
This is the **published version** of the master thesis:

Couto Trigo, Daniel; Wiktoria Maciejewska, Monika, dir.; Gómez-Varo, Irene, dir.; [et al.]. Análisis de la exposición a los contaminantes atmosféricos en el entorno residencial y en los desplazamientos entre los adultos mayores de Barcelona. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, 2021. 34 pag. (1475 Màster Universitari en Estudis Territorials i Planejament)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/261009>

under the terms of the  license

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA
Trabajo Final de Máster en Estudios Territoriales y Población
Curso académico 2020-2021
Septiembre 2021

**ANÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN A LOS CONTAMINANTES
ATMOSFÉRICOS EN EL ENTORNO RESIDENCIAL Y EN LOS
DESPLAZAMIENTOS ENTRE LOS ADULTOS MAYORES DE
BARCELONA**

Autor: Daniel Couto Trigo



Daniel Couto Trigo

Autor



Monika Wiktoria Maciejewska
Irene Gómez Varo

Tutoras

Jordi Nadal Tersa

Coordinador Máster

Índice

<i>1. Resumen.....</i>	<i>3</i>
<i>2. Introducción.....</i>	<i>5</i>
<i>3. Marco teórico</i>	<i>7</i>
3.1. Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud.....	7
3.2. La movilidad en las grandes ciudades: El caso de Barcelona	8
3.3. Variables explicativas de las diferentes exposiciones a la contaminación atmosférica.....	8
3.4. Medición de la exposición a la contaminación a través del espacio de actividad .	9
<i>4. Metodología.....</i>	<i>11</i>
4.1. Área de estudio	11
4.2. Datos de contaminación atmosférica y participantes	11
4.3. Medición de la exposición a la contaminación atmosférica	13
4.4. Análisis	14
<i>5. Resultados.....</i>	<i>16</i>
5.1. Variables explicativas a las diferentes exposiciones a la contaminación atmosférica.....	16
5.2. Diferencias obtenidas entre la exposición residencial y de desplazamiento	19
5.3. Promedios de exposición a los contaminantes y límites recomendados	21
<i>6. Discusión</i>	<i>23</i>
<i>7. Conclusiones.....</i>	<i>27</i>
<i>8. Referencias bibliográficas.....</i>	<i>28</i>

1. Resumen

El estudio tiene como objetivo conocer la exposición a tres contaminantes atmosféricos (NO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) a la que se enfrenta los adultos mayores de más de 65 años con residencia en la ciudad de Barcelona. Para conocer la exposición atmosférica de los participantes se utilizaron dos métodos: la exposición residencial a través de un buffer de 600 metros alrededor del hogar de residencia y la exposición en los desplazamientos a pie a partir de los espacios de actividad. Para ello, se obtuvieron los desplazamientos activos realizados por un total de 113 participantes durante 7 días, que resultaron de la utilización de GPS y acelerómetros. El análisis se realizó en función de las siguientes variables explicativas: según género y edad del participante, la morfología urbana, la renta media y la densidad poblacional de la zona en cuestión. Finalmente, los resultados demostraron como los índices de contaminación están por encima de los límites recomendados, con unas concentraciones superiores en el ensanche barcelonés y en zonas de alta renta y densidad poblacional. La importancia del uso de los espacios de actividad como medidor de la exposición ambiental de las personas, mostró como los adultos mayores están más expuestos a los contaminantes atmosféricos en sus desplazamientos que en las zonas de residencia.

The objective of the study was to analyse the exposure to three major atmospheric pollutants (NO₂, PM₁₀ and PM_{2.5}) to which elder people (>65 years old) living in the city of Barcelona are exposed. In order to evaluate the atmospheric exposition of the participants two methods were used: residential exposition through a 600 m buffer surrounding participant's houses and the exposure on pedestrian journeys through the activity spaces. For this purpose, a total of 113 active journeys were obtained over 7 days using GPS technology and accelerometers. The following explanatory variables were taken in consideration in this analysis: gender and age of the participant, urban morphology, average income and population density of the area in consideration. Finally, our results showed how the pollution indicators exceeds the recommended threshold, with higher concentrations in L'Eixample district of Barcelona and further high-income and high-density areas. The usage of activity spaces to measure environmental exposure to people, showed that older people are more exposed to atmospheric pollutants in their commutes than in their residency areas.

L'estudi té com a objectiu conèixer l'exposició a tres contaminants atmosfèrics (NO₂, PM₁₀ i PM_{2.5}) a la qual s'enfronta els adults majors de més de 65 anys amb residència a la ciutat de Barcelona. Per a conèixer l'exposició atmosfèrica dels participants es van utilitzar dos mètodes: l'exposició residencial a través d'un buffer de 600 metres al voltant de la llar de residència i l'exposició en els desplaçaments a peu a partir dels espais d'activitat. Per a això, es van obtenir els desplaçaments actius realitzats per un total de 113 participants durant 7 dies, que van resultar de la utilització de GPS i acceleròmetres. L'anàlisi es va realitzar en funció de les següents variables explicatives: segons gènere i edat del participant, la morfologia urbana, la renda mitjana i la densitat poblacional de la zona en qüestió. Finalment, els resultats van demostrar com els índexs de contaminació estan per sobre dels límits recomanats, amb unes concentracions superiors en l'exemple barceloní i en zones d'alta renda i densitat poblacional. La importància de l'ús dels espais d'activitat com a mesurador de l'exposició ambiental de les persones, va mostrar com els adults majors estan més exposats als contaminants atmosfèrics en els seus desplaçaments que en les zones de residència.

2. Introducción

La concentración de población en centros urbanos se constituye como una importante fuente de contaminación por la gran demanda en infraestructuras como la de transporte (Maldonado, 2009). Según previsiones de la Organización de Naciones Unidas (ONU, 2018) la población urbana continuará creciendo al menos hasta el año 2050, cuando más de la mitad de la población mundial vive ya en zonas urbanas. Esto explica que el 92% de la población mundial resida en zonas de altas emisiones contaminantes (World Health Organization, 2018) teniendo como principal fuente el uso del vehículo privado (Künzli et al., 2000). En España, ciudades como Madrid o Barcelona todavía incumplen con los límites establecidos, por lo que la reducción de la contaminación atmosférica forma parte de los principales problemas a los que se enfrentan los espacios urbanos, tanto por la contribución al cambio climático como por los efectos sobre la salud humana (Kihal-Talantikite et al., 2019; Useros, 2013).

Además, el cambio demográfico hacia una población más envejecida provoca que la contaminación atmosférica presente en las ciudades repercute en mayor medida sobre la salud de las personas mayores (Hirsch et al., 2014). Se hace imprescindible identificar aquellos grupos de población vulnerables a los efectos de la contaminación (Kihal-Talantikite et al., 2019). Uno de ellos son los adultos mayores, en donde la movilidad activa es esencial por sus beneficios en la salud física y mental, pero que puede verse afectada por factores externos como la contaminación (Colom et al., 2021). Por tanto, la investigación sobre la exposición a las sustancias contaminantes tiene gran relevancia para el desarrollo de ciudades amables para este grupo de edad (OMS, 2015).

Así, el objetivo principal de este trabajo consiste en medir la exposición a la contaminación atmosférica por parte de los adultos mayores. Para llevar a cabo esta tarea es de utilidad el uso de los espacios de actividad, encargados de mostrar los lugares por donde se desplazan las personas durante su cotidianidad (Sherman et al., 2005) y utilizados por su validez en múltiples disciplinas como la salud, o en la planificación urbana y transportes (Patterson & Farber, 2015). Asimismo, las nuevas tecnologías de seguimiento de personas, como los GPS, son de gran provecho para superar la medición de la exposición estática basada en la zona residencial, permitiendo medir los

desplazamientos reales de la población a través de los espacios de actividad (Kwan, 2012; Vich et al., 2017). Por ello, la investigación calcula la exposición a la contaminación atmosférica en adultos mayores utilizando dos métodos: los espacios de actividad y los buffers residenciales. La estructura del trabajo es la siguiente: primero, el marco teórico trata sobre las principales causas y consecuencias de la contaminación atmosférica, las variables que inciden como diferenciadoras de la exposición a la contaminación, y los beneficios de utilizar los espacios de actividad para medir la exposición de las personas. La parte central del trabajo incluye la metodología aplicada, los resultados y la discusión de estos. Y, por último, se incluyen las principales conclusiones del estudio y la bibliografía utilizada.

3. Marco teórico

La movilidad del adulto mayor se caracteriza por una reducción de la capacidad física como consecuencia del proceso de envejecimiento, que de forma general reduce las posibilidades de caminar, implicando una caída del número de desplazamientos y, en casos más graves, la completa inmovilidad de la persona. Asimismo, es un grupo de población que suele pasar más tiempo en sus vecindarios o entornos inmediatos en comparación con los más jóvenes (Humphrey, 2005) en donde las actividades cotidianas suelen realizarse próximas al lugar de residencia por lo que los desplazamientos los hacen principalmente a pie (Pérez et al., 2017). Otros factores limitantes pueden ser la mala transitabilidad e inseguridad de las calles, la mala situación ambiental o la no disposición de servicios cercanos a la residencia como tiendas o transporte público (Barnett et al., 2017; Delclòs-Alió, Marquet, et al., 2020). Por ello, resulta importante estudiar las características del espacio público, como las ambientales, que puedan limitar la movilidad en los adultos mayores.

