



# Ciencia ciudadana para estudiar la contaminación del aire de forma económica

*CITIZEN SCIENCE TO STUDY AIR  
POLLUTION ECONOMICALLY*



## Estudiantes

A.-V. Aitor  
C.-R. Ana  
G.-G. Paula  
G.-S. Joel  
K.-A. Anil  
L.-V. Héctor  
M.-G. Irene  
P.-S. David  
V.-S. Mónica

## Profesor guía

Soledad Benlloch Navarro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5748-0082>

## Colegio

Ámbito científico 4ºESO PDC, Instituto de Educación Secundaria  
(IES) de Betxí, Castellón España



- Artículo Recibido: 27 de julio, 2025
- Artículo Aceptado: 18 de agosto, 2025
- Artículo Publicado: 10 de septiembre. 2025

## El Proyecto participó

\* Proyecto estatal Amiaire.org 2025

\* Esta publicación está bajo una licencia Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 4.0 España de Creative Common

## Resumen

La contaminación del aire es cada vez más, un problema para nuestra salud, con complicaciones como asma, dificultad para respirar, tos o irritación en la garganta o incluso problemas en el corazón. El desarrollo industrial y la emisión de gases contaminantes por parte de los medios de transporte es actualmente la principal causa de contaminación del aire. Es por ello que, en el presente trabajo se ha estudiado la contaminación del aire del IES Betxí. Todo ello, enmarcado dentro del proyecto estatal de ciencia ciudadana Amiaire.org (Amiaire, 2025) en el que han participado más de 100 centros educativos de toda España. Mediante la utilización de unos sencillos sensores de papel con vaselina hemos podido obtener muestras del material particulado circulante en el ambiente. Asimismo, el IES Betxí también ha sido seleccionado para disponer de un sensor digital de medición de partículas en suspensión, lo que les ha permitido a los investigadores del proyecto contrastar la fiabilidad de los sensores de papel como sistemas para medir la calidad del aire. Con todo ello, la calidad del aire en nuestro centro ha sido en general buena, siguiendo con los estándares de calidad del aire marcados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), aunque ha existido una gran diferencia entre la calidad del aire exterior (buena) y las mediciones realizadas en nuestra aula de 4ºESO del Programa de Diversificación Curricular (4PDC), donde la calidad del aire ha sido moderada. Además, este proyecto ha sido clave para llevar a cabo todos los pasos del método científico estudiados en la asignatura de ámbito científico, ya que ha sido el alumnado de esta asignatura quien ha desarrollado todas las partes del mismo.

### → Palabras claves

*Contaminación del aire, sensor, ciencia ciudadana, material particulado*

## Abstract

Air pollution is becoming a growing problem for our health, causing complications such as asthma, shortness of breath, coughing, or throat irritation, and even heart problems. The main causes of air pollution are currently industrial development and the emission of polluting gases from transportation. For this reason, this study has investigated the air pollution at IES Betxí. This was all part of the state-wide citizen science project Amiaire.org (Amiaire, 2025), in which more than 100 educational centers across Spain participated. Using simple paper sensors coated with petroleum jelly, we were able to collect samples of airborne particulate matter. Additionally, IES Betxí was chosen to receive a digital sensor for measuring suspended particles. This allowed the project's researchers to verify the reliability of the paper sensors as a method for measuring air quality. Overall, the air quality in our school has been generally good, in line with the standards set by the World Health Organization (WHO). However, there was a significant difference between the outdoor air quality (good) and the measurements taken in our 4th-year ESO classroom for the Curricular Diversification Program (4PDC), where the air quality was moderate. This project was also crucial for applying all the steps of the scientific method studied in the scientific field subject, as the students in this class were the ones who developed all parts of it.

### → Keywords

*Air pollution, sensor, citizen science, particulate matter*

# Introducción

---

El aire es la sustancia que respiramos todo el tiempo. Está formado por una mezcla de sustancias. Aunque muchas veces parece limpio, en realidad, tiene pequeñas partículas y gases que no podemos ver.

Para saber si el aire que respiramos está limpio o sucio, se usan máquinas llamadas sensores especializados. Estas máquinas detectan sustancias en el aire y nos dicen cuánta cantidad hay de cada una («Píldora 1: Calidad del Aire», 2024). Sin embargo, en el presente trabajo, se han utilizado sensores de papel para detectar la contaminación ambiental por material particulado, además de un sensor digital donado por el proyecto en el que hemos participado y en el cual está enmarcada la presente investigación, proyecto denominado Amiaire.org.

Con la información recogida por los sensores podemos tomar decisiones para cuidar nuestra salud, como evitar lugares con mucho humo o contaminación. Esto es especialmente importante en las ciudades, donde hay muchos coches y fábricas que empeoran la calidad del aire. La calidad del aire se mide con estaciones de monitoreo on line que detectan contaminantes y calculan un índice para saber si el aire es limpio o sucio (Índice de Calidad del Aire, s. f.).

El aire contiene diversos tipos de sustancias sólidas y gases. Los principales gases atmosféricos son: Oxígeno (16%), Nitrógeno (78%), y trazas de otros gases tales como: óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), Ozono ( $\text{O}_3$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), etc a nivel de trazas.

Otros gases que encontramos son los compuestos orgánicos volátiles, éstos provienen de productos como pinturas o productos de limpieza. Todos estos gases, a excepción del oxígeno, pueden causar problemas en la respiración y afectar la salud (World Health Organization: WHO, 2024).

