

Movilidad urbana y calidad del aire

Urban mobility and air quality

Xavier Querol¹, José Javier Ramasco², Mar Viana¹, Teresa Moreno^{1*}

¹ Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, IDAEA, CSIC, c/Jordi Girona 18-24, 08034 Barcelona

² Instituto de Física Interdisciplinar y Sistemas Complejos, IFISC, CSIC-UIB, Campus UIB, 07122 Palma

* Corresponding author: teresa.moreno@idaea.csic.es



Abstract

Air quality is a serious public health issue and therefore action must be taken. In the 28 European countries overall there are around 374,000 premature deaths annually attributable to the chronic and acute health effects of PM_{2.5}, 68,000 to NO₂ and 14,000 to O₃. Traffic is responsible for 60-70% of human exposure to NO₂ and 25-35% to PM_{2.5} in urban environments, so it is obvious that to improve air quality and lessen the health impact the number of circulating urban vehicles needs to be reduced. The characterisation of mobility in cities is fundamental for this, allowing us to bring together information on demography, location of services, spatial economy, geography, aspects of physics, mathematics, engineering and, in general, data science. The COVID-19 pandemic has revealed not only how healthier a city can be with less traffic contamination, but has also underlined the great value of data generated by personal electronic devices for the public management of an emergency and for future urban planning. Air quality improvement plans in cities not only seek to reduce annual premature deaths, but also to improve the quality of life with healthier and more pleasant cities to live in. It is important to achieve greater collaboration between cities, administrations and citizens, as well as to integrate the needs and challenges of air quality with those of mitigation and adaptation to climate change. Integrated approaches will constitute the roadmap that will lead to a better quality of life in cities.

Resumen

La calidad del aire es un tema de salud pública y por tanto se debe actuar en consecuencia. En la Europa de los 28 se producen 374000 muertes prematuras anuales atribuibles a PM_{2.5}, 68000 al NO₂ y 14000 al O₃. El tráfico es responsable del 60-70% de la exposición humana al NO₂ y del 25-35% al PM_{2.5} en entornos urbanos, es evidente por tanto que para mejorar la calidad del aire se ha de reducir el número de vehículos urbanos circulantes. La caracterización de la movilidad en ciudades es fundamental para ello, siendo necesario unir información sobre demografía, localización de servicios, economía espacial, una buena dosis de geografía y aspectos de física, matemáticas ingeniería y, en general, ciencia de datos para poder monitorizar la movilidad. La pandemia de COVID-19 ha puesto de manifiesto no solo como puede ser una ciudad más saludable, pero también la gran utilidad de los datos generados por dispositivos electrónicos personales para la

gestión pública de una emergencia y para la futura planificación urbana. Los planes de mejora de calidad del aire en las ciudades no solo persiguen reducir las muertes prematuras anuales, sino la mejora de la calidad de vida con ciudades más saludables y agradables de habitar. Es importante conseguir una mayor colaboración entre ciudades, administraciones y ciudadanía, así como integrar las necesidades y desafíos de calidad del aire con los de la mitigación y adaptación al cambio climático. Los enfoques integrados constituirán la hoja de ruta que conducirá a una mejor calidad de vida en las ciudades.

1. Los contaminantes críticos y el estado actual de la calidad del aire

Llamamos contaminantes críticos a aquellos que actualmente superan los umbrales legales de protección de la salud humana o los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS). La OMS [1] nos indica que el contaminante con mayor impacto sobre la salud es el PM₁₀ y PM_{2.5} (partículas en suspensión inferiores a 10 y 2,5 micras respectivamente), y por lo tanto estos son los más evaluados en todo el mundo en cuanto a impacto sobre la salud¹. En las regiones en vías de desarrollo además del PM, los metales, los contaminantes orgánicos persistentes, el dióxido de azufre (SO₂) y otros contaminantes como el benceno (C₆H₆), el dióxido de nitrógeno (NO₂) o el monóxido de carbono (CO) pueden presentar superaciones de los umbrales de protección. En las regiones desarrolladas, el NO₂, ozono troposférico (O₃) suelen ser los contaminantes críticos [2]. En ciudades de Europa se suele cumplir los niveles límite de PM_{2.5} de la legislación, sin embargo, más del 80% de la población urbana europea respira aire que supera el valor guía de protección a la salud humana de la OMS [2] (Figura 1). En el caso del NO₂ y O₃, muchas ciudades y regiones de Europa, incluidas las españolas, superan los valores límite y objetivo de la legislación. En la Europa de los 28, AEMA [2] informa que se producen 374000 muertes prematuras anuales atribuibles a PM_{2.5}, 68000 al NO₂ y 14000 al O₃. Por tanto, es evidente que son necesarias medidas para seguir reduciendo la contaminación del aire.

