

# GUIDE BOOK



**LIFE+RESPIRA**

LIFE13 ENV/ES/000417



Con la contribución  
del instrumento  
financiero LIFE  
de la Comunidad  
Europea

MEDIDAS PARA REDUCIR  
LA **EXPOSICIÓN DE LOS  
CICLISTAS** A LOS PRINCIPALES  
**CONTAMINANTES**  
ATMOSFÉRICOS URBANOS

# MEDIDAS PARA REDUCIR LA EXPOSICIÓN DE LOS CICLISTAS A LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS URBANOS

## **Editor**

Jesús Miguel Santamaría

Laboratorio Integrado de Calidad Ambiental (LICA). Universidad de Navarra.

## **Autores**

Jesús Miguel Santamaría<sup>1</sup>, Arturo Ariño<sup>2</sup>, Bienvenido León<sup>3</sup>, Eladio Llorente<sup>4</sup>, Fernando Martín<sup>5</sup>, Juan José Pons<sup>6</sup>, Alberto Martilli<sup>5</sup>, Carolina Santamaría<sup>1</sup>, Cristina Sánchez<sup>3</sup>, Christian Oltra<sup>7</sup>, David Elustondo<sup>1</sup>, David Galicia<sup>2</sup>, Eloi Moya<sup>7</sup>, Enrique Baquero<sup>2</sup>, Esther Lasheras<sup>1</sup>, Esther Rivas<sup>5</sup>, Héctor Calvete<sup>5</sup>, Héctor García<sup>5</sup>, Ignacio González<sup>5</sup>, Jordi Puig<sup>2</sup>, José Luis Santiago<sup>5</sup>, Miguel Barnó<sup>4</sup>, Miriam Serrano<sup>6</sup>, Rocío Alonso<sup>5</sup>, Roser Sala<sup>7</sup>, Sergi López<sup>7</sup>, Sheila Izquieta<sup>1</sup>, Susana Elvira<sup>5</sup>, Victoria Bermejo<sup>5</sup> y Yolanda Lechón<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> Laboratorio Integrado de Calidad Ambiental (LICA). Universidad de Navarra

<sup>2</sup> Departamento de Biología Ambiental. Universidad de Navarra

<sup>3</sup> Facultad de Comunicación. Universidad de Navarra

<sup>4</sup> Gestión Ambiental de Navarra. GAN-NIK

<sup>5</sup> Departamento de Medio Ambiente. Centro de Investigaciones Energéticas Medio Ambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

<sup>6</sup> Departamento de Historia, Historia del Arte y Geografía. Universidad de Navarra

<sup>7</sup> Centro de Investigación Socio Técnica (CISOT). Departamento de Medio Ambiente. CIEMAT.

Proyecto financiado por el Programa LIFE13 ENV/ES/000417

Socios participantes:



Cofinanciador:



© Jesús Miguel Santamaría, Arturo Ariño, Bienvenido León, Eladio Llorente, Fernando Martín, Juan José Pons, Alberto Martilli, Carolina Santamaría, Cristina Sánchez, Christian Oltra, David Elustondo, David Galicia, Eloi Moya, Enrique Baquero, Esther Lasheras, Esther Rivas, Héctor Calvete, Héctor García, Ignacio González, Jordi Puig, José Luis Santiago, Miguel Barnó, Miriam Serrano, Rocío Alonso, Roser Sala, Sergi López, Sheila Izquieta, Susana Elvira, Victoria Bermejo y Yolanda Lechón.

Diseño: Juan Boronat

ISBN: 978-84-947947-6-6

Depósito Legal: NA 2919-2017

Impreso en Pamplona, diciembre de 2017

## **Prólogo**

- Contenido
- El Proyecto LIFE+RESPIRA

### 1. ¿Ciudades sostenibles?

- Vida urbana y naturaleza: una interpretación cultural del proyecto LIFE+RESPIRA

### 2. Exposición de los ciudadanos a la contaminación atmosférica

- Exposición de los ciclistas a los contaminantes urbanos
- Inhalación de contaminantes por los ciclistas

### 3. Papel de la vegetación urbana en la calidad del aire

- Influencia de la vegetación urbana y peri-urbana en la calidad del aire

### 4. Modelos de alta resolución para evaluar la calidad del aire

- Modelización de la calidad del aire en Pamplona y medidas para su mejora

### 5. Impactos de la contaminación urbana

- Percepción social de la contaminación atmosférica
- Valoración económica de los impactos ocasionados por la contaminación atmosférica

### 6. Movilidad y sostenibilidad urbanas

- Cómo conocer la movilidad ciclista de una ciudad. El caso de Pamplona

### 7. Comunicación y educación ambiental

- LIFE+RESPIRA: una campaña de comunicación crossmedia
- Programa educativo sobre calidad del aire y movilidad sostenible

# PRÓLOGO CONTENIDO

El presente libro recoge los principales resultados generados durante la realización del proyecto LIFE+RESPIRA (LIFE13 ENV/ES/000417), llevado a cabo en la ciudad de Pamplona (Navarra, España) por un equipo interdisciplinar constituido por más de 30 investigadores pertenecientes a la Universidad de Navarra, el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y Gestión Ambiental de Navarra (GAN-NIK).

El libro, que se ha publicado en castellano y en inglés, se ha dividido en 7 capítulos:

1. ¿Ciudades sostenibles?
2. Exposición de los ciudadanos a la contaminación atmosférica
3. Papel de la vegetación urbana en la calidad del aire
4. Modelos de alta resolución para evaluar la calidad del aire
5. Impactos de la contaminación urbana
6. Movilidad y sostenibilidad urbanas
7. Comunicación y educación ambiental

Este libro pretende ser una guía de utilidad para científicos, gestores y ciudadanos, aportando un conjunto de herramientas que permitan mejorar la calidad de vida de nuestras ciudades.

Además, quiere rendir un homenaje a todos los voluntarios ciclistas que han participado en dicho proyecto y que son los verdaderos artífices del mismo, ya que gracias a su dedicación incondicional durante más de dos años, han proporcionado una cantidad ingente de datos sobre la calidad del aire de la ciudad de Pamplona. Vaya para ellos nuestro más sincero agradecimiento.

# EL PROYECTO LIFE+RESPIRA

Las ciudades generan una amplia variedad de contaminantes atmosféricos, principalmente relacionados con la quema de combustibles fósiles (calefacción y vehículos a motor). Sin embargo, a pesar de sus importantes impactos en la salud humana y el clima, carecemos de mediciones sistemáticas a gran escala de los contaminantes atmosféricos en las ciudades, lo que lleva a una interpretación errónea de la situación real de la calidad del aire urbano.

Dado el crecimiento constante de las ciudades y de los problemas asociados al tráfico, es necesario desarrollar nuevas alternativas de transporte que contribuyan a mejorar la calidad del aire. Una forma efectiva de contribuir a la sostenibilidad urbana es fomentar el uso de medios de transporte “amigables” con el medio ambiente, como la bicicleta. Paradójicamente, esta actividad saludable puede representar un riesgo para los propios ciclistas debido a su mayor exposición a los contaminantes emitidos por el tráfico mientras se desplazan.

El proyecto LIFE+ RESPIRA busca arrojar luz sobre estas incógnitas, demostrando que la exposición de ciclistas y peatones a los contaminantes atmosféricos urbanos se puede reducir haciendo uso de las nuevas tecnologías e implementando otras medidas relacionadas con la planificación urbana, el diseño urbano y la gestión de la movilidad.

Además de este objetivo general, LIFE+RESPIRA persigue los siguientes objetivos específicos:

Quantificar la concentración de contaminantes inhalados por los ciclistas en condiciones reales de tráfico durante la realización de sus recorridos cotidianos, evaluando el riesgo potencial para su salud.

Comprobar la eficacia de la aplicación de determinadas tecnologías innovadoras en condiciones reales, obteniendo conclusiones transferibles y aplicables a otras ciudades de características similares.

Desarrollar un modelo matemático que permita extrapolar los resultados para mejorar las estrategias de control de la calidad del aire y contribuir al desarrollo de ciudades sostenibles.

Elaborar mapas de distribución de contaminantes, próximos a las condiciones reales y a escala fina, que sirvan para mejorar la planificación y gestión urbana en distintos ámbitos.

Desarrollar un planificador de rutas que permita seleccionar el itinerario más saludable desde el punto de vista de la contaminación atmosférica.

Evaluar los beneficios ambientales, sociales, y económicos, derivados del incremento del uso de la bicicleta como medio de locomoción urbano.

Implicar directamente a la población en el desarrollo del proyecto, convirtiéndola en el motor principal del mismo, para concienciarla de que el estado de la calidad del aire, y de su salud, están en sus manos.

Informar, educar y sensibilizar sobre la problemática de la calidad del aire fomentando el desarrollo de ciudades más sostenibles.

Jesús Miguel Santamaría  
(Editor)



# 1. ¿CIUDADES SOSTENIBLES?



## Vida urbana y naturaleza: una interpretación cultural del proyecto LIFE + RESPIRA

### Lo urbano y lo natural, entre distantes e inseparables

Vida urbana y naturaleza son ámbitos de la realidad que pueden parecer muy distanciados entre sí a primera vista. Las imágenes características de la vida urbana corresponden a aglomeraciones más o menos densas de edificios e infraestructuras de diversa índole. En cambio, en el medio considerado natural, el rastro humano tiende a difuminarse, incluso a estar ausente, como ocurre en un bosque natural (Fig. 1).

Sin embargo, la constitución animal y corporal del ser humano y su influencia en el medio invitan a considerar esos dos ámbitos de la realidad de una forma más entrelazada. Lo urbano muestra uno de los resultados más característicos de la actividad colectiva del ser humano contemporáneo. Más de la mitad de la humanidad vive ya en ciudades<sup>1</sup>. La naturaleza, por su parte, debería recordar el origen primigenio del ser humano, su constitución animal permanente, y su inserción en la ecología, de la que depende su subsistencia día a día, sea directa o indirectamente. Además, el particular modo de emplear la naturaleza que históricamente ha escogido el ser humano hasta esculpir los paisajes presentes, con el impacto ambiental que revelan, reclama una revisión de nuestro modo de vida y organización social y territorial preponderante, expresado de forma eminente por la ciudad.

Con mayor o menor conocimiento, la humanidad ha escogido un modo de interactuar con el territorio natural que con frecuencia lo amenaza, como ejemplifica la conocida deforestación que viene sufriendo históricamente la Cuenca del Amazonas (Fig. 2). Se ha debido en parte a la producción de pienso para animales que serán alimentados y consumidos por todo el mundo. Por eso se podría decir, literalmente, que el ser humano puede comerse la Tierra desde múltiples entornos urbanos consumidores ajenos a sus efectos, incluso irreversibles.



Figura 1. Medio urbano y medio natural



Figura 2. Una medida de la dimensión de los procesos de deforestación en la Amazonía.

<sup>1</sup> <https://data.worldbank.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS>





Figura 3. El ser humano cazador – recolector, un ser incluido en el medio natural.



Figura 4. Las fértiles cuencas de Mesopotamia representan tempranos fenómenos urbanos estrechamente vinculados a la agricultura.

Interesa preguntarse cómo se ha llegado a esta situación. Y conviene que se extienda una cultura del respeto ambiental que, tras esa pregunta, se replantee cómo deberíamos escoger vivir hoy en día, principalmente en las ciudades, a la vista de las graves consecuencias colectivas –tantas veces pasadas por alto en la vida urbana– que las decisiones del modo de vida dominado por lo urbano, con sus estilos de vida, acarrearán al medio natural al que pertenecemos, del que dependemos, y al que nos debemos con nuestra conducta ética.

La consciencia de la condición natural del ser humano parece haberse ido difuminando con el paso del tiempo en la cultura urbana. Resulta patente cuando se considera la forma de vida de los seres humanos en su etapa de cazadores – recolectores (Fig. 3).

Con el despertar de la cultura agraria y la posibilidad de obtener y almacenar crecientes cantidades de alimento, o de asegurarlo mediante el comercio, se desarrolla una primera cultura urbana del asentamiento, sustentada muy directamente por la agricultura, y representada por civilizaciones tan diversas como las mesopotámicas (Fig. 4) o las asociadas al nacimiento de la cultura griega. Tras su nacimiento y durante siglos y milenios, la ciudad sigue viviendo estrechamente vinculada con la agricultura, y alberga todavía a una minoría de la población de la tierra, que sigue mayoritariamente siendo rural o en estrecha vinculación con la tierra, viviendo en un relativo equilibrio con el medio.

Las cosas cambian con la Revolución Industrial, a partir de los siglos XVIII-XIX, con un consumo rápido y en grandes cantidades de los recursos naturales que olvida su reposición (Olsen y Galimidi, 2009). Surge entonces un nuevo tipo de ciudad, que eventualmente caracterizará al actual proceso global de urbanización, con dos rasgos a destacar: el fenómeno urbano alcanza progresivamente a todo el planeta (albergando de forma creciente a la mayor parte de seres humanos, y afectándolo creciente y globalmente), y su población crece más en los países más pobres, que acumulan en las últimas décadas el mayor aumento de la población urbana.

### Algunas consecuencias culturales y ambientales de la vida urbana

A medida que se expande por la Tierra el fenómeno urbano y los estilos de vida propios de él, el habitante de la ciudad se expone a notables olvidos, como el formulado por el ambientalista americano Aldo Leopold haciendo uso de una forma más bien literaria, pero inquietante:

«Quien no posee una granja se enfrenta a dos peligros espirituales. El de suponer, en primer lugar, que el desayuno procede de la tienda de comestibles, y en segundo, que el calor procede de la calefacción» (Leopold, 1949).

Estos olvidos se notan, de entrada, con la proliferación de entornos urbanos que marginan la presencia o rango de lo natural en ellos y donde, en el mejor de los casos, lo natural se reduce a ser un decorado amable de la existencia, en forma de parques y jardines en las sociedades que se los pueden permitir. Pero también se notan cuando la vida urbana es mantenida de forma insostenible a costa de generar pérdidas de valor natural, en algún lugar alejado de ella, que no se perciben como sería necesario hacerlo.

Este daño se causa través de conexiones comerciales, difíciles de visualizar en el día a día, por más que crezcan y aseguren el abastecimiento cotidianamente. Pocos habitantes de la ciudad reparan, por ejemplo, en que de uno de los huecos de cantera que deploran cerca de su ciudad se obtuvo el material para construir, precisamente, sus propias casas. Se pierde así con facilidad, al avanzar el modo de vida urbano, el sentido de pertenencia a la tierra, de conexión e interdependencia con ella. Como resultado, y con frecuencia sin pretenderlo, Leopold dirá:

«Maltratamos a la tierra porque la vemos como una mercancía que nos pertenece» (Leopold, 1949).

El resultado cultural es preocupante. En palabras del mismo autor, ya un clásico del ambientalismo:

“Acabamos, así lo pienso, en la que podría ser llamada la paradoja característica del siglo XX; nuestras herramientas son mejores que nosotros, y crecen más rápido. Permiten romper los átomos y disponer de las mareas. Pero no bastan para acometer la tarea más antigua de la historia: vivir de un pedazo de tierra sin echarla a perder” (Leopold, 1938).

El modo actual de aprovechamiento de la tierra acumula una pérdida neta de su valor natural. Aumenta la extensión de lo humano por la tierra: cultura, en el mejor los casos. Pero no se restituye en la naturaleza el valor que se toma de ella para edificar la cultura, eminentemente urbana hoy. Ni se piensa en intentarlo. La base natural que permite el nacimiento y subsistencia de toda sociedad humana va empobreciéndose en forma de contaminación o de pérdida progresiva e irreversible de un número creciente de recursos o bienes naturales, que desaparecen definitivamente. Especies y espacios perdidos lo atestiguan. El modo de vida urbano, también el de las ciudades ambientalmente más privilegiadas, influye así hasta hacerse notar no sólo en sitios concretos y cercanos, sino alejados y de forma también difusa, por todo el planeta (Fig. 5), como atestiguan fenómenos



Figura 5. Por caminos no siempre evidentes, el modo de vida urbano influye a todo el planeta.

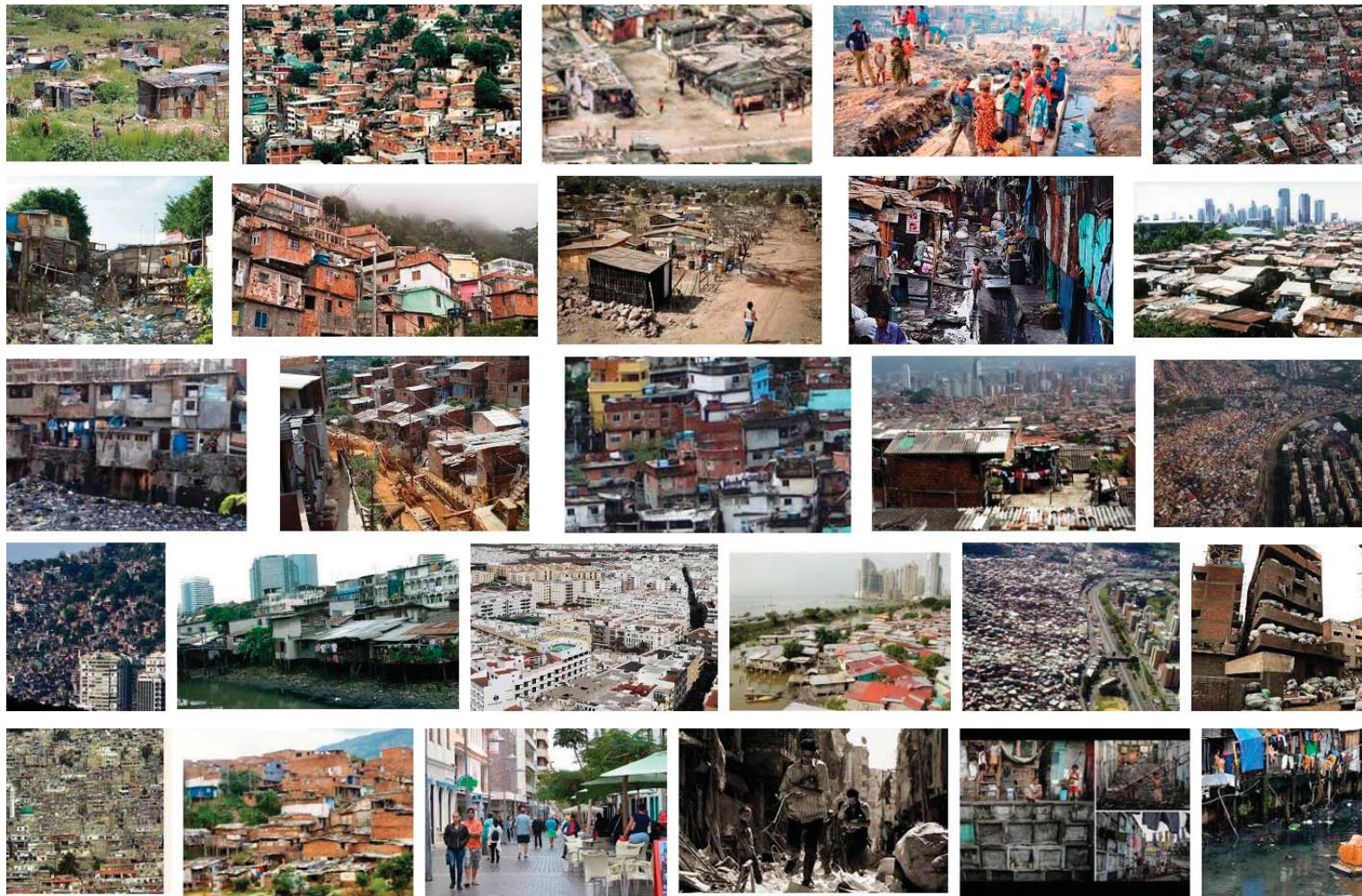


Figura 6. Paisajes urbanos de exclusión social.

como el cambio en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera durante las últimas décadas, o el calentamiento global.

Característica del fenómeno urbano contemporáneo, ya adelantada, es además la distribución desigual de las

riquezas en las ciudades, incluyendo la calidad ambiental. Crecen en las últimas décadas los paisajes urbanos de los excluidos (Fig. 6), que reúnen un pobre acceso a los bienes de la tierra con una elevada exposición permanente a ambientes insalubres.

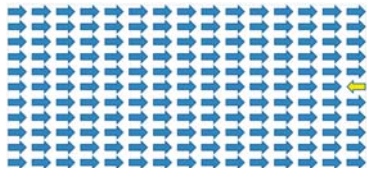


Figura 7a. Elección en una sociedad plural.

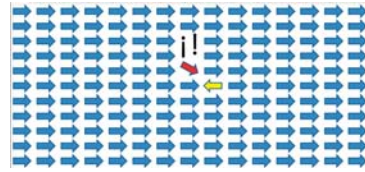


Figura 7b. La novedad puede causar alarma.