El material particulado atmosférico contiene partículas, sólidas o líquidas, que flotan en el aire y que pueden ser perjudiciales para nuestra salud. Existen, mediciones y antecedentes de dos tipos de material particulado (PM) con efectos nocivos sobre la salud: PM10 y PM 2.5. («Píldora 2: ¿Qué Es el Material Particulado y de Dónde Viene?», 2025).

**Material particulado 10 (PM10):** son partículas de 10  $\mu\text{m}$  de diámetro, más pequeñas que un pelo de persona. Aunque son pequeñas, a veces podemos verlas si hay muchas juntas, como en lugares con mucho polvo, humo o fábricas. Estas partículas han sido el objeto de estudio del presente trabajo. Estas partículas se suelen quedar en la nariz o la garganta, pero si respiramos muchas o durante mucho tiempo, pueden llegar hasta los pulmones y causar problemas de salud.

**Material particulado 2.5 (PM2.5):** son partículas de 2,5  $\mu\text{m}$  de diámetro. Estas partículas son muy pequeñas. Son tan finas que no podemos verlas, pero pueden entrar muy profundo en nuestros pulmones e incluso llegar a la sangre. Por eso, estas partículas son las más peligrosas para nuestra salud.



Figura 1. Comparativa del tamaño de material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> con un pelo humano y un grano de arena. Adaptada de Particulate Matter (PM) Basics | US EPA, 2025.

La mayoría de las partículas se forman en la atmósfera como resultado de reacciones complejas de químicos como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, que son contaminantes emitidos por plantas de energía, industrias y Automóviles (Particulate Matter (PM) Basics | US EPA, 2025).

Por todo ello, es importante reducir la cantidad de material particulado en el aire para cuidar nuestros pulmones y nuestra salud en general. Algunos de los problemas de salud causados por la contaminación del aire son: dificultad para respirar, tos o irritación en la garganta, problemas en el corazón, y empeoramiento de enfermedades como el asma.

### Fuentes de contaminación del aire

Es importante conocer de dónde vienen estas partículas para encontrar formas de reducirlas y proteger la calidad del aire y nuestra salud («Píldora 2: ¿Qué Es el Material Particulado y de Dónde Viene?», 2025). En cuanto a los principales lugares de procedencia del material particulado encontramos:

**Sitios naturales:** Como el polvo de los volcanes, el humo de los incendios de los bosques que lleva partículas muy pequeñas que pueden viajar muy lejos y afectar lugares lejanos, o la calima, es decir, polvo que viene del desierto o la sal que viene del mar.

**Actividades humanas:** Como el humo que sale de los vehículos que usan combustibles fósiles (los coches, motos, autobuses y camiones expulsan la mayor parte de estas partículas en las ciudades), los vehículos que levantan polvo del suelo al circular por las distintas vías, aquellas fábricas que trabajan con materiales que sacan polvo o que queman productos o el polvo de las obras de construcción. Asimismo, son fuente de material particulado las chimeneas y la calefacción (cuando se quema madera o combustible en chimeneas o calderas, se crean partículas que salen al aire), así como la agricultura, al hacer agujeros en la tierra para plantaciones.

Por otra parte, es importante tener en cuenta que el material particulado se moverá (trasladará) de manera distinta según las condiciones atmosféricas de los lugares, puesto que afectan a su circulación diferentes factores abióticos atmosféricos tales como: velocidad del viento, lluvias, temperatura, humedad y la estación del año en la que nos encontremos. El viento mueve o dispersa las partículas a otros sitios, expandiendo la contaminación. La lluvia limpia el aire, haciendo que las partículas caigan al suelo y mejorando temporalmente la calidad del aire, además la humedad junta las partículas y hace que caigan al suelo más rápido, reduciendo temporalmente la contaminación. La temperatura afecta el traslado vertical de las partículas que se mantienen en el aire. En climas fríos, las partículas están más cerca del suelo o donde se emiten, empeorando la calidad del aire. Y en cuanto a las estaciones del año, en invierno, la calidad del aire empeora por el uso de calefacción (se emiten más cantidad), mientras que, en verano, el clima seco ayuda a la suspensión del polvo y aumenta la contaminación («Píldora 4: ¿Movimiento de las partículas según el tiempo?», 2025).

Entonces es importante registrar cualquier alteración climatológica producida durante el registro de contaminación, así como las condiciones climatológicas de cada momento, pues todas ellas podrán afectar a los resultados.

Asimismo, es importante conocer también las principales fuentes de contaminación en interiores, ya que parte de nuestro trabajo está dedicado a comparar la contaminación interior con la exterior. Las principales fuentes de contaminación en interiores que podemos encontrar son (Acerca de los Contaminantes del Aire En Interiores y Sus Fuentes | US EPA, 2024);

**1. Quemar combustibles en hogares:** El uso de estufas, chimeneas o calentadores que queman madera, carbón, gas o queroseno puede liberar partículas y gases nocivos en el interior.

**2. Humo de tabaco:** Fumar en interiores genera partículas finas y compuestos tóxicos que contaminan el aire, afectando también la salud de los no fumadores.

**3. Productos de limpieza y aerosoles:** Muchos productos contienen sustancias químicas que, al pulverizarlos o usarlos, liberan partículas y vapores en el ambiente cerrado.

