

Proyecto Retos-AIRE:

Acciones de reducción de la
contaminación atmosférica para el
soporte de políticas medioambientales



TÍTULO

Autor Principal: José Luis Santiago (CIEMAT)

Otros autores: Marta G. Vivanco (CIEMAT), B. Sanchez (National University of Singapore), E. Rivas (CIEMAT/UPM), Juan Luis Garrido (CIEMAT), Mark Theobald (CIEMAT), Victoria Gil (CIEMAT), A. Rodríguez-Sánchez(CIEMAT), A. Martilli (CIEMAT), Ana R. Gamarra (CIEMAT), Yolanda Lechón (CIEMAT), R. Buccolieri (University of Salento), Eugenio Sánchez (CIEMAT), A. Alberto (CIEMAT), A. Bailador(CIEMAT), Fernando Martín (CIEMAT)

ÍNDICE

1. Proyecto Retos-AIRE: Acciones de reducción de la contaminación atmosférica para el soporte de políticas medioambientales
2. Resumen
3. Últimos resultados del proyecto Retos-AIRE
4. Conclusiones
5. Agradecimientos
6. Bibliografía

TÍTULO: PROYECTO RETOS-AIRE: ACCIONES DE REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA EL SOPORTE DE POLÍTICAS MEDIOAMBIENTALES

RESUMEN

El proyecto Retos-AIRE (RTI2018-099138-B-I00) es un proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación MCIN/ AEI/10.13039/501100011033/ y FEDER Una manera de hacer Europa en la convocatoria 2018 de proyectos I+D+i “Retos Investigación” del Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad. El proyecto comenzó en enero de 2019 y finalizó el 30 de septiembre de 2022. Su objetivo es evaluar el impacto que distintas medidas de reducción de emisiones contaminantes o de mejora de la calidad del aire pueden tener, tanto en la contaminación atmosférica como en la salud y vegetación. Se investigan medidas tanto a nivel nacional como a nivel local en entornos urbanos. Entre las medidas a nivel nacional investigadas destacan las medidas contempladas en el Primer Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica (I-PNCCA), en su conjunto y algunas de forma individual. Y entre las medidas a nivel local se han considerado algunas aplicadas al tráfico, como la implantación de zonas de bajas emisiones, y soluciones basadas en la naturaleza. La metodología aplicada ha sido la siguiente: a través de modelos matemáticos, se simula, por un lado, la situación actual y, por otro, la situación que habría una vez implantadas las distintas medidas. De esta manera, se estima el impacto que tendrían tales escenarios en la calidad del aire, así como sus beneficios en términos de salud de la población y de vegetación, además de las reducciones de los costes económicos asociados a estos impactos. Para dar respuesta a los impactos a distintas escalas, se han aplicado distintos tipos de modelos. En Retos-AIRE se ha utilizado el modelo de calidad del aire mesoescalar CHIMERE para simular la contaminación atmosférica de la Península Ibérica, a una resolución de 10x10 km², así como para algunas ciudades como Madrid y Barcelona a una resolución más fina de 1x1 km². Dentro de las ciudades, para poder tener en cuenta la dispersión de contaminantes

dentro de las calles, se ha empleado un modelo de dinámica de fluidos computacional (CFD, por sus siglas en inglés). Este tipo de modelos estima la concentración con una resolución del orden del metro, tomando información, tanto meteorológica como de calidad del aire, de los modelos mesoescalares. Más información del proyecto se puede obtener en [1] y en la web del proyecto (<http://retos-aire.ciemat.es/>).

En esta comunicación se van a presentar los últimos resultados del proyecto, entre los que destaca el estudio realizado sobre cómo varía el impacto de las reducciones de emisiones nacionales en la concentración de NO₂ según se aplique un modelo a mesoescala o a microescala (CFD). Para ello este último se ha aplicado en tres zonas de la ciudad de Madrid, a nivel de calle. Los escenarios estudiados incluyen las emisiones proyectadas al año 2030 asumiendo tanto las medidas existentes en la legislación actual como otras medidas adicionales incluidas en el I-PNCCA.

ÚLTIMOS RESULTADOS DEL PROYECTO RETOS-AIRE

En esta comunicación nos vamos a centrar en los últimos resultados obtenidos en el proyecto sobre los impactos de medidas de mejora de la calidad del aire a escala local mediante modelización de dinámica de fluidos computacional (CFD) a alta resolución. En primer lugar, se va a mostrar un estudio realizado sobre tres barrios de Madrid donde se muestra la importancia de la modelización multiescalar para la evaluación de medidas de reducción de las concentraciones de NO₂ en las ciudades. Y, por último, se muestra una comparación del impacto de varias medidas locales para mejorar la calidad del aire urbana como son: zonas de bajas emisiones (ZBE), soluciones basadas en la naturaleza (SbN) y materiales fotocatalíticos.

¿Qué impacto tienen las medidas de reducción de emisiones del Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica en la concentración de NO₂ a escala de calle en tres barrios de Madrid?