3.1. Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud

Desde el punto de vista antropocéntrico, la contaminación atmosférica es aquella en donde los contaminantes originados por la actividad humana o de forma natural inciden negativamente en la salud y el bienestar de la población (Morales, 2006; OYARZÚN G, 2010). Un estudio muestra que la exposición a los contaminantes atmosféricos en el mundo producen la muerte de más de 3 millones de personas al año (Fageda & Flores-Fillol, 2018). Sin embargo, para la Organización Mundial de Salud (OMS) esa cifra es superior, estimando que cerca de 7 millones de personas mueren en el mundo por la contaminación atmosférica. Es así que los estudios son rotundos en los efectos sobre la salud de una exposición prolongada a los contaminantes atmosféricos, indicando una relación positiva entre la exposición a los contaminantes atmosféricos y el incremento del índice de ingresos hospitalarios por la aparición de enfermedades (Hvidtfeldt et al., 2019; World Health Organization, 2018). Estas últimas, ampliamente estudiadas, afectan sobre todo al sistema respiratorio, como pulmones y bronquios, y a sistemas cardiovasculares y circulatorios (OYARZÚN G, 2010; Rivas et al., 2014). Aunque, otros estudios indican también una incidencia de la contaminación sobre el desarrollo del sistema nervioso

infantil y en la creación de discapacidades cognitivas en niños y ancianos (Guxens & Sunyer, 2012; Rivas et al., 2014).

3.2. La movilidad en las grandes ciudades: El caso de Barcelona

El diseño de la ciudad contemporánea prioriza el uso del vehículo privado sobre el resto de los modos de transporte, subordinando al peatón a estrechas aceras en donde "los tramos y barrios de la ciudad han sido organizados a partir del trazado de red viaria básica para la movilidad en vehículo privado" (Brau, 2018). Esto ha provocado que gran parte del espacio público de las ciudades esté dedicado actualmente a infraestructura para el uso del vehículo privado (Cebollada et al., 2020) siendo el desplazamiento en este tipo de vehículo uno de los principales problemas a los que se deben enfrentar las ciudades (Rueda, 2017). Asimismo, los contaminantes con mayor presencia, es decir, NO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}, son los gases y partículas expulsados a la atmósfera por el rodaje de los vehículos a motor, por lo cual, el tráfico se considera como la principal fuente de contaminación atmosférica en las ciudades (Querol et al., 2001). La partícula PM_{2.5} es la considerada de mayor peligrosidad debido a su alta composición en elementos tóxicos, su capacidad para estar suspendida en el aire y su alta penetración en vías respiratorias (Hu et al., 2020). Sin embargo, cualquiera de las tres partículas suponen un peligro para la salud, por lo que la mejora de la calidad del aire es uno de los principales retos a conseguir (Baró et al., 2014).

La ciudad de Barcelona no es ajena a lo anterior, y figura como una de las ciudades más contaminadas de Europa, en la cual se superan los límites de media anual recomendados por la OMS debido al tráfico intenso (Künzli, 2007; Querol et al., 2001). Tanto es así, que la ciudad cuenta con la mayor densidad de vehículos matriculados con 5.700 coches por metro cuadrado, en donde gran parte del parque automovilístico es antiguo y de diésel, lo que implica una mayor emisión de gases contaminantes (Fageda & Flores-Fillol, 2018).

3.3. Variables explicativas de las diferentes exposiciones a la contaminación atmosférica

Una vez visto lo anterior parece interesante ver si la exposición de la población a la contaminación difiere según variables como el género, la edad, la morfología urbana, la renta o la densidad poblacional. La mayor parte de la bibliografía encontrada sobre la exposición atmosférica está centrada sobre todo en como afecta a la salud de las personas. En los casos de género y edad, la bibliografía tan solo muestra diferencias en como afecta la contaminación entre ellos, es decir, la susceptibilidad (Forastiere et al., 2008). Para estas variables se han encontrado pocas afirmaciones de si existen diferencias en la exposición entre, por ejemplo, hombres y mujeres o entre diferentes grupos de edad. El único estudio encontrado en una de estas variables confirma que la exposición es mayor entre los grupos poblacionales de menor y mayor edad en comparación con el resto de edades (Turner et al., 2017). Por el contrario, para la morfología urbana, la renta y la densidad poblacional, sí existen estudios que confirman diferencias entre ellas en cuanto a exposición atmosférica. En el caso de las diferencias en cuanto a morfología urbana, hay autores que confirman que algunas características de las calles, como la estrechez o la falta de zonas verdes, provocan mayores concentraciones de contaminación en las mismas (Rivas et al., 2014). La renta, por su parte, aparece en varios estudios como una variable explicativa de las diferentes exposiciones entre zonas de diferente renta. Sin embargo, en unos artículos, la exposición a la contaminación es superior en los de renta alta (Giulia Cesaroni et al., 2010) y en otros, en los de renta baja, sobre todo en estudios estadounidenses (Temam et al., 2017). En el caso de la densidad, la mayor parte de la bibliografía indica que la exposición a la contaminación atmosférica es mayor en aquellas zonas en las que la densidad poblacional es alta (Künzli et al., 2000; Ostro et al., 2011) en comparación con las zonas de baja densidad.

3.4. Medición de la exposición a la contaminación a través del espacio de actividad

Uno de los conceptos clave para estudiar la exposición ambiental de los individuos es el de *espacio de actividad* (Perchoux et al., 2013; Zenk et al., 2011). Este se define como aquellos lugares con los que las personas tienen contacto directo por la realización de las actividades cotidianas, y que tiene gran capacidad para plasmar el estilo y calidad de vida de los ciudadanos (Gong et al., 2020; Hasanzadeh et al., 2021; Patterson & Farber, 2015; Sherman et al., 2005). La literatura muestra la necesidad de ir más allá del barrio o zona censal de residencia, de manera que los espacios de actividad son una alternativa para

hacer un seguimiento de los desplazamientos que realiza la población en sus actividades diarias y evitar ignorar la exposición a otros lugares visitados fuera del barrio, es decir, el contexto geográfico incierto (Kwan, 2012; Zenk et al., 2012). Con la aparición de las nuevas tecnologías y la combinación de datos geoespaciales como el GPS y los SIG, las mediciones de los espacios de actividad son ahora objetivas y de gran precisión, lo que permiten identificar las variables que inciden del entorno construido y la forma en que se desplaza la ciudadanía, es decir, sus patrones de movilidad (Oliver et al., 2010; Vich et al., 2017). Así, en los estudios sobre exposición medioambiental, proporciona un estudio más completo y preciso, más allá del barrio donde se reside, y con la exposición real a la contaminación a la que se enfrentan los individuos (Zenk et al., 2011).

En definitiva, el presente trabajo sirve para aprovechar y utilizar tanto los espacios de actividad como los buffers residenciales para medir la exposición de los participantes a los contaminantes atmosféricos NO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}. Esto permitirá ver y comparar si existen diferencias significativas entre la exposición residencial y de desplazamiento, además de verificar si realmente es importante utilizar los espacios de actividad para mostrar la exposición real de la población. El estudio también introduce las variables de género, edad, morfología urbana, renta y densidad para ver cuales de ellas explican las diferencias en la exposición a los contaminantes en mayores de 65 años con residencia en la ciudad de Barcelona.

4. Metodología

4.1. Área de estudio

El estudio se ha realizado en la ciudad de Barcelona, con una población de 1.664.182 habitantes en 2020, una superficie de 101,35 km² y una densidad de 16.420 habitantes/km² (IDESCAT, 2021). Su condición de segunda ciudad de España por población y de referencia para un área metropolitana altamente poblada puede explicar que tenga una de las mayores densidades de tráfico en Europa, así como de contaminación y ruido (Nieuwenhuijsen, 2020). Aunque el tráfico supone ser la principal fuente de contaminación al aire, otros factores como el puerto y el aeropuerto pueden repercutir en la calidad de aire de la ciudad por sus altas actividades diarias (Künzli, 2007).

