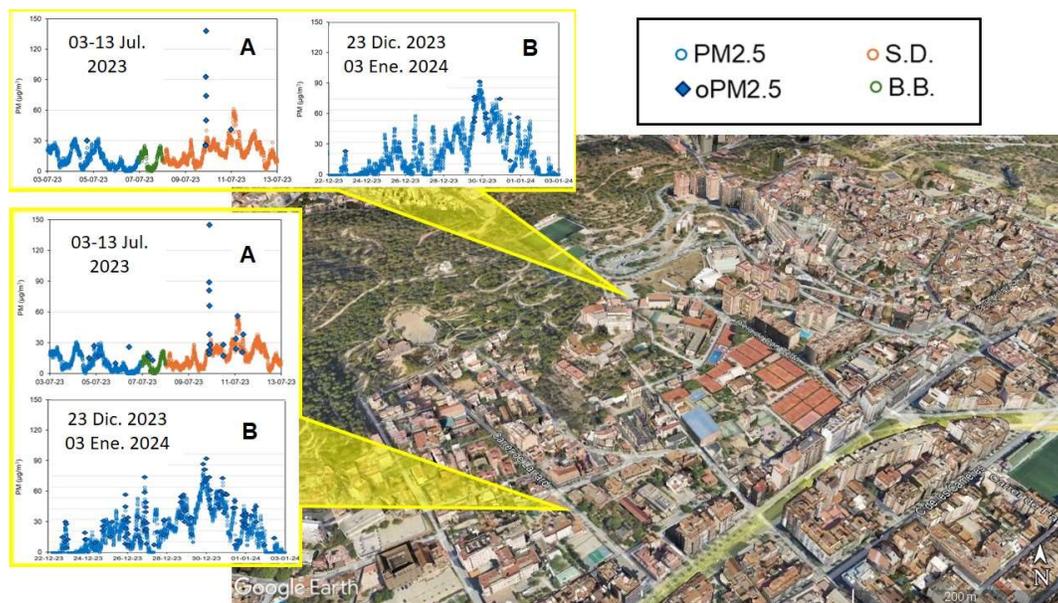


Figura 6. Niveles de PM_{2,5} en torno a episodios naturales y sociales de aporte de PM en las estaciones de monitoreo ambiental 16057 (arriba) y 16590 (abajo). A) Durante episodios naturales del 3 al 13 de julio de 2023 B) Durante episodios sociales del 23 de diciembre de 2023 al 3 de enero de 2024. Círculos verdes y naranjas representan quema de biomasa (BB) y polvo sahariano (SD), respectivamente. Diamantes azules para valores atípicos y círculos abiertos para otros valores. El mapa base fue tomado de Google Earth.

CONCLUSIONES

En las estaciones de monitoreo *low-cost* de las 2 escuelas analizadas, los episodios naturales de aporte de PM fueron igual o menos severos que otros episodios de aporte de PM (presumiblemente de origen antrópico), habiendo podido identificarse a dos de ellos, los mismos que se encuentran relacionados a comportamientos sociales ampliamente arraigados y practicados en la ciudad de Barcelona. Además, no se evidenció una relación directa entre la distancia a las vías de alto tránsito vehicular o mayor entorno arbóreo o urbano con los niveles de PM, dado que ambas estaciones experimentaron los mismos índices de calidad de aire pese a estar en distintos entornos y distanciadas al menos 500 metros. Los episodios de aportes de PM más severos ocurrieron fuera del horario lectivo y/o durante periodos vacacionales, por lo que la comunidad de la escuela no se vio impactada de manera significativa.

AGRADECIMIENTOS

Esta comunicación ha recibido financiación del proyecto I-CHANGE partícipe del programa de investigación e innovación Horizonte2020 de la Unión Europea a través del acuerdo de subvención 101037193. Se agradece la colaboración y apoyo de la *Fundació Jesuïtes Educació* y en particular al *Col•legi Kostka* por su permanente interés e implicación en el proyecto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Health Effects Institute. (2024) *State of Global Air 2024. Special Report*. Boston, MA. Health Effects Institute. ISSN 2578-6873. Disponible en: <https://www.stateofglobalair.org>
- [2] Appatova, A.S., Ryan, P.H., LeMasters, G.K., Grinshpun, S.A., Proximal exposure of public schools and students to major roadways: a nationwide US survey. *J. Environ. Plan. Manag.* 51 5 631–646, 2008.
- [3] Amato, F., Rivas, I., Viana, M., Moreno, T., Bouso, L., Reche, C., Álvarez-Pedrerol, M., Alastuey, A., Sunyer, J., Querol, X., Sources of indoor and outdoor PM2.5 concentrations in primary schools. *Sci. Total Environ.* 490 757–765, 2014.
- [4] Carrion-Matta, A., Kang, C.M., Gaffin, J.M., Hauptman, M., Phipatanakul, W., Koutrakis, P., Gold, D.R., Classroom indoor PM2.5 sources and exposures in inner-city schools. *Environ. Int.* 131 104968, 2019.

- [5] Kumar, P., Morawska, L., Martani, C., Biskos, G., Neophytou, M., Di Sabatino, S., Bell, M., Norford, L., Britter, R., The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. *Environ. Int.* 75, 199–205, 2015.
- [6] Rai, A.C., Kumar, P., Pilla, F., Skouloudis, A.N., Di Sabatino, S., Ratti, C., Yasar, A., Rickerby, D., End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring. *Sci. Total Environ.* 607, 691–705, 2017.
- [7] Camprodon, G., González, Ó., Barberán, V., Pérez, M., Smári, V., de Heras, M. Á., Bizzotto, A., Smart Citizen Kit and Station: An open environmental monitoring system for citizen participation and scientific experimentation. *HardwareX* 6 e00070, 2019.
- [8] PMS5003 - Laser PM2.5 Sensor – DataSheet, Plantower Technology. Disponible en: https://www.plantower.com/en/products_33/74.html
- [9] Cleveland, R. B., Cleveland, W. S., McRae, J. E., Terpenning, I., STL: A seasonal-trend decomposition. *J. Off. Stat* 6 1 3-73, 1990.
- [10] Pérez Noemí, Querol Xavier, Cáceres David A. (Coords.)(2024). *Episodios Naturales de Partículas 2023*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- [11] GenCat - Episodis ambientals de contaminació atmosférica. Disponible en: https://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laيرة/qualitat-de-laيرة-a-la-conurbacio-de-barcelona/pla_millora_qua_aire_2011_2015/mesures-del-pamqa/episodis_ambientals/