Hay un consenso generalizado en asumir que entre el 60 y 70% de la exposición humana al NO₂ en entornos urbanos se atribuyen a las emisiones del tráfico rodado, y de éstas el 90% a los motores diésel. Las emisiones de CO₂ (gas de efecto invernadero,

¹ PM es la abreviatura de particulate matter en inglés, material particulado en español.

que no contaminante urbano), de los motores diésel pueden ser un 20-30% inferiores a los de gasolina equivalentes, pero en cuestión de NOx, los EURO4 y EURO5 (vehículos de 2006 a 2015) en condiciones reales de circulación las emisiones de NOx pueden ser el 1200% superiores a los equivalentes gasolina [3]. En lo referente a PM2.5, Amato et al. [4] mostraron que la contribución del tráfico rodado a la media anual en ciudades del sur de Europa es del 25-35%. Aquí es necesario tener en cuenta otros

focos, como la industria, la agricultura/ganadería, emisiones domésticas, y puertos, entre otras; pero aun así la contribución mayor es la del tráfico rodado (tanto de tubos de escape como de desgaste de frenos, ruedas, pavimento y resuspensión de polvo de rodadura). Finalmente, el O₃ es un contaminante secundario, generado en la atmósfera a partir de NOx y de compuestos orgánicos volátiles (COVs), los dos con gran contribución del tráfico en zonas urbanas.

Pollutant	EU reference value (*)	Urban population exposure (%)	WHO AQG (*)	Exposure estimate (%)
PM ₁₀	Day (50)	13-19	Year (20)	42-52
PM _{2.5}	Year (25)	6-8	Year (10)	74-81
O ₃	8-hour (120)	12-29	8-hour (100)	95-98
NO ₂	Year (40)	7-8	Year (40)	7-8
BaP	Year (1)	17-20	Year (0.12) RL	83-90
SO ₂	Day (125)	< 1	Day (20)	21-31

Key	< 5 %	5-50 %	50-75 %	> 75 %

Figura 1. Porcentaje de población urbana en los EU-28 expuesta a concentraciones de contaminantes atmosféricos superiores a las concentraciones de referencia de la EU o la OMS (mínimo y máximo observados entre 2015 y 2017). Tomado de AEMA 2019 [2].

Figure 1. Percentage of the urban population in the EU-28 exposed to air pollutant concentrations above certain EU and WHO reference concentrations (minimum and maximum observed between 2015 and 2017). From AEMA 2019 [2].

2. Vehículos, contaminación y COVID19

En base a lo expuesto, es evidente que para mejorar la calidad del aire se ha de reducir el número de vehículos urbanos circulantes. El coche es uno de los mejores inventos del hombre pues nos permite, no solamente ahorrar tiempo, sino otras cosas tan importantes como, por ejemplo, en un fin de semana, visitar a nuestros amigos y familiares en zonas sin buen transporte público. Sin embargo, en entornos urbanos, su uso debe ser racional, especialmente en zonas con alta carga de contaminantes críticos.

El problema de calidad del aire urbano se produce de manera asociada a una alta densidad de población, la cual tiene ventajas de eficiencia energética, pero puede generar problemas de calidad del aire, ruido y reducción del espacio verde urbano, si no se toman medidas de restricción del uso de vehículos privados o de distribución urbana de mercancías. Las sociedades más avanzadas cultural y económicamente transforman las ciudades congestionadas por el tráfico en otras con una mayor calidad de vida; y para ello la reducción del número de vehículos circulantes está siendo una de las principales claves. Es también muy importante ver cómo éstas han resuelto o eliminado los posibles efectos sociales colaterales negativos.

Como hemos expuesto anteriormente, los vehículos emiten contaminantes gaseosos y partículas procedentes de la combustión en el motor. Estos se han venido reduciendo mucho (menos en algunos gases y bastante en las partículas) gracias a la legislación europea de emisiones. Pero además de estas emisiones, el desgaste de frenos (disco y pastilla), ruedas, superficie de rodadura, y las emisiones del asfalto son fuentes de contaminación atmosférica relevantes en entornos urbanos.