4.2. Datos de contaminación atmosférica y participantes

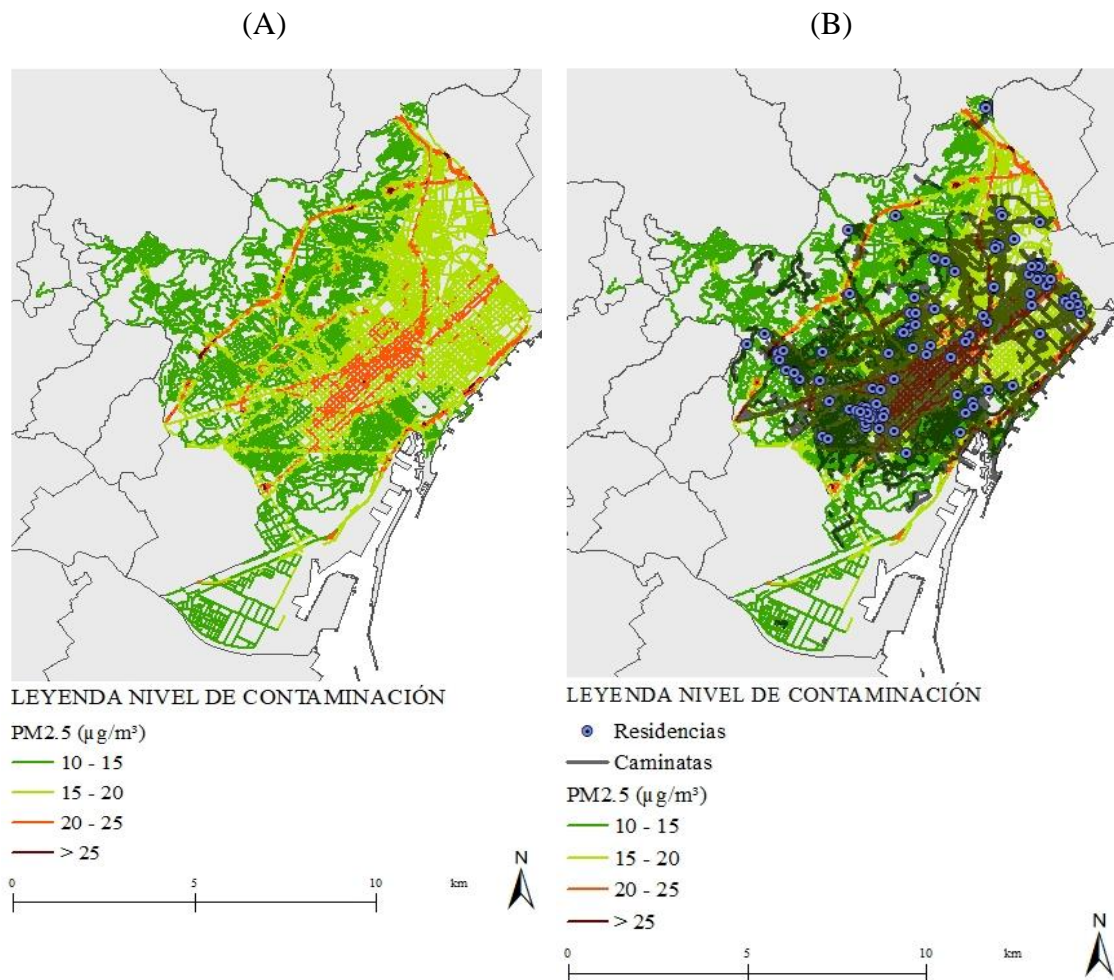
Para incluir la información referente a la contaminación atmosférica de la ciudad de Barcelona recurrimos a un servicio de datos abiertos proporcionado por el ayuntamiento, en el cual exportamos los mapas de contaminación atmosférica (Open Data BCN, 2021). Estos mapas muestran los niveles de contaminación por tramo de calle expresado en µg/m³ para el año 2019, representando cada uno de ellos los contaminantes presentes en el término municipal barcelonés (NO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) (fig.1a).

Por otra parte, los adultos mayores de más de 65 años y con residencia en el Área Metropolitana de Barcelona fueron extraídos del proyecto "City, quality of life and active mobility in the elderly. A multi-methodological analysis through Tracking Living Labs" (RecerCaixa 2016, Call for Research Projects). Un proyecto cuyo objetivo consistió "en explorar la relación entre el entorno construido, la movilidad activa y los patrones de actividad física de la población mayor en un contexto mediterráneo" (Vich et al., 2021). Así, un total de 227 participantes voluntarios fueron seguidos durante 7 días a través de GPS y acelerómetros con el objetivo de registrar los lugares visitados y sus patrones de actividad (Marquet et al., 2020).

Del total de participantes incluidos en el proyecto, en este estudio se seleccionaron solo aquellos que cumpliesen la condición de residir dentro de los límites municipales de la

ciudad de Barcelona y, además, que hubiesen realizado sus desplazamientos de forma activa, es decir, a pie. Estas dos condiciones arrojaron un total de 113 personas adultas mayores sobre las cuales medimos y analizamos la exposición a los contaminantes atmosféricos. El proyecto también incluía información de carácter sociodemográfico y socioeconómico, como la edad y el género de los participantes o la renta y la densidad poblacional, las cuales utilizamos como variables en el análisis de la exposición. Otra información utilizada ha sido también la ubicación exacta de la residencia de los participantes, asociada con el tipo de morfología urbana en la que sitúa cada una de ellas (fig.1b).

Figura 1. Mapa de contaminación atmosférica (A) con residencias y caminatas de los participantes (B) para la partícula PM2.5.

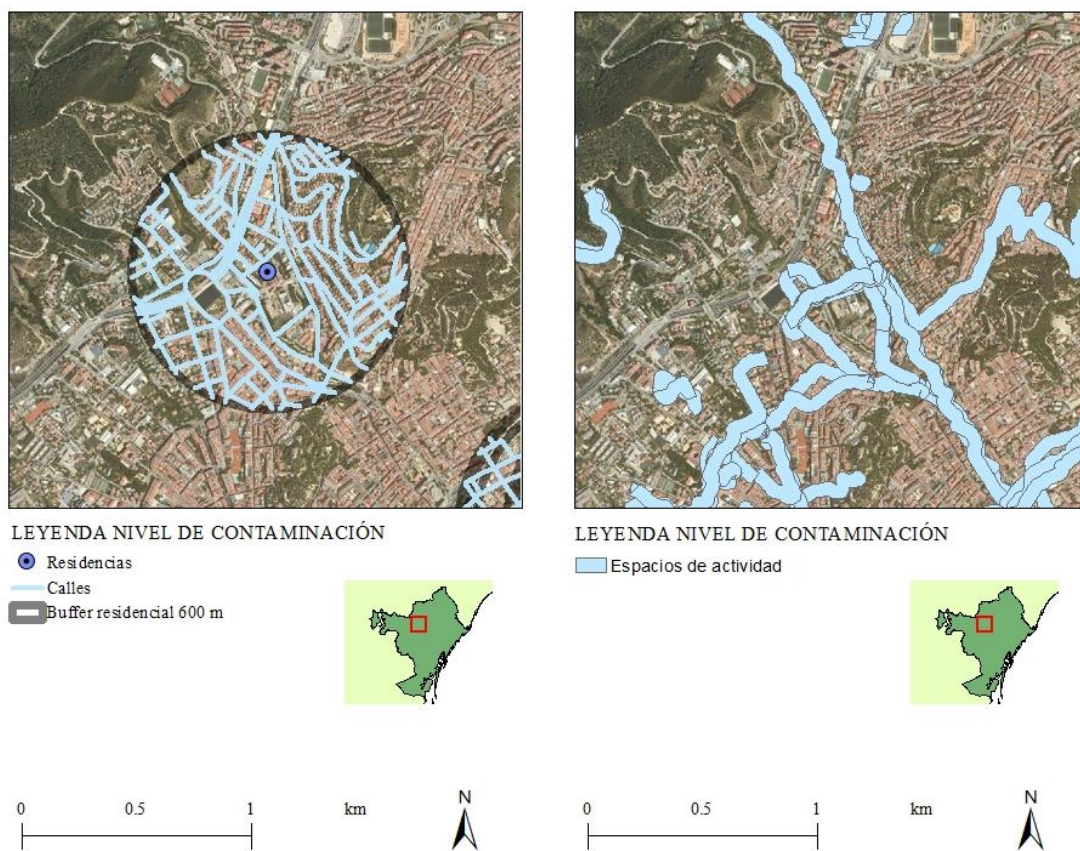


Nota. Fuente: Elaboración propia.

4.3. Medición de la exposición a la contaminación atmosférica

Para medir las diferencias en la exposición a la contaminación de NO₂, PM₁₀ y PM_{2.5} se aplicaron dos métodos diferentes. En primer lugar, la medición de la exposición basada en el lugar de residencia, a través de un buffer de 600 metros alrededor del lugar de residencia de los participantes, es decir, la exposición residencial (fig.2a). Y, en segundo lugar, la medición de la exposición en los espacios de actividad de cada uno de los participantes, siendo esta la exposición en los desplazamientos a pie (fig.2b).

Figura 2. Ejemplo del buffer residencial (A) y de los espacios de actividad (B).