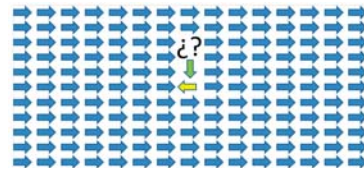


Figura 7c. La diferencia genera preguntas.

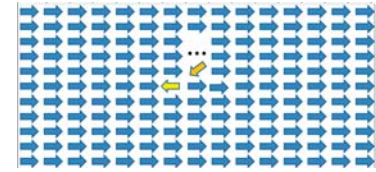


Figura 7d. Hacia la adhesión voluntaria.

### La respuesta del proyecto LIFE + RESPIRA

Los retos que se acaban de presentar no pueden ser resueltos mediante un solo proyecto. Pero sí abordados desde él, haciendo propia una mirada amplia y comprometida. Desde su inicio el Proyecto LIFE+RESPIRA ha buscado esa amplitud y el compromiso al que llama, y hacer la mayor contribución posible –por modesta que sea y limitado el público al que alcance– a un cambio cultural necesario para encaminarnos hacia la sostenibilidad, actualmente tan alejada. No apunta el Proyecto, por tanto, a ofrecer una solución global, sino a sumarse a su necesaria construcción como uno más, que debe ser acercada colectivamente paso a paso, y siempre encarando las raíces comunes y más profundas de los problemas que enfrentamos.

El reto cultural y ético que se propone el Proyecto –a través de sus objetivos específicos relativos a contaminación, movilidad y salud– es el de promover la reintroducción de la presencia y el respeto a lo natural en lo urbano y en su forma de vida. Se trataría de abrir las puertas a la naturaleza en la ciudad. Pero también, y en consonancia más directa con el Proyecto en cuestión, de abrir su estilo de vida a la búsqueda y encuentro de la naturalidad propia del ser humano. Para desvelarla, el Proyecto se interroga al respecto en su parcela específica, investiga la contaminación en relación con el movimiento urbano, y así fundamenta una razonable y razonada invitación a mejorar el diseño de la ciudad y las conductas de movilidad que alejan de una vida urbana plena y sana. Se apunta, en definitiva, a actuar en conformidad con nuestro ser no sólo cultural y ciudadano, sino también ecológico y natural.

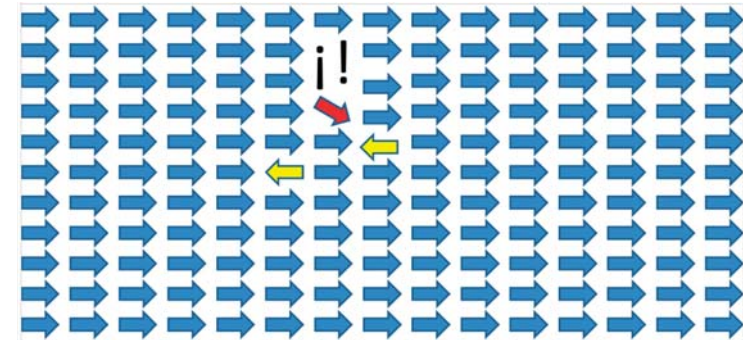


Figura 7e. Los cambios culturales en sociedades democráticas se deberían construir desde compromisos particulares manifestados y asumidos libremente.

Pero no es fácil cambiar tendencias. No es fácil, más en concreto, proponerse usar la bicicleta cuando la mayor parte de la sociedad opta por otros medios de transporte que, con frecuencia, entran en disputa con ella. Y no en pocas ocasiones con razón, cuando los ciclistas muestran conductas poco cívicas. Pero dejando de lado estas actitudes a erradicar, la bicicleta puede tener mucho que ofrecer a la reflexión, no sólo sobre la movilidad, sino sobre la raíz misma del modo de vida urbano y la necesidad de mejorarlo. Acaso el camino exija andar contra corriente, procurando ser coherente y evitando en lo posible destacar indebidamente o importunar al hacerlo (Fig. 7a). Junto a la indiferencia general, o a la falta de respuesta a las propuestas de cambio de conductas bien asentadas cuando se cuestionan razonadamente, es posible que se cause alguna alarma (Fig. 7b). Lo bueno sería que el respeto en la persuasión de quien propone el cambio transforme esa alarma en interrogante sobre la conducta del alarmado, reflexión o incluso cambio de sentido que a su vez tienda a expandirse (Fig. 7 c, d, e).

Las herramientas que ha empleado LIFE+RESPIRA a lo largo de todo su desarrollo son fruto de estas convicciones de fondo. Junto a los objetivos científicos, se ha atendido inseparablemente a los de carácter social. Se ha logrado así atraer, junto a una investigación altamente cualificada y especializada, una participación ciudadana esencial al proyecto. Esta dimensión social ha ofrecido al mismo Proyecto, a su vez, un norte constante, dándole y recordando a todos sus participantes en todo momento su carácter de ciencia ciudadana: se investiga para la sociedad contando con ella de entrada.

Así se ha plasmado en su enfoque interdisciplinar (reuniendo ciencias experimentales y sociales, tecnología, educación y comunicación...) y el cuidado diseño experimental, muy pensado para remarcar el papel imprescindible del ciudadano, al que además se quiere favorecer. La ingente toma de datos por todo tipo de participantes ha dado paso a su laborioso tratamiento y sus posteriores análisis, altamente técnicos y especializados. Los resultados han empezado a salir, repercutiendo ya en la ciudadanía a la que se destinan, y a sus representantes electos, para nutrir con información su toma de decisiones. Y logrando, más allá del ámbito territorial inmediato del Proyecto, un incipiente efecto de emulación que no se puede planificar de entrada (Figura 8e), pues los avances del Proyecto se están expandiendo ya a otros entornos urbanos que solicitan al equipo de LIFE+RESPIRA la asistencia de la experiencia adquirida.

### El horizonte de cambio

Volviendo al punto de partida, es muy pronto para observar cambios de tendencias en nuestra sociedad hacia una vida más natural en el entorno urbano, y menos impactante. Máxime si se tiene en cuenta que los comportamientos que hoy son insostenibles pueden tener orígenes muy distantes en el tiempo y en el espa-

cio, y estar firmemente arraigados, dando lugar a poderosas inercias en la dirección equivocada. Así lo corrobora, por ejemplo, el camino recorrido en los últimos siglos por las emisiones causadas al quemar localmente combustibles fósiles (Fig. 8). Alarma comprobar que nuestra cultura se ha acostumbrado a aceptar el daño causado a la Tierra como algo inevitable que se acumula, incluso aunque se teman nocivos efectos previsibles o consecuencias imprevisibles y aún más difíciles de evaluar.

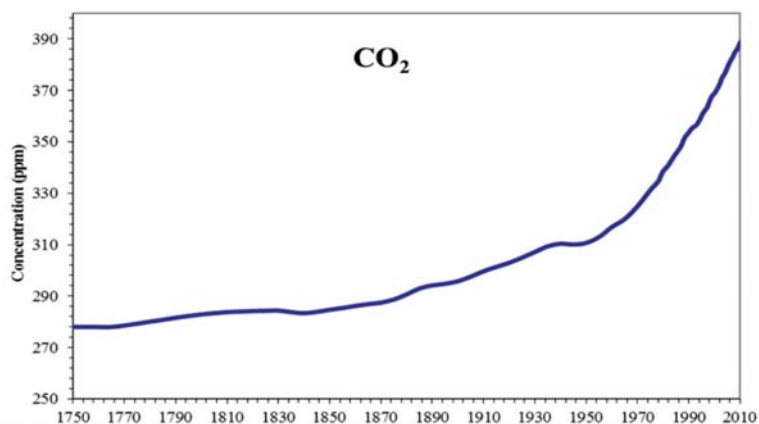


Figura 8. Origen y evolución del incremento en los niveles de dióxido de carbono atmosférico.

Más allá de propuestas concretas de cambio de conducta que el Proyecto pueda suscitar en lo relativo al transporte y a la movilidad en Pamplona, o al diseño de los espacios y de la vida ciudadana, LIFE+RESPIRA materializa una respuesta de carácter más universal. Y lo hace desde una posición ética implícita pero fundamental, compartible por todos: “Enriquecernos o disfrutar de beneficios a costa de externalizar un daño, empobreciendo la tierra o la calidad de vida natural y humana de sus gentes donde quiera que ese daño se sufra, es una conducta indigna de ser llamada humana, que debe revertirse paso a paso culturalmente y por completo”.

El Proyecto LIFE+RESPIRA se ha propuesto encarnar una cultura del encuentro (entre gentes y culturas, con la tierra...) y del compromiso hacia un medio ambiente natural y cultural mejorado. Investigadores, instituciones y ciudadanos se han encontrado para comprometerse en el estudio de nuestro impacto sobre los demás y el medio ambiente, con el fin de actuar de acuerdo con los descubrimientos, promoviendo un mayor respeto. Será necesario seguir en ese empeño, sabedores de la dificultad de lograr cambios culturales significativos y duraderos:

“...también lo que nunca triunfa en la realidad permanece en ella como una fuerza dinámica y son precisamente los ideales no cumplidos los que se revelan invencibles. Que una idea no se haga realidad no quiere decir que esté vencida o sea falsa; una necesidad, aunque se la demore, no es menos necesaria, al contrario: sólo los ideales que no se han consumido o comprometido porque no se han realizado siguen teniendo efecto en cada nueva generación como un elemento de impulso moral” (Zweig, 2005).

## Referencias

Leopold, A. (1938). Engineering and Conservation. In C. MEINE (Ed.), Aldo Leopold. A Sand County Almanac and other Writings on Ecology and Conservation. (ed. 2013). New York, Library of America, 405–410. p. 410.


Leopold, A. (1949). A Sand County Almanac. New York, Oxford University Press.

Olsen, S. and Galimidi, B. (2009). Managing Social and Environmental Impact: A New Discipline for a New Economy. *Brown Journal of World Affairs*, XV (II), 43-56. Consultado el 14 de octubre de 2014.

<http://svtgroup.net/wp-content/uploads/2011/09/Managing-Social-and-Environmental-Impact.pdf>

Zweig, Stefan (2005). “Erasmus de Rotterdam. Triunfo y tragedia de un humanista”. Paidós 2005, p 201-202.





# 2. EXPOSICIÓN DE LOS CIUDADANOS A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

## Exposición de los ciclistas a los contaminantes urbanos

Este capítulo cubre la parte experimental y de gestión con los sensores integrados de gases y partículas utilizados en el proyecto LIFE+RESPIRA. En dicho proyecto se han combinado tres conceptos para obtener una evaluación de la contaminación del aire a escala fina: sensórica integrada, ciencia ciudadana, y gestión masiva de datos. El proyecto ha dependido de la actividad de un activo grupo de voluntarios que ha transportado 50 equipos de sensores durante sus desplazamientos cotidianos. Los datos generados se han combinado en una única base de datos con 13 millones de muestras repartidas a lo largo de dos años y 62.000 km, de las que 5 millones se han usado en los análisis. El archivo a largo plazo y el acceso a los datos generados están a cargo de la plataforma europea EUDAT.

### Diseño y metodología de la captura de datos

A diferencia del procedimiento usual con series continuas de datos de sensores en posiciones fijas conocidas (e.g. Borrego et al., 2016), LIFE+RESPIRA ha enfocado el conocimiento de la contaminación atmosférica a escala fina reuniendo una muestra muy grande de datos extendidos en el espacio con sensores móviles continuamente geolocalizados que han recorrido la ciudad de Pamplona (Fig. 1). Gracias a la realización de una frecuencia alta de muestreo se consigue obtener una resolución de pocos metros, lo cual permite representar los conjuntos de muestras sobre un mapa y obtener una variada información para responder a las preguntas del investigador.



Figura 1. Analizador en posición típica en la cesta de una bicicleta, circulando por un carril bici.



## Funcionamiento de los sensores

Los analizadores portátiles utilizados son prototipos diseñados exprofeso con las especificaciones de LIFE+RESPIRA por la empresa KUNAK (Fig. 2). Integran sensores electroquímicos y contadores ópticos de partículas (OPC) suministrados por AlphaSense (Alphasense, 2015); un geolocalizador capaz de ver las constelaciones GPS y GLONASS y realizar corrección EGNOS; sensores de temperatura y humedad, y una unidad de transmisión GPRS que comunica con la nube, de donde LIFE+RESPIRA recoge los datos mediante una interfaz de programación de aplicaciones (API).

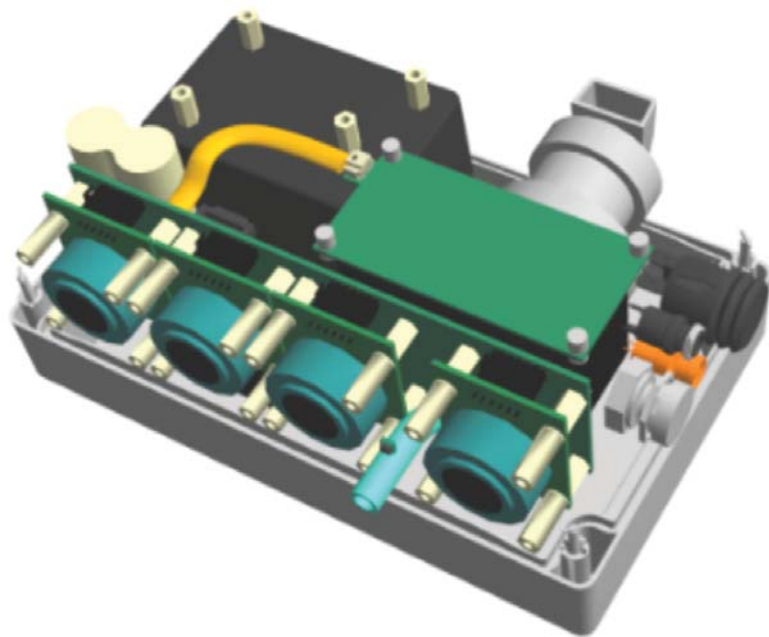


Figura 2. Esquema de un captador

Los cuatro sensores electroquímicos empleados en LIFE+RESPIRA son de la serie B4, que resulta adecuada para la medición de gases a baja concentración (monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, y oxidantes, del que se extrae la señal de ozono sustrayendo la del de  $\text{NO}_2$ ). Los OPC integrados en parte de los equipos detectan partículas en suspensión en tres clases de tamaño:  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{1.0}$ . Además de los contaminantes mencionados se han registrado también otras señales básicas como temperatura, humedad, intensidad de señal, posición de satélites, etc. Típicamente, se efectúan cinco lecturas por segundo que se promedian cada diez segundos. Los datos acumulados en el equipo se transmiten en bloque cada media hora por la red GPRS junto con la posición geográfica del sensor durante las lecturas, de forma que por término medio se pueden atribuir al estado de la atmósfera en los aproximadamente 40 metros que recorre un ciclista urbano en ese tiempo.

## Despliegue de equipos

El proyecto ha dispuesto de 50 captadores que los voluntarios han reservado *on-line* mediante una aplicación informática y los han tomado en préstamo como si fueran libros en una biblioteca. Cada sensor lleva asociado un código QR que el voluntario escanea al recoger el equipo, de forma que se le puede atribuir el recorrido y permite el control del estado de los sensores (Fig. 3). Algunos voluntarios, además, han llevado un pulsómetro que registra su frecuencia cardíaca para deducir cuánto aire está respirando mientras circula. El equipo se coloca en una cesta sujeta a la bicicleta (o también en una mochila o sobre el techo de un coche) y lee los contaminantes mientras circula. Además, algunos captadores se han colocado en posiciones fijas de referencia, con funcionamiento continuo. Estos equipos han servido para la calibración con equipos oficiales de referencia y para la intercalibración entre sensores (Mead et al., 2013).



Figura 3. Panel de control de sensores y voluntario con un captador.

| LIFE+RESPIRA - GESTION DE CAPTADORES                                                                          |                                |                                |                                     | Actualización:                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Seleccionar el captador que se va a gestionar<br><b>En caso de duda, llamar al 948425600 extensión 802396</b> |                                |                                |                                     | <b>25/02/2016 0:13</b><br><small>Actualizado cada 5 minutos</small> |
| Ciencias ■                                                                                                    | Civican ■■■■                   | Mendillorri: No qued           | Condestable ■■■                     | Prestados: 50%                                                      |
| Amigos ■■■                                                                                                    | Iturrama ■                     | Ensanche ■■                    | Jus la Rocha ■■                     | Disponibles: 32%                                                    |
| 1 - RETIRADO                                                                                                  | 2 - PRESTADO<br>jmirujo        | 3 - PRESTADO<br>artarip        | 4 - TRASLADAR<br>artarip            | 5 - PRESTADO<br>aperezdezab                                         |
| 6 - PRESTADO<br>rberord                                                                                       | 7 - DISPONIBLE<br>Iturrama     | 8 - PRESTADO<br>guerreroaspurz | 9 - PRESTADO<br>oraintxe            | 10 - DISPONIBLE<br>Condestable                                      |
| 11 - RETIRADO                                                                                                 | 12 - DISPONIBLE<br>Condestable | 13 - DISPONIBLE<br>Condestable | 14 - PRESTADO<br>manuel.serrano1239 | 15 - DISPONIBLE<br>Jus la Rocha                                     |
| 16 - DISPONIBLE<br>Jus la Rocha                                                                               | 17 - PRESTADO<br>javier.teres  | 18 - DISPONIBLE<br>Civican     | 19 - PRESTADO<br>rafalopez63        | 20 - PRESTADO<br>chocarros                                          |
| 21 - RESERVADO<br>stainta                                                                                     | 22 - DISPONIBLE<br>Civican     | 23 - PRESTADO<br>Lpiedrag      | 24 - DISPONIBLE<br>Amigos           | 25 - RETIRADO                                                       |
| 26 - PRESTADO<br>jaarbilla                                                                                    | 27 - DISPONIBLE<br>Amigos      | 28 - DISPONIBLE<br>Ensanche    | 29 - PRESTADO<br>inaki.arbilla      | 30 - PRESTADO<br>artarip_park                                       |
| 31 - DISPONIBLE<br>Ensanche                                                                                   | 32 - PRESTADO<br>mazcona.7     | 33 - DISPONIBLE<br>Amigos      | 34 - PRESTADO<br>maZsanoa2000       | 35 - PRESTADO<br>amuruzab                                           |
| 36 - PRESTADO<br>iciscar                                                                                      | 37 - PRESTADO<br>fgil          | 38 - PRESTADO<br>mbarnole      | 39 - PRESTADO<br>tintxo5            | 40 - PRESTADO<br>alberto.berrueta                                   |
| 41 - DISPONIBLE<br>Civican                                                                                    | 42 - DISPONIBLE<br>Civican     | 43 - PRESTADO<br>dmaza         | 44 - DISPONIBLE<br>Ciencias         | 45 - PRESTADO<br>artarip                                            |
| 46 - RETIRADO                                                                                                 | 47 - RETIRADO                  | 48 - RETIRADO                  | 49 - PRESTADO<br>luislavin          | 0 - RETIRADO                                                        |

| Clave de situaciones |                                                                    |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Prestado             | En manos del voluntario                                            |
| Disponibile          | En el centro de reparto, disponible para préstamo                  |
| Cargando             | En el centro de reparto, puede prestarse pero puede faltarle carga |
| Reservado            | En el centro de reparto, hay una reserva sobre el captador         |
| Trasladar            | Está fuera de su sitio o debe ir a calibrar                        |
| Retirado             | El equipo no está disponible                                       |

## Recogida y almacenamiento de datos

El proyecto LIFE+RESPIRA ha generado una cantidad considerable de datos. La plataforma de recepción ha archivado los datos en formato de tuplas, desde donde se han extraído a través de la API de la plataforma. Diversas rutinas ejecutadas en estaciones de trabajo y servidores de aplicaciones se han ocupado de tabular las lecturas recogidas por la plataforma de transmisión en una base de datos (VFP9), que después se explota para análisis con rutinas de filtrado, extracción y combinación (Fig. 4). Se han utilizado programas creados específicamente y escritos en varios lenguajes (R, VFP, Python), que generan *datasets* combinados que a su vez se analizan desde plataformas comunes de trabajo como Excel, PowerPivot, o QGIS.

Los datos de los sensores están marcados con un *timestamp* y una posición geográfica, campos empleados para casarlos con los datos de los pulsómetros, con las variables climáticas suministradas por el servicio meteorológico, y con los datos oficiales de calidad del aire publicados por el Gobierno de Navarra

([http://www.navarra.es/home\\_es/Temas/Medio+Ambiente/Calidad+del+aire/](http://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Calidad+del+aire/)).

Antes del enlace se verifican ajustes experimentales, por ejemplo, para compensar el decaje de tiempos entre servicios.