**4. Vapores y humos de cocinas:** La cocción, especialmente con aceites y grasas, genera humos y partículas que pueden quedar en el aire interior.

**5. Moho y hongos:** La humedad excesiva favorece su crecimiento, liberando esporas y partículas en el aire, que pueden causar problemas respiratorios.

**6. Materiales de construcción y mobiliario:** Algunos muebles, alfombras y pinturas contienen compuestos químicos o liberan partículas que afectan la calidad del aire interior.

**7. Polvo doméstico:** Se acumula en superficies y puede contener contaminantes como ácaros, partículas de carbón, polen, y otros alérgenos.

## Material y métodos

### Objetivos e hipótesis

Como objetivos de este trabajo nos planteamos estimar la calidad del aire del IES Betxí (buena, regular, mala) y evaluar la importancia de la ubicación espacial. Para tratar de dar respuesta a dicho planteamiento elaboramos dos hipótesis:

- **Hipótesis 1.** En las zonas de patio abierto y superior, donde circula más el aire, la calidad del aire por PM es mejor que en el patio inferior y en la zona del parking.
- **Hipótesis 2.** La calidad del aire en exteriores será mejor que en interiores.

### Trabajo de Campo

Para llevar a cabo la determinación de la calidad del aire se emplearon dos tipos de sensores; uno de papel, pasivo y uno digital. Los sensores de papel tienen una zona con forma de cuadrado (figura 2), en dicha zona se pone vaselina neutra para que todas las partículas circulantes se puedan pegar en ella. Posteriormente, pegamos con cinta adhesiva los sensores en distintas zonas del instituto (figura 4). Respecto al sensor digital, este fue donado por donado por el proyecto Amiaire.org y este se colocó en la zona del patio superior, rodeado por 4 sensores de papel (figura 2).

El objetivo de utilizar el sensor digital era doble, por una parte, registrar los niveles de contaminación en la zona más al sur dentro del recinto del instituto y por otra, comprobar si los datos obtenidos a partir del sensor de papel eran similares a los obtenidos por el sensor digital. De esta manera, los investigadores del proyecto pretenden averiguar si los sensores de papel





Figura 2. Sensores de papel pegados junto al sensor digital (protegido por una carcasa) y detalle del sensor con material adherido.

son un método fiable para medir la calidad del aire.

#### Ubicación de los sensores:

Se estudiaron diferentes zonas del instituto, en exteriores: patio inferior, patio superior y en el pequeño parking del que disponemos (figura 3). Y en interiores, se analizó la contaminación en nuestra clase de 4t ESO de PDC.

El experimento duró 7 días y se llevó a cabo en dos tandas de experimentos, tanto en interior como en exterior. Esto nos permitió ampliar el tamaño muestral y tener información en meses distintos, dado que la climatología está íntimamente relacionada con la calidad del aire. Concretamente, la primera campaña en exterior fue al inicio de la primavera, del 25 de marzo al 1 de abril. Debido a que nos encontrábamos a inicio de la primavera, el aire empezaba a ir cargado de polen. Además, llovió una tarde. Mientras que la segunda campaña en exteriores fue del 6 al 13 de mayo, ya bien adentrados en primavera, donde los árboles estaban cargados de insectos y polen. Además, en la segunda campaña llovió dos días, con momentos de lluvia intensa. Respecto al número de sensores colocados en exteriores, como se puede ver detallado en la tabla de la figura 3, fueron un total de 42 sensores en la primera campaña y 43 en la segunda. Cabe advertir que, tanto el personal docente, limpieza y alumnado, respetaron en todo momento la localización de los sensores y no los manipularon, pero, aun así, algún sensor de exterior en algún caso debió de ser eliminado ya que, debido a la humedad, lluvia o problemas al retirarlos, las muestras quedaron inutilizadas.

En relación con el experimento de los sensores en el aula, la recogida de muestras tuvo lugar también en dos tandas: la primera del 2 al 9 de abril y la segunda del 19 al 26 de mayo, en las mediciones realizadas en el aula se colocaron un total de 12 sensores (6 en cada campaña de medición).

A)

		CAMPAÑA 1		CAMPAÑA 2	
		Nº MUESTRAS	ELIMINADAS	Nº MUESTRAS	ELIMINADAS
Patio de arriba	Árboles B.	3	1	4	1
	Red	3	0	3	0
	Pinos	3	0	3	1
	Farolas	3	0	3	0
	Zona ciprés	3	0	3	0
	Árboles V.	3	0	3	0
Pati de abajo	Columnas	6	1	6	0
	Pared	6	1	6	0
Párquing		6	0	6	0
Clase		6	0	6	0
TOTAL		42	3	43	2
TOTAL MUESTRAS VÁLIDAS		80			

B)



Figura 3. Tabla de las zonas y número de muestras (A) y plano del IES Betxi con las chinchetas de los puntos de muestreo (B).



Figura 4. Alumnado participante en el proyecto colocando los sensores.

## Procesamiento de muestras y cuantificación

**Procesamiento de los sensores:** después de 7 días, éstos se retiraron y posteriormente, tomamos las fotos al sensor con un mismo dispositivo móvil. Es muy importante para no falsear los resultados que las fotos estén echas sin zoom, siempre con el mismo encuadre y desde cerca, además en la foto no deben apreciarse brillos ni salir cortada la cuadrícula de ensayo.