La interacción de la atmósfera con las superficies urbanas como los edificios o el arbolado alteran las circulaciones atmosféricas reduciendo la ventilación dentro de las calles. Este hecho, unido a las emisiones de contaminantes, en zonas urbanas principalmente provenientes del tráfico, provoca elevadas concentraciones de contaminantes, con fuertes gradientes espaciales, y una alta variabilidad temporal. Esto nos indica que a escala de calle es necesaria una alta resolución espacial. Por otro lado, en una ciudad, la concentración de contaminantes en un punto es debida no solo a las emisiones locales (de la zona) sino también a contribuciones de otras zonas de la ciudad (fondo urbano), e incluso más lejanas (fondo regional y global). Por tanto, para aproximarnos de la manera más fiable a este tipo de problemas es necesaria la modelización multiescalar.

Para resolver con alta resolución espacial la dispersión de los contaminantes en las calles teniendo en cuenta la morfología urbana se emplea un modelo de dinámica de fluidos computacional (CFD). Estos modelos resuelven numéricamente las ecuaciones de conservación (de masa, momento, turbulencia y energía) de los fluidos en la zona de estudio, incluyendo los edificios, dividiéndola en celdas computacionales del orden de un metro. Dado el elevado

coste computacional que requieren, el tamaño de las zonas simuladas va desde 1 km² hasta pocas decenas de km².

En este estudio nos planteamos la siguiente cuestión de investigación: ¿cuán diferente es la respuesta en las diferentes escalas a las reducciones de emisiones a escala nacional? De esta manera, el objetivo de este estudio es la evaluación del impacto de las reducciones de emisiones nacionales (proyectadas a 2030) sobre las concentraciones de NO₂ a nivel de calle en tres zonas de la ciudad de Madrid utilizando modelización a mesoescala y CFD.

Se plantea como escenario Base el año 2016 y dos nuevos escenarios de emisiones:

- Escenario WEM2030: Emisiones proyectadas al año 2030 asumiendo las medidas existentes. Tanto las reducciones totales de emisiones de NO_x como las reducciones de las emisiones del tráfico son del 7 %.
- Escenario WAM2030: Emisiones proyectadas al año 2030 considerando medidas adicionales del I-PNCCA. En este caso, las reducciones totales de emisiones de NO_x son del 33 %, mientras que las reducciones de las emisiones del tráfico son del 48 %.

Hay que matizar que este estudio no es una evaluación del impacto del PNCAA, sino únicamente un ejemplo de qué se puede interpretar según la escala de trabajo del modelo aplicado.

La limitación de los modelos CFD, modelos que presentan un elevado grado de detalle espacial los tiempos de computación son muy elevados, implicando que, en la mayoría de los casos, no sea posible simular periodos largos de tiempo (años, por ejemplo) en un barrio o en una ciudad completa. Por este motivo, se desarrollan metodologías en las que se simulan escenarios estacionarios concretos (meteorológicos y de emisiones) cuyos resultados se procesan siguiendo distintas técnicas para reconstruir las series temporales de dichos periodos largos de tiempo y, a partir de ellos, estimar los mapas de concentraciones medias anuales de contaminantes atmosféricos en las zonas urbanas. Estos mapas de alta resolución espacial servirían para realizar los estudios de evaluación de la calidad del aire necesarios para comprobar el cumplimiento de las directivas europeas en las ciudades. En este caso hemos empleado la metodología WA CFD-RANS que hemos desarrollado en la Unidad de Modelización Atmosférica de CIEMAT [2-4]. Esta metodología se basa en la creación de una base de datos de simulaciones CFD para 16 direcciones de viento diferentes (N, NNE, NE, etc.) y los escenarios de emisiones estudiados. A través de esta base de datos se reproduce la evolución temporal de mapas considerando el escenario simulado más próximo correspondiente a cada hora, modificándolo en función de la velocidad del viento horaria. Además, se emplean las simulaciones a mesoescala del modelo CHIMERE a una resolución de 1 km x 1 km para incluir la concentración de fondo. En la Figura 1 se muestra un esquema y más detalles pueden ser obtenidos en [4].

En el estudio que fue realizado a mesoescala [5], se observó como para el escenario WEM2030 seguía existiendo alguna zona con el promedio anual de NO₂ por encima de los límites legislados. Sin embargo, para el escenario WAM2030 estas superaciones desaparecían. Teniendo en cuenta los resultados a mesoescala, el siguiente paso es, considerando las mismas reducciones de emisiones de NO_x, cual es el impacto en las concentraciones de NO₂ dentro de las calles de los “hot spots” urbanos.