El confinamiento de la crisis COVID-19 nos ha

hecho meditar más de lo que solemos hacer, nos ha causado más ganas de pasear por nuestras calles, y nos ha hecho ver que el teletrabajo es posible y cómodo en muchos casos. Además, al salir a pasear hemos visto que nuestras ciudades sin tantos coches tienen menos ruido y contaminación; la calidad de vida en las ciudades con menos coches incrementa y favorece ir al trabajo andando o en bicicleta; y que la naturaleza parece infiltrarse más en la ciudad.

Obviamente la bajada de la circulación de vehículos en día laboral en un 80% durante el confinamiento total (30/03/2020 a 13/04/2020) hizo que la contaminación de NO₂ se redujera en 55-60% durante el mismo periodo de años anteriores en la mayor parte de las ciudades españolas. No obstante, en la flota de vehículos circulantes durante el confinamiento la proporción de furgonetas y camionetas de reparto (casi todos, diésel de bastante antigüedad, y por tanto muy contaminantes) incrementó mucho; de otro modo aún se hubieran reducido más los niveles de este contaminante. Los niveles de PM2.5 se redujeron mucho menos (desde incrementos a una reducción máxima del 35%). Como sabíamos también, para mejorar en este contaminante hay otras fuentes (citadas anteriormente) además de la del tráfico rodado sobre las que debemos actuar.

Así pues, el efecto del confinamiento durante la COVID-19 sobre algunos parámetros ambientales nos ha permitido entender mejor el efecto del tráfico rodado sobre los mismos, pero también hemos visto (en el confinamiento parcial) como puede ser una ciudad más saludable donde nos atraen más los modos de transporte activos (andar y bicicleta), que a su vez mejoran nuestra salud y la de la ciudad. Además, hemos visto que una elevada proporción de trabajos pueden hacerse remotamente sin desplazarnos, y que ello, y una flexibilización del horario de la jornada reduce las aglomeraciones en

el transporte público e incrementa su capacidad. No olvidemos además la electrificación del parque, muy necesaria y necesariamente simultánea a la transformación urbana. Sin embargo, no debemos pensar que la electrificación de la flota resolverá el problema. Es una pieza clave en políticas climáticas y de calidad del aire, pero esta está siendo muy lenta en nuestro país, y requiere además de una transición rápida a renovables para que sea efectiva ambientalmente. Además, la política de subvenciones debería focalizarse en vehículos con muchos kilómetros de circulación urbana (mercancías, taxis, etc.). El cambio de modalidad del vehículo privado a los transportes públicos y activos es más rápido y obtiene resultados en plazos de 4-5 años, que es la mira que debe tener un plan de calidad del aire.

3. Movilidad urbana y estructura de las ciudades

La caracterización de la movilidad en ciudades es fundamental para entender cómo se organizan en el espacio y es esencial para la investigación y la práctica de ingeniería civil, arquitectura y urbanismo. Hay que tener en cuenta que dicha movilidad es un producto de las infraestructuras, pero también de la distribución de la población, de sus necesidades, la distribución de los servicios, el uso del suelo, y, es generada de forma auto-organizada por la propia población. Explicar los patrones de movilidad supone un importante desafío para un vasto espectro de disciplinas, dando a lo que se ha dado en llamar la nueva "Ciencia de las ciudades" [5]. Para llegar a este objetivo es necesario contar con información sobre demografía, localización de los servicios, economía espacial, una buena dosis de geografía y aspectos de física, matemáticas ingeniería y, en general, ciencia de datos para poder monitorizar la movilidad. Tradicionalmente, la información que se obtiene sobre la movilidad de la población se obtiene mediante encuestas, se pregunta a las personas sobre sus viajes en un día "normal" y se asocian a sus datos sociodemográficos. Todo ello conlleva un proceso lento y costoso. Sin

