

# METEOROLOGÍA Y CALIDAD DEL AIRE URBANO: AVANCES EN SIMULACIONES A MICROESCALA

## *METEOROLOGY AND URBAN AIR QUALITY: ADVANCES IN MICROSCALE SIMULATIONS*

E. Rivas <sup>(1, 2)</sup>, J.L. Santiago <sup>(1)</sup>, B. Sanchez <sup>(1)</sup>, F. Martín <sup>(1)</sup>, A. Martilli <sup>(1)</sup>, M.G. Vivanco <sup>(1)</sup>,  
M. Theobald <sup>(1)</sup>, J. L. Garrido <sup>(1)</sup>, V. Gil <sup>(1)</sup>, C. Hernández <sup>(1)</sup>, A. Rodríguez <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Medioambiente, CIEMAT, Avenida Complutense 40, Madrid, España,  
[esther.rivas@externos.ciemat.es](mailto:esther.rivas@externos.ciemat.es)

<sup>(2)</sup> Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Doctorado, UPM, C/ Ramiro de Maeztu 7,  
Madrid, España

## **SUMMARY**

*This work presents an overview of microscale modelling studies in urban environments carried out by the Atmospheric Modelling Unit (UNIMA) from CIEMAT during recent years, which illustrates, on the one hand, the evolution of CFD modelling applied to atmospheric flows and, on the other hand, the connection that exists between meteorological variables at the microscale, such as wind speed and direction, turbulence or solar irradiance and urban air quality.*

Meteorología y Calidad de Aire son dos disciplinas interrelacionadas. Muchos fenómenos naturales que afectan a la calidad del aire, como los incendios forestales o las erupciones volcánicas, así como el resultado de emisiones antropogénicas de contaminantes, como los episodios de alta contaminación en las ciudades, se abordan en función de las condiciones meteorológicas en las que se circunscriben. En la interacción atmósfera-estructura urbana intervienen múltiples factores como la forma y disposición de los edificios, su antigüedad, usos y mantenimiento o la presencia de vegetación en parques, plazas, calles o edificios, lo que da lugar a patrones de flujos atmosféricos muy complejos a nivel local. Esto, unido al elevado número de fuentes contaminantes (es sabido que el tráfico es el principal responsable de los problemas de NO<sub>2</sub> en las ciudades), y a la variedad de reacciones químicas que experimentan muchos de estos contaminantes una vez emitidos a la atmósfera, da lugar a distribuciones espaciales con fuertes gradientes de concentración y gran variabilidad temporal. Por lo tanto, medidas puntuales como las estaciones de calidad del aire tienen una representatividad espacial reducida, y no son suficientes para capturar estas distribuciones de contaminantes.

Para cuantificar el alcance de la contaminación atmosférica a nivel local se utilizan modelos de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), que pueden complementarse con datos experimentales. Los modelos CFD resuelven numéricamente las ecuaciones de Navier Stokes que gobiernan la atmósfera urbana en celdas muy pequeñas (del orden del 1 m) bajo determinadas hipótesis físico-químicas, condiciones de contorno y de inicialización. Estas dos últimas, pueden obtenerse de otros modelos (meteorológicos, de transporte químico, de tráfico, de energética de edificios, etc.) o de medidas experimentales (estaciones de medidas, campañas, etc.).

En este trabajo, se presenta una panorámica breve de los estudios de modelización, a nivel de microescala, en entornos urbanos realizados por la Unidad de Modelización Atmosférica (UNIMA), del Departamento de Medioambiente del Ciemat, durante los últimos años y en el marco de diferentes proyectos, que ilustra, por un lado, la evolución que han experimentado los modelos CFD aplicados a la atmósfera urbana (los dominios computacionales cada vez son más extensos y la fenomenología más compleja) y, por otro, la conexión que existe entre variables meteorológicas a microescala como la velocidad y dirección del viento, la turbulencia, la irradiancia solar, etc., y la calidad del aire urbano.

En estos trabajos se simulan los flujos atmosféricos y la dispersión de los contaminantes emitidos por el tráfico para diferentes condiciones meteorológicas. Los resultados muestran la complejidad de dichos flujos observándose canalizaciones a lo largo de algunas calles cuando el viento sopla en determinadas direcciones (no siempre paralelas a las calles), Figura 1, lo que contribuye al transporte de los contaminantes atmosféricos de unas calles a otras, Figura 1, la formación de zonas de estancamiento alrededor de ciertos obstáculos urbanos donde los contaminantes se quedan atrapados, o la formación de vórtices dentro de las calles que impiden la correcta ventilación de las mismas. Todo ello puede originar zonas de alta contaminación que pueden ser muy persistentes. También el arbolado urbano, si bien contribuye a aumentar la eliminación de contaminantes por depósito sobre las hojas, puede afectar al transporte de los contaminantes atmosféricos. Aquí se muestra como éste puede tener