Los datos generados, así como la mayoría de los productos analíticos (fundamentalmente, mapas de contaminación segmentados de acuerdo a diversos criterios) se han depositado en la plataforma europea EUDAT para su archivo a largo plazo. PAIRQURS (*Public Access to Air*

*Quality Urban data from Roaming Sensors*), un proyecto piloto de EUDAT, ha permitido crear un flujo de datos para facilitar este depósito y garantizar el acceso público y el archivo permanente de los resultados. PAIRQURS vigila los resultados de LIFE+RESPIRA y, cuando detecta nuevos productos disponibles, genera un registro permanente y archiva una copia en los servidores de EUDAT, junto con un extenso juego de metadatos que describen el producto de acuerdo a un esquema creado específicamente para LIFE+RESPIRA. Estos metadatos permiten a otros investigadores, al público o a aplicaciones localizar los archivos adecuados al uso que se precise de entre los varios miles de archivos generados.

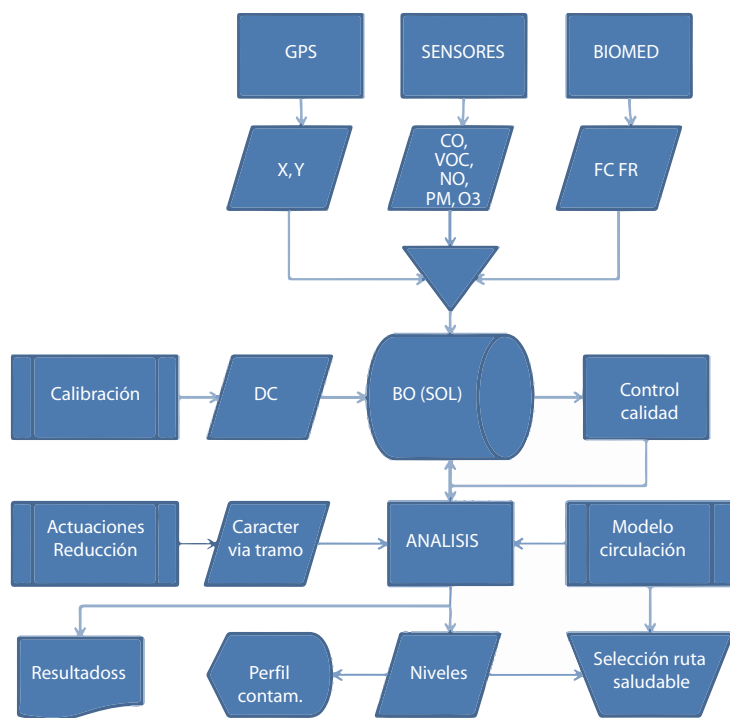


Figura 4. Flujo de datos generados por los sensores.

## Resultados

### Cifras del proyecto

La recogida principal de datos comenzó en mayo de 2015 y se extendió durante 24 meses (Fig. 5). Posteriormente se ha continuado recogiendo datos a menor escala para experimentos concretos, cubrir huecos o verificar resultados.

La recogida principal arrojó estos resultados a diciembre de 2017:

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| Voluntarios                         | 200        |
| Recorridos                          | 20.000     |
| Km (en bicicleta)                   | 47.000     |
| Km (en vehículos a motor)           | 15.000     |
| Horas en movimiento                 | 16.000     |
| Recorridos con datos biomédicos     | 1.500      |
| Horas de recogida de datos          | 77.000     |
| Muestras con medidas                | 13.463.090 |
| Puntos geolocalizados en recorridos | 4.155.131  |



Figura 5. Las posiciones de los puntos con datos reproducen el mapa de la ciudad. El color representa la velocidad media de movimiento.

## Desarrollo de la tecnología

Las medidas de contaminantes a escala fina y en niveles bajos con equipos portátiles son complicadas por la pobre relación señal/ruido de la tecnología empleada y la alta sensibilidad a interferencias (Mijling et al., 2017). En nuestro caso, este ha sido un problema constante, pues las funciones de cálculo no eran adecuadas a la escasa señal presente en la mayoría de las muestras y además presentaban muy poca robustez y reproducibilidad a pesar de tratarse de los sensores de bajo coste de mejor reproducibilidad disponibles en el mercado (Afs-har-Mohajer et al., 2017). Aunque el disponer de una masa ingente de datos tratados con técnicas propias de “big data” permite usar técnicas estadísticas para aislar la señal, una parte importante del proyecto se ha dedicado a desarrollar técnicas y algoritmos de calibración y corrección para mejorar su fiabilidad. Por ejemplo, se han desarrollado filtros de varianza para eliminar las interferencias capacitivas que afectan a los electrodos de algunos sensores (Fig. 6); protocolos experimentales para obtener los parámetros de calibración y estimar las interacciones cruzadas entre gases; rutinas de detección de decalaje con los equipos de referencia; o funciones regresivas para ajuste de parámetros de calibración de mayor precisión que las tablas de fábrica.

Para algunos de los errores detectados no existe corrección posible, y en ese caso los datos se han marcado de forma conservadora como inválidos (afectando a más de la mitad de la masa total de datos). Entre ellos se cuentan errores en los sensores OPC ante fluctuaciones de flujo de aire, lo cual ha obligado a descartar los datos de partículas tomadas a velocidades de rodadura altas; aparentes caídas inexplicadas y sincronizadas de sensibilidad; interferencia no lineal de las variaciones bruscas de humedad relativa (Fig. 7); enmascarado de la señal de latitud de la constelación GPS en un período concreto; o fenómenos no lineales como la posible coalescencia de burbujas en la superficie del electrodo auxiliar de los sensores electroquímicos.

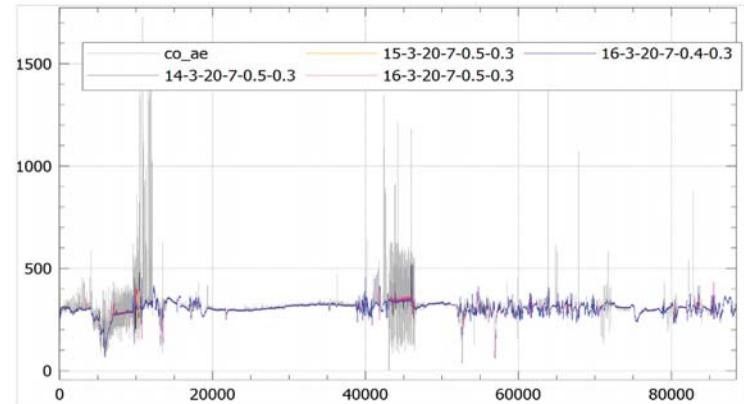


Figura 6. Señal original de uno de los electrodos del sensor de CO, en gris, y procesada con diversos ajustes de los filtros de detección de interferencias.

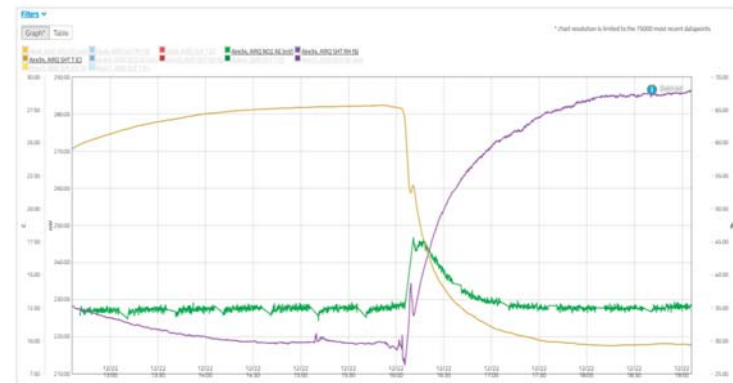


Figura 7. Efecto de una variación brusca de humedad relativa (lila) sobre la señal del sensor de NO<sub>2</sub> (verde).

Con las técnicas desarrolladas se ha conseguido mejorar la calidad de la señal y la intercalibración de equipos en aproximadamente un orden de magnitud (Fig. 8). La combinación de los refinamientos analíticos, los experimentos de calibración, y la disponibilidad de una masa muy grande de datos permiten el uso de estos sensores de bajo coste para una caracterización fina de los contaminantes en el ambiente. Sin embargo, si uno de los tres factores no está disponible, la señal puede ser demasiado débil o errática como para ser fiable.

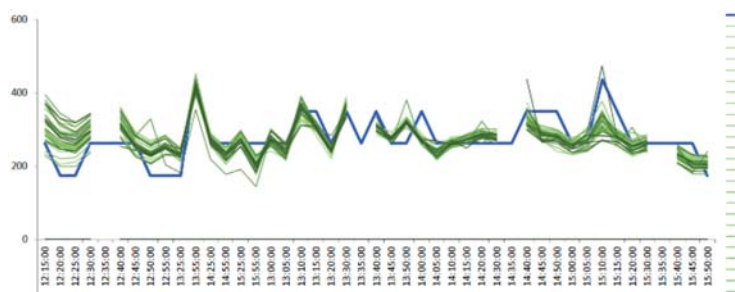
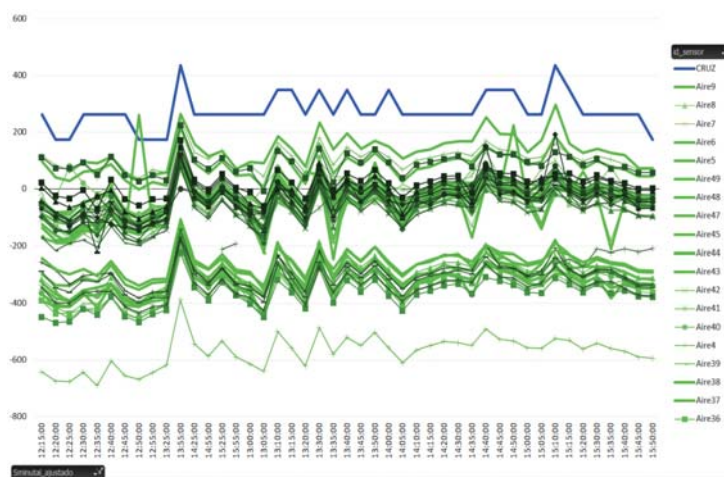


Figura 8. Lecturas de sensores co-localizados para un mismo contaminante antes y después de la fase final de correcciones de intercalibración.

### Distribución de la contaminación en la ciudad

El estudio llevado a cabo en la ciudad de Pamplona a lo largo de dos años ha permitido observar las pautas de contaminación a escalas general y local. De forma generalizada se observa un reparto ligado a focos emisores (principalmente tráfico) y sus variaciones temporales, y las circunstancias atmosféricas y topográficas de la ciudad.

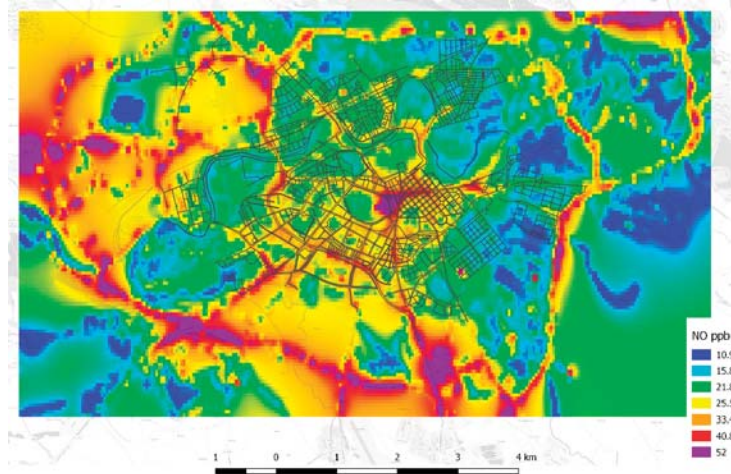


Figura 9. Concentración media de NO durante los dos años de medidas. Las zonas de más concentración corresponden a las principales arterias de tráfico y a la estación de autobuses, que concentra gran número de motores diésel.

Son notables las altas concentraciones de óxidos de nitrógeno, tanto en vías de mucho tráfico como en puntos de concentración de vehículos pesados, dotados de motores diésel, una de sus principales fuentes (DEFRA, 2017). Una zona de alta contaminación detectada, paradójicamente junto a un parque, corresponde a los conductos de ventilación de la estación de autobuses, subterránea y situada en el centro de la ciudad (Fig. 9.). Es especialmente visible la diferencia en la concentración de contaminantes como el  $\text{NO}_2$  entre las vías de más circulación, con concentraciones sostenidas más altas, y las de menor tráfico (Fig. 10). Esta correspondencia ha sido observada en otras ciudades a menor resolución espacial (Borrego et al., 2016; Guerreiro et al., 2013). En los lugares de más concentración, y en particular en las horas punta, los niveles pueden ser consistentemente superiores a los que marca la normativa europea para concentraciones horarias. También se observa el efecto rápido y en poco espacio de la separación de las fuentes: las aceras y los carriles que discurren separados de la

calzada o trazados ya dentro de zonas vegetadas como parques tienen niveles menores en todos los contaminantes. Los interiores de parques y jardines, por su parte, presentan niveles de contaminación muy alejados de los de la calzada. Además, hay una correspondencia con la velocidad del tráfico; las vías más rápidas presentan niveles bastante superiores a las zonas de limitación de velocidad. Sin embargo, existen concentraciones puntuales altas en semáforos, rotondas y cruces.

El viento dominante puede causar acumulaciones locales, llevando la contaminación de fuentes fijas a concentrarse en zonas de estancamiento. Nuestros datos muestran, para la ciudad de Pamplona, una mayor concentración de monóxido de carbono en el cinturón industrial del norte de la ciudad, que tiende a acumularse en su sector noroeste: una zona baja a barlovento del viento dominante (NW) al pie de la pequeña meseta donde se sitúa el resto de la ciudad, cuyo talud podría dificultar la dispersión (Fig. 11). Análogamente, las zonas residenciales periféricas muestran menores concentraciones de este contaminante.

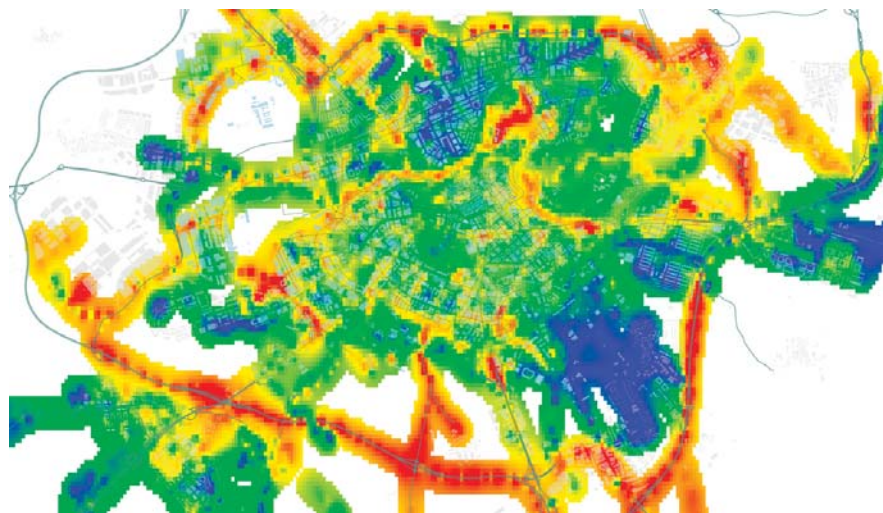


Figura 10. Niveles medios de  $\text{NO}_2$  en una escala del azul (bajo) al rojo (alto) entre las 8h y las 9h de la mañana. Los mayores niveles corresponden a las vías de más tráfico y circulación más rápida, como circunvalaciones o ejes de varios carriles. Hay puntos de alta concentración en cruces y algunos colegios. El color rojo corresponde a niveles por encima de 40 ppb, indicador de una calidad del aire deficiente.



Figura 11. Concentración de CO. Los niveles más altos -rojo- corresponden a la zona de estancamiento del aire junto al talud NW de la ciudad, mientras que los barrios residenciales de las afueras tienen concentraciones más bajas -azul-.

Sin embargo, en invierno estas mismas zonas residenciales muestran una concentración alta de partículas, probablemente asociadas a las chimeneas domésticas de leña del tipo de construcción prevalente en esas zonas (unifamiliares y adosados).

A pequeña escala, se han observado diferencias consistentes en los niveles de contaminantes entre la calzada y las vías ciclistas o las aceras (Fig. 13), reflejando probablemente la dispersión de la pluma de los emisores. La circulación por la calzada supone un aumento de entre el 37% y el 54% de los óxidos de nitrógeno inhalados con respecto a circular por el carril bici o por la acera donde esté permitido. El ozono cambia sólo un 5%, pero el aire sobre la acera o carril tiene un 90% menos de partículas  $PM_{10}$  y un 52% menos de  $PM_{2.5}$  que el del eje de la vía. Por otro lado, el monóxido de carbono aumenta un 27%.



Figura 12. Niveles medios de partículas finas,  $PM_{2.5}$ .

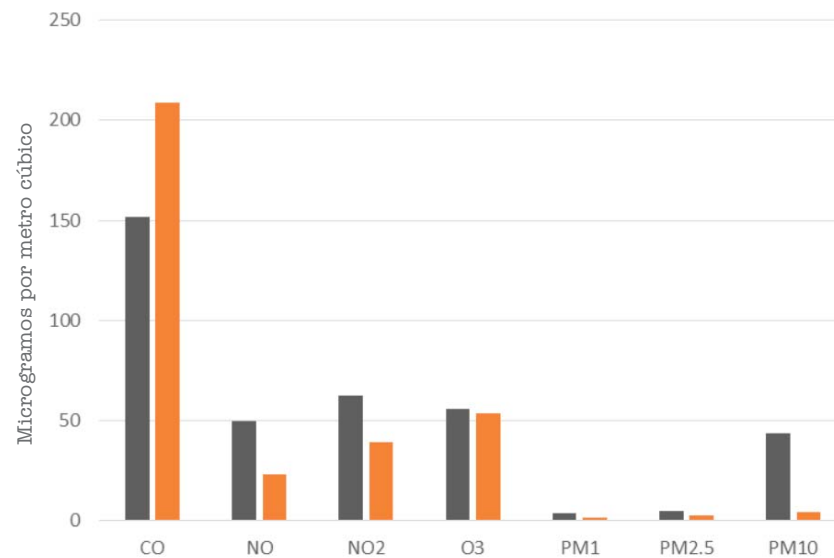


Figura 13. Comparación de los niveles de contaminantes entre calzada y carril o acera. Cifras en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## Referencias

Afshar-Mohajer, N., Zuidema, C., Sousan, S., Hallett, L., Tatum, M., Rule, A. M., ..., Koehler, K. (2017). Evaluation of low-cost electro-chemical sensors for environmental monitoring of ozone, nitrogen dioxide and carbon monoxide. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 9624(November), 0-0.  
<https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1388918>

Alphasense Ltd. (2017). OPC-N2 Technical Specification, 44(0). Retrieved from

<http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2017/05/OPC-N2.pdf>

Borrego, C., Costa, A. M., Ginja, J., Amorim, M., Coutinho, M., Karatzas, K., ..., Penza, M. (2016). Assessment of air quality microsensors versus reference methods: The EuNetAir joint exercise. *Atmospheric Environment*, 147, 246-263.  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.050>

DEFRA, Department for Environment Food & Rural Affairs, & Department for Transport. (2017). Improving air quality: national plan for tackling nitrogen dioxide in our towns and cities - Defra - Citizen Space, (May). Retrieved from:  
[www.nationalarchives.gov.uk/doc/open-government-licence/version/3/](http://www.nationalarchives.gov.uk/doc/open-government-licence/version/3/)  
[www.gov.uk/government/publications](http://www.gov.uk/government/publications)  
<https://consult.defra.gov.uk/airquality/air-quality-plan-for-tackling-nitrogen-dioxide/>

Guerreiro, C., de Leeuw, F., Foltescu, V., Schilling, J., van Aardenne, J., Lükewille, A., & Adams, M. (2012). Air quality in Europe - 2012 report, EEA Report No 4/2012. <https://doi.org/10.2800/55823>

Mead, M. I., Popoola, O. a M., Stewart, G. B., Landshoff, P., Calleja, M., Hayes, M., ..., Jones, R. L. (2013). The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks. *Atmospheric Environment*, 70, 186-203.  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.11.060>

Mijling, B., Jiang, Q., de Jonge, D., & Bocconi, S. (2017). Practical field calibration of electrochemical NO<sub>2</sub> sensors for urban air quality applications. *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, (2), 1-25.  
<https://doi.org/10.5194/amt-2017-43>



## Inhalación de contaminantes por los ciclistas



Resulta evidente que la bicicleta se encuentra cada vez más integrada en nuestras ciudades como medio de transporte alternativo a los vehículos a motor, hecho que contribuye a reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos, disminuir la congestión del tráfico y mejorar la condición

física de quien la utiliza. Por ello, cada vez son más las ciudades implicadas en la creación de infraestructuras que favorecen este tipo de transporte. Sin embargo, este esfuerzo en promocionar el uso de la bicicleta no se ha centrado hasta la fecha en mitigar la exposición que padecen los ciclistas a los contaminantes generados por el tráfico. Y todo ello pese a que numerosos estudios científicos han demostrado que la exposición de los ciclistas a los contaminantes ligados al tráfico provoca importantes efectos adversos en su salud, incluyendo problemas respiratorios (exacerbación del asma), afecciones cardiovasculares e incremento de la mortalidad (Janssen et al., 2011; Strak et al., 2011; Hoek et al., 2013).