embargo, la última década ha visto la proliferación de fuentes de información que se pueden tildar de no convencionales. Los dispositivos electrónicos que muchos de nosotros llevamos encima generan grandes cantidades de información geolocalizada en tiempo real según nos movemos por la ciudad. Dicha información genera una imagen de la movilidad urbana sin precedentes en cuanto a la resolución temporal y espacial. La colección pública de esta información ha resultado a veces polémica, como sucedió en otoño de 2020 con el censo de 2021 en el que la movilidad se ha obtenido de datos de telefonía móvil. Sin embargo, la pandemia de COVID-19 ha puesto de manifiesto la gran utilidad de estos datos para la gestión pública de una emergencia y ha mostrado hasta qué punto pueden ser cruciales para la futura planificación urbana. Tanto es así que el futuro pasa por juntar los datos con modelos computacionales que permitan comprobar *in silico* el impacto de las medidas antes de su implementación y mejorar de esa forma la eficiencia de la gestión de la política pública.

Antes de llegar a modelos complicados e implementaciones guiadas por datos, la caracterización directa de la movilidad permite estudiar y comprender mejor cómo se relaciona la configuración de las ciudades, la contaminación y la calidad de vida. Esta es una cuestión que ha estado en la mesa en el urbanismo por décadas y sobre la cuál los nuevos datos pueden ofrecer algo de luz. Esto es precisamente lo que hemos llevado a cabo en un artículo publicado en 2019 [7]. Los datos de movilidad en este caso se han obtenido de la aplicación "Location History" de Google y están formados por flujos de viajes entre zonas de un poco más de un kilómetro cuadrado en distintos lugares del planeta. El poder considerar distintas ciudades del mundo es importante porque nos permite realizar un análisis comparativo de sus indicadores de movilidad, transporte, calidad del aire y salud. Lo primero que se observa como se puede ver en la Figura 2 es que hay dos modelos de ciudades: aquellas cuya movilidad gravita en torno a un área central bien

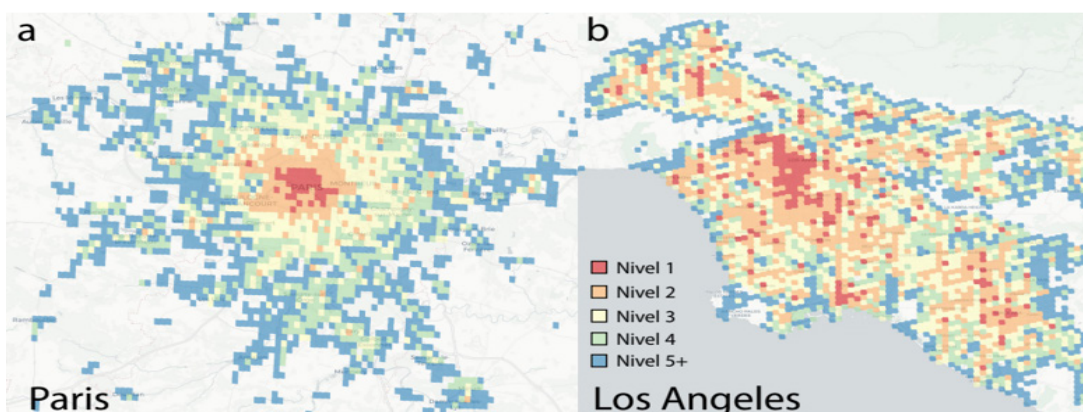


Figura 2. Clasificación de las zonas de las ciudades por movilidad: la escala va de rojo, más intensidad, a azul, menos. Las dos ciudades (París a la izquierda y Los Ángeles, a la derecha) son representativas de una ciudad compacta y otra extendida. La figura se ha recuperado de la Ref. [6].

Figure 2. Classification by mobility intensity of the different areas of a city: from red (most intense) to blue (weakest). The two cities (Paris, on the left, and Los Angeles, on the right) are representative of the two extremes: a compact and an extended urban area. The figure is recovered from [6].