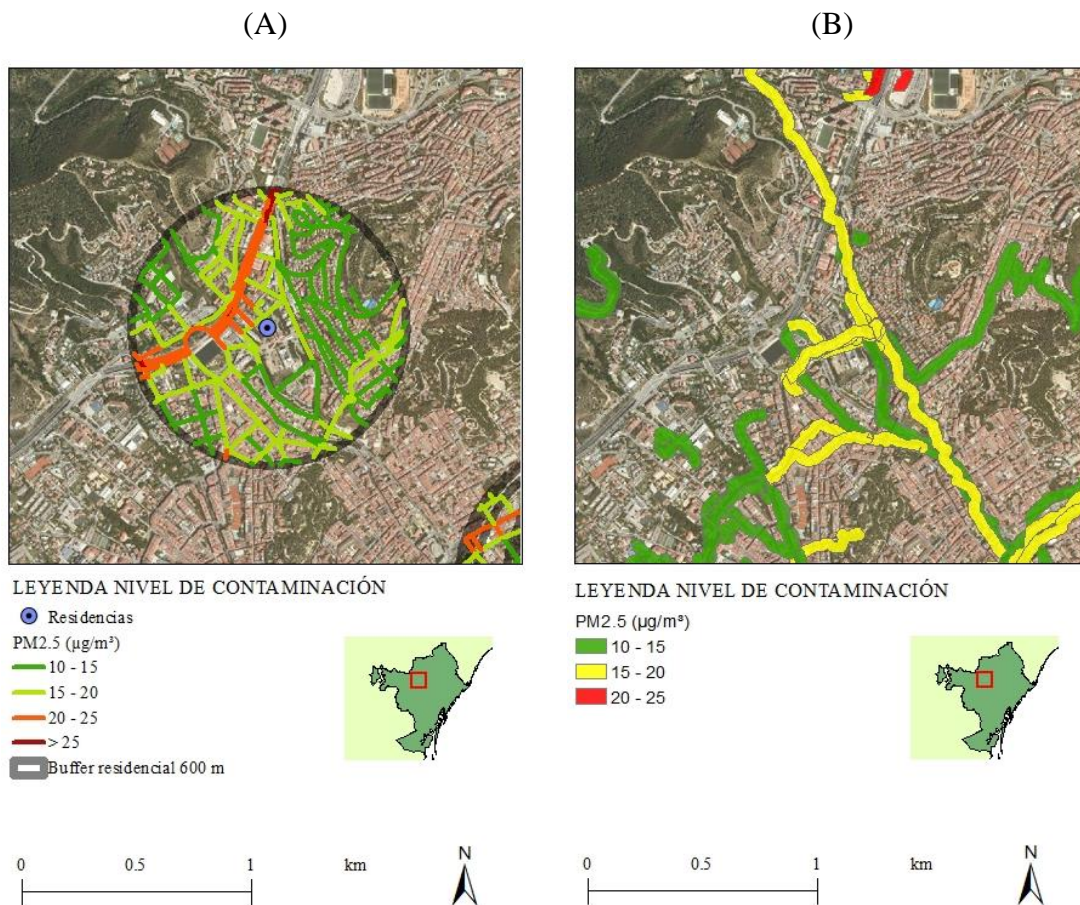


Nota. Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, observamos las diferencias entre los promedios de exposición de las zonas residenciales y los obtenidos en los desplazamientos peatonales para cada uno de los contaminantes atmosféricos estudiados. Para ello, utilizamos el programa informático ArcGIS, en el cual creamos los mapas y la base de datos en la cual cada residencia y desplazamiento se asociaban al nivel de contaminación atmosférica correspondiente (fig.3). Además, la medición de las exposiciones aparece también clasificada según las

variables mencionadas anteriormente, es decir, obtuvimos los promedios residenciales y por desplazamiento para el total de participantes (N=113) pero también por género, grupo de edad, morfología urbana, renta y densidad poblacional.

Figura 3. Ejemplo cálculo exposición residencial (A) y exposición por desplazamiento (B) para la partícula PM2.5.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

4.4. Análisis

Una vez obtenida la base de datos anterior con la información necesaria, esta tuvo que ser manipulada en Excel para poder incluirla en el SPSS. Esto se debe a que cada participante obtuvo un promedio de exposición para cada desplazamiento realizado, siendo al día más de un desplazamiento en la mayoría de las participantes, por lo que se simplificó el análisis. Para ello, primero se ha calculado el promedio de exposición total por día y, posteriormente, el promedio de exposición para el total de días en el que fueron seguidos mediante GPS. Cada participante obtuvo un único promedio de exposición para cada

contaminante y variable explicativa, por lo que se procedió a realizar el análisis estadístico en el SPSS. Por un lado, se ha utilizado la ANOVA, útil para mostrar si las diferencias entre dos o más promedios son estadísticamente significativas mediante el contraste de hipótesis, y utilizada para mostrar las diferencias en la exposición entre las diferentes variables (género, edad, morfología urbana, renta y densidad). Y, por otro lado, la Prueba T para muestras relacionadas, que sirvió para mostrar si existen diferencias significativas entre la exposición residencial y de desplazamiento.

5. Resultados

5.1. Variables explicativas a las diferentes exposiciones a la contaminación atmosférica

Los resultados obtenidos de la exposición residencial a la contaminación atmosférica aparecen en la tabla 1, en la cual se observan las exposiciones para cada una de las variables y el cálculo de la diferencia entre ellas (ANOVAS).

Tabla 1

Exposición a los contaminantes atmosféricos (NO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) en el entorno residencial por género, edad, morfología urbana, renta y densidad.

	NO ₂	ANOVA	PM ₁₀	ANOVA	PM _{2.5}	ANOVA
Total (N=113)	37.67		25.68		16.14	
Género						
<i>Hombre (N=55)</i>	37.46		25.79		16.27	
		0.613		0.380		0.456
<i>Mujer (N=58)</i>	37.87		25.57		16.02	
Edad						
<i>65 a 74 (N=58)</i>	38.16		25.89		16.19	
		0.213		0.079		0.743
<i>75 o más (N=55)</i>	37.15		25.46		16.08	
Morfología urbana						
<i>Ensanche (N=91)</i>	38.21		25.81		16.45	
<i>Disperso (N=6)</i>	31.48	0.001*	24.19	0.009*	14.29	0.000*
<i>Histórico (N=16)</i>	36.92		25.48		15.04	
Renta						
<i>Alta (N=68)</i>	39.29		25.78		15.71	
		0.000*		0.300		0.002*
<i>Baja (N=45)</i>	35.23		25.52		16.79	
Densidad						

<i>Alta (N=107)</i>	38.02		25.76		16.24	
		0.000*		0.004*		0.009*
<i>Baja (N=6)</i>	31.48		24.19		14.29	

Nota. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ayuntamiento de Barcelona.

*ANOVA estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

De igual forma, a continuación, la tabla 2 muestra la exposición por desplazamiento a la contaminación atmosférica para cada una de las variables del estudio y la diferencia entre ellas con el cálculo de las ANOVAS.

Tabla 2

Exposición a los contaminantes atmosféricos (NO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) en los desplazamientos peatonales por género, edad, morfología urbana, renta y densidad.

	NO ₂	ANOVA	PM ₁₀	ANOVA	PM _{2.5}	ANOVA
Total (N=113)	38.2		25.93		17.11	
Género						
<i>Hombre (N=55)</i>	38.14		26.12		17.19	
		0.902		0.324		0.696
<i>Mujer (N=58)</i>	38.25		25.74		17.04	
Edad						
<i>65 a 74 (N=58)</i>	38.52		25.93		17.01	
		0.448		0.991		0.586
<i>75 o más (N=55)</i>	37.86		25.93		17.22	
Morfología urbana						
<i>Ensanche (N=91)</i>	38.7		26.16		17.38	
<i>Disperso (N=6)</i>	32.64	0.005*	23.68	0.008*	15.66	0.020*
<i>Histórico (N=16)</i>	37.42		25.44		16.15	
Renta						
<i>Alta (N=68)</i>	39.45		26.05		16.49	
		0.000*		0.440		0.000*
<i>Baja (N=45)</i>	36.30		25.75		18.05	

Densidad

<i>Alta (N=107)</i>	38.51		26.05	17.19	
		0.002*		0.005*	0.081
<i>Baja (N=6)</i>	32.64		23.68	15.66	

Nota. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ayuntamiento de Barcelona.

*ANOVA estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

Las variables que tienen una relación estadísticamente significativa con las partículas de contaminación ($p \leq 0.05$) son tres: morfología urbana, renta y densidad poblacional. En el primer caso, la exposición a la contaminación difiere en cada tipo de morfología urbana tanto en la residencial como en el desplazamiento, ya que todas las ANOVAS son estadísticamente significativas. Por ello, los participantes ligados al ensanche barcelonés son los que mayor exposición sufren a los tres contaminantes atmosféricos, seguida por los de zona histórica y, en último lugar, los participantes de zonas dispersas en donde las exposiciones a NO₂, PM₁₀ y PM_{2.5} son significativamente menores en relación con los otros dos tipos de zona urbana. En cuanto a la renta, las diferencias entre las medias son estadísticamente significativas en todos los contaminantes, salvo en el caso de la PM₁₀ ($p > 0.05$). Por tanto, para los contaminantes NO₂ y PM_{2.5}, los participantes que residen y se desplazan por zonas de renta alta obtienen unas exposiciones más altas a estas partículas en comparación con aquellos que residen o se desplazan por las zonas de baja renta. El análisis de las diferencias en la exposición según densidad poblacional también resulta estadísticamente significativo para todos los contaminantes, a excepción de los desplazamientos en la partícula PM_{2.5} ($p > 0.05$). Esto indica, que salvo en este último caso, los participantes con residencia o desplazamientos en zonas de alta densidad obtienen unas exposiciones significativamente más altas que los que pertenecen a zonas de baja densidad.