Modelización Multiescala. WA CFD-RANS

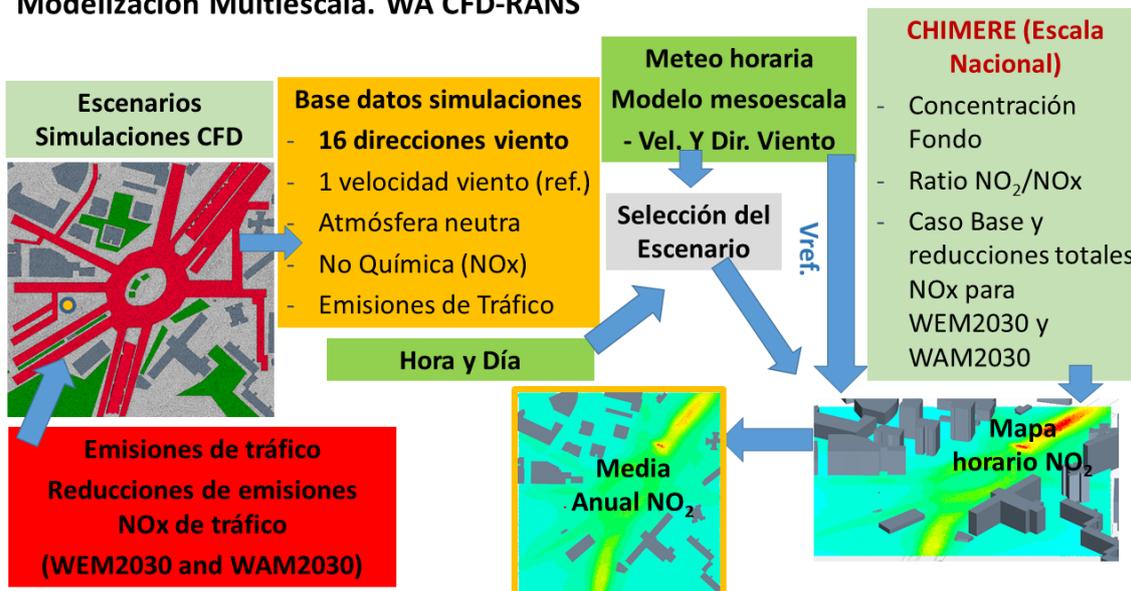


Figura 1. Esquema de la metodología empleada.

Para el estudio se han seleccionado 3 zonas de Madrid alrededor de estaciones de calidad del aire que habitualmente marcan concentraciones elevadas de NO₂, que en 2016 (año base) superaron el límite anual de NO₂. Las zonas son:

- **Plaza Elíptica:** Rotonda con mucho tráfico y una autovía que pasa por un túnel.
- **Escuelas Aguirre:** Junto al parque de El Retiro y con avenidas y calles con mucho tráfico alrededor.
- **Plaza del Carmen:** Zona peatonal junto a una avenida con mucho tráfico en 2016 (Gran Vía).

Se simuló la dispersión de NOx con un modelo CFD basado en las ecuaciones RANS con cierre turbulento k-ε para las 16 direcciones de viento en dominios computacionales de 1 km² aproximadamente en cada una de estas zonas con una resolución espacial de hasta 1 m (varios millones de celdas). Se tuvieron en cuenta las emisiones de tráfico en las calzadas considerando la intensidad media diaria de tráfico en cada calle y en los escenarios WEM2030 y WAM2030 se consideraron las reducciones de emisiones de tráfico (un 7 % y un 48 %, respectivamente). Se tomó como concentración de fondo la concentración proporcionada por CHIMERE (resolución espacial de 1 km²) de la celda donde se ubican las zonas de estudio a una altura igual a 1.5 veces la altura del edificio más alto.

Se evaluaron los resultados modelizados de la serie temporal de concentraciones de NO₂ en las estaciones de calidad del aire de cada zona. Los resultados indicaron que la modelización había sido apropiada. También hay que destacar que una metodología similar había sido exitosamente evaluada con campañas de muestreadores pasivos distribuidos por toda el área de estudio [2-3].

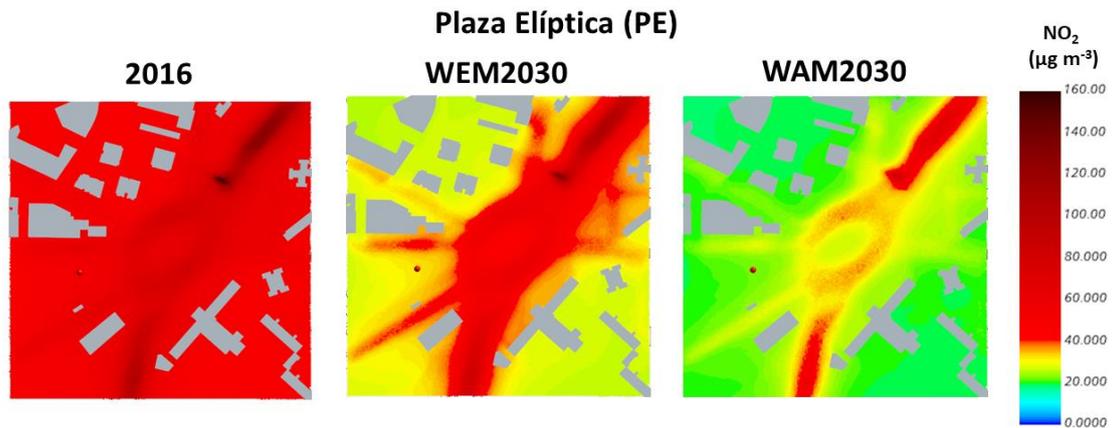


Figura 2. Concentración anual de NO₂ en Plaza Elíptica.