Para la cuantificación del material particulado, se empleó la herramienta de la web del proyecto Amiaire.org. (figura 5). En dicha página web hay un software en el que, tras introducir las fechas del experimento y su ubicación con coordenadas exactas, te permite poder analizar la calidad del aire. Para ello, se sube cada una de las fotos, una a una, y se cuantifican también una a una. El programa convierte las imágenes a binarias (blanco y negro) donde aparecen las partículas pegadas en color blanco. Conociendo el programa la superficie del



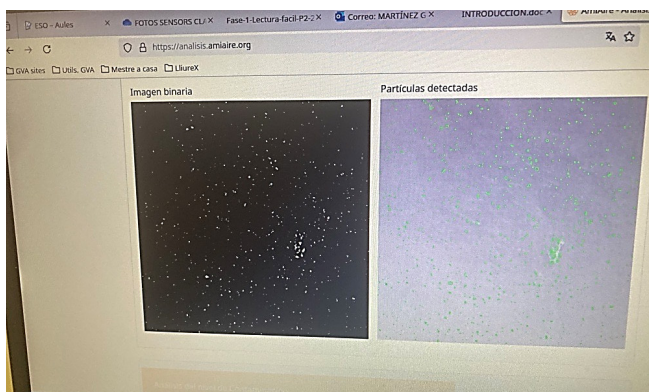


Figura 5. Muestra de la cuantificación de uno de los sensores, en la imagen de la izquierda el software “binariza” la imagen. En la foto de la derecha, a partir de la imagen binaria se cuantifican las partículas en verde.

cuadrado, este te cuantifica para cada sensor los  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de material particulado del tipo PM10 que se han adherido al sensor.

Finalmente, el análisis de datos cuantificados lo realizamos mediante una hoja de cálculo Excel. Con dicha hoja se obtuvieron y compararon los estadísticos descriptivos de la media y la desviación estándar.



Figura 6. Alumnado de 4ESO PDC analizando muestras, realizando registro de los datos y comenzando a escribir el artículo científico.

## Resultados

La figura 7 muestra los resultados obtenidos al variar la zona de muestreo.

Se observa que el experimento 1, los niveles de PM10 han sido más altos que en el experimento 2. En distintas zonas del experimento 1, los niveles de PM10 han sido claramente superiores, que en el experimento 2, especialmente en zona árboles B, pinos y zona ciprés (patio superior) y en el parking. Asimismo, también podemos observar que en el experimento 2, la zona ciprés y pinos es la más contaminada.

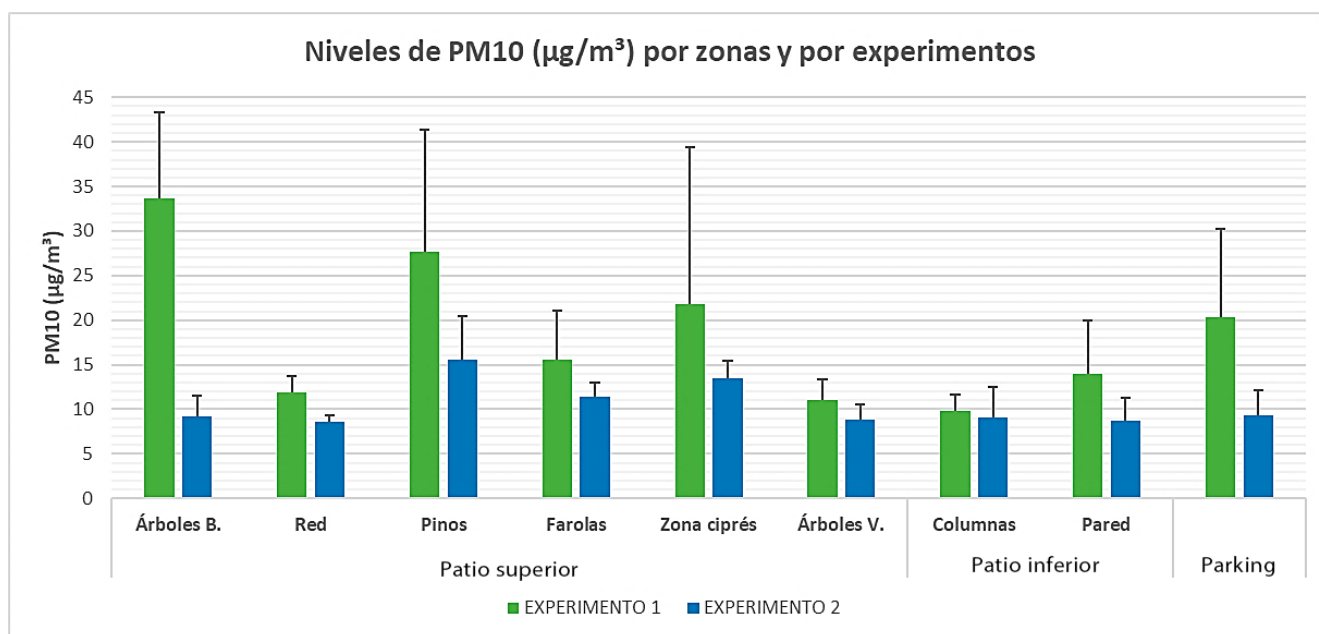


Figura 7. Comparativa de los resultados de las dos campañas de medición por zonas.