En el proyecto LIFE+RESPIRA se ha realizado un estudio específico con un reducido número de voluntarios (40) para cuantificar la dosis de contaminación inhalada en función de la intensidad física asociada al uso de la bicicleta, estimando así la peligrosidad de circular por determinadas vías cuando se tienen en cuenta tanto los niveles de contaminación como el esfuerzo realizado. Es de esperar que la información obtenida sea de gran utilidad para los gestores urbanos, favoreciendo la toma de decisiones de cara a mejorar la calidad de vida de ciclistas y peatones.

### Influencia de la actividad física en la inhalación de contaminantes

A la hora de valorar el efecto de la contaminación a la que se ve expuesto un peatón o ciclista en el entorno urbano es preciso tener en cuenta dos factores *a priori* independientes. Por una parte está la concentración de contaminantes existente en la vía por la que circulan, que a su vez es dependiente de la densidad, distribución y naturaleza de las fuentes de contaminación (vehículos a motor, calefacciones...), las condiciones atmosféricas, configuración de la vía, época del año, hora del día, etc. El segundo factor tiene que ver con la actividad que están realizando los ciclistas y peatones cuando se exponen a la contaminación urbana. Hablamos de actividad en el sentido de esfuerzo físico, pues todos los contaminantes atmosféricos penetran en el cuerpo vía respiratoria y el flujo de aire que mantenemos con nuestro entorno está relacionado, entre otras cosas, con el nivel de actividad física que estemos desempeñando (Int Panis et al. 2010).

Esto es especialmente relevante en el caso de los ciclistas, ya que mientras circulan realizan una actividad con mayor demanda respiratoria que los peatones, incluso cuando lo hacen a velocidades bajas. Esto quiere decir que circular en bicicleta por una vía contaminada no es recomendable, y menos aún si durante ese tiempo se realiza un esfuerzo físico elevado (por ejemplo, subiendo una cuesta), ya que ello incrementa considerablemente la demanda respiratoria. A mayor volumen de aire respirado mayor es la inhalación de contaminantes atmosféricos.

### Rutas “saludables”

En una ciudad existen múltiples recorridos para alcanzar un mismo destino (Fig. 1). El camino más corto o más rápido suele ser el priorizado por los programas de navegación. Si además se tuvieran en cuenta los niveles

de contaminación estimados en las distintas vías de la ciudad y el esfuerzo físico que supone al ciclista recorrer las distintas calles, el usuario podría seleccionar la ruta que pronosticara una menor cantidad de contaminación inhalada hasta destino (MacNaughton et al., 2014).



Figura 1. Posibles alternativas para llegar a un mismo destino. Ante tres recorridos de la misma duración, ¿cuál tomaremos? El objetivo del Planificador de Rutas Saludables es incluir información adicional relacionada con la contaminación y el esfuerzo físico para valorar los caminos a seguir. Fuente imagen: Google Maps.

Con esta premisa, en el proyecto LIFE+RESPIRA se ha diseñado una App que se ha denominado “planificador de rutas saludables”. Se trata de una herramienta informática, disponible tanto en la web como para dispositivos móviles, que permite elegir al usuario la vía por la que tiene que circular para desplazarse entre dos puntos estando expuesto al menor nivel de contaminantes posible.

Para llevar a cabo este objetivo, se han tenido en cuenta no sólo los niveles de contaminación sino también el

esfuerzo físico que supone para el ciclista recorrer una determinada ruta. Puesto que medir en tiempo real la cantidad de aire que el ciclista utiliza en cada momento resulta complejo, se decidió registrar la frecuencia cardiaca como un estimador indirecto del esfuerzo respiratorio. Dicho parámetro puede determinarse con suficiente precisión y exactitud mediante una gran variedad de dispositivos comerciales. En el proyecto LIFE+RESPIRA 40 voluntarios han simultaneado la medida de contaminantes con el registro de su frecuencia cardiaca gracias al uso de pulsómetros comerciales (un reloj de muñeca con sensor en cinta de pecho) durante sus trayectos por la ciudad.

Los voluntarios, que participaron en cursos de formación para aprender a utilizar correctamente los pulsómetros y a acceder a los datos generados (Fig. 2), hicieron más de 3.500 recorridos, cubriendo cerca de 5.000 kilómetros, lo cual permitió reunir una base de datos depurada (previa eliminación de datos anómalos) con más de un millón y medio de registros.

Así mismo, los voluntarios seleccionados para esta acción concreta del proyecto se sometieron a una espirometría en la Clínica Universidad de Navarra (CUN) que permitió obtener una serie de parámetros relacionados con el volumen respiratorio. Dichos valores se utilizaron posteriormente para estimar el volumen de aire que los voluntarios movilizan durante sus desplazamientos en bicicleta y, por tanto, la cantidad de contaminantes a la que están expuestos en sus recorridos.

Las espirometrías practicadas muestran la típica relación entre volumen respiratorio (expresado como volumen tidal: cantidad de aire que inspiramos y espiramos en una respiración normal), edad y sexo (Fig. 3). Las mujeres presentan un volumen tidal inferior al de los hombres y, en ambos sexos, este parámetro respiratorio se ve mermado con la edad.



Figura 2. Documentación elaborada para instruir a los voluntarios sobre el uso de los pulsómetros y la descarga de los datos.

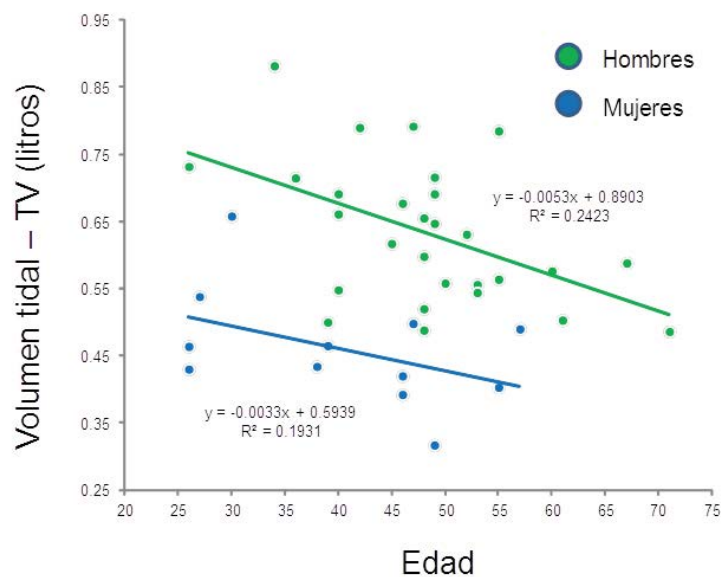


Figura 3. Relación entre el volumen tidal respiratorio y la edad de los voluntarios.

### ¿Qué nos cuentan los datos?

Los datos de posición de cada lectura de frecuencia cardiaca (*heart rate - HR*) se cruzaron con un modelo digital del terreno de paso de malla de 5m (Instituto Geográfico Nacional) para obtener los datos de altitud de cada punto y, mediante análisis espacial, los valores de velocidad, pendiente y distancia recorrida por cada voluntario (Fig. 4).

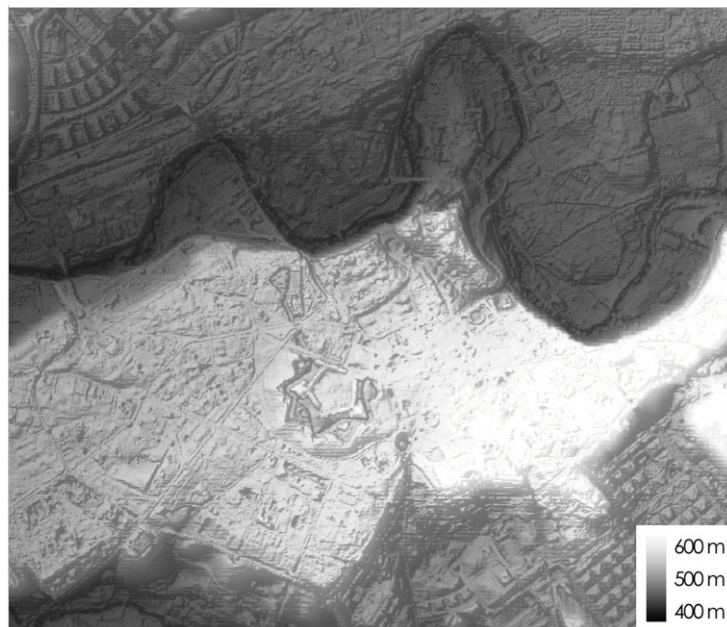


Figura 4. Modelo Digital del Terreno de 5m de resolución horizontal (MDT05) de parte del área de estudio. El MDT05 se ha obtenido por interpolación a partir de la clase terreno de vuelos LIDAR del PNOA. Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

Antes de proceder a analizar los datos, los recorridos se dividieron en segmentos de 30 segundos de duración (los pulsómetros proporcionaban una lectura de HR cada segundo), en los que se calcularon el promedio, máximo y mínimo de las variables velocidad, pendiente y HR. Para considerar un segmento como válido se intro

dujeron una serie de condicionantes que permitieran asumir que el segmento mantenía ciertas condiciones uniformes de pendiente y orientación y en el que el voluntario se encontraba realizando un esfuerzo físico estable.

Estas limitaciones a las características admisibles de los datos suponen perder una cantidad considerable de datos disponibles, pero a cambio se reduce en gran medida el ruido estadístico en los análisis, proporcionando así una información de mayor calidad. Los análisis se realizaron finalmente sobre más de 20.000 segmentos, cada uno de los cuales correspondía a conjuntos de un máximo de 30 puntos (Fig. 5).



Figura 5. Ejemplo de los recorridos con pulsómetro de un voluntario. Los puntos azules indican lugares con información de frecuencia cardiaca. Las líneas verdes son los segmentos que cumplen los requisitos de uniformidad en velocidad, pendiente y orientación establecidos.

De los resultados analizados hasta el momento se desprenden varias conclusiones que vienen a corroborar el planteamiento que dio lugar al desarrollo de esta acción dentro del proyecto LIFE+RESPIRA. Por una parte, que el desplazamiento en bicicleta supone un

esfuerzo notable, tal y como lo corrobora el valor de la frecuencia cardiaca media de todos los voluntarios, que alcanza los 113 latidos por minuto. Esta media presenta grandes variaciones cuando estudiamos cada persona por separado, lo cual evidencia tanto la heterogeneidad en la representación del grupo de voluntarios como edad, sexo y probablemente, distintas costumbres en el uso de la bicicleta, como pueden ser la velocidad media de desplazamiento (media global de 4,3 m/s, unos 15 km/h) o recorridos urbanos (Fig. 6).

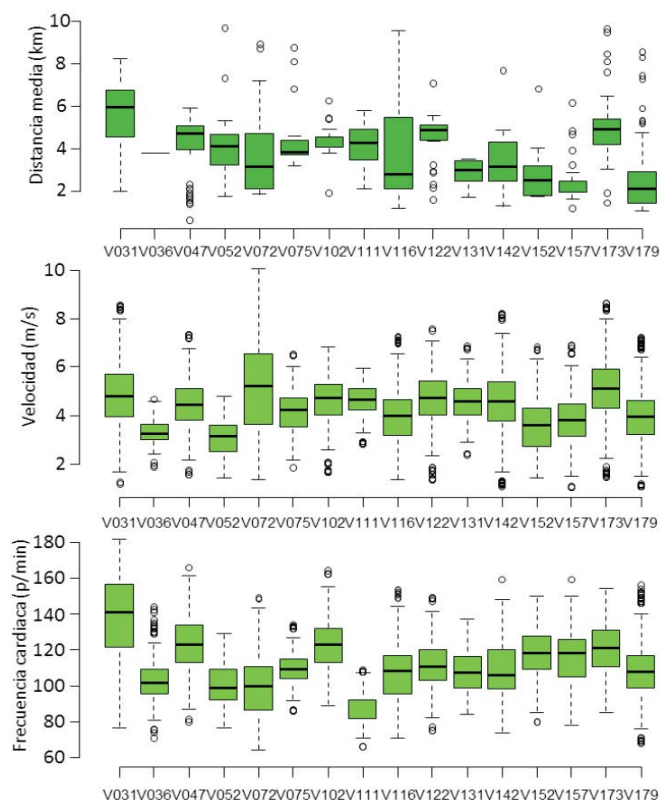


Figura 6. Distancias típicas, velocidades y frecuencias cardiacas registradas en algunos voluntarios del estudio. Los recuadros verdes indican los valores más habituales, mientras que las líneas y los círculos marcan valores especialmente altos o bajos más extraordinarios. La línea negra dentro del recuadro es el valor medio de cada voluntario.

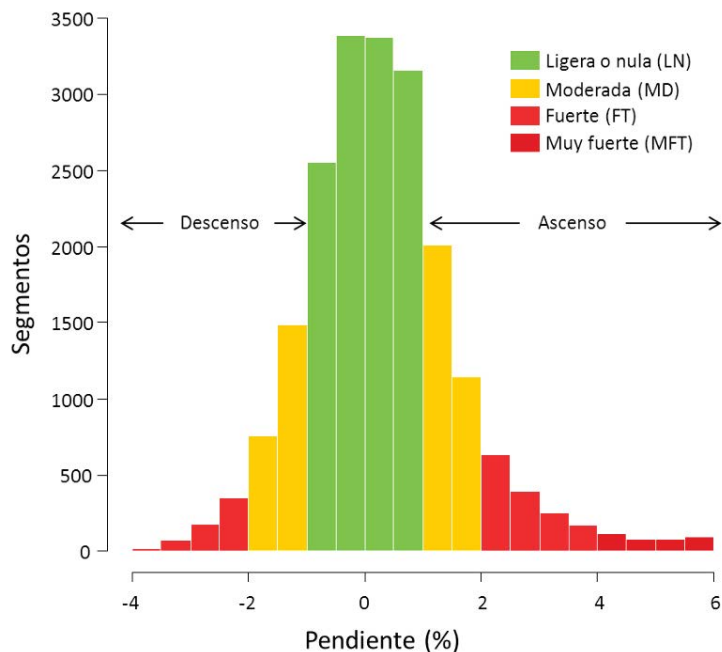


Figura 7. Histograma de las pendientes medias de los segmentos analizados. La mayoría de los segmentos recorridos por los voluntarios se encuentran en la zona verde, considerada como de baja o nula pendiente, pero se han registrado pendientes medias próximas al 6% en ascenso y hasta del 4% en descenso.

La mayoría de los desplazamientos se producen en zonas de pendientes nulas o reducidas (<1%), como corresponde al relieve de la zona urbana en la que se localizan principalmente los recorridos. Sin embargo, con frecuencia se identifican tramos en pendientes moderadas (1-2%) o fuertes (2-6%). Las pendientes, tanto positivas como negativas (Fig. 7), tienen un importante efecto sobre dos parámetros fundamentales en lo que respecta a la contaminación: cuánto esfuerzo realiza el ciclista y durante cuánto tiempo permanece en una determinada vía.

La velocidad media en los tramos de pendientes ligeras o

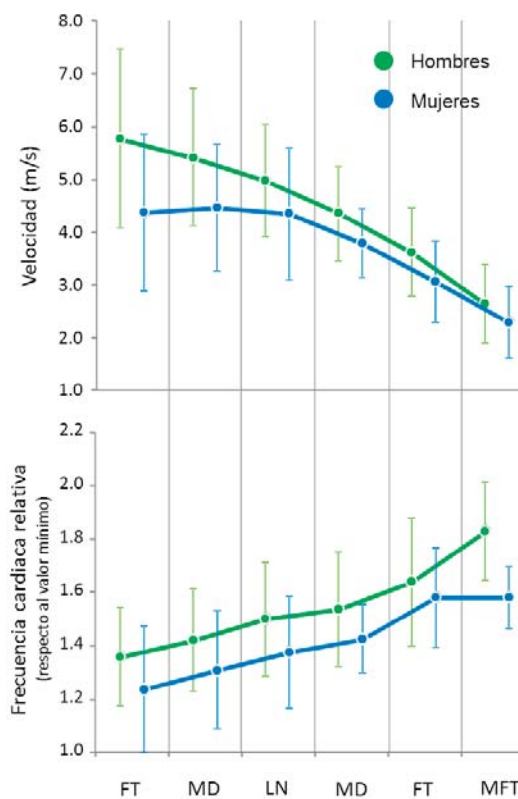


Figura 8. Relación entre velocidad, frecuencia cardíaca y pendiente del transecto para hombres y mujeres. Las abreviaturas de las pendientes coinciden con lo descrito en la Figura 7 y están ordenadas de la misma forma (a la izquierda pendientes fuertes en sentido descendente y a la derecha pendientes fuertes ascendentes). Los puntos representan los valores medios y las barras la desviación típica.

nulas se sitúa ligeramente por encima de los 4m/s, mientras que en los tramos de pendientes fuertes esta velocidad se reduce hasta los 2m/s en el caso de las pendientes ascendentes, o alcanza los 6m/s cuesta abajo (este efecto es más evidente en los ciclistas varones). Estas diferencias notables de velocidad condicionan el tiempo que el ciclista tarda en recorrer un determinado segmento, lo cual resulta significativo desde el punto de vista de la contaminación, ya que las vías en pendiente suelen ir asociadas a un mayor gasto de combustible por parte de los vehículos a motor y, por tanto, a una mayor producción de gases contaminantes. Además, la inclinación se ve reflejada en la HR de los ciclistas: los valores medios

pueden oscilar un 40%-80% respecto al valor basal conforme los voluntarios pasan a vías de pendientes ascendentes fuertes o muy fuertes (Fig. 8).

El impacto de los cambios de pendiente en los recorridos de los ciclistas no puede ser obviado a la hora de estimar su exposición a la contaminación. Un incremento en la frecuencia cardiaca puede implicar duplicar la frecuencia respiratoria, por lo que la cantidad de aire que entra en los pulmones pasa a ser mucho mayor que en una situación de reposo o de circulación por vías sin pendiente. Si a esto sumamos la variación en la velocidad, resulta patente que la exposición al aire urbano de una vía de cierta longitud puede cambiar notablemente en función de la pendiente ascendente o descendente del recorrido. Conocer por tanto cuál es la estimación de contaminantes en una vía puede no ser suficiente; dependiendo de la pendiente media de la misma hay que contar también con el sentido en el que la recorrerá el ciclista. A este respecto, la exposición a concentraciones puntuales de elevada contaminación puede resultar muy perjudicial para la salud de ciclistas y peatones, de ahí la necesidad de llevar a cabo estudios que indaguen en estos aspectos de cara a mejorar su calidad de vida.

## Conclusiones

El uso de medios de locomoción activos en las ciudades tiene un importante efecto en la sociedad, incluyendo una disminución de la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes perjudiciales para la salud, así como un incremento de la actividad física. Sin embargo, los ciclistas (y en menor grado los peatones) se encuentran más expuestos que el resto de ciudadanos a los contaminantes atmosféricos generados por el tráfico, hecho relacionado con el ejercicio físico que realizan. Precisamente, el intenso ejercicio realizado en determinadas vías de elevada pendiente, supone un incremento significativo de la inhalación de contaminantes

Teniendo en cuenta los beneficios ambientales y para la salud del transporte activo, ya sea a pie o en bicicleta, resulta evidente que es preciso alentar a políticos y gestores municipales a que promuevan vías con menos contacto con el tráfico motorizado, de manera que los ciclistas puedan desplazarse, incluso durante las horas punta, sin estar sometidos a elevados niveles de contaminación.

A este respecto, el planificador de rutas saludables desa-



rollado en el proyecto LIFE+RESPIRA, constituye una herramienta de gran utilidad para ayudar a los ciudadanos a desplazarse por aquellas vías que muestran un menor nivel de contaminantes, mejorando así su calidad de vida.

## Referencias

Han X, Naeher LP. (2005). A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world. *Environ Int* 32:106–20.

Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, Peters A, Ostro B, Brunekreef B, et al. (2013). Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environ Heal* 12(43).