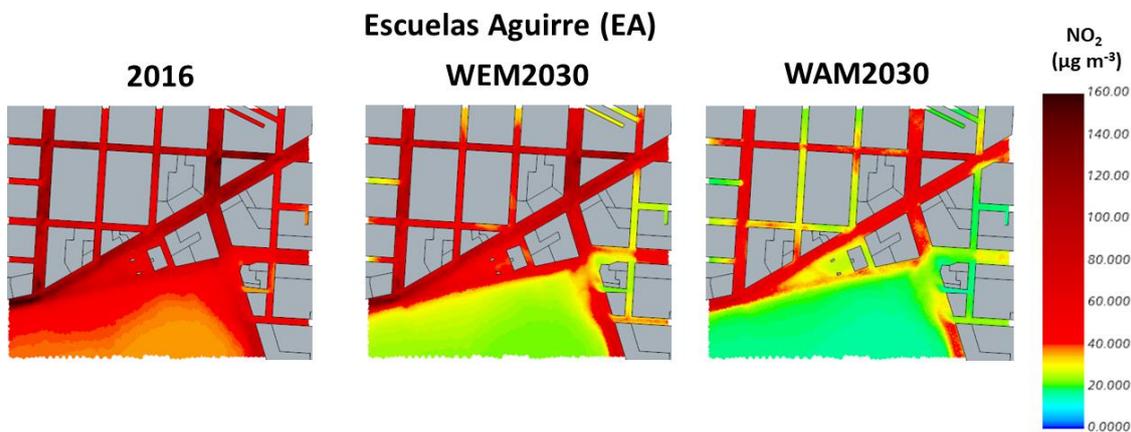


Figura 3. Concentración anual de NO₂ en Escuelas Aguirre.

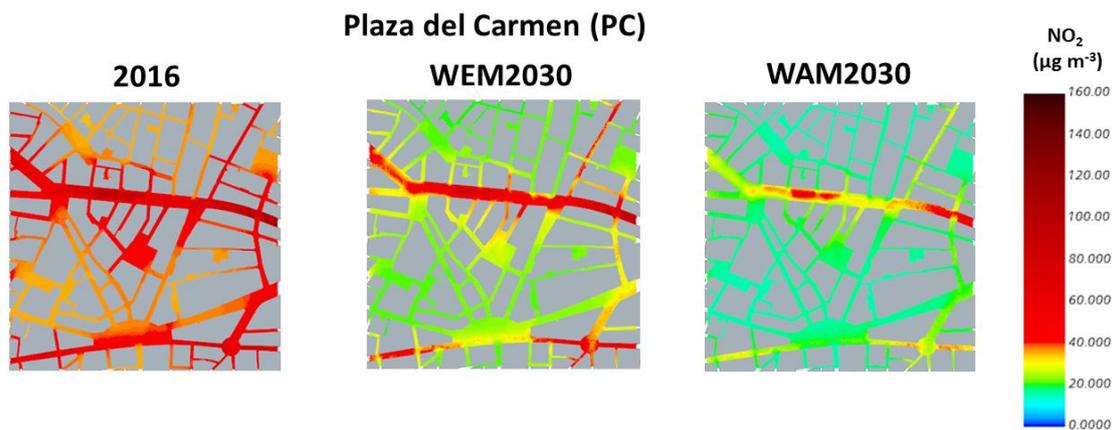


Figura 4. Concentración anual de NO₂ en Plaza del Carmen.

En las Figuras 2, 3 y 4 se muestran los mapas a alta resolución de la concentración promedio anual de NO₂. En ellas se observan importantes reducciones de concentración en los

escenarios de reducción de emisiones, en particular en el WAM2030. Para cuantificar estas reducciones se ha calculado el promedio espacial en un plano a 3 m (altura típica de la toma de muestras de las estaciones de calidad del aire) sobre todo el área de estudio, así como el porcentaje de área por encima de $40 \mu\text{g m}^{-3}$ (valor límite anual para el NO_2) respecto al área total de estudio ($A_{\text{over40}}/A_{\text{total}}$). Los valores se muestran en la Figura 5. Se observa que para el escenario WAM2030 el promedio espacial de la concentración anual de NO_2 de cada dominio es menor que el valor límite anual. Este hecho es coherente con lo obtenido en las simulaciones a mesoescala de CHIMERE a $10 \times 10 \text{ km}^2$. A escala regional de $10 \times 10 \text{ km}^2$ el modelo no indicaba superaciones del valor límite anual, que sí se observan ligeramente a 1 km^2 , y que quedan perfectamente identificadas con la aplicación del CFD.