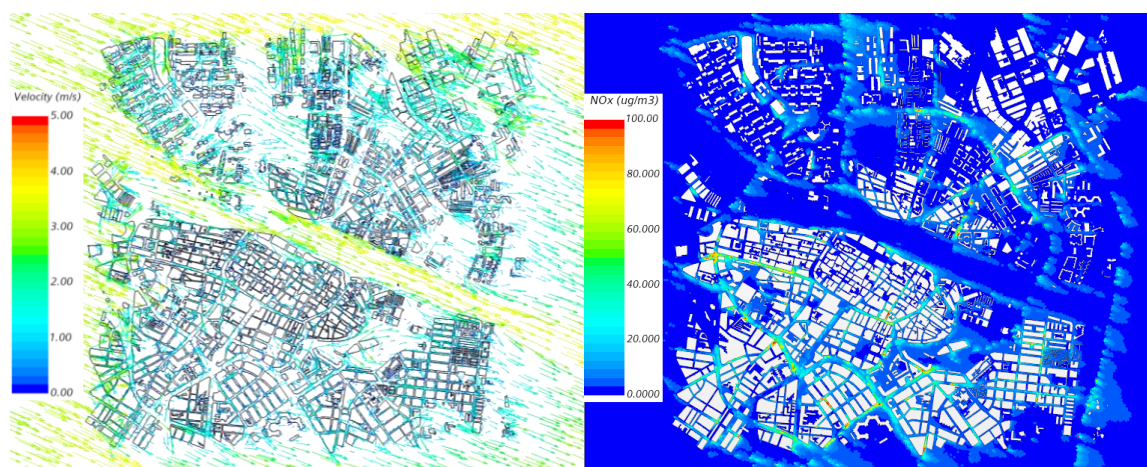
efectos contrapuestos en la calidad del aire que respiran los peatones en función de dónde se localice el tráfico. Si se dispone de una densa disposición de setos y árboles entre acera y calzada, formando una barrera casi continua, se podría proteger eficazmente a los peatones de la contaminación emitida en las calzadas por los vehículos. En cambio, la carencia de esa barrera entre acera y calzada, y manteniendo un dosel denso de árboles cubriendo la calle, dificultaría la ventilación y el transporte vertical de los contaminantes emitidos por los vehículos, haciendo que se acumulen en la calle sin llegar a compensar la eliminación de contaminantes por depósito sobre la superficie vegetal. No obstante, si no hubiera tráfico en las calles con vegetación, un dosel denso sería una protección para contaminación que pudiera venir de otras calles próximas transportado por encima de los edificios. Este tipo de estudios puede contribuir al dimensionado de nuevos espacios verdes, o a redimensionar los ya existentes, considerando la calidad del aire como un parámetro de diseño más.

Las reacciones químicas de los  $\text{NO}_x$ , por las que se genera y destruye  $\text{O}_3$  en la troposfera, modulan los mapas de concentración de  $\text{NO}_2$  dentro de las ciudades. Las simulaciones a microescala de la química atmosférica de los  $\text{NO}_x$  y el  $\text{O}_3$  también han sido objeto de investigación. Particularmente, se ha estudiado el impacto de medidas de mejora de la calidad del aire como el uso de pinturas y pavimentos fotocatalíticos (aquellos que en presencia de luz UV oxidan a nitratos los  $\text{NO}_x$ ) en las superficies urbanas, y se ha observado que su eficacia a microescala es prácticamente despreciable. En cambio, sí se ha observado que otras medidas, como la reducción de emisiones (se han estudiado diferentes escenarios de emisiones previstos denle el I Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica, I PNCCA), son efectivas en reducir los niveles de  $\text{NO}_2$ ; aunque, a pesar de disminuir la concentración promedio de los barrios estudiados por debajo del valor límite, se observan zonas en las que se seguirían produciéndose superaciones.

Además, los efectos térmicos, como el calentamiento y enfriamiento de las fachadas de los edificios y el suelo de las calles durante los ciclos diarios, desempeñan un papel fundamental en la dispersión de los contaminantes atmosféricos. Se ha observado que, en general, los efectos térmicos favorecen la ventilación de las calles, por lo que la dispersión de los contaminantes es más efectiva. No obstante, para direcciones de viento oblicuas a la calle, estos efectos pueden desplazar y deformar tanto los vórtices dentro de las calles como para que, en un mismo tramo, se tengan distribuciones de contaminantes muy dispares. También se ha observado que la adopción de medidas de mitigación del calor (así como de ahorro y eficiencia energética), como la aplicación de pinturas altamente reflectantes en las superficies (en este caso en los tejados), mejoran el confort térmico exterior y tienen un impacto moderado en la calidad del aire que respiran los peatones. Este efecto se debe a la formación de pequeñas inversiones térmicas a la altura de los tejados que dificultan la ventilación de las calles. Estos estudios permiten una visión global de las medidas de mitigación.

Finalmente, se muestra cómo las condiciones meteorológicas no sólo influyen en la calidad del aire exterior, sino también del interior. Se ha comprobado que la velocidad y dirección del viento son cruciales a la hora de ventilar una habitación, y cómo fuentes muy locales pueden contribuir significativamente al empeoramiento de la calidad del aire interior cuando la habitación se ventila de forma natural.

Estos ejemplos, además de evidenciar que la meteorología y la calidad del aire urbano van de la mano, cuantifican los impactos recíprocos en escenarios reales a muy alta resolución espacial, lo que demuestra el potencial de los modelos CFD desarrollados para evaluar y planificar la calidad del aire, tanto exterior como interior, en los entornos urbanos.



**Figura 1 – Canalizaciones del flujo atmosférico y transporte de contaminantes debidos al tráfico en la ciudad de Zaragoza cuando sopla el Cierzo.**