definida y aquellas que están más extendidas en el espacio con muchos pequeños centros. Esta es una cuestión que se conoce bien en términos espaciales, pero no se entendía los efectos que tiene sobre la movilidad: en realidad se genera una jerarquía entre los centros de movilidad que es mucho más marcada en las ciudades compactas que en las extendidas. Esa jerarquía se puede medir directamente desde la movilidad y se puede modificar con políticas que cambien el transporte y el uso del suelo de las zonas. Hemos probado que la jerarquía en la movilidad se correlaciona con indicadores como la presencia y uso del transporte público, de cuánto la gente camina en la ciudad, indicadores de emisiones de gases contaminantes o de efecto invernadero per cápita e, incluso, en la accesibilidad a los hospitales y los marcadores de salud. En general, las ciudades jerárquicas ganan en todos estos indicadores con un punto débil: en caso de epidemias de enfermedades de contacto como la actual COVID-19, el hecho de que exista un centro claro favorece la mezcla de la población y se producen curvas epidémicas explosivas. En esas ciudades se necesita, pues, una monitorización reforzada de la propagación de enfermedades infecciosas. Por suerte, también se puede responder mejor a las medidas de contención mediante la implementación de la distancia social que aquellas zonas urbanas más extendidas [7].

4. Las medidas eficaces sobre el tráfico urbano/metropolitano

Los países y ciudades más avanzados en política ambiental han asumido social y políticamente que la calidad del aire no es un tema solamente de ecologismo, sino que lo es de salud pública en primer lugar; y por tanto se debe actuar en consecuencia. En el ámbito urbano/metropolitano, muchas de las medidas de mejora de la calidad del aire afectan al vehículo privado y la distribución de mercancías. Algunas sociedades son reacias a admitir cambios en su movilidad urbana, sean o no necesarios. También es verdad que en épocas de economía boyante el transporte público metropolitano no ha sido muy favorecido en cuanto a inversiones en infraestructuras en muchos de nuestros países. En el proyecto AIRUSE-Life+, financiado por la Comisión Europea, evaluamos la eficacia de estrategias para la mejora de calidad del aire urbano, y fue galardonado como el mejor proyecto 'Ciudades Verdes' de 2018 por la propia Comisión. Ello nos permitió proponer una estrategia de actuaciones sobre el tráfico rodado basado en 6 pilares resumido a continuación [8, 9] (Figura 3).

1. Los planes deben ser diseñados con un ámbito metropolitano (que puede incluir varias ciudades), pues la red de transporte y parkings disuasorios necesarios, así como los carriles bus-taxi o VAO asociados, deben cubrir dicho ámbito y no solo el municipal (una única ciudad).
2. Mejora del transporte público (principalmente metropolitano) y de la red de parkings disuasorios

y carriles bus interurbanos y carriles bici, asociados al mismo que facilite transferencias modales del vehículo privado al público, o al transporte activo (bicicletas en este caso).

3. Reducción del número de vehículos circulantes (existen muchos vehículos relativamente nuevos que son muy contaminantes en NO_x y eliminar los más antiguos no tienen gran efecto sobre reducción de NO₂ urbano), mediante peajes y restricción del parking público exterior (permitido solo a residentes). Milán y Estocolmo son ejemplos de ciudades con peaje o tasa urbana de congestión que han conseguido reducir un 30% el número de vehículos circulantes de manera permanente.
4. Zonas de bajas y ultra-bajas emisiones, que permitan convertir la flota de vehículos circulantes a otra más eco-eficiente. Para ello se suele etiquetar los vehículos y prohibir acceso a los más contaminantes (en PM y en NO_x), como Madrid Central o la ZBE de Barcelona. El objetivo es abarcar mucho territorio (unos 100 km² de media en ciudades europeas) y ser ambiciosos en el tipo de vehículo a afectar.
5. Transformación profunda de la logística de distribución urbana de mercancías (DUM) y taxis, además de conversión eco-eficiente de sus flotas, cuyos vehículos tienen un elevado km/día. Electrificar una furgoneta de reparto o un taxi que circulan 10 h/día tiene el efecto de electrificar 10 vehículos privados *en itinere*, que suelen circular 1-1.5 h/día. Se debe cambiar el objeto de las subvenciones al respecto. Actualmente una gran proporción de los vehículos eléctricos son adquiridos por familias de alto poder adquisitivo (que no necesitan probablemente subvención para adquirirlo) para utilizar el vehículo *en itinere*. La mayor parte de propietarios de vehículos DUM sí necesitan tales subvenciones para la electrificación o hibridación.
6. Transformación urbanística, la más importante pero muy lenta en su aplicación: alejar a los ciudadanos de los focos contaminantes, ganar espacio al tráfico rodado en pro de una reducción de contaminación y ruido, y mejora de la salud urbana.