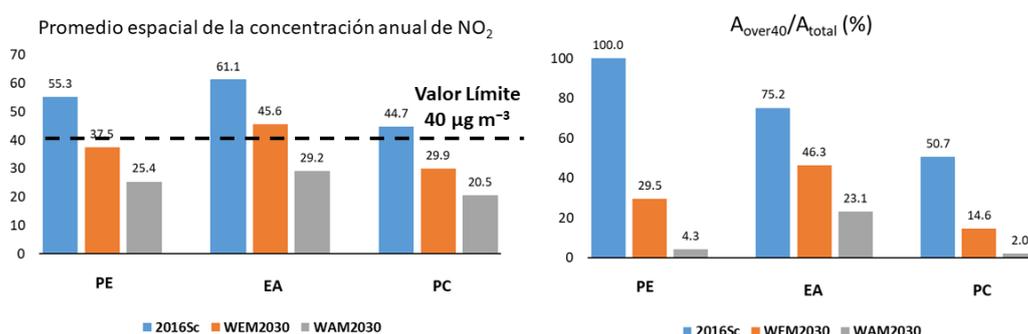


Figura 5. Promedio espacial de la concentración anual de NO_2 y porcentaje de área por encima del valor límite.

Estos resultados muestran la importancia de tener en cuenta la modelización a microescala. Aunque a mesoescala (resoluciones a 10 km^2) se estime que no habría superaciones de valor límite anual, puede haber zonas de superación a escalas mesoescalares menores (1 km^2) y, sobre todo, a microescala (resoluciones del orden de metros), donde estas superaciones quedan mejor definidas espacialmente. Esto puede ser muy importante, entre otras cosas, para calcular la exposición de la población a la contaminación atmosférica.

Evaluación del impacto sobre la calidad del aire en las calles de diferentes medidas (Zonas de Bajas Emisiones, Soluciones basadas en la Naturaleza y materiales fotocatalíticos)

La contaminación del aire es uno de los problemas medioambientales más importantes para la salud y se están explorando diferentes estrategias locales para mejorar la calidad del aire y reducir la exposición de la población. Entre estas estrategias se encuentran:

- Reducción de las emisiones, como por ejemplo las zonas de bajas emisiones (ZBE), áreas donde el tráfico está restringido.
- Soluciones basadas en la naturaleza (SbN). Las infraestructuras verdes son habitualmente empleadas para intentar reducir la concentración de contaminantes en aire y reducir la exposición de la población, aunque además proporcionan una serie de servicios ecosistémicos como la regulación microclimática, variación de la dispersión

de contaminantes, depósito de contaminantes, atenuación del ruido, etc. En concreto sus principales efectos sobre la calidad del aire son:

- Efectos aerodinámicos. Los árboles modifican el viento a su alrededor y por lo tanto en las calles. Esto puede originar en muchos casos una reducción de la ventilación de las calles.
- Efectos de depósito. Una parte de los contaminantes es eliminada del aire por medio del depósito en las hojas de los árboles.
- Emisiones biogénicas.
- Materiales fotocatalíticos para el NOx. Estos materiales son un sumidero de NOx en presencia de radiación solar, y suelen ser aplicados a aceras o paredes de edificios.

El objetivo de este estudio es la evaluación del impacto a nivel del peatón de diferentes medidas sobre las concentraciones de contaminantes relacionados con el tráfico en el mismo ambiente urbano, así como el impacto de la combinación de medidas para mejorar su efectividad.

Para este estudio se empleó una geometría simplificada consistente en una matriz de 7 x 7 edificios cúbicos con una altura de 35 m. En la zona central de 3 x 3 edificios es donde se aplican las diferentes medidas (Figura 6).

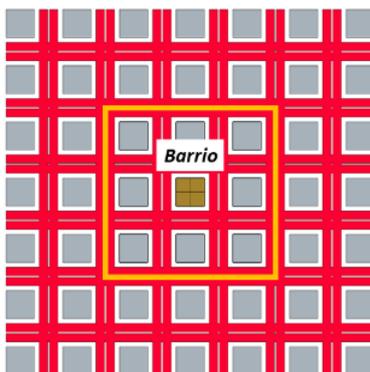


Figura 6. Geometría estudiada.

Respecto a las ZBE, 5 escenarios son simulados sin considerar y considerando diferentes desviaciones del tráfico (Figura 7 y Cuadro 1). Las emisiones son reducidas en las calles interiores del barrio (azul en Figura 7). Y en las calles que rodean a la ZBE las emisiones (morado en la figura 7) son incrementadas para algunos escenarios que consideren desviación del tráfico. Escenarios con dos diferentes reducciones de emisiones son consideradas en la ZBE (0.2 y 0.8 las emisiones del escenario BASE) y 3 emisiones en la zona alrededor de la ZBE son también consideradas (1, 1.2 y 1.8 las emisiones del escenario BASE).

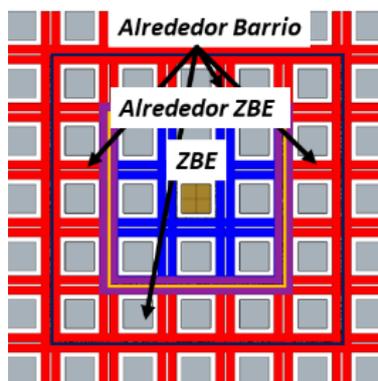


Figura 7. Esquema de la ZBE. En azul la ZBE, en morado la zona de alrededor de ZBE donde se aplica los incrementos de emisión por desvío de tráfico y el cuadrado negro la zona de alrededor del barrio (potencialmente afectada por el desvío del tráfico).