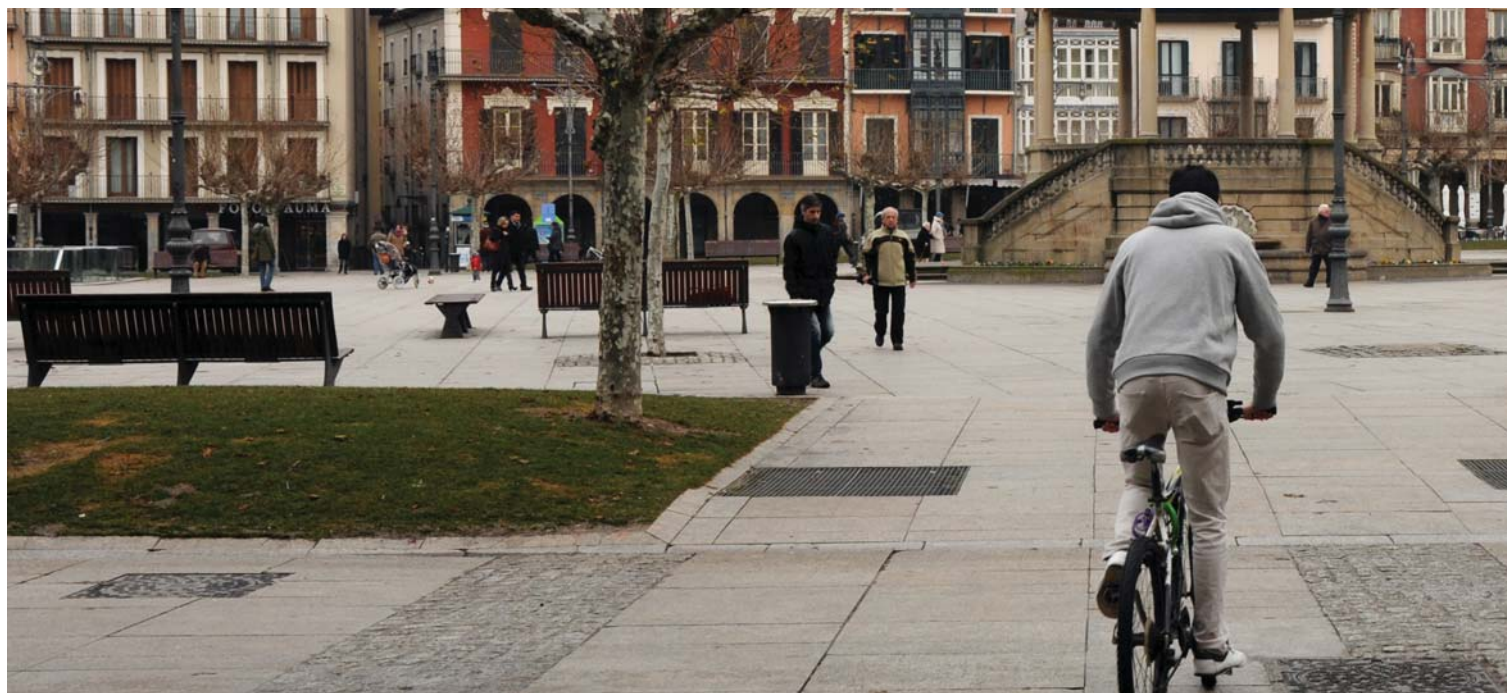
Int Panis L, de Geus B, Vandebulcke G, Willems H,

Degraeuwe B, Bleux N et al. (2010). Exposure to particulate matter in traffic: a comparison of cyclists and car passengers. *Atmos Environ* 44: 2263–2270.

Janssen NAH, Hoek G, Simic-Lawson M, Fischer P, Bree L, Brink H, et al. (2011). Black carbon as an additional indicator of adverse health effects of airborne particles compared with PM10 and PM2.5. *Environ Health Perspect* 119(12):1691–9.

MacNaughton; P; Melly, S.; Vallarino, J.; Adamkiewicz, G.; and Spengler, J.D. (2014). Impact of bicycle route type on exposure to traffic-related air pollution. *Science of the Total Environment* 490 (2014) 37–43.

Strak M, Boogaard H, Meliefste K, Oldenwening M, Zuurbier M, Brunekreef B, et al. (2011). Respiratory health effects of ultrafine and fine particle exposure in cyclists. *Occup Environ Med* 67:118–24.





### **3. PAPEL DE LA VEGETACIÓN URBANA EN LA CALIDAD DEL AIRE**





## Influencia de la vegetación urbana y peri-urbana en la calidad del aire

La contaminación atmosférica continúa siendo uno de los principales retos ambientales de la sociedad, particularmente en las ciudades, donde se concentran hasta tres cuartas partes de la población europea. Aunque las políticas de control de emisiones de contaminantes atmosféricos en Europa han logrado disminuir las emisiones de manera significativa en las últimas décadas, la contaminación atmosférica sigue siendo responsable de más de 400.000 muertes prematuras cada año en Europa (EEA, 2015). Por ello, las ciudades necesitan desarrollar planes de gestión y estrategias que permitan disminuir la exposición a la contaminación atmosférica de la población con el fin de reducir los efectos y los enormes costes económicos asociados y mejorar la calidad ambiental y el bienestar de los ciudadanos.

La vegetación urbana y peri-urbana ha sido reconocida como una valiosa herramienta para mejorar la calidad del aire en las ciudades. Los contaminantes emitidos a la atmósfera pueden ser retirados por los procesos de depósito húmedo, a través del lavado con la lluvia o la nieve, o bien por procesos de depósito seco, en los que los contaminantes entran en contacto con superficies a las que quedan adheridos. La importancia relativa de cada uno de los procesos depende en parte de las condiciones atmosféricas, siendo el depósito seco mucho más relevante en el sur que en el norte de Europa. La vegetación urbana representa una multiplicación de la superficie de contacto con el aire, lo que favorece el depósito seco de los contaminantes atmosféricos. Además, la vegetación puede absorber los contaminantes gaseosos a través de los estomas durante el intercambio de gases que ocurre normalmente con la atmósfera, en el que se produce una absorción del  $\text{CO}_2$  necesario para la fotosíntesis. Junto con la absorción de  $\text{CO}_2$ , otros gases contaminantes pueden ser absorbidos, reduciéndose sus concentraciones en el aire.

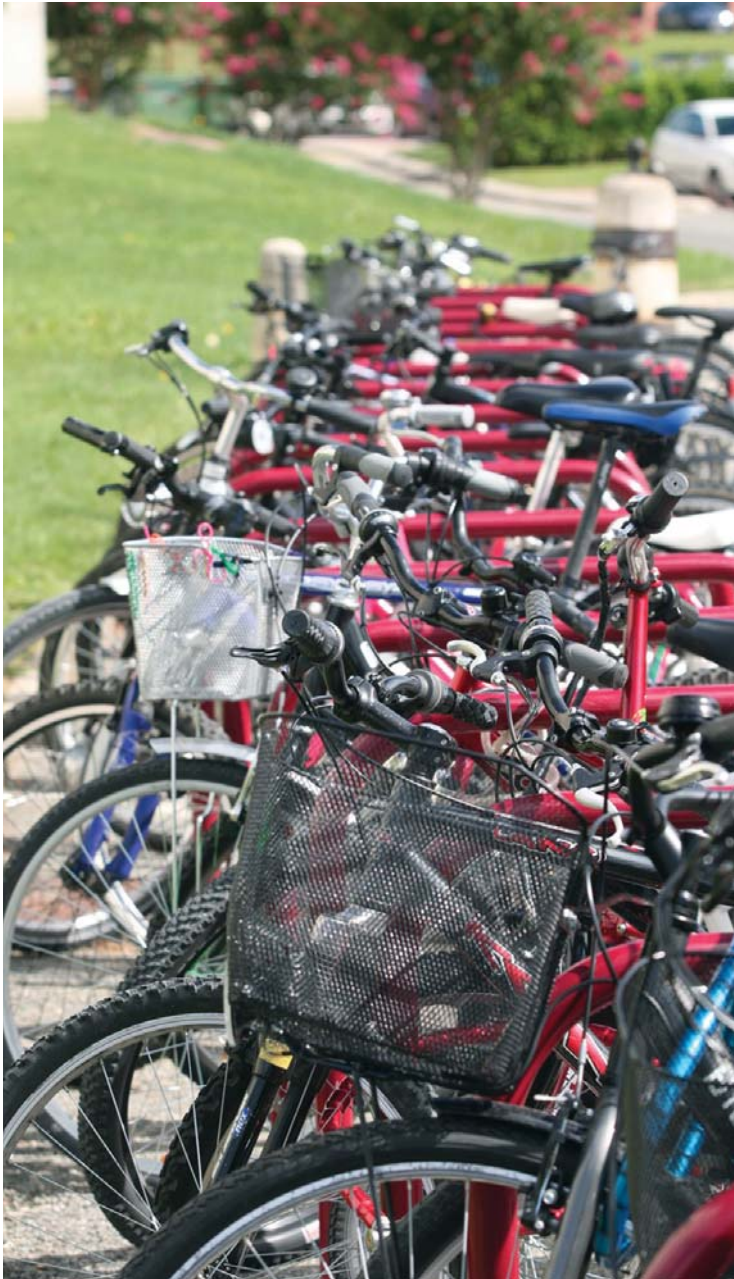
La vegetación urbana puede ayudar a mejorar la calidad del aire también de una manera indirecta mediante los

efectos en el microclima. El sombreado de edificios y calles por efecto de la vegetación y la evapotranspiración que ocurre en las superficies vegetales, contribuyen a disminuir la temperatura de interiores y exteriores, promoviendo el ahorro de energía asociado al uso de aire acondicionado y favoreciendo con ello la reducción de emisiones. Así mismo, una menor temperatura ambiental reduce a su vez los procesos fotoquímicos en la atmósfera que generan contaminantes secundarios como el ozono troposférico o ciertas partículas finas.

Además de los beneficios relacionados con la calidad del aire y el clima, la vegetación urbana y peri-urbana promueve la salud y el bienestar de los ciudadanos ofreciendo otros servicios ambientales, sociales, culturales y económicos, conocidos en su conjunto como servicios ecosistémicos. Estas son las razones por las que la vegetación urbana y peri-urbana ha sido incluida dentro de la estrategia de infraestructuras verdes promovida por la Unión Europea con el fin de asegurar la conservación de la biodiversidad y de los servicios que ésta provee.

### Rasgos de la vegetación urbana relacionados con la calidad del aire

La capacidad de la vegetación urbana para retirar contaminantes atmosféricos depende de las características morfológicas y fisiológicas de cada especie. Uno de los rasgos más relevantes es la cantidad de superficie foliar que está en contacto con el aire y que por tanto es susceptible de sustraer gases o partículas contaminantes. La superficie foliar se puede expresar como índice de área foliar (LAI, *leaf area index*), que indica la cantidad de superficie foliar por superficie de suelo, o como densidad de área foliar (LAD, *leaf area density*), calculada como el área foliar por unidad de volumen de la copa del árbol. Por esta razón, los árboles, con una mayor área foliar capturan más contaminantes atmosféricos que otros elementos vegetales de menor tamaño como matorrales y praderas. Entre las especies arbóreas, las conífe-



ras presentan altos índices de área foliar, por lo que se las considera más eficaces para retirar contaminantes atmosféricos (Tiwary et al., 2016). Además, las coníferas mantienen las acículas a lo largo de todo el año, por lo que ofrecen este servicio también durante la época invernal, a diferencia de las especies caducifolias que al perder las hojas durante el invierno reducen de manera drástica su superficie durante dicha estación. En ambientes mediterráneos, la abundancia de especies de hoja ancha de carácter perennifolio adaptadas a climas secos, como por ejemplo la encina, aumenta la lista de especies que pueden ser utilizadas en zonas urbanas y peri-urbanas para mejorar la calidad del aire. Además del área foliar, la forma y estructura espacial de la copa determinan la porosidad del dosel, afectando a la dispersión y depósito de los contaminantes. Una mayor densidad puede aumentar la captura de contaminantes hasta un cierto punto, pero cuando la densidad del dosel es muy elevada puede reducirse la difusión de los contaminantes hacia el interior de la copa disminuyendo la capacidad de filtración, que queda limitada a la parte del dosel más expuesta a los contaminantes.

Otros rasgos relacionados con la superficie foliar también son relevantes para la retirada de contaminantes atmosféricos. Con una misma superficie foliar, las especies que presentan hojas cubiertas de pelos o tricomas, con superficies rugosas o con un importante contenido en ceras, favorecen el depósito de material particulado y evitan su resuspensión (Saebo et al., 2012). Así mismo, las hojas que presentan una superficie con sales o iones que crean un ambiente húmedo, favorecen el depósito de material particulado o la disolución de gases solubles en agua (Samson et al., 2017).

Para la retirada de contaminantes gaseosos, aquellas especies que presenten una alta tasa de conductancia estomática serán las más efectivas para reducir los contaminantes. Numerosos estudios han encontrado que las coníferas son en general más eficientes para

retirar contaminantes de la atmósfera debido tanto a su mayor índice de área foliar, como a que presentan unas mayores velocidades de depósito sobre la superficie foliar. Además, estas especies mantienen la presencia de hojas a lo largo de todo el año. Sin embargo, las coníferas son más sensibles a la contaminación atmosférica y a la presencia de las sales que se usan en invierno para evitar la formación de placas de hielo. Por ello, con el fin de maximizar los beneficios para la mejora de la calidad del aire urbana es fundamental combinar especies caducifolias y perennifolias, evitando la localización de coníferas en primera línea cercanas a fuentes de emisión como carreteras o calles con tráfico intenso.

Es importante tener en cuenta que la presencia de vegetación en la ciudad también puede contribuir a empeorar la calidad del aire en algunas circunstancias. La vegetación y hongos asociados producen material particulado de origen biológico, como es el polen o las esporas. En el primer caso algunas especies producen un polen con un fuerte carácter alergénico, que puede agravarse en combinación con la contaminación atmosférica, constituyendo uno de los principales problemas asociados a la vegetación urbana (Cariñanos et al., 2016). La alergenicidad del polen depende de las especies, por lo que este criterio debería incluirse a la hora de seleccionar especies para ambientes urbanos. Además, algunas especies emiten compuestos orgánicos volátiles de origen biogénico (COVBs) que pueden contribuir a la formación de ozono y material particulado de origen secundario a partir de reacciones en la atmósfera.

Todos estos rasgos nos indican que la vegetación urbana y peri-urbana afecta a la calidad del aire en las ciudades por lo que debería incluirse como uno de los criterios a tener en cuenta en el proceso de selección de especies de arbolado urbano. Así mismo, una gestión que asegure un buen estado de conservación y vigor de las plantas facilitará la capacidad de filtración y efecto positivo en la

calidad del aire. Una vez seleccionadas las especies más adecuadas en cuanto a los rasgos específicos de crecimiento y estructura, otro factor igual de relevante a tener en cuenta es la distribución y colocación del arbolado como se explicará en los siguientes apartados.

### Características del arbolado urbano de Pamplona

En el proyecto LIFE+ RESPIRA se han evaluado las características relacionadas con la calidad del aire del arbolado y masas arboladas presentes en la ciudad de Pamplona. La ciudad cuenta con más de 87.000 árboles de más de 300 especies, lo que representa una importante diversidad de arbolado urbano y peri-urbano. Sin embargo, pese al gran número de especies, las 10 más abundantes representan un 62% de la superficie arbolada (Tabla 1), y más de un tercio de las especies no presentan más de 10 individuos en toda la ciudad. Resulta interesante que solamente un 9% de los árboles de Pamplona son perennifolios, lo que indica que un porcentaje muy pequeño del arbolado urbano puede ofrecer servicios para mejorar la calidad del aire durante el invierno, época en la que frecuentemente se detectan altas concentraciones de contaminantes atmosféricos.



Figura 1. Campaña de medida de conductancia estomática en arbolado urbano dentro del proyecto LIFE+ RESPIRA

Se ha recopilado la información disponible sobre los rasgos relacionados con la calidad del aire de las especies más abundantes presentes en Pamplona (Fig. 1). La mayor parte de las 10 especies más abundantes presentan una capacidad media para mitigar la contaminación atmosférica, tanto de contaminantes gaseosos como de material particulado (Tabla 1). Pero hay que destacar que 6 de las 10 especies más abundantes producen polen con un alto índice de alergenicidad. Además, 9 de ellas presentan unas tasas medias o altas de emisión de COVBs. Estos resultados indican que la incorporación de una mayor superficie cubierta con especies perennifolias y con especies que maximicen su papel beneficioso en la captura de contaminantes atmosféricos podría contribuir a la mejora de la calidad del aire de Pamplona.



| <b>Especie</b>         | <b>Superficie (%)</b> | <b>PPF</b> | <b>Mitigación contaminación atmosférica</b> | <b>Conductancia estomática</b> | <b>Potencial alergénico</b> | <b>Emisión COVBs</b> |
|------------------------|-----------------------|------------|---------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Platanos x hispanica   | 16.9                  | 2.3        | Medio                                       | 65                             | Alto                        | Alto                 |
| Populus nigra          | 11.6                  | -2         |                                             | 110                            | Alto                        | Alto                 |
| Populus x euramericana | 9.4                   | -2         |                                             |                                | Bajo                        | Alto                 |
| Aesculus hippocastanum | 4.6                   | 2.7        | Medio                                       |                                | Medio                       | Medio                |
| Populus alba           | 4.2                   | -2         | Alto                                        | 289                            | Alto                        | Alto                 |
| Celtis australis       | 3.5                   |            |                                             | 159                            | Medio                       | Medio                |
| Ulmus minor            | 3.3                   |            |                                             | 94                             | Alto                        | Medio                |
| Acer negundo           | 3.2                   | 1.7        | Medio                                       | 76                             | Alto                        | Medio                |
| Acer pseudoplatanus    | 2.9                   | 1.7        | Medio                                       |                                | Medio                       | Medio                |
| Fraxinus excelsior     | 2.3                   | 2.1        | Medio                                       | 97                             | Alto                        | Bajo                 |

Tabla 1. Características de las 10 especies más abundantes del arbolado de Pamplona relacionadas con la calidad del aire: porcentaje de la superficie total arbolada de Pamplona correspondiente a una especie; PPF es el “pollution flux potential”, índice propuesto por Tiwary et al. (2016), que representa la capacidad de interacción entre el follaje y la atmósfera, considerando tanto el depósito como la emisión de contaminantes atmosféricos; los valores más altos ofrecen un mayor beneficio para la calidad del aire; la capacidad de mitigar la contaminación atmosférica incluye material particulado y compuestos gaseosos según Samson et al. (2017); conductancia estomática ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) medida en condiciones fisiológicas óptimas, indicador de la capacidad potencial de absorber contaminantes atmosféricos gaseosos; potencial alergénico según Cariñanos et al. (2016); emisión de COVBs según Samson et al. (2017).

### Papel de la vegetación urbana y peri-urbana en la calidad del aire en zonas sin fuentes de emisión

Además de los rasgos morfológicos y fisiológicos de las especies seleccionadas, la localización y estructura de la vegetación urbana es un factor igualmente relevante para determinar la capacidad de mejorar la calidad del aire. En las zonas donde no hay emisiones *in situ* de contaminantes atmosféricos, como son los bosques peri-urbanos y los jardines y parques, la vegetación ejerce un claro papel de filtración y reducción de los contaminantes atmosféricos. El uso de modelos de calidad del aire ha permitido cuantificar cómo los bosques peri-urbanos contribuyen a la mejora de la calidad del aire, facilitando el depósito y reduciendo así las concentraciones de contaminantes como el ozono o el material particulado en las áreas cercanas. Por ejemplo, se ha calculado que la desaparición del Monte de El Pardo, un bosque situado al norte de la ciudad de Madrid, provocaría un aumento de hasta un 15% en las concentraciones de ozono en las áreas aledañas (Alonso et al., 2011). La mayor parte de estudios que analizan y cuantifican el papel de la vegetación urbana y peri-urbana en la calidad del aire en las ciudades se han realizado con modelos de diferentes tipos. Además de los modelos de calidad del aire anteriormente mencionados, el modelo más utilizado es el *Urban Forest Effects* (UFORE, actualmente denominado i-Tree), desarrollado por Novak et al. (2008). Este tipo de modelos presentan algunas limitaciones y se ha insistido recientemente en la necesidad de realizar medidas experimentales que sirvan para validar y mejorar las estimaciones de los modelos.

El proyecto LIFE+ RESPIRA ha desarrollado una contribución significativa, demostrando experimentalmente que, en zonas sin fuentes de emisión, las concentraciones de diferentes contaminantes atmosféricos como el ozono, los óxidos de nitrógeno, el amoníaco y el ácido nítrico son significativamente menores bajo el dosel

arbóreo que en zonas abiertas sin arbolado (Fig. 2; García-Gómez et al., 2016). Estos resultados confirman las predicciones realizadas con modelos y resaltan la importancia de la presencia de arbolado en zonas sensibles como zonas de juegos infantiles, patios de colegio, áreas de deporte, jardines de hospitales o residencias de ancianos, etc., con el fin de reducir la exposición de la población a la contaminación atmosférica, especialmente de la población más vulnerable como son niños, ancianos y población con patologías previas o pacientes crónicos.