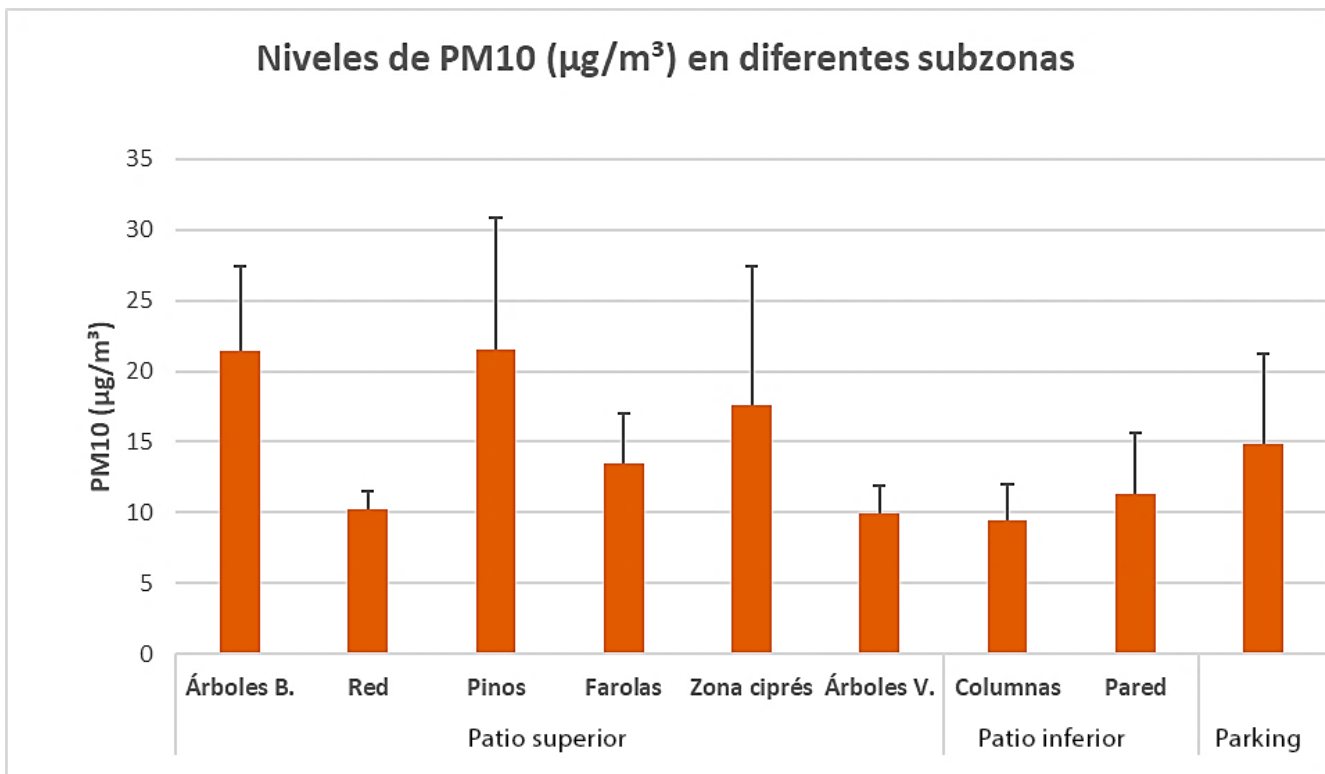


Figura 8. Cuantificaciones realizadas al agrupar los dos experimentos y analizar los datos por zonas conjuntamente.

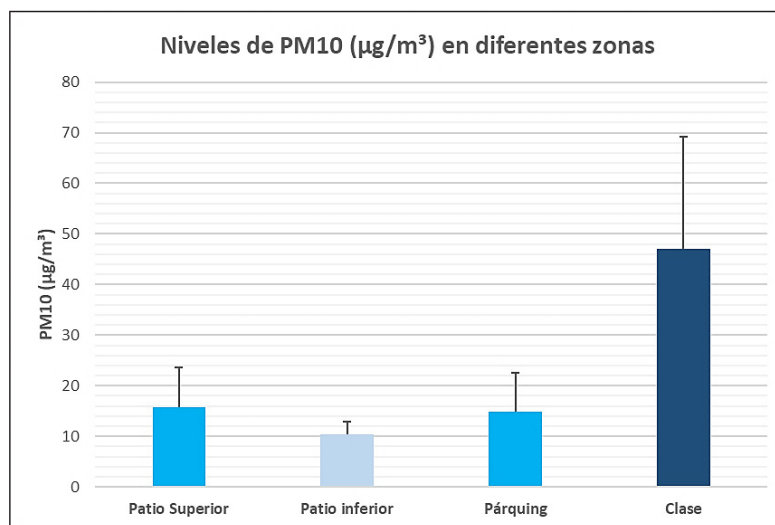


Figura 9. Análisis de los resultados de los dos experimentos según las zonas de patio superior, inferior, parking y clase.

En la figura 8 se muestran los resultados de los niveles de PM10(µg/m³) de los dos experimentos según las zonas del exterior del IES Betxí ensayadas. Podemos observar que el patio de arriba tiene más contaminación que las diferentes zonas del recinto escolar, registrando valores más elevados en todas las zonas de árboles, seguidos por los valores obtenidos en el parking.