Por lo que respecta al género y edad, las diferencias obtenidas en los dos tipos de exposición no resultaron ser significativas en ningún caso ($p > 0.05$). En consecuencia, el análisis confirma que no existen diferencias por género o rango de edad en la exposición a NO₂, PM_{2.5} y PM₁₀ de los adultos mayores con residencia en Barcelona.

5.2. Diferencias obtenidas entre la exposición residencial y de desplazamiento

Como se mencionó anteriormente, la metodología aplicada en el estudio permite analizar dos tipos de medición de la exposición a los contaminantes atmosféricos, el que por un lado se obtiene en el entorno residencial (*buffer* a 600 m del lugar de residencia) y, por otro, en los espacios de actividad (recorrido de los desplazamientos a pie). Las diferencias obtenidas entre los dos tipos de exposición se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 3

Diferencias entre la exposición residencial y de desplazamiento a los contaminantes (NO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) según género, edad, morfología urbana, renta y densidad.

	NO ₂	Prueba T	PM ₁₀	Prueba T	PM _{2.5}	Prueba T
Total (N=113)	-0.53	0.061	-0.25	0.187	-0.97	0.000*
Género						
<i>Hombre (N=55)</i>	-0.68	0.071	-0.33	0.250	-0.92	0.000*
<i>Mujer (N=58)</i>	-0.38	0.367	-0.17	0.493	-1.02	0.000*
Edad						
<i>65 a 74 (N=58)</i>	-0.35	0.453	-0.04	0.884	-0.81	0.000*
<i>75 o más (N=55)</i>	-0.71	0.021*	-0.47	0.048*	-1.14	0.000*
Morfología urbana						
<i>Ensanche (N=91)</i>	-0.49	0.104	-0.35	0.034*	-0.92	0.000*
<i>Disperso (N=6)</i>	-1.16	0.674	0.51	0.858	-1.37	0.330
<i>Histórico (N=16)</i>	-0.5	0.287	0.04	0.860	-1.11	0.002*
Renta						
<i>Alta (N=68)</i>	-0.16	0.644	-0.27	0.186	-0.78	0.000*
<i>Baja (N=45)</i>	-1.08	0.022*	-0.22	0.544	-1.26	0.000*
Densidad						
<i>Alta (N=107)</i>	-0.49	0.063	-0.29	0.042*	-0.95	0.000*

<i>Baja (N=6)</i>	-1.16	0.674	0.51	0.858	-1.37	0.330
-------------------	-------	-------	------	-------	-------	-------

Nota. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ayuntamiento de Barcelona.

*Prueba T estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

En un nivel general, para el total de participantes (N=113), los resultados indican que las exposiciones a los contaminantes son superiores en los desplazamientos que en el entorno residencial (diferenciales con valores negativos). Concretamente, la partícula PM2.5 tiene la mayor diferencia entre el promedio residencial y por desplazamiento (-0.97), el NO2 (-0.53) y la PM10 la que menos diferencia refleja (-0.25). El cálculo de la Prueba T indica que la única diferencia estadísticamente significativa se da en la partícula PM2.5 ($p < 0.05$), siendo la única partícula en la que el desplazamiento sí tiene un efecto significativo sobre la exposición. En ella, el promedio de contaminación pasa de los 37.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el buffer residencial a los 38.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los desplazamientos.

Si analizamos el diferencial de exposición por género, estas aparecen de nuevo con un valor negativo. Es decir, en los desplazamientos la exposición a los tres contaminantes es mayor que en la zona residencial de los y las participantes. La mayor diferencia se da, de nuevo, en la partícula PM2.5, siendo mayor en las mujeres (-1.02) que en los hombres (-0.92). Es la única partícula dentro de este grupo que obtiene una diferencia significativa entre la exposición residencial y por desplazamiento en ambos sexos. Así, la exposición promedio residencial de la PM2.5 para hombres y mujeres es de 16.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 16.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, pasando en sus desplazamientos a un promedio de exposición de 17.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en hombres, y a 17.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el caso de las mujeres.

El análisis de estas diferencias por grupo de edad también expresa valores negativos, por lo que la exposición por desplazamiento vuelve a ser mayor que la residencial en los dos grupos de edades. Las mayores diferencias se dan en la partícula PM2.5, siendo más acusada en el caso del grupo de edad mayor o igual a 75 años (-1.14) que en el de 65 a 74 años (-0.81). Esto último se cumple en todas las partículas. Las diferencias significativas encontradas están en la partícula PM2.5 para ambos intervalos de edad, pero, en este caso también son significativas estadísticamente ($p \leq 0.05$) las diferencias en las partículas NO2 y PM10 en el grupo de edad igual o mayor de 75 años. Así, el grupo de edad 75 años o más pasan de una exposición residencial a una exposición de desplazamiento como

sigue: de 37.15 a 37.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el NO_2 ; de 25.46 a 25.93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la PM_{10} ; y de 16.08 a 17.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la $\text{PM}_{2.5}$. En el caso del grupo de edad de 65 a 75 años, en el caso significativo ($\text{PM}_{2.5}$) pasan de los 16.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ residencial a los 17.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en desplazamientos. Destaca, por tanto, como el grupo de edad mayor o igual a 75 años obtiene unas diferencias entre la exposición residencial y por desplazamiento significativamente más altas en todas las partículas, mientras que, el grupo de edad más joven tan solo obtiene una diferencia significativa en la partícula $\text{PM}_{2.5}$ y de menor diferencia.

En la distinción por morfología urbana, las diferencias estadísticamente significativas se cumplen para el caso de la partícula PM_{10} en el caso de ensanche y en los casos de la partícula $\text{PM}_{2.5}$ para ensanche y zona histórica. De esta manera, los participantes del ensanche pasan de los 25.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la zona residencial a los 26.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los desplazamientos (PM_{10}) y de los 16.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la zona residencial a los 17.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los desplazamientos ($\text{PM}_{2.5}$). En el caso de la zona histórica, el promedio de $\text{PM}_{2.5}$ pasa de 15.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la zona residencial a los 16.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los desplazamientos. Por tanto, la única morfología urbana que no presenta diferencias significativas a la exposición entre lo residencial y el desplazamiento es la zona dispersa, coincidiendo en que es la morfología urbana con los menores promedios de contaminación atmosférica.

En el caso de la renta, los valores diferenciales entre la exposición residencial y por desplazamiento vuelven a ser negativos en todos los casos. Las diferencias más altas, se dan en la partícula $\text{PM}_{2.5}$ para rentas altas y bajas (-0.78 y -1.26, respectivamente) y en el caso del NO_2 en rentas bajas (-1.08). Por último, en la variable densidad, las diferencias estadísticamente significativas se dan en las partículas $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} para los casos de alta densidad. En este caso, la diferencia entre lo residencial y el desplazamiento pasa de los 25.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a los 26.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{10}) y de los 16.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a los 17.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\text{PM}_{2.5}$). Por tanto, tan solo zonas de alta densidad poblacional registran diferencias significativas entre la exposición residencial y de desplazamiento.

5.3. Promedios de exposición a los contaminantes y límites recomendados

Teniendo en cuenta que el organismo de la OMS propone unos Valores Guía para tener en cuenta cuales son los valores límite a partir de los cuales los diferentes contaminantes

suponen un peligro para la salud, comparamos en este apartado los valores obtenidos en el estudio con dichos límites. Los Valores Guía indican que lo recomendado es no superar los 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la PM10 y los 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la PM2.5 (concentración anual), mientras que en el caso del NO2 no se recomienda superar los 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS, 2006).

Comenzando por la exposición residencial, el total de participantes obtienen un promedio de exposición al NO2, PM10 y PM2.5, como sigue; 37.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 25.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 16.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Las partículas PM superan los umbrales marcados por la OMS, y el NO2 está muy cerca de hacerlo. Comparando estos datos con los de la exposición por desplazamiento, los valores que obtiene cada contaminante, es el siguiente: 38.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 25.93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 17.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La exposición total se incrementa para cada partícula en los desplazamientos, manteniéndose las PM por encima de los límites recomendados.