Las medidas de mejora de calidad del aire no solo persiguen reducir las muertes prematuras anuales, sino, como hemos dicho, la mejora de la calidad de vida; conseguir ciudades más saludables y agradables de habitar; y conseguir que esos años que hemos ganado en esperanza de vida los disfrutemos más. Además, estas medidas se retro-alimentan. Cuando los ciudadanos vemos que mejoran nuestras ciudades, estamos dispuestos a asumir nuevos retos y desafíos para continuar con la mejora, a la vez que reafirmamos nuestra confianza en nuestros dirigentes y la estima a nuestra ciudad.

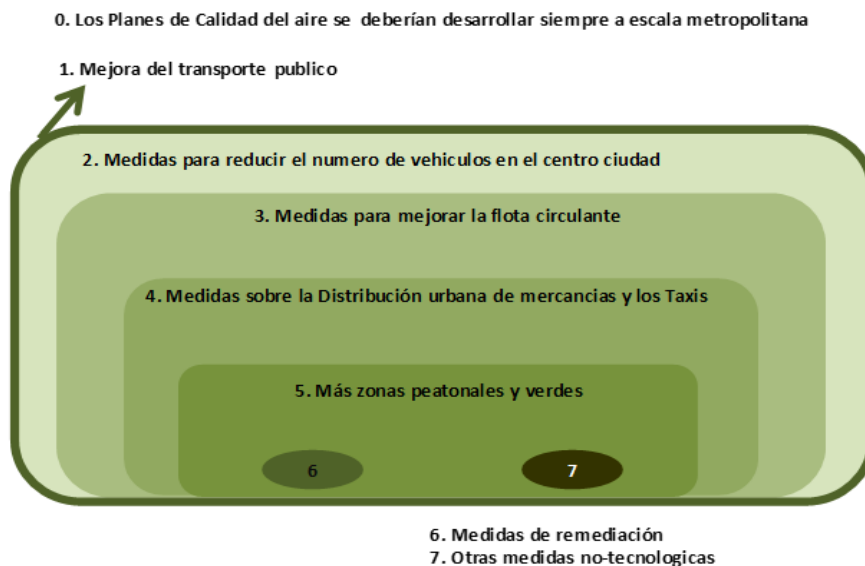


Figura 3. Medidas sobre las emisiones de tráfico para mejorar la calidad del aire urbano. (Elaboración X. Querol)

Figure 3. Measurements on traffic emissions to improve urban air quality.

5. La visión de las ciudades europeas

Las ciudades son, actualmente, motores de la mejora y gestión de la calidad del aire. Sin embargo, los responsables de las redes de calidad del aire urbanas deben lidiar con desafíos como la actualización constante del conocimiento técnico (por ejemplo, las emisiones de diferentes tipos de motores y combustibles), la falta de información sobre la efectividad de ciertas medidas de mitigación (por ejemplo, soluciones basadas en TiO_2) o la complejidad derivada de la implementación de normativas a distintos niveles (municipal, regional, nacional, europeo). Para obtener una visión global de esta problemática, la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) llevó a cabo una iniciativa en la que consultaron a los/as responsables de calidad del aire de 12 ciudades europeas (Amberes, Berlín, Dublín, Madrid, Malmö, Milán, París, Ploiesti, Plovdiv, Praga, Viena y Vilnius) acerca de las motivaciones y desafíos a los que se enfrentan [10, 11].

Según este estudio, algunas de las ciudades se planteaban ya en el año 2018 disminuir los niveles de contaminación por debajo de las directrices europeas, aspirando a alcanzar los valores recomendados por la OMS. Esta ambición se veía frustrada en algunas de las ciudades por la legislación regional y nacional, centrada únicamente en los valores límite de la UE, y también por la menor concienciación de la ciudadanía y el menor apoyo institucional para las políticas de calidad del aire.

Para los/las gestores en las ciudades, la mejora de la calidad del aire no se puede lograr solo con acciones en la escala urbana, sino que debe estar respaldada por acciones a escala regional. Contar con el apoyo de las administraciones a diferentes niveles, así como compartir las experiencias positivas y casos de éxito entre ciudades, contribuirá en gran medida a la mejora general de la calidad del aire urbano en toda Europa. Este tipo de colaboración es especialmente clave para identificar focos de contaminación

emergentes como el transporte fluvial, la quema de biomasa o la construcción/demolición. También debe reconocerse el papel de las ciudades como exportadores netos de contaminación atmosférica y reforzar la cooperación entre ciudades vecinas.