Cuadro 1. Escenarios de ZBE

Escenario	Emissiones en ZBE	Emissiones en Alrededor ZBE
ZBE_0.2+AlrededorZBE_1.0	0.2 * Emisiones BASE	1.0 * Emisiones BASE
ZBE_0.2+AlrededorZBE_1.2	0.2 * Emisiones BASE	1.2 * Emisiones BASE
ZBE_0.2+AlrededorZBE_1.8	0.2 * Emisiones BASE	1.8 * Emisiones BASE
ZBE_0.8+AlrededorZBE_1.0	0.8 * Emisiones BASE	1.0 * Emisiones BASE
ZBE_0.8+AlrededorZBE_1.2	0.8 * Emisiones BASE	1.2 * Emisiones BASE

Dos escenarios con materiales fotocatalíticos son simulados (Figura 8): Materiales fotocatalíticos implementados en las aceras, paredes y tejado del edificio central (**Photocat_GWR**) y solamente en las aceras (**Photocat_G**). Se consideró una velocidad de depósito de NOx de 0.05 m/s [6].

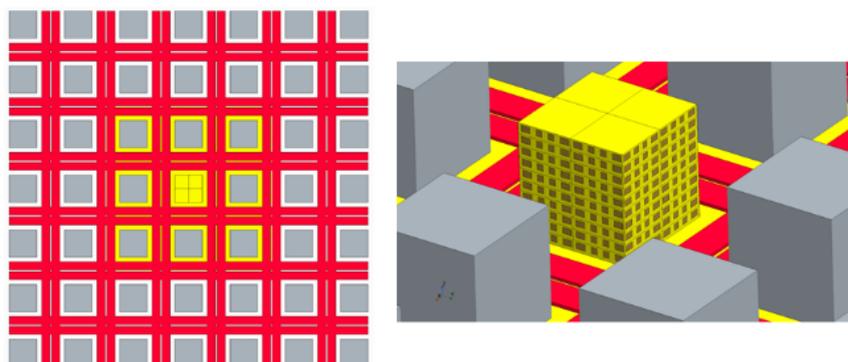


Figura 8. Esquema de los escenarios de los materiales fotocatalíticos. En amarillo la zona donde se implantaron.

Y en cuanto a los escenarios SbN, se consideran árboles de 15 m de altura, de tamaño de copa horizontal de 6 m y densidad de área de hojas (LAD) de $0.5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$ y setos de 2 m de alto, 1.5 m de ancho y una densidad de hojas de $5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$. Dos disposiciones de vegetación son simuladas (Figura 9):

- **VEG:** Árboles en las aceras y setos en la mediana.
- **VEG_TreesMedian:** Árboles en las aceras y árboles y setos en las medianas.

Y para cada una de ellas 3 velocidades de depósito son simuladas (0, 0.01 y 0.05 m/s). Un estudio más detallado fue realizado también en el marco de este proyecto en [7].

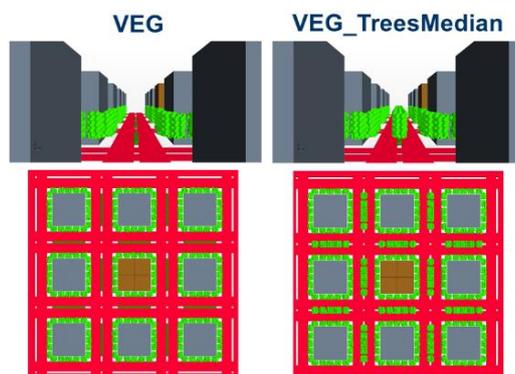


Figura 9. Esquema de los escenarios SbN.

Y, por último, se combinaron las estrategias de ZBE con las de SbN, es decir se aplicaron ambas medidas simultáneamente.

Se simularon todos estos escenarios más un escenario BASE con modelización CFD similar a la descrita en el apartado anterior para dos direcciones de viento 0° y 45° (vientos oeste y noroeste respectivamente). En este caso, solo se tienen en cuenta los contaminantes emitidos por el tráfico de la zona.

Para analizar los resultados, la concentración para cada escenario a nivel del peatón fue promediada espacialmente sobre diferentes zonas:

- **Barrio** (cuadrado naranja de la Figura 6)
- **Aceras.** Zona de aceras y pasos de peatones dentro del barrio.
- **Edificio.** Solo en las aceras alrededor del edificio central.
- **AlrededorBarrio.** Área que rodea al barrio (indicado en negro en la Figura 7).
- **Barrio+AlrededorBarrio.**

Sobre los efectos de las ZBE, se observa una elevada reducción de concentración especialmente en el centro del barrio para los escenarios ZBE_0.2. También, se obtiene como una fuerte desviación del tráfico alrededor del barrio podría incrementar la concentración en esa zona que incluso puede aumentar la concentración promedio en *Barrio+AlrededorBarrio*. Pero en general, se concluye que es una estrategia efectiva. En la Figura 10 se muestra por ejemplo las reducciones respecto al caso BASE para la dirección de viento de 0°.