Al mostrar los resultados por partícula y diferenciando por grupos, el NO2 se encuentra en un intervalo entre 31 y 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sin llegar en ningún caso al umbral de los 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en donde el valor más próximo se da en el caso de rentas altas (39.28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en residencial y 39.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en desplazamientos). En la partícula PM10, en todos los casos estudiados se supera el umbral establecido con unos valores superiores a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, moviéndose entre los 23 y 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por lo que no existen grandes diferencias entre las variables. En el caso de la PM2.5, los valores también se encuentran por encima del límite establecido, siendo superiores a los 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con unos valores entre los 14 y 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en los cuales, la variable renta baja obtiene el valor más alto (16.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en residencial y 18.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para desplazamientos). Para las tres partículas, las exposiciones más bajas se han dado en las zonas dispersas y de baja densidad.

6. Discusión

Este estudio analizó la exposición de personas mayores de 65 años y con residencia en Barcelona a los tres contaminantes atmosféricos con mayor incidencia en la ciudad. Asimismo, el estudio muestra si dicha exposición difiere según diferentes variables socioeconómicas, sociodemográfica y tipología morfológica urbana del lugar de residencia. La medición de la exposición se realizó a través de dos métodos, es decir, en función del lugar de residencia de los participantes y, según los espacios de actividad realizados a pie y registrados a través de los GPS. Esta metodología demostró que las exposiciones a los contaminantes atmosféricos son superiores en los espacios de actividad peatonales que en los buffers residenciales de cada participante.

Estos resultados muestran la necesidad de ir más allá de la zona residencial y la importancia que tiene la medición del espacio de actividad para que dichos resultados alcancen coherencia con la realidad. Esto está en línea con algunos estudios anteriores que afirman que medir la exposición a la contaminación atmosférica es erróneo si se rechaza la efectiva variabilidad espacial causada por la movilidad de la población (Kihal-Talantikite et al., 2019). El estudio del entorno no residencial cobra especial relevancia para una evaluación completa y precisa del entorno con el que realmente están en contacto los individuos, desechando las medidas estáticas, que miden únicamente la zona residencial o de barrio, para introducir el análisis de carácter dinámico a través de los espacios de actividad (Laatikainen et al., 2018; Zenk et al., 2011). El espacio de actividad permite eliminar, por tanto, el contexto geográfico incierto mencionado al inicio del trabajo. En algunos trabajos como Vich (2019), la medición de la exposición al verde también es mayor en los espacios de actividad que en las zonas residenciales, por lo que la evidencia de estos trabajos dejan patente la validez de esta metodología como un medidor eficaz de la exposición de los individuos. La limitación del estudio al barrio de residencia en ocasiones se debe a que se considera la vivienda como el lugar en que más tiempo se pasa, sobre todo en aquellos estudios en donde los participantes son niños o adultos mayores (Perchoux et al., 2013).

El uso de esta metodología mostró que el intervalo de edad mayor de 75 años obtiene diferencias significativas en los tres contaminantes, por lo que el grupo de mayor edad

sufre una mayor diferencia entre lo residencial y el desplazamiento, enfrentándose en sus desplazamientos a una mayor exposición de NO₂, PM₁₀ y PM_{2.5} en comparación con el grupo de edad más joven. La incapacidad de los más mayores a desplazarse por lugares de menor contaminación a la residencial probablemente se deba a la falta de espacios saludables. Esto puede significar una reducción de los desplazamientos, así los estudios muestran como el espacio urbano y el entorno incide en el tiempo de caminar de las personas mayores. En el caso de Vich et al. (2021), confirma como las personas mayores registran tiempos superiores de caminata cuando hay presencia de espacios verdes. Otros estudios indican como la incorporación de infraestructura verde en calles de ciudades compactas, incrementan de igual manera la actividad física de los mayores (Delclòs-Alió, Vich, et al., 2020; Vich et al., 2019b). Que una calle sea transitable también se asocia con caminar más tiempo en las personas mayores, siendo positivo la existencia de bancos o lugares de descanso (Delclòs-Alió, Marquet, et al., 2020).

El estudio permitió observar también aquellas variables que hacen que existan diferentes exposiciones a la contaminación atmosférica. De este modo, la renta, la densidad y la morfología urbana son las variables que encontramos como explicativas a las diferencias existentes en la exposición a NO₂, PM₁₀ y PM_{2.5} en la ciudad de Barcelona. Para entrar más en detalle, explicamos en función de cada variable a continuación.

En primer lugar, en morfología urbana las residencias y los desplazamientos realizados en el ensanche obtienen la mayor exposición a los contaminantes atmosféricos, seguida de zonas históricas y dispersas. Esto parece indicar que la forma, el tamaño y la estructura de la calle determina su capacidad para generar tráfico y emitir partículas contaminantes. Estudios como Shen et al., (2017), indican que factores como la anchura, las aberturas y las intersecciones de las calles influyen en su capacidad de ventilación y dispersión de contaminantes. Teniendo en cuenta que la principal fuente de emisión de gases y partículas contaminantes en las ciudades es el tráfico (Giulia Cesaroni et al., 2010), nos evidencia que aquellas morfologías que facilitan la movilidad en vehículos privados, que en nuestro caso es el ensanche barcelonés, no son eficientes desde el punto de vista medioambiental. Este ensanche, formado por manzanas cuadradas de igual tamaño e intersectadas por anchas calles ortogonales que cruzan el distrito de forma horizontal y vertical (Amato et al., 2016) permiten una regulación óptima del tráfico, pues su anchura hace que el tráfico transcurra con gran fluidez a pesar de su alta densidad (García, 1995).

Esta fluidez provoca que el distrito registre un tráfico diario superior al de las rondas que circunvalan la ciudad, en donde la superficie verde es escasa (Rueda, 2017). A esto se suma su condición de uso mixto del suelo, convirtiéndolo en un distrito muy dinámico con gran cantidad de población que se encuentra altamente expuesta a la contaminación por la cercanía de los edificios a las calles (Amato et al., 2016). Se estima que el 85% de los desplazamientos en vehículo privado que transcurren por el ensanche son realizados por habitantes de otras localidades que entran en la ciudad o la atraviesan para llegar a otros destinos (Burgen, 2020). La situación del ensanche contrasta con la de barrios históricos, en donde el uso del coche tiene más dificultad debido a su trama urbana irregular de calles estrechas, que imposibilitan la circulación de altas densidades de tráfico y de vehículos de grandes dimensiones. Esto último ha sido razón suficiente para que el urbanista Cerdà propusiera anchas calles para el ensanche, capaces de soportar altas densidades de tráfico y el paso de grandes vehículos que superasen las deficientes calles históricas (Aibar & Bijker, 1997). Por ello, la exposición a la contaminación en las zonas históricas es menor, pues su morfología no permite gran tráfico ni altas exposiciones por la cercanía de grandes carreteras. En último lugar, la escasa exposición en las zonas dispersas puede explicarse por el carácter residencial que hace que los desplazamientos registrados sean únicamente los realizados por los propios vecinos.

En segundo lugar, una renta alta indica que las personas que viven o se desplazan en estas zonas tienen una mayor exposición a los contaminantes atmosféricos en comparación con las de renta baja. Diversos estudios avalan estas desigualdades ambientales entre grupos poblacionales (Temam et al., 2017) afirmando una relación positiva entre los índices de contaminación atmosférica y la posición socioeconómica (G. Cesaroni et al., 2008). Sin embargo, estudios en otras ciudades europeas verifican lo contrario, con mayores índices de contaminación en zonas de renta baja (Morelli et al., 2016). Tal y como menciona Temam et al., (2017), la distribución entre la contaminación atmosférica y la posición socioeconómica no sigue un mismo patrón entre las ciudades europeas, por lo que debe estudiarse cada caso en concreto. Un estudio realizado en Roma, coincide también con unos mayores índices de contaminación en las zonas de renta alta, siendo estas zonas de centro y con alta densidad de tráfico por su historia en la urbanización (Giulia Cesaroni et al., 2010) lo que coincide con la situación en Barcelona, en donde morfologías urbanas provocan gran intensidad de tráfico en zonas centrales y de alta posición socioeconómica. Esto puede explicarse a que en lugares de altos ingresos la probabilidad de disponer de

un vehículo privado es superior al de zonas de menores ingresos y, así, en Barcelona se estima que la disponibilidad de este bien es un 25% superior en las zonas de renta alta (Marquet Sardá & Miralles Guasch, 2017).

En tercer lugar, las personas que viven o se desplazan por zonas de alta densidad obtienen una mayor exposición a los contaminantes atmosféricos que aquellos que lo hacen por zonas de baja densidad. Esto discrepa con la afirmación de que en zonas de alta densidad predominan los desplazamientos activos o en transporte colectivo con un uso menor del automóvil privado, sobre todo zonas de alta densidad y usos mixtos del suelo (Chen & Akar, 2017). Sin embargo, el resultado coincide con otros estudios que indican que en el Área Metropolitana de Barcelona los niveles de contaminación se asocian a la densidad poblacional (Morelli et al., 2016; Pérez et al., 2009). Así el tráfico en las ciudades aparece como un factor determinante, confirmando que una alta densidad poblacional significa mayor tráfico, lo que incrementa la cercanía de la población a las carreteras y, por tanto, la exposición a las emisiones contaminantes (Künzli et al., 2000; Rivas et al., 2014). Pese a que Barcelona es una ciudad óptima para la movilidad activa por su historia en la urbanización con prevalencia de la proximidad y el uso mixto de la tierra, la preferencia por muchos ciudadanos a usar el vehículo privado, influenciado por una morfología urbana como el ensanche, pueden ser factores que incentiven el alto tráfico en zonas de alta densidad.