En gran medida, los/las responsables de calidad del aire de las ciudades consultadas coinciden en que los sistemas de gobernanza de la calidad del aire a escala urbana no siempre facilitan la colaboración entre las distintas administraciones y, por lo tanto, no permiten maximizar el potencial de las medidas (que a veces son incluso contradictorias). Especialmente, la subsidiariedad entre los niveles nacional, regional y local parece ser un problema con el que se encuentran a menudo las administraciones municipales, que querrían disfrutar de mayor autonomía en la gestión de la calidad del aire.

De cara al futuro se propone un enfoque sistémico: ya sea persiguiendo cambios de hábitos de la población con respecto a la movilidad urbana o evaluando el futuro de las zonas de bajas emisiones, el objetivo debe ser conseguir una mayor colaboración entre ciudades, administraciones y ciudadanía, así como integrar las necesidades y desafíos de calidad del aire con los de la mitigación y adaptación al cambio climático. Los enfoques integrados que involucren activamente a las administraciones y al público, que aborden los beneficios colaterales y se dirijan a fuentes contaminantes específicas, constituirán la hoja de ruta que conducirá a una mejor calidad de vida en las ciudades europeas.

6. Agradecimientos

Grupo Egar - Environmental Geochemistry and Atmospheric Research, IDAEA.

IFISC

PTI Mobility 2030 (<https://pti-mobility2030.csic.es/>)

7. Referencias

- [1] OMS, 2013. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP project: final technical report. Organizació Mundial de la Salut, Copenhagen, 309 pp. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1
- [2] AEMA, 2019. Air quality in Europe-2019 report. European Environmental Agency. Report No 10/2019, Luxemburg: Publications Office of the European Union, 99 p. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>
- [3] ICCT, 2018. ROAD TESTED: Comparative Overview of Real-World Versus Type-Approval NOx and CO2 Emissions from Diesel Cars in Europe. International Council for Clean Transport, 36 pp., Berlin, https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_RoadTested_201709.pdf
- [4] Amato F., Alastuey A., Karanasiou A., Lucarelli F., Nava S., Calzolari G., Severi M., Becagli S., Gianelle V.L., Colombi C., Alves C., Custódio D., Nunes T., Cerqueira M., Pio C., Eleftheriadis K., Diapouli E., Reche C., Minguillón M.C., Manousakas M.I., Maggos T., Vratolis S., Harrison R.M., Querol X. AIRUSE-LIFE+: A harmonized PM speciation and source apportionment in five southern European cities. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 3289-3309, doi:10.5194/acp-16-3289-2016, 2016.
- [5] Michael Batty. *The New Science of Cities* (MIT Press 2013). *Inventing Future Cities* (MIT Press 2018).
- [6] Bassolas A., Barbosa-Filho H, Dickinson B, Dotiwalla X, Eastham P, Gallotti R, Ghoshal G, Gipson B, Hazarie S A, Kautz H, Kucuktunc O, Lieber A, Sadilek A, Ramasco J J. Hierarchical organization of urban mobility and its connection with city livability. *Nature Communications* **10**, 4817 (2019).
- [7] Aguilar J, Bassolas A, Ghoshal G, Hazarie S A, Kirkley A, Mazzoli M, Meloni S, Mimar S, Nicosia V, Ramasco J J, Sadilek A. Impact of urban structure on COVID-19 spread, arXiv: 2007.15367(2020).
- [8] Querol X., 2018. Alcance y propuestas de actuación de los planes de mejora de la calidad del aire. En: *La calidad del aire en las ciudades. Un reto mundial* Fundación Naturgy. 147-164. <http://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/06/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>
- [9] AIRUSE-LIFE-AXA, 2018. Guía para mejorar la calidad del aire urbano. AIRUSE-LIFE-CE y Fundación AXA. 176 pp, <http://www.cleancities.net/es/>
- [10] EEA. (2018). Europe's urban air quality — re-assessing implementation challenges in cities.
- [11] Viana, M., Leeuw, F. de, Bartonova, A., Castell, N., Ozturk, E., y González Ortiz, A. (2020). Air quality mitigation in European cities: Status and challenges ahead. *Environment International*, 143, 105907. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105907>