### Eficacia de las barreras vegetales para reducir la exposición a la contaminación atmosférica

La vegetación urbana también puede resultar eficaz para frenar la dispersión de contaminantes hacia zonas que se quieran proteger, por ejemplo para la separación de carriles bici de la calzada, o la protección de zonas sensibles para la población, como áreas infantiles, parques, zonas deportivas, etc. que se encuentren cerca de calzadas con tráfico intenso. LIFE+ RESPIRA ha demostrado mediante campañas de medida en diferentes estaciones del año (Fig. 3) que la distancia entre los carriles ciclistas y los carriles de tráfico es el principal factor que



Figura 3. Muestreo de la influencia de los setos en la calidad del aire en Pamplona proyecto LIFE+ RESPIRA.

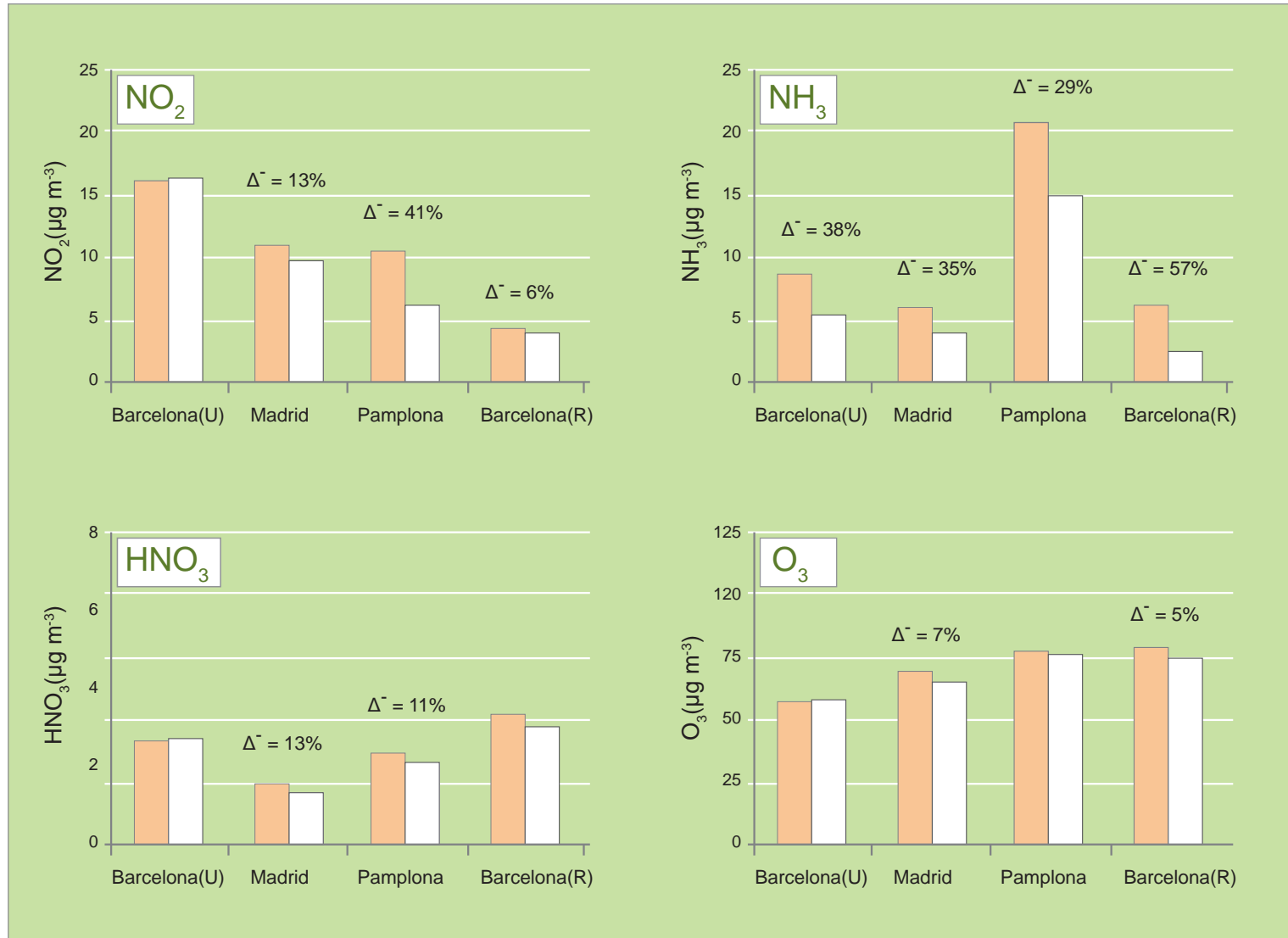


Figura 2. Concentraciones de contaminantes atmosféricos en zonas abiertas (barras naranjas) y bajo el dosel arbóreo (barras verdes) en bosques peri-urbanos. Los valores representan el valor medio de dos años de medidas. Se muestra la disminución en la concentración ( $\Delta^-$ ) sólo para los casos estadísticamente significativos. Datos publicados en García-Gómez et al. (2016).

disminuye la concentración de carbono negro (black carbón) en aire, uno de los principales contaminantes ligados al tráfico. Cuando esta distancia no es posible, el empleo de barreras vegetales de separación, en particular de tipo seto, ayuda a reducir hasta un 30% la exposición de los ciclistas a las partículas emitidas por el tráfico (Fig. 4). La eficiencia del seto dependerá no sólo de las dimensiones, densidad y de la especie seleccionada, sino también de los vientos dominantes que arrastran los contaminantes emitidos por el tráfico, aumentando la eficiencia en aquellas condiciones en que los vientos predominantes arrastran los contaminantes desde la calzada hacia el seto (Fig. 5).

El empleo de barreras arboladas puede ser también eficaz, pero con este tipo de vegetación es importante tener en cuenta la altura a la que se producen las emisiones y la exposición a la población, y la altura en que se desarrolla la copa del árbol. Si la copa del árbol se hace frondosa a cierta altura (típicamente 3-4 metros) para facilitar el tránsito de vehículos o personas, este tipo de barreras vegetales serán menos eficientes en reducir la contaminación atmosférica a la altura de viandantes o ciclistas que las barreras arbustivas o tipo seto que presentan dosel desde el suelo. La combinación de medidas experimentales con modelos de dispersión de contaminantes (ver capítulo 4), ha mostrado que las barreras vegetales constituidas por setos tras los cuales se localiza una línea de arbolado son particularmente eficientes para reducir la exposición a la contaminación a niveles de los viandantes o ciclistas. Estos resultados también destacan que es necesario tener en cuenta los efectos aerodinámicos dependiendo de la disposición de la vegetación frente a la calzada, los vientos dominantes y la distribución de la vegetación con el fin de maximizar los efectos beneficiosos de las barreras vegetales.

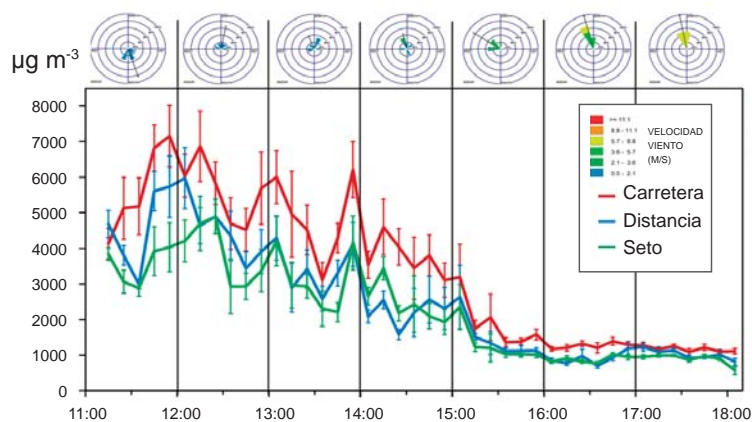


Figura 4. Análisis de la eficacia de un seto como barrera vegetal para la dispersión de la contaminación atmosférica. La figura muestra las concentraciones de carbono negro y el diagrama de vientos en la Avenida de Navarra (Pamplona) medidas en el proyecto LIFE+ RESPIRA. La línea roja representa las concentraciones medidas al borde de la calzada junto al tráfico; la línea verde las concentraciones al otro lado de un seto y la línea azul las concentraciones a la misma distancia en que se colocaron los sensores detrás del seto pero sin que haya una barrera vegetal.

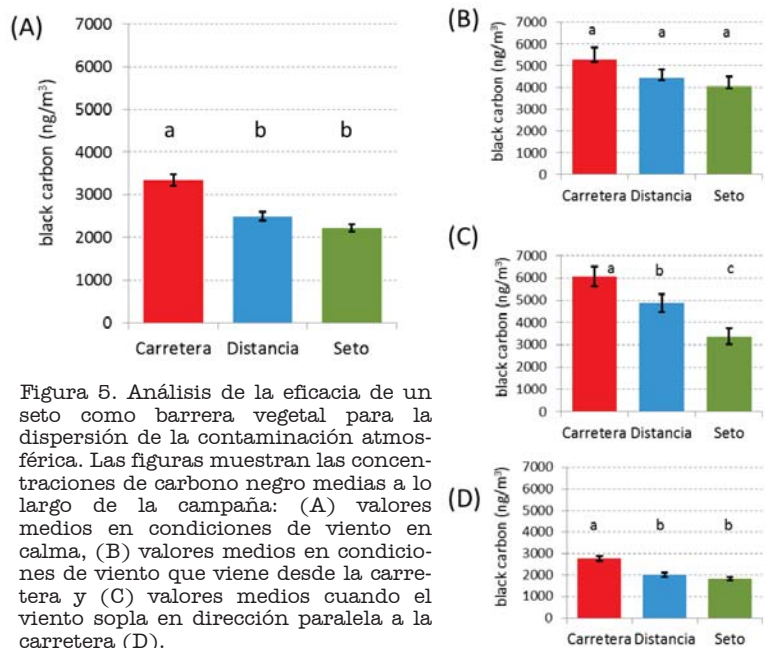


Figura 5. Análisis de la eficacia de un seto como barrera vegetal para la dispersión de la contaminación atmosférica. Las figuras muestran las concentraciones de carbono negro medias a lo largo de la campaña: (A) valores medios en condiciones de viento en calma, (B) valores medios en condiciones de viento que viene desde la carretera y (C) valores medios cuando el viento sopla en dirección paralela a la carretera (D).

### Influencia del arbolado viario en la calidad del aire en calles estrechas tipo “street canyon”

El papel del arbolado viario en la calidad del aire en calles estrechas con tráfico relativamente intenso es más controvertido, puesto que puede suponer un obstáculo para la dispersión de los contaminantes emitidos, siendo este efecto más importante que la capacidad de captación de los contaminantes por parte del dosel. Los modelos atmosféricos de tipo CFD (*Computational Fluid Dynamics*; ver capítulo 4), que permiten simular la concentración y distribución de los contaminantes a nivel de calle, se han utilizado en algunos estudios para estimar el efecto del arbolado urbano, pero la falta de datos experimentales no ha permitido validar estas estimaciones hasta el momento. El proyecto LIFE+RESPIRA ha realizado campañas experimentales de medidas de parámetros meteorológicos y de concentración de contaminantes atmosféricos a varias alturas en las fachadas de edificios en calles con efecto cañón (*street canyon*) gracias a la colaboración y participación de los vecinos que permitieron la instalación de sensores en sus fachadas (Fig. 6). Los resultados han mostrado que las concentraciones de carbono negro detectadas a unos 10 m de altura eran de media un 19% menores que a 3 metros cuando no había arbolado, mientras que la presencia de arbolado redujo esa diferencia a un 10% de media (Fig. 7). Estos resultados confirman que la presencia de arbolado urbano reduce la dispersión vertical de las partículas emitidas por el tráfico, lo que en ocasiones puede empeorar la calidad del aire en calles con arbolado y tráfico intenso. Estos resultados han servido para comprobar la idoneidad de los modelos atmosféricos de tipo CFD para estimar la distribución espacial de los contaminantes y variables meteorológicas como la temperatura en las calles de Pamplona. La modelización, combinada con las medidas experimentales, ha

detectado que el arbolado urbano puede ejercer de barrera para la entrada de contaminantes de calles aledañas con tráfico intenso y mayores emisiones de contaminantes. Por esta razón, los barrios con calles estrechas con efecto cañón requieren de estudios más detallados sobre la distribución de las emisiones y las condiciones meteorológicas predominantes, con el fin de ayudar a decidir sobre el diseño, posición y tamaño de los árboles que puedan ser más adecuados para ofrecer confort climático sin interrumpir la ventilación, de forma que no se agraven los problemas de calidad del aire.



Figura 6. Medidas de concentración de contaminantes atmosféricos y parámetros meteorológicos a diferentes alturas en una calle con efecto cañón en Pamplona como parte de las actividades del proyecto LIFE+RESPIRA.

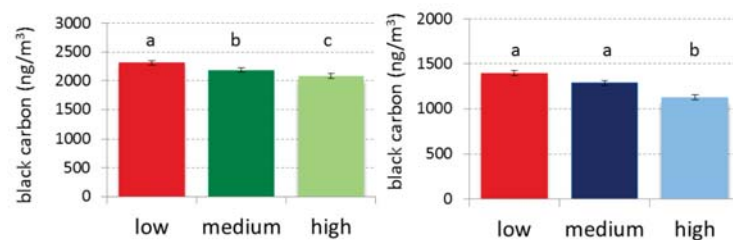


Figura 7. Concentraciones de carbono negro a diferentes alturas en las fachadas de una calle con presencia de arbolado viario (izquierda) y otra calle similar sin arbolado (derecha) en Pamplona dentro de las actividades del proyecto LIFE+RESPIRA.



## Conclusiones



La vegetación urbana constituye un elemento importante en la gestión de la calidad del aire pero su eficacia depende de una serie de factores que deben ser tenidos en cuenta, comenzando por la selección de especies que conforman el arbolado urbano. Características como el tamaño de copa, la longevidad de las hojas, la superficie rugosa o con pelos o las altas tasas de intercambio gaseoso son rasgos de una especie que pueden contribuir a disminuir la contaminación atmosférica. Así mismo, hay que tener en cuenta las características de las especies en cuanto alergenicidad del polen o producción de compuestos orgánicos volátiles con el fin evitar posibles efectos perjudiciales en la calidad del aire. Una gestión adecuada de la vegetación urbana que asegure la vitalidad y el buen estado de las plantas maximizará los servicios de filtración y mejora de la calidad del aire que puede ofrecer la vegetación urbana.

Además de los criterios de selección de especies y su correcto mantenimiento, es necesario un adecuado diseño y estructura de los tipos de zonas verdes y uso de barreras vegetales que permitan ayudar a disminuir la exposición a la contaminación atmosférica de la población. De cualquier manera es necesario resaltar que aunque la vegetación urbana y peri-urbana puede ayudar a mejorar la calidad del aire, la única estrategia efectiva será disminuir las emisiones en el interior de la ciudad, principalmente aquellas relacionadas con el tráfico, que son la principal causa de los problemas de contaminación atmosférica en las ciudades.

## Referencias

Alonso, R., Vivanco, MG., González-Fernández, I., Bermejo, V., Palomino, I., Garrido, JL., Elvira, S., Salvador, P., Artíñano, B. (2011) Modelling the influence of peri-urban trees in the air quality of Madrid region (Spain). *Environmental Pollution* 159, 2138-2147

Cariñanos P, Adinolfi C, Díaz de la Guardia C, et al. (2016). Characterization of allergen- emission sources in urban areas. *J Env Quality* 45: 244-252.

European Environmental Agency (2015). SOER 2015 — The European environment — state and outlook 2015. A comprehensive assessment of the European environment's state, trends and prospects, in a global context. 212 pp.

García-Gómez, H., Izquieta-Rojano, S., Aguilauume, L., González-Fernández, I., Valiño, F., Elustondo, D., Santamaría, J.M., Ávila, A., Fenn, M.E., Alonso, R. 2016. Atmospheric deposition of inorganic nitrogen in Spanish forests of *Quercus ilex* measured with ion-exchange resins and conventional collectors. *Environmental Pollution* 216: 653-661.

Grote R, Samson R, Alonso R, Amorim JH, Cariñanos P, Churkina G, Fares S, Le Thiec D, Niinemets Ü, Mikkelsen T, Paoletti E, Tiwary A, Calfapietra C (2016). Functional traits of urban trees: air pollution mitigation potential. *Frontiers in Ecology and the Environment* 14: 543-550.

Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C., Hoehn, R.E., Walton J.T., Bond, J. 2008. A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services. *Arboriculture & Urban Forestry* 34, 347-358

Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, HM., Gawronska, H., Gawronski, SW. (2012) Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Sci Total Environ.* 427-428:347-354.

Samson et al., (2017). En: Pearlmutter et al. (eds), *The Urban Forest, Future City* 7, Springer. Pp 111-144

Tiwary A, Williams ID, Heidrich O, et al. (2016). Development of multi- functional streetscape green infrastructure using a performance index approach. *Environmental Pollution* 208: 209-220



# 4. MODELOS DE ALTA RESOLUCIÓN PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE



## Modelización de la calidad del aire en Pamplona y medidas para su mejora

### Modelización de la calidad del aire y evaluación de los resultados

En las calles y plazas de una ciudad el aire fluye siguiendo unos patrones bastante complejos derivados de la perturbación causada por los edificios y obstáculos existentes en las calles (árboles, coches, etc.). Dichas perturbaciones aportan también una turbulencia adicional que afecta al intercambio de propiedades físicas (momento o energía), incluyendo a la dispersión de los contaminantes existentes en el aire ambiente. Estos patrones de circulación de aire en las calles y plazas no pueden simularse usando modelos habituales a otras escalas mayores como, por ejemplo, los modelos utilizados para la predicción meteorológica. Para las ciudades hay que usar modelos de muy alta resolución que describan de forma explícita obstáculos urbanos como son, por ejemplo, los edificios o los árboles de las calles. Estos modelos son los conocidos modelos atmosféricos de tipo CFD (*Computational Fluid Dynamics*), que permiten simular con un alto detalle espacial (resolución del orden de un metro) la evolución y distribución de los contaminantes en las calles de una ciudad.

Los modelos CFD (software empleado STAR-CCM+ de Siemens) han sido utilizados en el Proyecto LIFE+ RESPIRA para simular con muy alta resolución las calles de Pamplona con objeto de dar una información muy detallada de cómo se distribuyen los contaminantes en las calles, plazas y parques de la ciudad y cómo evolucionan con el tiempo. La metodología utilizada se basa en otros trabajos de los autores como Parra et al. (2010), Santiago et al. (2013) y Santiago et al. (2017a). La información resultante de estas simulaciones de alta resolución ha sido utilizada en otras actividades del proyecto como, por ejemplo, la estimación de la exposición de la población a la contaminación. Las simulaciones de las circulaciones de aire y dispersión de contaminantes urbanos en Pamplona se han realizado a dos escalas distintas: 1) escala de distrito urbano y 2) escala de toda la ciudad.



Figura 1. Mapa de Pamplona y del distrito de Plaza de la Cruz mostrando aproximadamente los dominios utilizados para simular la contaminación en la ciudad con los modelos CFD.

En el caso del distrito urbano, se eligió una zona de aproximadamente 1 km<sup>2</sup> alrededor de la Plaza de la Cruz (Fig. 1).