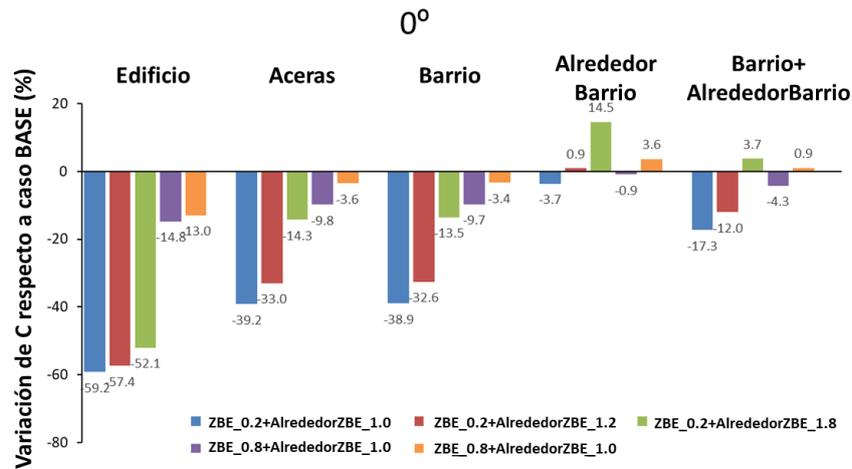


Figura 10. Reducciones en los escenarios de ZBE respecto al caso BASE de la concentración promediada espacialmente sobre diferentes áreas para la dirección de viento de 0°.

En los escenarios con materiales fotocatalíticos se han encontrado reducciones de concentración pequeñas, menores al 4 %, y principalmente concentradas cerca del edificio central. Por lo tanto, se ha concluido que no es una medida efectiva en el exterior.

Los efectos de las infraestructuras verdes sobre las concentraciones a nivel de peatón son bastante más complejos (Figura 11). Los árboles en las medianas debilitan la ventilación de la calle, especialmente para la dirección de viento de 0°, produciendo un incremento de las concentraciones cuando el depósito es bajo. Por otro lado, en este caso, los árboles en las aceras parecen actuar como barrera para los contaminantes emitidos fuera del barrio reduciendo así las concentraciones, especialmente para la dirección de viento de 45°. En cuanto a los setos, en esta configuración, no reducen la ventilación en la calle, pero sí aumentan la eliminación de contaminantes por depósito. Por tanto, se observa que no todas las SbN parecen ser efectivas para mejorar la calidad del aire, aunque seleccionando la disposición adecuada de los elementos (árboles, setos) pueden ayudar a reducir la exposición de la población a los contaminantes atmosféricos en las zonas urbanas. Más detalles se pueden encontrar en [7].

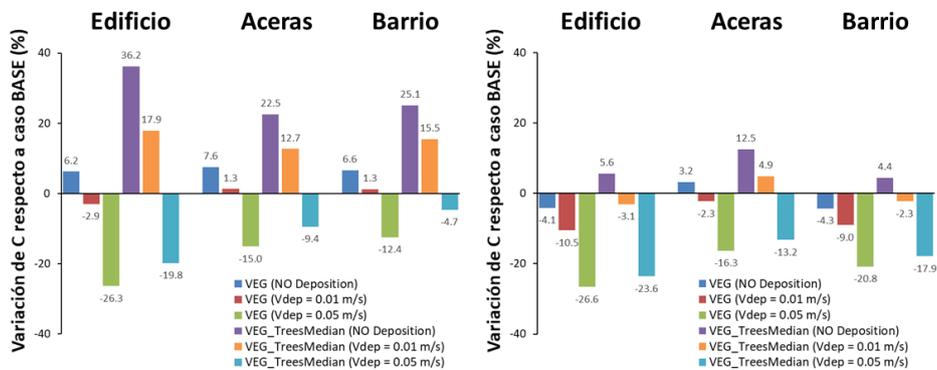


Figura 11. Reducciones en los escenarios de SbN respecto al caso BASE de la concentración promediada espacialmente sobre diferentes áreas para las direcciones de viento de 0° y 45°.

En los escenarios que combinan SbN y ZBE se observa que las reducciones de las concentraciones a nivel de peatón producidas por las ZBE son potenciadas, en general, por las SbN implantadas en el mismo barrio, sobretodo en condiciones de alto depósito. Aunque los efectos dependen de la configuración de la infraestructura verde. En general, las reducciones más importantes se producen alrededor del edificio central. Por ejemplo, en la Figura 12 se muestran los resultados para el escenario ZBE_0.2+AlrededorZBE_1.2+SbN. A la vista de estos resultados se concluye que, para esta configuración de edificios, la combinación de ZBE y SbN parece la medida más efectiva.