Podemos observar que el nivel de PM10 (µg/m³) de clase está mucho más alto que en los otros lugares llegando hasta un máximo de 70 en algunos casos. Estos niveles corresponden según la escala de la OMS a un nivel de posible daño moderado para la salud. Mientras que en el patio superior y parking hay más PM10 que en el inferior. La calidad de aire en el patio inferior es muy buena y en el superior es buena (en la

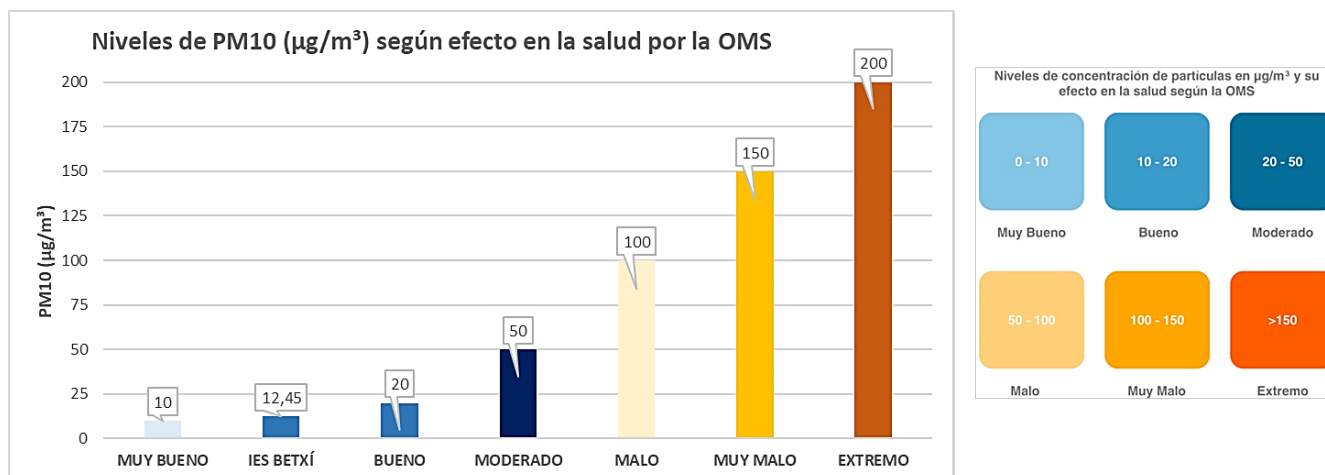


figura 10 se han seguido los códigos de colores de la figura 10 establecidos por la OMS según el daño a la salud).

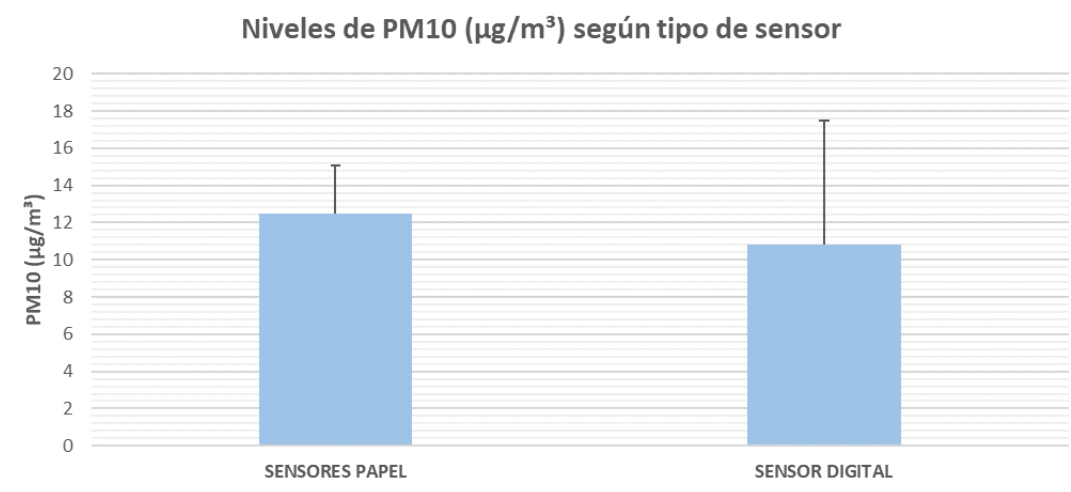


Figura 11. Comparativa de los resultados obtenidos en los sensores de papel versus el sensor digital.

En la figura 10 comparamos los resultados de los intervalos de contaminación con el daño que nos puede causar a nuestra salud. Los niveles de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) que se han obtenido en el IES Betxí en exteriores (media de todos los datos en exterior y de las dos campañas) se encuentran en un punto intermedio entre muy bueno y bueno, con una media de PM10 de 12,45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Finalmente podemos observar en la figura 11 que la media de los resultados de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtenidos en exterior por el sensor de papel y el sensor digital muestran una diferencia mínima. Sin embargo, el sensor de papel tiene una media un poco más alta (12,45  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 2,59$ ), pero el sensor digital tiene una desviación estándar superior (10,84  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 6,62$ ), destacando que en ambos casos la calidad del aire registrada ha sido buena.