El resto de las variables incluidas en el estudio, es decir, las diferencias por género y edad resultaron no significativas en la exposición a los contaminantes. Sin embargo, aunque la exposición es la misma, la susceptibilidad entre los grupos puede diferir (Forastiere et al., 2008) y así niños, ancianos o mujeres embarazadas sufren una mayor susceptibilidad a la contaminación, afectando a su bienestar. La proximidad existente en Barcelona permite que las personas mayores vivan a escala de barrio y utilicen como medio de transporte el modo activo para satisfacer sus necesidades diarias (Pérez et al., 2017). Sin embargo, algo tan positivo se ve contrarrestado por altos niveles de contaminación en calles como las del ensanche, lo que puede reducir la actividad física. Esto hace imprescindible activar políticas de salud y de planificación urbana para la creación de entornos saludables accesibles para la plena actividad física de estas personas (Vich et al., 2019b) ya que es considerado un factor esencial para el envejecimiento activo y autónomo de las personas mayores (Colom et al., 2021) con amplios beneficios en salud física y mental.

7. Conclusiones

Los resultados del estudio demuestran como los índices de contaminación en Barcelona superan los límites recomendados, para los cuales los adultos mayores tienen mayor susceptibilidad. Esto se acompaña de que los más mayores (75 años o más) sufren unas exposiciones superiores en sus desplazamientos en comparación con los de menor edad, indicando la inaccesibilidad de los más ancianos para caminar por entornos saludables, lo que afecta negativamente la actividad física y a su salud. Los resultados muestran también como la exposición a la contaminación varía en función de la renta, la densidad y la morfología urbana. Así, la forma de urbanizar en la ciudad se relaciona en los niveles actuales de contaminación atmosférica como, por ejemplo, la construcción de anchas calles viarias que ayudan a fomentar el uso del vehículo privado.

En cuanto a metodología empleada, el uso de los espacios de actividad como medidor de los desplazamientos peatonales permitieron obtener la exposición a la contaminación atmosférica de forma más completa que los buffers residenciales, en donde los valores de exposición en los desplazamientos han sido más altos que en las zonas residenciales. Estos resultados confirman que el uso de GPS y los espacios de actividad son útiles para captar la verdadera exposición de participantes con movilidad activa a la contaminación atmosférica, en donde el uso de medidas estáticas basadas en la residencia es limitado para este tipo de estudios.

Para finalizar, los resultados de la exposición atmosférica en adultos mayores de Barcelona confirmaron como el tráfico es un problema medioambiental y social que solucionar. Así, a pesar de ser una ciudad en la que la forma urbana y la proximidad favorece el caminar de las personas mayores, esto se ve afectado por altas exposiciones a la contaminación debido al intenso tráfico. Por ello, las medidas deben de estar encaminadas a crear entornos saludables y a reducir infraestructura viaria, siendo esta la clave para conseguir eliminar el uso de la principal fuente de contaminación: el coche.

8. Referencias bibliográficas

- Aibar, E., & Bijker, W. E. (1997). Constructing a city: The Cerdà Plan for the extension of Barcelona. *Science Technology and Human Values*, 22(1). <https://doi.org/10.1177/016224399702200101>
- Ajuntament de Barcelona (2021). Open Data BCN. <https://opendata-ajuntament.barcelona.cat/es/>
- Amato, F., Zandveld, P., Keuken, M., Jonkers, S., Querol, X., Reche, C., Denier van der Gon, H. A. C., & Schaap, M. (2016). Improving the modeling of road dust levels for Barcelona at urban scale and street level. *Atmospheric Environment*, 125. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.078>
- Barnett, D. W., Barnett, A., Nathan, A., Van Cauwenberg, J., & Cerin, E. (2017). Built environmental correlates of older adults' total physical activity and walking: A systematic review and meta-analysis. In *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* (Vol. 14, Issue 1). <https://doi.org/10.1186/s12966-017-0558-z>
- Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D. J., & Terradas, J. (2014). Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: The case of urban forests in Barcelona, Spain. *Ambio*, 43(4). <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0507-x>
- Brau, L. (2018). La ciudad del coche. *Biblio3W Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 0(1). <https://doi.org/10.1344/b3w.0.2018.26485>
- Burgen, S. (2020). Two-way street: how Barcelona is democratising public space. *The Guardian*.
- Cebollada, À., Badía, A., & Vera, A. (2020). Movilidad Cotidiana y Cambio Modal en Zonas Urbanas de Baja Densidad. Estudio de Caso en la Región Metropolitana de Barcelona. *Revista de Estudios Andaluces*, 39. <https://doi.org/10.12795/rea.2020.i39.05>
- Cesaroni, G., Badaloni, C., Porta, D., Forastiere, F., & Perucci, C. A. (2008). Comparison between various indices of exposure to traffic-related air pollution and their impact on respiratory health in adults. *Occupational and Environmental Medicine*, 65(10). <https://doi.org/10.1136/oem.2007.037846>
- Cesaroni, Giulia, Badaloni, C., Romano, V., Donato, E., Perucci, C. A., & Forastiere, F.

- (2010). Socioeconomic position and health status of people who live near busy roads: The Rome Longitudinal Study (RoLS). *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/1476-069X-9-41>
- Chen, N., & Akar, G. (2017). How do socio-demographics and built environment affect individual accessibility based on activity space? Evidence from greater Cleveland, Ohio. *Journal of Transport and Land Use*, 10(1). <https://doi.org/10.5198/jtlu.2016.861>
- Colom, A., Mavoia, S., Ruiz, M., Wärnberg, J., Muncunill, J., Konieczna, J., Vich, G., Barón-López, F. J., Fitó, M., Salas-Salvadó, J., & Romaguera, D. (2021). Neighbourhood walkability and physical activity: moderating role of a physical activity intervention in overweight and obese older adults with metabolic syndrome. *Age and Ageing*, 50(3). <https://doi.org/10.1093/ageing/afaa246>
- Delclòs-Alió, X., Marquet, O., Vich, G., Schipperijn, J., Zhang, K., Maciejewska, M., & Miralles-Guasch, C. (2020). Temperature and rain moderate the effect of neighborhood walkability on walking time for seniors in barcelona. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph17010014>
- Delclòs-Alió, X., Vich, G., & Miralles-Guasch, C. (2020). The relationship between Mediterranean built environment and outdoor physical activity: evidence from GPS and accelerometer data among young adults in Barcelona. *Landscape Research*, 45(4). <https://doi.org/10.1080/01426397.2019.1702937>
- Fageda, X., & Flores-Fillol, R. (2018). Atascos y contaminación en grandes ciudades: Análisis y soluciones. *Policy Papers*.
- Forastiere, F., Stafoggia, M., Berti, G., Bisanti, L., Cernigliaro, A., Chiusolo, M., Mallone, S., Miglio, R., Pandolfi, P., Rognoni, M., Serinelli, M., Tessari, R., Vigotti, M., & Perucci, C. A. (2008). Particulate matter and daily mortality a case-crossover analysis of individual effect modifiers. *Epidemiology*, 19(4). <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e3181761f8a>
- García, J. (1995). El uso del vehículo privado en Barcelona y su àrea metropolitana. *Papers: Regió Metropolitana de Barcelona: Territori, Estratègies, Planejament*, 24, 101–112.
- Gong, L., Jin, M., Liu, Q., Gong, Y., & Liu, Y. (2020). Identifying urban residents' activity space at multiple geographic scales using mobile phone data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/ijgi9040241>