Ahora bien, el uso de estos modelos ha de ir precedido de una labor de puesta a punto que incluye su ajuste y validación. En el caso del distrito urbano, para analizar la capacidad del modelo CFD de reproducir las observaciones experimentales, se utilizaron las medidas tanto de la estación de calidad del aire de Plaza de la Cruz como las de las campañas de medida intensivas realizadas en este distrito en dos calles paralelas muy próximas y de características similares en cuanto a tráfico, una con arbolado urbano (Calle San Fermín) y otra sin él (Calle Tafalla). Esta comparación entre los resultados obtenidos de las simulaciones (velocidades de viento y concentración de contaminantes) y los datos experimentales medidos, han demostrado la capacidad de estos

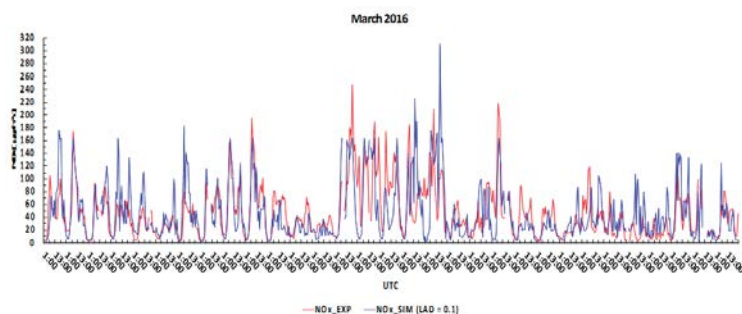


Figura 2. Evolución de las concentraciones horarias de NOx en la estación de Plaza de la Cruz estimadas por el modelo CFD (azul) y medidas en dicha estación (rojo) para Marzo de 2016

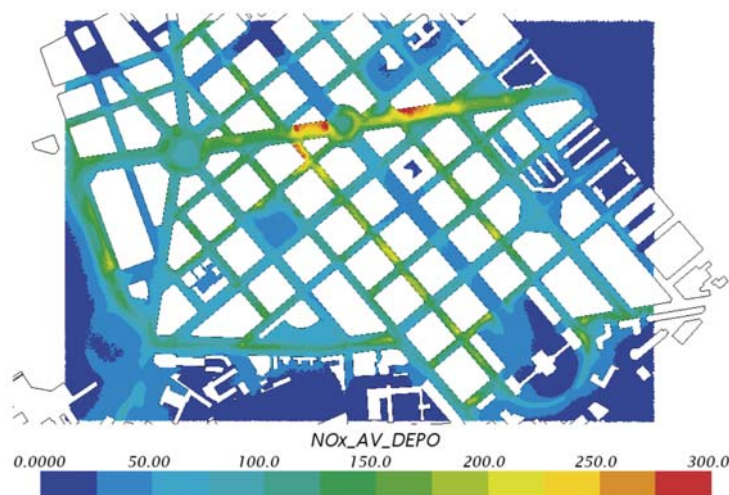


Figura 3. Mapa de alta resolución de concentración de NOx ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) promedio durante el periodo del 1 al 14 de marzo de 2015 estimado por el modelo CFD para el distrito de Plaza de la Cruz (Pamplona).

modelos CFD de reproducir de forma fiable lo observado (Fig. 2). En este estudio se ha puesto de manifiesto la gran variabilidad espacial de concentración de contaminantes dentro y a lo largo de las calles, encontrándose importantes diferencias, por ejemplo, entre una acera y la de enfrente (Fig. 3). Las condiciones atmosféricas, especialmente la dirección y la velocidad del viento, y la

densidad de hojas de la vegetación urbana (árboles en las calles) pueden alterar la distribución de contaminantes.

Por otro lado, se ha realizado por primera vez en España la simulación CFD de muy alta resolución (5 m) de la dispersión de contaminantes en una ciudad completa como Pamplona (aprox.  $42 \text{ km}^2$ ). Aunque este hecho ha supuesto un esfuerzo computacional extraordinario, sus resultados han permitido tener una visión amplia y detallada de cómo se distribuyen los contaminantes en la ciudad y cómo evolucionan a lo largo del día según la época del año (Fig. 4). Las simulaciones se han enfocado a los óxidos de nitrógeno como contaminante más importante en la ciudad y con un origen mayoritario del tráfico. Esto ha permitido identificar aquellas calles más contaminadas y a qué horas del día se registran mayores o menores concentraciones de contaminantes (Rivas et al, 2017).

Los resultados obtenidos por estas simulaciones de toda la ciudad se han ajustado bien a las concentraciones observadas de óxidos de nitrógeno en las estaciones de calidad del aire de la misma (Fig.5). También se han comparado con el ingente número de datos recopilados por microsensores que los ciclistas voluntarios del proyecto han portado en sus viajes habituales a lo largo de ella (ver capítulo 2).

Las simulaciones para toda Pamplona han servido para:

- Estimar la exposición de la población a la contaminación, permitiendo realizar estudios de valoración económica de su impacto en la salud de los ciudadanos.
- Proporcionar datos de entrada a la App dedicada al navegador de rutas saludables, que permitirá a ciclistas y peatones buscar las rutas menos contaminadas en sus desplazamientos por Pamplona, así como una información esencial para el desarrollo de un Plan de Movilidad para la ciudad. Además, este buen comportamiento de

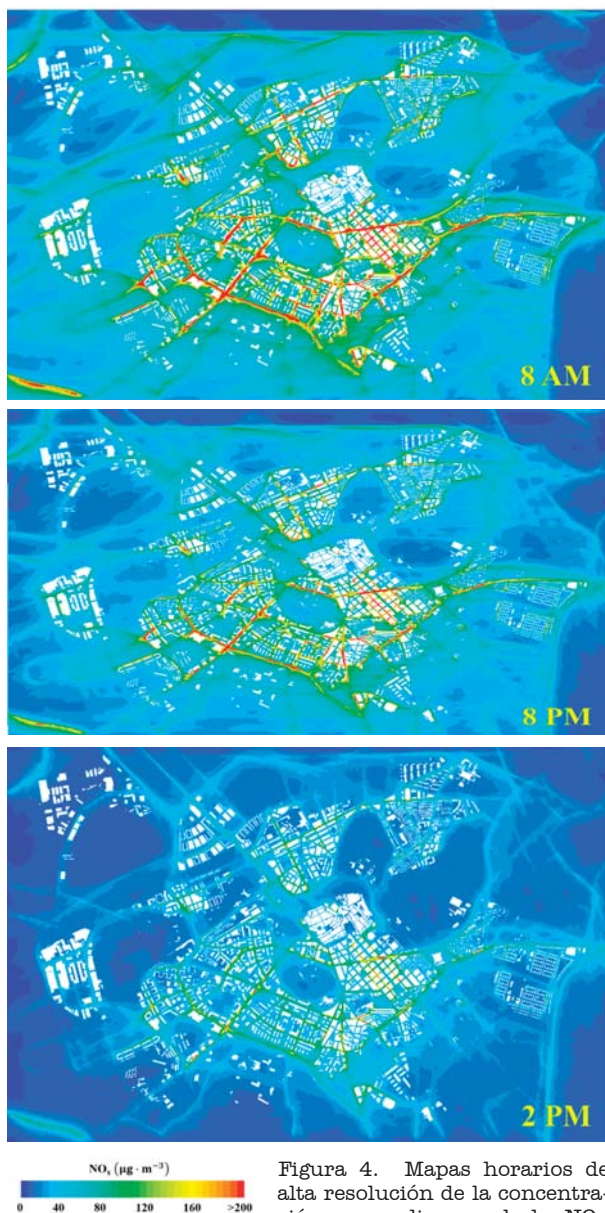


Figura 4. Mapas horarios de alta resolución de la concentración promedio anual de NOx durante 2016: 8 a.m., 2 p.m., 8 p.m., todos ellos hora local.

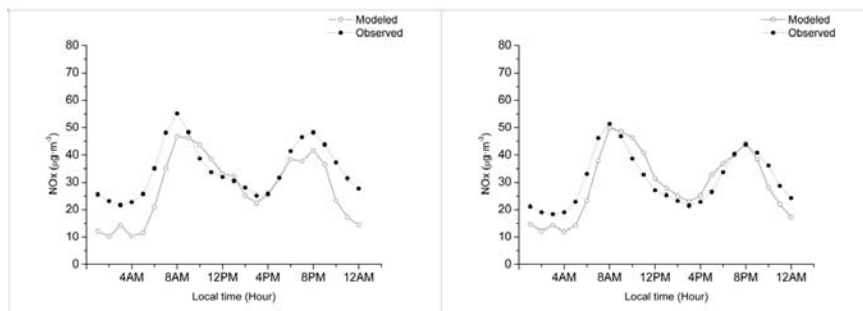


Figura 5. Comparación entre las concentraciones horarias de NOx modeladas y observadas. Día promedio anual en: a) Pamplona-Iturrama, b) Pamplona-Rotxapea.

los modelos CFD ha permitido utilizarlos para investigar el posible efecto de medidas de mitigación o de reducción de la contaminación atmosférica en Pamplona.

### Modelización de los efectos de la vegetación urbana en la calidad del aire

Para investigar el impacto del arbolado urbano en la calidad del aire se han realizado simulaciones analizando cómo se dispersan los contaminantes en función de la densidad de copa (durante el invierno es menor que durante el verano). Hay que tener en cuenta que la vegetación tiene dos efectos opuestos: por un lado está la eliminación o depósito de contaminantes: la vegetación es un sumidero de contaminantes ya que los captura o absorbe a través de sus hojas. Por otro, está la perturbación que producen a las circulaciones de aire, reduciendo la ventilación y la dispersión de contaminantes. Por todo esto, se ha investigado qué proceso es dominante en las calles de una ciudad, analizando las concentraciones de contaminantes resultantes de distintas simulaciones realizadas para el Distrito de Plaza de la Cruz, asumiendo distintas densidades de follajes (poco follaje representaría condiciones de invierno, mucho follaje serían condiciones de verano), y distintas intensidades del proceso de depósito de contaminantes por la vegetación (diferentes velocidades depósito, ya que depende del tipo de especie, etc.).

Se ha encontrado que el efecto de reducción de la capacidad dispersiva y alteración de las circulaciones de aire domina en la mayor

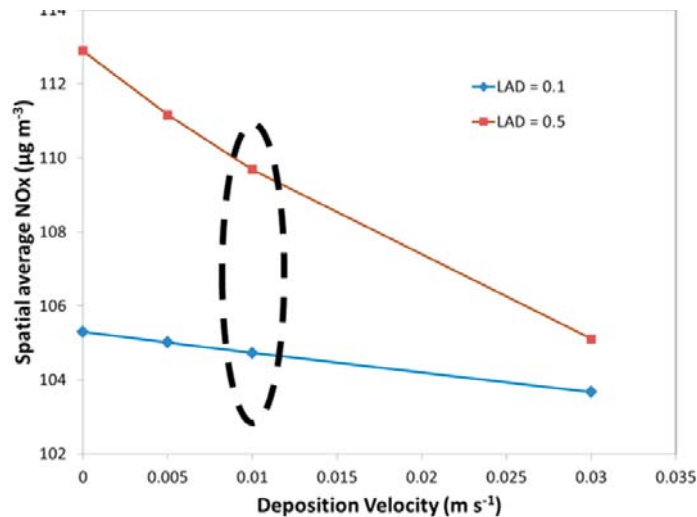


Figura 6. Variación de la concentración espacial media de NOx a 3 m sobre el suelo en función de las velocidades de depósito de contaminantes por la vegetación para dos densidades de follaje (LAD).

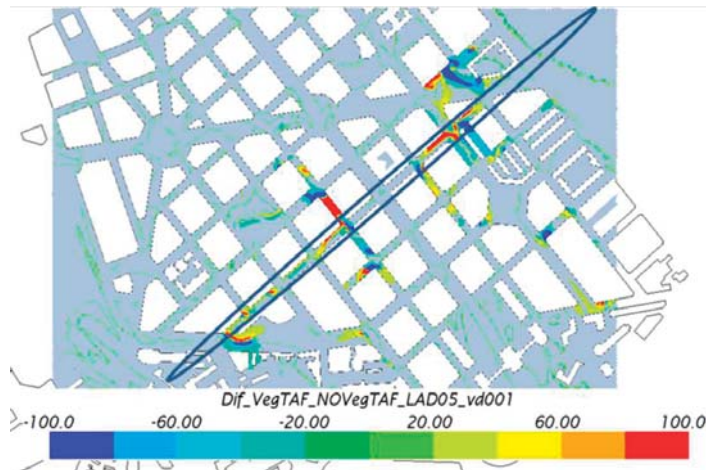
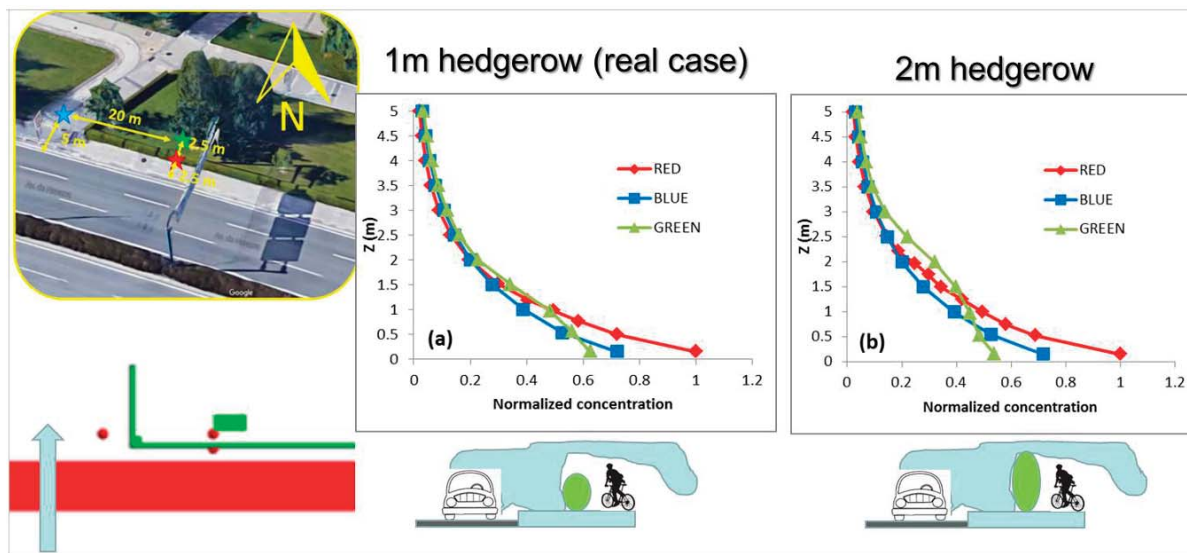


Figura 7. Diferencias de concentración comparando un caso real con otro virtual (presencia de árboles en una calle donde no hay en el caso real). Rojo indica que la concentración se incrementa en el escenario virtual y gris la zona donde las diferencias modelizadas son inferiores a 20 µg m<sup>-3</sup>. La línea continua señala la Calle Tafalla donde se ha simulado la colocación de árboles virtuales.

parte de condiciones al efecto de sumidero. En la Fig. 6, se muestra la relación entre las distintas velocidades de depósito de contaminantes (a más velocidad más eliminación o captura de contaminante por la vegetación) con el promedio espacial de la concentración de NOx a 3 metros sobre el suelo en la zona de estudio para dos casos de distinta densidad de follaje representada por el *Leaf Area Density* (LAD) (mayor LAD, follaje más denso). Se puede ver que cuando el follaje es más denso las concentraciones de NOx junto al suelo son más altas que cuando es poco denso. Además, aunque el proceso de depósito (captura) de contaminantes por la vegetación se intensifique (mayor velocidad de depósito), siempre la concentración de contaminantes será mayor cuando el follaje sea más denso, aunque esa diferencia será cada vez menor respecto al caso de follaje poco denso. Hay que considerar que el área que se simuló se caracteriza por calles con tráfico cubiertas por grandes árboles. En estos casos, en los que las copas de los árboles cubren gran parte de la calle y dejan debajo el tráfico emitiendo contaminantes, se produce un efecto de túnel que reduce la ventilación de la calle, acumulándose los contaminantes emitidos por los coches cerca del suelo. En consecuencia, los peatones y ciclistas que circulan por la calzada o las aceras respiran aire más contaminado (Vranckx et al, 2015 y Santiago et al, 2017a y b).

También, se ha realizado un interesante ejercicio de simulación con el modelo CFD consistente en ver qué pasa si en una calle que no tiene arbolado urbano se colocan en sus aceras grandes árboles con distintos grados de densidad de follaje. Esto se ha realizado para la Calle Tafalla, próxima a la Plaza de la Cruz, que originalmente no tiene árboles grandes en sus aceras. Los resultados mostrados en la Fig. 7 indican que plantar árboles en una calle con tráfico supone un impacto notable no sólo en la misma Calle Tafalla, sino en calles próximas alterando la distribución espacial de contaminantes. Esto indica que cualquier actuación de este tipo en una calle debe ir acompañada de un estudio previo

Figura 8. Resultados de las simulaciones de los experimentos del efecto de setos en la calidad del aire para el caso real de seto de 1 m de altura y otro hipotético de 2 m. Los colores de las curvas se corresponden con los puntos de medida en las campañas de campo, tal como se muestra en la imagen superior izquierda.



para ver qué afectaciones a la calidad del aire pueden esperarse, ya que cada caso y cada calle tienen sus propias particularidades.

Los resultados mostrados hasta ahora, junto con los del capítulo dedicado a la vegetación urbana, indican que la vegetación puede ejercer un potente efecto de barrera contra la contaminación. Si conseguimos separar a los peatones o ciclistas del tráfico mediante barreras vegetales, seguramente reduciremos la concentración de contaminantes en el aire que respiren. Esto nos ha llevado a investigar cómo puede ser dicho efecto. Para ello, nos hemos apoyado en las campañas de medidas que se han realizado dentro de este proyecto para estudiar el efecto de setos y árboles localizados en las aceras de grandes avenidas con tráfico (ver capítulo 3), y se han realizado simulaciones con el modelo CFD intentando reproducir las condiciones reales de las campañas de medida, y posteriormente otras adicionales para ver qué ocurriría en otras condiciones, por ejemplo, con setos más altos.

Las simulaciones realizadas del caso real estudiado en la campaña de medidas, que se corresponde con un seto bajo de 1 metro de altura localizado en límite de un parque con la acera de una avenida de Pamplona (sin edificios) con el viento soplando perpendicular desde la calzada, muestran que la concentración de contaminantes detrás del seto a nivel del suelo se reduce en algo más de un 35% respecto a la medida delante del seto, y un 15% respecto de un punto sin seto localizado a la misma distancia de la carretera. Sin embargo, a nivel de la altura del seto (1 m) la concentración estimada supera a la que habría en el punto sin seto, igualando la que habría justo delante del seto a la misma altura (Fig. 8).

Se ha realizado también otra simulación asumiendo un seto de 2 m de altura. El resultado muestra un descenso mayor de la concentración detrás del seto junto al suelo, pero otra vez se observa que, cuando nos aproximamos a alturas por encima de la mitad de la altura del seto, la concentración vuelve a superar a la que habría si no

hubiera seto. Es evidente que los efectos aerodinámicos hacen que el aire que incide en el seto al superarlo concentra más contaminantes en un menor espacio, mientras que deja libre de éstos la capa más baja detrás del seto por efecto estela. Considerando la altura de una persona, tendríamos que considerar implantar setos más altos o combinados con árboles que supongan una barrera más alta y que haga que la altura de protección (menor contaminación que sin seto) sea más elevada. También hay que considerar qué ocurriría en otras configuraciones, por ejemplo, si consideramos árboles situados detrás del seto o el efecto de un edificio, es decir, una configuración típica de calzada-seto-acera-edificio. Esto demuestra que aquí todavía hay un campo de investigación bastante abierto con objeto de determinar qué configuraciones de vegetación urbana son más adecuadas para garantizar una buena protección (separación) de las zonas peatonales o de carriles bici de las calzadas de las calles.

### Medidas para la mejora de la calidad del aire

Si se desea reducir la contaminación atmosférica en una ciudad es obvio que una medida a contemplar es reducir o restringir el tráfico de vehículos, al menos en aquellas zonas de la ciudad con peor calidad del aire (Parra et al, 2010). Con esta idea, se han realizado un conjunto de simulaciones centradas en el distrito de Plaza de la Cruz asumiendo distintos escenarios de reducción o restricción total del tráfico aplicados a las calles secundarias del mismo. Se han considerado que estas medidas se aplican a un número distinto de calles, es decir, se han considerado las reducciones o restricciones de tráfico en un conjunto de calles más pequeñas (justo las que están más próximas de Plaza de la Cruz) y a otra zona que engloba a esta primera, mucho más amplia (extendiéndose hacia el Este). Se han contemplado reducciones de un 100% (restricción total de tráfico) y de un 80% (restricción parcial) y de redistribución o desvío del tráfico restringido en las calles afectadas hacia las grandes

avenidas que rodean las zonas consideradas (0% sin redistribución, un 30% y un 60% de redistribución).

El volumen de resultados es bastante grande, ya que se trata de un total de 12 escenarios simulados, pero las conclusiones generales son las mismas para la zona de restricciones grande y para la zona pequeña. Se puede afirmar que una restricción de tráfico total tiene un impacto muy marcado en la calidad del aire de la zona afectada. La contaminación en la Plaza de la Cruz descendería más del 70% en promedio (es decir, casi desaparecería) en el caso de que no hubiera redistribución o desvío del tráfico hacia las grandes avenidas que rodean la zona (Fig. 9). Pero este caso es poco representativo, ya que es muy probable que la restricción del tráfico implique que éste tome otros caminos siguiendo las avenidas.

Asumiendo que el 60% del tráfico de las calles pequeñas se desvía a las avenidas, la reducción de la contaminación en Plaza de la Cruz es del 50% en promedio, lo que también es una reducción muy importante. Sin embargo, el incremento de la contaminación en las grandes avenidas circundantes y calles próximas es muy notable (por encima del 80% en muchos tramos). No obstante, la restricción total del tráfico en las zonas consideradas es muy poco realista, ya que hay que permitir cierto tráfico de vehículos privados de residentes, de reparto comercial, y/o de servicios públicos: de transporte (por ejemplo, taxi), de limpieza y recogida de basuras, de emergencias, etc.