## Discusión y conclusiones

### Diferencias entre campañas de medición

Al analizar las diferentes circunstancias que afectaron a las dos campañas de medición en exteriores (1ª del 25 marzo al 1 abril y la 2ª del 6 de mayo al 13 de mayo), se deduce que, en el primer experimento parece ser que ha habido más contaminación (figura 7), creemos que los resultados se explican porque la semana del primer experimento no llovió a penas y en la segunda campaña de medición sí que llovió dos días de manera intensa. Y es que, está demostrado que la dispersión atmosférica de los contaminantes depende de las condiciones meteorológicas y de los parámetros y condiciones en que se produce la emisión del contaminante en la fuente (Dispersión | Calidad del Aire Aragón, s. f.). Las altas presiones “buen tiempo” supo-

nen ausencia de movimientos verticales en la atmósfera y también de viento y precipitaciones. Dichas condiciones no facilitan la dispersión ni la deposición de los contaminantes y por tanto la calidad del aire empeora.

Concretamente, el material particulado se dispersa mediante: viento, lluvia, temperatura, humedad. La lluvia limpia el aire, haciendo que las partículas se depositen al suelo, mejorando temporalmente la calidad del aire. La humedad coagula a las partículas y hace que aumente su masa, por lo que hace que se depositen en el suelo reduciendo temporalmente la contaminación. La diferencia entre los experimentos, debido al efecto de la lluvia y la remoción húmeda, explica los bajos niveles de contaminación obtenidos en la segunda campaña de medición.

### **Análisis por zonas en exteriores**

Haciendo la media de los datos por zonas en exteriores de los dos experimentos (figura 8), las zonas con más material particulado fueron las zonas con presencia de árboles. Seguramente esto sea por la caída de polen y sobre todo por restos de la corteza de los árboles, resina y/o restos biológicos de los insectos que se encontraban por los árboles y que se adherían al sensor, o bien por la presencia de moléculas orgánicas que crean núcleos de condensación del material particulado atmosférico. Estos resultados nos han hecho repensar el experimento y concluir que, si repitiésemos el experimento en nuestro instituto o como recomendación para posteriores experimentos, no sería recomendable poner los sensores de papel en zonas con restos biológicos como los árboles, ya que existen algunos factores en ellos que podrían falsear los resultados.

En segundo lugar, en cuanto a la zona más contaminada en exteriores se encuentra la zona del parking, cuya presencia de material particulado se explicaría por la circulación continua de los coches del personal del centro.

### **Análisis de contaminación exteriores e interior**

Entre los espacios analizados donde hemos colocado sensores tanto en exterior como en interior, el espacio más contaminado ha resultado ser como era de esperar, nuestra aula. Esto se explica por los restos de tiza que pueden encontrarse en el ambiente, a parte de la circulación de personas que entran y salen a lo largo del día. Asimismo, es importante destacar que, el sistema de ventilación actual de las aulas no permite abrir las ventanas del todo. Se trata de ventanas superiores parcialmente abatibles con lamas que impiden que

circule aire a través de todo el espacio de la ventana y que, por tanto, se pueda renovar completamente. La contaminación del aire es especialmente importante en espacios cerrados y mal ventilados, donde la acumulación de partículas y gases puede representar un riesgo para la salud, especialmente para niños, ancianos y personas con enfermedades respiratorias. En este sentido, en nuestro centro está prevista la realización de obras destinadas a la sustitución de las ventanas de las aulas y sistemas de ventilación por otros que permitan una mayor renovación del aire interior, lo cual permitirá mejorar la salud de todo el personal, especialmente de las personas más vulnerables con alergias y problemas respiratorios.

Por lo que respecta a las diferencias fijándonos solo en exteriores, las zonas con más PM10 han sido el parking y el patio superior, posiblemente por las razones expuestas anteriormente para ambos casos.

### **Nivel general de PM10 en el IES Betxí**

Al analizar los datos obtenidos de la media de PM10 en todo el exterior de nuestro instituto se observa que, los niveles de PM10 son de  $12,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Esta cifra corresponde con un nivel de calidad del aire para con la salud de entre “muy bueno” y “bueno”, según los intervalos de contaminación establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Esto denota que la zona donde se encuentra el IES Betxí presenta una buena calidad del aire, a pesar de que, el centro se halla situado en una zona de polígono industrial, pero que por lo que parece, “AL NO EXISTIR GRANDES EMISIONES POR CHIMENEAS”, no afecta a la calidad del aire de la zona.

### **Fiabilidad de los sensores de papel**

Los investigadores del proyecto Amiaire.org nos dieron un sensor digital a 30 centros de toda España, con la finalidad de comprobar si los datos de los niveles de PM10 obtenidos a través de los sensores digitales, eran similares a los obtenidos en los sensores de papel pegados a su alrededor. Los resultados han sido esperanzadores dado que, como se puede observar en la figura 11, la diferencia entre ambos tipos de sensor ha sido muy pequeña con una media de PM10 de  $12,45 \pm 2,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para los sensores de papel, y una media de  $10,84 \pm 6,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el sensor digital. Es más, los resultados de los sensores de papel parece que son menos variables (con una desviación estándar superior en el caso de los datos del sensor digital).

## Calidad del aire y ciencia ciudadana

Es importante destacar que, resulta necesaria una sustancial mejora de la información sobre la calidad del aire que respiramos, en particular en el entorno de los centros educativos y otros centros sensibles, complementando la información proporcionada por las estaciones oficiales de medición con mapas de distribución y con campañas de medición.