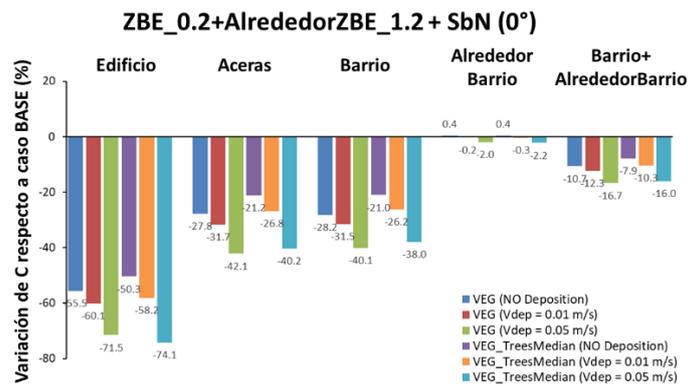


Figura 12. Reducciones en el escenario ZBE_0.2+AlrededorZBE_1.2+SbN respecto al caso BASE de la concentración promediada espacialmente sobre diferentes áreas para las direcciones de viento de 0°.

CONCLUSIONES

De los resultados del estudio del impacto que tienen las medidas de reducción de emisiones del Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica en la concentración de NO₂ a escala de calle en tres barrios de Madrid, se observa como el valor límite promedio anual de NO₂ podría ser superado en algunas áreas dentro de celdas de mesoescala en zonas urbanas, a pesar de que la concentración de NO₂ promediada espacialmente esté por debajo del valor límite. Esto ocurre por ejemplo en el escenario WAM2030. Por tanto, se puede concluir que es importante tener en cuenta la variabilidad de la concentración de NO₂ dentro de cada distrito para evaluar la calidad del aire y para estimar la exposición de la población.

En cuanto a la evaluación del impacto de diferentes medidas (ZBE, SbN y materiales fotocatalíticos) sobre la calidad del aire en las calles podemos concluir que las ZBE es la medida individual más efectiva, pero combinada con infraestructuras verdes puede ser todavía más efectiva. Además, la presencia de vegetación proporcionaría otros beneficios como una mejora del confort térmico. También hay que destacar que la efectividad depende de la disposición de los elementos de la vegetación de la SbN, de la intensidad de reducción de las emisiones en la ZBE y del posible aumento del tráfico alrededor de la ZBE.

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i Retos-AIRE (RTI2018-099138-B-I00), financiado por MCIN/ AEI/10.13039/501100011033/ y FEDER Una manera de hacer Europa.

También agradecemos a Tragsatec su colaboración en la estimación de la reducción de emisiones para las medidas del PNCCA y al Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico la provisión de información de estaciones de calidad del aire, provisión de reducciones de emisiones.

Este trabajo se ha llevado a cabo haciendo uso de la infraestructura de computación facilitada por el Centro Extremeño de Tecnologías Avanzadas (CETA-CIEMAT), financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). El CETA-CIEMAT pertenece al CIEMAT y al Gobierno de España.

En este trabajo se hace uso de los servicios que ofrece el Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) referentes a su modelo meteorológico y archivo de sus resultados. Agradecimientos también a la AEMET por la gestión de acceso a dicha información.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gamarra A.R., Lechón Y., Vivanco M.G., Garrido J.L., Martín F., Sánchez E., Theobald M., Gil V., Santiago J.L., 2021. Proyecto Retos-AIRE. Reducción de la contaminación atmosférica para el soporte de políticas medioambientales de mejora de la calidad del aire. Comunicación CONAMA2020.
- [2] Santiago JL, Borge R, Martin F, de la Paz D, Martilli A, Lumbreras J, 2017. Evaluation of a CFD based approach to estimate pollutant distribution within a real urban canopy by means of passive samplers. *Science of the Total Environment* 576, 46-58.
- [3] Sanchez B, Santiago JL, Martilli A, Martin F, Borge R, Quaassdorff C, de la Paz D, 2017. Modelling NOx concentration through CFD-RANS model in an urban hot-spot using high resolution traffic emissions and meteorology from a mesoscale model. *Atmospheric Environment* 163, 155-165.
- [4] Santiago JL, Sánchez B, Rivas E, Vivanco MG, Theobald MR, Garrido JL, Gil V, Rodríguez-Sánchez A, Martilli A, Buccolieri R, Martín F, 2022. High Spatial Resolution Assessment of the Effect of the Spanish National Air Pollution Control Programme on Street-Level NO2 Concentrations in Three Neighborhoods of Madrid (Spain) Using Mesoscale and CFD Modelling. *Atmosphere* 13(2), 248.
- [5] Vivanco MG, Garrido JL, Martín F, Theobald MR, Gil V, Santiago JL, Lechón Y, Gamarra AR, Sánchez E, Alberto A, Bailador A, 2021. Assessment of the Effects of the Spanish National Air Pollution Control Programme on Air Quality. *Atmosphere*, 12(2), 158.
- [6] Sanchez B, Santiago JL, Martilli A, Palacios M, Núñez L, Pujadas M, Fernández-Pampillón J, 2021. NOx depolluting performance of photocatalytic materials in an urban area - Part II: Assessment through Computational Fluid Dynamics simulations. *Atmospheric Environment* 246, 118091.

- [7] Santiago JL, Rivas E, Sanchez B, Buccolieri R, Esposito A, Martilli A, Vivanco MG, Martin F, 2022. Impact of Different Combinations of Green Infrastructure Elements on Traffic-Related Pollutant Concentrations in Urban Areas. *Forests*, 13(8), 1195