- Guxens, M., & Sunyer, J. (2012). A review of epidemiological studies on neuropsychological effects of air pollution. In *Swiss Medical Weekly* (Vol. 142, Issue 1). <https://doi.org/10.4414/smw.2011.13322>
- Hasanzadeh, K., Kytta, M., Lilius, J., Ramezani, S., & Rinne, T. (2021). Centricity and multi-locality of activity spaces: The varying ways young and old adults use neighborhoods and extra-neighborhood spaces in Helsinki Metropolitan Area. *Cities*, *110*. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103062>
- Hirsch, J. A., Winters, M., Clarke, P., & McKay, H. (2014). Generating GPS activity spaces that shed light upon the mobility habits of older adults: A descriptive analysis. *International Journal of Health Geographics*, *13*(1). <https://doi.org/10.1186/1476-072X-13-51>
- Hu, Y., Yao, M., Liu, Y., & Zhao, B. (2020). Personal exposure to ambient PM2.5, PM10, O3, NO2, and SO2 for different populations in 31 Chinese provinces. *Environment International*, *144*. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106018>
- Humphrey, N. P. (2005). Does the built environment influence physical activity? Examining the evidence. In *TR News* (Issue 237).
- Hvidtfeldt, U. A., Sørensen, M., Geels, C., Ketzel, M., Khan, J., Tjønneland, A., Overvad, K., Brandt, J., & Raaschou-Nielsen, O. (2019). Long-term residential exposure to PM2.5, PM10, black carbon, NO2, and ozone and mortality in a Danish cohort. *Environment International*, *123*. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.010>
- Kihal-Talantikite, W., Legendre, P., Le Nouveau, P., & Deguen, S. (2019). Premature adult death and equity impact of a reduction of no2, pm10, and pm2.5 levels in paris—A health impact assessment study conducted at the census block level. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph16010038>
- Künzli, N. (2007). La contaminació atmosfèrica: un repte important per a la salut pública. *Medi Ambient Tecnologia i Cultura*, *0*(41).
- Künzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., Herry, M., Horak, F., Puybonnieux-Textier, V., Quénel, P., Schneider, J., Seethaler, R., Vergnaud, J. C., & Sommer, H. (2000). Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: A European assessment. *Lancet*, *356*(9232). [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)02653-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02653-2)
- Kwan, M. P. (2012). The Uncertain Geographic Context Problem. *Annals of the Association of American Geographers*, *102*(5).

<https://doi.org/10.1080/00045608.2012.687349>

- Laatikainen, T. E., Hasanzadeh, K., & Kytä, M. (2018). Capturing exposure in environmental health research: Challenges and opportunities of different activity space models. *International Journal of Health Geographics*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12942-018-0149-5>
- Maldonado, J. M. (2009). Ciudades y Contaminación Ambiental. *Revista de Ingeniería*, 30, 65–71. <https://doi.org/10.16924/revinge.30.8>
- Marquet, O., MacIejewska, M., Delclòs-Alió, X., Vich, G., Schipperijn, J., & Miralles-Guasch, C. (2020). Physical activity benefits of attending a senior center depend largely on age and gender: A study using GPS and accelerometry data. *BMC Geriatrics*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12877-020-01527-6>
- Marquet Sardá, O., & Miralles Guasch, C. (2017). La proximidad en Barcelona. Un análisis desde los tiempos de desplazamiento cotidianos. *Ciudades*, 17. <https://doi.org/10.24197/ciudades.17.2014.99-120>
- Morales, R. G. E. (2006). Contaminación atmosférica urbana: episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago. In *Revista científica*.
- Morelli, X., Rieux, C., Cyrus, J., Forsberg, B., & Slama, R. (2016). Air pollution, health and social deprivation: A fine-scale risk assessment. *Environmental Research*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.01.030>
- Nieuwenhuijsen, M. (2020). Se necesitan cambios radicales en la planificación urbana y del transporte para una Barcelona más saludable: el nuevo Plan Cerdà para el siglo XXI. *Instituto de Salud Global Barcelona*.
- Oliver, M., Badland, H., Mavoa, S., Duncan, M. J., & Duncan, S. (2010). Combining GPS, GIS, and accelerometry: Methodological issues in the assessment of location and intensity of travel behaviors. *Journal of Physical Activity and Health*, 7(1). <https://doi.org/10.1123/jpah.7.1.102>
- OMS (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.
- OMS (2015). Informe mundial sobre el envejecimiento y la salud.
- Ostro, B., Tobias, A., Querol, X., Alastuey, A., Amato, F., Pey, J., Pérez, N., & Sunyer, J. (2011). The effects of particulate matter sources on daily mortality: A case-crossover study of Barcelona, Spain. *Environmental Health Perspectives*, 119(12). <https://doi.org/10.1289/ehp.1103618>
- OYARZÚN G, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista Chilena*

- de Enfermedades Respiratorias*, 26(1). <https://doi.org/10.4067/s0717-73482010000100004>
- Patterson, Z., & Farber, S. (2015). Potential Path Areas and Activity Spaces in Application: A Review. *Transport Reviews*, 35(6). <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1042944>
- Perchoux, C., Chaix, B., Cummins, S., & Kestens, Y. (2013). Conceptualization and measurement of environmental exposure in epidemiology: Accounting for activity space related to daily mobility. *Health and Place*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2013.01.005>
- Pérez, L., Sunyer, J., & Künzli, N. (2009). Estimating the health and economic benefits associated with reducing air pollution in the Barcelona metropolitan area (Spain). *Gaceta Sanitaria*, 23(4). <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2008.07.002>
- Pérez, N., Pérez M., Ruiz N., Coll, F. (2017). Relación entre forma urbana y patrones de movilidad: el caso del área metropolitana de Barcelona. *Instituto de Estudios Regionales y Metropolitanos de Barcelona (IERMB)*.
- Querol, X., Alastuey, A., Rodriguez, S., Plana, F., Ruiz, C. R., Cots, N., Massagué, G., & Puig, O. (2001). PM10 and PM2.5 source apportionment in the Barcelona Metropolitan area, Catalonia, Spain. *Atmospheric Environment*, 35(36). [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00361-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00361-2)
- Rivas, I., Viana, M., Moreno, T., Pandolfi, M., Amato, F., Reche, C., Bouso, L., Àlvarez-Pedrerol, M., Alastuey, A., Sunyer, J., & Querol, X. (2014). Child exposure to indoor and outdoor air pollutants in schools in Barcelona, Spain. *Environment International*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.04.009>
- Rueda, S. (2017). Les superilles per al disseny de noves ciutats i la renovació de les existents. El cas de Barcelona. *Papers: Regió Metropolitana de Barcelona: Territori, Estratègies, Planejament*, 0(59).
- Shen, J., Gao, Z., Ding, W., & Yu, Y. (2017). An investigation on the effect of street morphology to ambient air quality using six real-world cases. *Atmospheric Environment*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.047>
- Sherman, J. E., Spencer, J., Preisser, J. S., Gesler, W. M., & Arcury, T. A. (2005). A suite of methods for representing activity space in a healthcare accessibility study. *International Journal of Health Geographics*, 4. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-4-24>
- Temam, S., Burte, E., Adam, M., Antó, J. M., Basagaña, X., Bousquet, J., Carsin, A. E.,

- Galobardes, B., Keidel, D., Künzli, N., Le Moual, N., Sanchez, M., Sunyer, J., Bono, R., Brunekreef, B., Heinrich, J., de Hoogh, K., Jarvis, D., Marcon, A., ... Jacquemin, B. (2017). Socioeconomic position and outdoor nitrogen dioxide (NO₂) exposure in Western Europe: A multi-city analysis. *Environment International*, 101. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.026>
- Turner, M. C., Krewski, D., Ryan Diver, W., Arden Pope, C., Burnett, R. T., Jerrett, M., Marshall, J. D., & Gapstur, S. M. (2017). Ambient air pollution and cancer mortality in the cancer prevention study II. *Environmental Health Perspectives*, 125(8). <https://doi.org/10.1289/EHP1249>
- Useros, J. (2013). Climate Change: Causes and Environmental Effects. *Anales de Medicina*, 50.
- Vich, G., Delclòs-Alió, X., Maciejewska, M., Marquet, O., Schipperijn, J., & Miralles-Guasch, C. (2021). Contribution of park visits to daily physical activity levels among older adults: Evidence using GPS and accelerometry data. *Urban Forestry & Urban Greening*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127225>
- Vich, G., Marquet, O., & Miralles-Guasch, C. (2017). Suburban commuting and activity spaces: using smartphone tracking data to understand the spatial extent of travel behaviour. *Geographical Journal*, 183(4). <https://doi.org/10.1111/geoj.12220>
- Vich, G., Marquet, O., & Miralles-Guasch, C. (2019a). Green exposure of walking routes and residential areas using smartphone tracking data and GIS in a Mediterranean city. *Urban Forestry and Urban Greening*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.08.008>
- Vich, G., Marquet, O., & Miralles-Guasch, C. (2019b). Green streetscape and walking: Exploring active mobility patterns in dense and compact cities. *Journal of Transport and Health*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2018.11.003>
- World Health Organization. (2018). Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado. *Centro De Prensa WHO*.
- Zenk, S. N., Schulz, A. J., Matthews, S. A., Odoms-Young, A., Wilbur, J. E., Wegrzyn, L., Gibbs, K., Braunschweig, C., & Stokes, C. (2011). Activity space environment and dietary and physical activity behaviors: A pilot study. *Health and Place*, 17(5). <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2011.05.001>
- Zenk, S. N., Schulz, A. J., Odoms-Young, A. M., Wilbur, J., Matthews, S., Gamboa, C., Wegrzyn, L. R., Hobson, S., & Stokes, C. (2012). Feasibility of using global positioning systems (GPS) with diverse urban adults: before and after data on

perceived acceptability, barriers, and ease of use. *Journal of Physical Activity & Health*, 9(7). <https://doi.org/10.1123/jpah.9.7.924>