Unir contaminación del aire y ciencia ciudadana nos permite que el alumnado se forme de manera práctica, conozca mejor la realidad de la contaminación del aire en su entorno, y si es necesario, que exija a las administraciones públicas que cumplan con su responsabilidad de medir e informar adecuadamente a la ciudadanía sobre la calidad del aire en cada momento. Es necesario promover sistemas de movilidad activa, sostenible, segura y saludable como el tránsito peatonal, la bicicleta y el transporte público que restrinjan el tráfico motorizado urbano con el fin de disminuir la contaminación que se deriva del mismo.

## Calidad del aire en entornos educativos

De manera particular, para lograr entornos educativos saludables deberían implementarse medidas dirigidas a reducir la contaminación en las vías perimetrales a los centros escolares: priorizar el transporte público, compartido, en bicicleta y peatonal, limitar el aparcamiento y el tráfico en las calles del entorno y mejorar las entradas y salidas de los centros educativos para evitar las aglomeraciones de vehículos, así como hacer cumplir la normativa vigente penalizando la doble fila a la puerta de los colegios («Calidad del Aire En los Entornos Educativos», 2024). En este sentido, cabe destacar que es clave seguir las recomendaciones emitidas en la Guía para la calidad global del aire de la OMS (Air Quality, Energy and Health (AQE), 2021), en ella, entre otras cosas se exponen las diferentes cantidades de material particulado recomendadas para la salud y una serie de buenas prácticas para evitar que las sustancias contaminantes, especialmente el material particulado, puedan afectar a nuestra salud.

Aunque parece ser que a la luz de los buenos resultados que hemos obtenido podemos pensar que, las medidas citadas para mejorar la calidad del aire no sean necesarias en el entorno de nuestro centro, esto no es así, dado que dichas medidas a parte de mejorar la calidad del aire también van encaminadas a mejorar la seguridad vial en los centros.

Con todo ello, estamos muy orgullosos del trabajo llevado a cabo para que este proyecto haya podido culminarse con éxito, enmarcado en una materia, la del Ámbito Científico de 4º de ESO del Programa de Diversificación Curricular (4PDC) en la que, el alumnado ha llevado a cabo de primera mano todas las etapas del método científico estudiado a lo largo del curso. Con la escritura de este artículo se culmina con todas las etapas del método científico, la de difusión y publicación de resultados. Además, esto ha permitido poner en acción los conocimientos teóricos aprendidos en el aula, mediante una situación de aprendizaje con una aplicación real.

Este trabajo ha formado parte del proyecto Amiaire.org coordinado y llevado a cabo por la Universidad de DEUSTO, junto con la Fundación Ibercivis y Scicling. Para finalizar es importante destacar que, en este proyecto, participantes de más de 100 centros escolares a nivel estatal hemos utilizado metodologías de ciencia ciudadana para monitorizar la calidad del aire de nuestro entorno educativo, buscando la sensibilización del alumnado sobre la importancia de conseguir una buena calidad del aire que respiramos.

## Agradecimientos

En primer lugar, agradecemos a la Universidad de DEUSTO, junto con la Fundación Ibercivis y Scicling por permitirnos formar parte del “proyecto Amiaire.org 2025”. Y, en segundo lugar, agradecemos a toda la comunidad educativa y personal del centro del IES Betxí por permitirnos llevar a cabo el proyecto sin ningún tipo de incidente, facilitándonos el colocar los sensores en las diferentes áreas y respetando los sensores colocados durante las campañas de medición.



# Bibliografía

- Acerca de los contaminantes del aire en interiores y sus fuentes | US EPA. (2024, 2 octubre). US EPA. <https://espanol.epa.gov/cai/acerca-de-los-contaminantes-del-aire-en-interiores-y-sus-fuentes>
- Air Quality, Energy and Health (AQE). (2021, 22 septiembre). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- Amiaire. (2025, 16 enero). Home - Amiaire. Amiaire - Ciencia Ciudadana En el Aula Para Medir la Calidad del Aire. <https://amiaire.org/>
- Calidad del aire en los entornos educativos. (2024). Ecologistas En acción.org. <https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2024/05/calidad-aire-entornos-educativos-2024.pdf>
- Dispersión | Calidad del aire aragón. (s. f.). <https://aragonaire.aragon.es/es/dispersion>
- Índice de calidad del aire. (s. f.). Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/visualizacion-datos-calidad-del-aire/ica.html>
- Particulate Matter (PM) Basics | US EPA. (2025, 30 mayo). US EPA. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>
- Píldora 1: Calidad del Aire. (2024). Amiaire.org. <https://amiaire.org/wp-content/uploads/2025/02/Fase-1-Lectura-facil-P1.pdf>
- Píldora 2: ¿Qué es el material particulado y de dónde viene? (2025). Amiaire.org. <https://amiaire.org/wp-content/uploads/2025/02/Fase-1-Lectura-facil-P2.pdf>
- Píldora 4: Movimiento de las partículas según el tiempo (2025). Amiaire.org. <https://amiaire.org/wp-content/uploads/2025/02/Fase-1-Lectura-facil-P4.pdf>
- World Health Organization: WHO. (2024, 24 octubre). Contaminación del aire ambiente (exterior) y salud. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)