Con esta idea, hemos contemplado escenarios en los que el tráfico se reduce un 80% quedando, por tanto, un 20% del tráfico sin restringir en las zonas objeto de estudio. En el caso de que no aumentara el tráfico en las avenidas circundantes, la contaminación en Plaza de la Cruz descendía entorno a un 50% de media, pero cuando se asume un aumento de tráfico del 60% en las avenidas, la concentración en Plaza de la Cruz baja menos de un



40%, aumentando, en cambio, en las avenidas y calles circundantes más del 80% en varias zonas (Fig. 9). Esto demuestra que las restricciones de tráfico son medidas muy efectivas en las zonas donde se aplican, pero pueden tener como contrapartida un aumento de la contaminación en las avenidas y calles circundantes si no se adoptan medidas complementarias (potenciación del transporte público, por ejemplo) que eviten o contrarresten el posible aumento de tráfico en avenidas y calles circundantes (desviado para evitar la zona de restricción).

Por otro lado, desde hace unos años han aparecido tecnologías y materiales que, con mayor o menor éxito, parecen ser capaces de limpiar o reducir la contaminación de las ciudades. Un tipo de esos materiales es el de los llamados fotocatalíticos, basados en óxidos de titanio y caracterizados por su capacidad para reaccionar con óxidos de nitrógeno bajo la acción de la radiación solar (Lim et al., 2000 y Dalton et al., 2002). En estudios en los que ha participado el CIEMAT (proyecto LIFE MINOX Street), consistentes en experimentos de campo en calles reales y ejercicios de modelización, se ha visto que la eficiencia de tales materiales (utilizados en forma de

baldosas, pinturas, pavimentos,...) para eliminar los óxidos de nitrógeno en una atmósfera urbana real es bastante baja (Palacios et al., 2015; Pujadas et al., 2017, Sánchez et al., 2017).

No obstante, se ha creído muy conveniente indagar sobre cuál sería su efecto si se utilizasen en el distrito de Plaza de la Cruz. Para ello, se realizaron simulaciones CFD de la dispersión de NOx en la zona de Plaza de la Cruz considerando que en un área de unos 400 x 400 m<sup>2</sup> se instalase en las aceras material fotocatalítico (Fig. 10). Si se analiza la diferencia relativa entre la concentración a la altura de respiración de peatones y ciclistas obtenida en el caso de tener material fotocatalítico frente al caso de no tenerlo, podemos ver que la reducción de la concentración máxima de contaminante en la Plaza de la Cruz no llega al 6%, y en promedio estaría entre el 3 y el 4%. En el conjunto de la zona, la reducción media es del orden del 2%. Es decir, el material fotocatalítico es poco efectivo reduciendo la contaminación en una zona urbana, y es claramente menos efectivo que otras medidas como, por ejemplo, lo es la restricción del tráfico.

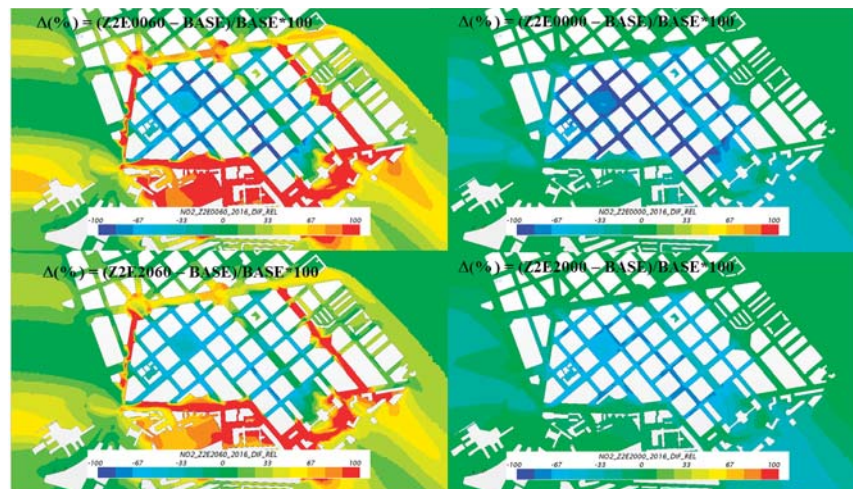


Figura 9. Diferencias relativas de concentración de NOx en el Distrito de Plaza de la Cruz estimadas para los casos en que en la zona indicada en el mapa superior se han aplicado distintas restricciones de tráfico: reducción del tráfico un 100% (arriba) y reducción de tráfico en un 80% (abajo); y con distinta redistribución del tráfico: con 60% del tráfico desviado a las avenidas circundantes (izquierda) y sin tráfico desviado (derecha).



## Conclusiones

Los modelos CFD utilizados se ajustan de forma muy razonable a los datos registrados en estaciones de medida de calidad del aire de Pamplona y a los datos recogidos en campañas experimentales realizadas en esa ciudad, bien con equipos fijos o móviles (datos de sensores portados por ciclistas voluntarios). Estos modelos muestran la gran variabilidad espacial de la concentración de contaminantes dentro de las calles, dando una visión de muy alta resolución de la contaminación en la ciudad. Una de las grandes novedades de este estudio es que por primera vez en España, y casi en el mundo, se han podido utilizar modelos CFD de muy alta resolución para simular la contaminación en una ciudad completa de tamaño medio como es Pamplona, lo que ha supuesto un esfuerzo computacional enorme. Esto ha servido para detectar qué calles son las más contaminadas y a qué horas se produce más contaminación.

Por ahora, no hay criterios generales que se puedan establecer en cuanto al uso de la vegetación urbana.

Para cada caso particular hay que analizar los impactos que puede suponer en la calidad del aire, pero teniendo en cuenta también el confort térmico, el consumo energético de los edificios o las emisiones de COVs y alérgenos. Además hay que estudiar qué tipo, tamaño y forma de árboles y vegetación son mejores en cada caso, las localizaciones más adecuadas dentro la calle o respecto a la carretera, etc.

Por último, se ha analizado el efecto de otras medidas de reducción de la contaminación, como es el caso de peatonalizar algunas calles no principales alrededor de la Plaza de la Cruz, considerando la redistribución del tráfico, o el efecto de instalar pavimentos fotocatalíticos en varias calles de ese distrito. La primera opción es mucho más efectiva que la segunda. Las restricciones de tráfico reducen de forma drástica la contaminación en las calles afectadas, pero puede aumentarla en las circundantes si el tráfico se desvía hacia ellas. En cambio, la reducción de la concentración de NOx a la altura de respiración de los peatones debida a esos pavimentos fotocatalíticos es débil.

## Referencias

Dalton J.S., P.A. Janes, N.G. Jones, J.A. Nicholson, K.R. Hallam, G.C. Allen, 2002. Photocatalytic oxidation of NO<sub>x</sub> gases using TiO<sub>2</sub>: a surface spectroscopic approach. *Environmental Protection*, 120 (2), pp. 415-422.

Lim T.H., S.M. Jeong, S.D. Kim, J. Gyenis, 2000. Photocatalytic decomposition of NO by TiO<sub>2</sub> particles. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 134 (3), pp. 209-217

Parra MA, Santiago JL, F. Martin, A. Martilli, J.M. Santamaría, 2010. A methodology to urban air quality assesment during large time periods of winter using computational fluid dynamic models. *Atmospheric Environment* 44, 2089-2097.

Palacios M., L. Núñez, M. Pujadas, J. Fernández-Pampillón, M. Germán, B. S. Sánchez, J. L. Santiago, A. Martilli, S. Suárez, B. S. Cabrero, 2015. Estimation Of NO<sub>x</sub> Deposition Velocities For Selected Commercial Photocatalytic Products. *WIT Transactions on The Built Environment*. 168, 729-740. DOI 10.2495/SD150642

Pujadas M., M. Palacios, L. Núñez, M. Germán, J. Fernández-Pampillón, B. Sanchez, J.L. Santiago, Benigno Sanchez, R. Muñoz, Félix Moral, Guzmán Arias, 2017. Real scale tests of the depolluting capabilities of a photocatalytic sidewalk pavement and a facade in an urban scenario. 18th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion modelling for regulatory purposes. Póster. Bolonia, Italia

Rivas E., J.L. Santiago, F. Martin, A. Ariño, J.M. Santamaría, J.J. Pons, 2017. Progress in urban air quality assessment: CFD modelling of a whole town in Spain. 18th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion modelling for regulatory purposes. Comunicación oral. Bolonia, Italia.

Sanchez B., J.L. Santiago, A. Martilli, M. Pujadas, M. Palacios, L. Núñez, M. Germán, Benigno Sanchez, R. Muñoz, 2017. CFD modelling of effects on NO<sub>x</sub> concentration of photocatalytic materials applied to a sidewalk pavement and a brick wall in a real street canyon. 18th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion modelling for regulatory purposes. Póster. Bolonia, Italia.



Santiago JL, Martin F, Martilli A, 2013. A computational fluid dynamic modelling approach to assess the representativeness of urban monitoring station. *Science of the Total Environment* 454, 61-72.

Santiago JL, Martilli A, Martin F, 2017a. On Dry Deposition Modelling of Atmospheric Pollutants on Vegetation at Microscale: Application to the Impact of Street Vegetation on Air Quality. *Boundary-Layer Meteorology* 162, 451-474.

Santiago JL, Rivas E, Sanchez B, Buccolieri R, Martin F, 2017b. On the influence of aerodynamics and deposition effects of street vegetation on NO<sub>x</sub> concentrations at pedestrian level: the case of Plaza de la Cruz neighborhood in Pamplona (Spain). *Atmosphere* 8(7), 131.

Vranckx S., Vos P, Mahieu B, Janssen S, 2015. Impact of trees on pollutant dispersion in street canyons: A numerical study of the annual average effects in Antwerp, Belgium. *Science of The Total Environment* 532. DOI10.1016/j.scitoten- v.2015.06.032



# **5. IMPACTOS DE LA CONTAMINACIÓN URBANA**

## Percepción social de la contaminación atmosférica

El estudio de las reacciones individuales y colectivas ante la contaminación atmosférica urbana ha sido objeto de la investigación psicológica y social desde hace más de tres décadas (Saksena, 2011). Además de examinar en qué medida las reacciones de los individuos están influenciadas por distintos factores psicológicos, socioculturales y ambientales (Williams and Bird, 2003; Simone et al., 2012), los investigadores han analizado también aspectos como la percepción de severidad en relación a la contaminación del aire (Liao et al., 2015), los niveles de molestia personal generados (Claeson et al., 2013), las estrategias de afrontamiento desarrolladas por los ciudadanos (De Boer et al., 1987; Evans et al., 1988) y el uso que éstos hacen de la información sobre calidad del aire (Smallbone, 2012; Radisic et al., 2016).

El conocimiento de todo este tipo de reacciones constituye una pieza esencial para la gestión de la calidad del aire en las ciudades. En este contexto, el presente trabajo pretende contribuir al diseño de intervenciones orientadas a producir cambios en el comportamiento de los individuos, tanto de reducción de la contaminación como de protección frente a sus impactos, ayudándoles así a tomar conciencia sobre un aspecto tan relevante como la calidad del aire.



Figura 1. Metodología aplicada en el proyecto LIFE+RESPIRA.

### Metodología empleada

Los resultados de este estudio se basan en la realización de una encuesta *on-line* administrada a una muestra de 242 ciudadanos de la ciudad de Pamplona y dos grupos de discusión *on-line* en los que participaron 19 ciudadanos, analizando a partir de esta información las siguientes dimensiones: evaluación subjetiva de la calidad del aire; atención a la calidad del aire; molestia, experiencia sensorial, síntomas y calidad de vida; percepción del riesgo; respuestas emocionales; controlabilidad y autoeficacia; acciones de protección, implicación y reducción y valoración de materiales informativos (Fig. 1).

Los resultados de este trabajo se han comparado con los obtenidos en un estudio previo (Oltra et al., 2015) realizado en cuatro ciudades españolas: Barcelona, Madrid, Zaragoza y La Coruña.

El cuestionario se diseñó *ad hoc* teniendo en cuenta los objetivos del estudio, puesto que no se encontraron instrumentos existentes que cumplieran las necesidades propuestas. Para el desarrollo del cuestionario se partió de una revisión exhaustiva de la literatura sobre el tema, que permitió también descubrir los principales cuestionarios existentes para medir la percepción pública de la contaminación del aire (Tabla 1).

### Creencias y conducta de los ciudadanos de Pamplona en relación a la contaminación del aire

Los ciudadanos de Pamplona consideran que la calidad del aire en los barrios donde residen y trabajan es buena (Fig. 2). Reportan, de forma general, que la ciudad no tiene problemas de contaminación atmosférica y citan observaciones como, por ejemplo, que la ciudad está rodeada de zonas naturales y por tanto no puede estar contaminada. De igual modo, una mayoría de participantes afirma no prestar atención a la calidad del aire en sus desplazamientos por Pamplona y más de la mitad

|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estudio empíricos sobre percepción de la contaminación | Araban et al., 2013<br>Brody et al., 2004<br>Bickerstaff and Walker, 2001<br>Claeson et al., 2013<br>De Boer et al., 1987<br>Deguen et al., 2012<br>Dixon et al., 2009<br>Elliott et al., 1999<br>Howel et al., 2003<br>Johnson, 2003<br>Nowka et al., 2011<br>Simone et al., 2012<br>Smallbone, 2012<br>Weber et al., 2000<br>Zeidner and Shechter, 1988 |
| Estudio previo con grupos de discusión                 | Sala et al., 2014                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Cuestionarios previos sobre contaminación del aire     | APQ (Deguen et al., 2012)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Otros trabajos relevantes                              | Health Belief Model (Becker, 1974)<br>Dillard et al., 2012                                                                                                                                                                                                                                                                                                |



Figura 2. Evaluación subjetiva de la calidad del aire en Pamplona.

Tabla 1. Trabajos revisados para desarrollar el cuestionario.

afirma no haber sentido en el último mes ninguna molestia relacionada con la contaminación atmosférica. En cuanto a la experiencia sensorial, un porcentaje bajo de participantes comenta observar la ciudad encapotada (14%) o las calles con demasiado humo (15%). En lo que respecta a los síntomas causados por la contaminación, los participantes experimentan este problema en un porcentaje muy bajo (1.64 en una escala de 0 a 12) y solo un 15% de la muestra afirma que su calidad de vida ha disminuido a causa de la contaminación.

El grado de conciencia que tienen los participantes sobre el riesgo de contaminación en la salud es elevado, ya que un 90% de la muestra afirma haber oído hablar de sus efectos. Asimismo, encontramos una percepción de peligrosidad considerable, situándose la media en 3,4 en una escala de 1 a 5. No obstante, su conocimiento de las enfermedades específicas que ocasiona es más reducido. Respecto a la gravedad percibida sobre los efectos de la contaminación, la mitad de la muestra considera que son medios y un 41% que son graves, con un peque-

ño porcentaje afirmando que se trata de problemas leves. Asimismo, un 96% considera que estos efectos se darán a medio o largo plazo, mostrando una escasa preocupación por la inmediatez.

A pesar de que los ciudadanos de Pamplona perciben el riesgo en la salud derivado de la contaminación del aire, en general no muestran emociones negativas relacionadas con esta cognición. Así pues, muestran unos niveles bajos de angustia y de indignación, además de considerar que la contaminación del aire les resulta poco desagradable. Únicamente muestran ciertos niveles nivel de preocupación y enfado, aunque tampoco se trata de niveles elevados.

La mayoría de los participantes creen tener muy poca capacidad de control sobre su exposición a la contaminación atmosférica. Casi la mitad cree que no existe ninguna acción que puedan realizar para protegerse de la contaminación. Cuando se les preguntó qué acciones se les ocurrían para reducir su exposición, las conductas

más nombradas fueron las de evitar las calles con un gran volumen de tráfico (29%), seguida del uso de mascarillas (22%). Aun así, muy pocos participantes manifiestan haber realizado conductas de protección como evitar abrir las ventanas, evitar hacer ejercicio físico al aire libre o modificar sus hábitos de ocio debido a la contaminación durante el último mes. La efectividad asociada a las acciones de protección es muy baja, ya que consideran que los beneficios de autoprotección son escasos a consecuencia de su creencia de que la contaminación en Pamplona es baja. En cuanto a las acciones de afrontamiento ante situaciones de contaminación, la que muestra un mayor porcentaje de adhesión es ignorar y continuar con la actividad que estén realizando, reforzando esta idea de baja preocupación y baja capacidad de control. Asimismo, muy pocos ciudadanos admiten llevar a cabo acciones para reducir la contaminación del aire, como dejar de utilizar el coche privado.

En cuanto a las conductas de información, los participantes de Pamplona han reportado unos niveles bajos de información y una baja implicación en los temas sobre calidad del aire. De este modo, la mayoría de los participantes no han buscado información sobre niveles de contaminación ni han consultado los niveles del ICA (Índice de Calidad del Aire). Aun así, un 55% de ellos sí conoce la existencia de avisos y alertas sobre contaminación atmosférica. Los medios más populares para informarse sobre la calidad del aire son la televisión y la prensa, muy lejos de otros como las redes sociales, las cuales disponen de poca credibilidad por parte de los participantes.

Finalmente, en cuanto a la valoración de las noticias utilizadas en los grupos de discusión, se destacan positivamente algunas plataformas no-tradicionales de noticias, como YouTube, el cual resulta muy comprensible y creíble por parte de los participantes. Aun así, los medios tradicionales como la prensa o la televisión también obtienen un nivel alto de comprensibilidad y credi-

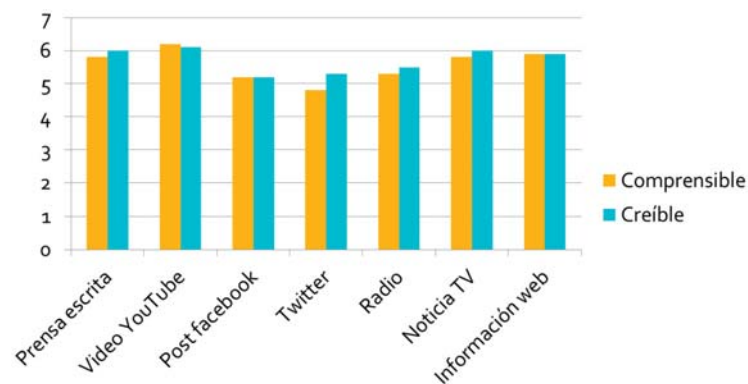


Figura 3. Valoración de las fuentes de información sobre la calidad del aire.

bilidad. Lo que parece más complicado es que estas noticias sean capaces de cambiar los hábitos de los participantes en relación a la contaminación atmosférica (Fig. 3).

### Diferencias por perfil socio-demográfico

En los resultados descriptivos se observan algunas diferencias por perfil sociodemográfico. Comenzando por el sexo, se aprecia cómo los hombres muestran una preocupación menor hacia la contaminación atmosférica. Esto se observa en el hecho de que son quienes en mayor medida tienden a ignorar y continuar con su actividad ante una situación de contaminación. Además, son quienes reportan unos niveles más elevados de autoeficacia, es decir; consideran que son más capaces de protegerse de la contaminación atmosférica. También se refleja una menor percepción sensorial de los síntomas por parte de los hombres (Fig.4).

Los hombres también destacan positivamente en las conductas de información respecto a la calidad del aire. Así pues, se consideran mejor informados; son quienes reportan en mayor medida haber escuchado o leído



Figura 4. Percepción de la contaminación atmosférica según el perfil socio-demográfico.

noticias referentes a la contaminación atmosférica y también tienen un mayor conocimiento de la existencia de avisos y alertas. Finalmente, por lo que refiere a los medios de comunicación que usan, destacan por informarse a través de la prensa.

Por otro lado, las personas en la escala social más baja son las que manifiestan tener menos control sobre su exposición a la contaminación atmosférica. Además, en cuanto a las respuestas emocionales, son quienes reportan un mayor nivel de angustia.

Si se tiene en cuenta la variable de edad, las personas con más años son quienes tienen mejor conocimiento de las enfermedades crónicas provocadas por la contaminación. Por el contrario, en cuanto al conocimiento de la existencia de avisos y alertas sobre contaminación, destacan los más jóvenes, con un mayor conocimiento de estas alertas. Además, los más jóvenes destacan también por utilizar la Web y Twitter como medio de información, una posible explicación a su conocimiento de avisos y alertas, ya que a menudo son difundidos a través de Internet.

En el caso de las personas que padecen alguna enfermedad respiratoria crónica se observa que éstas muestran una mayor susceptibilidad y severidad, prestando más atención a la calidad del aire que las personas que no padecen tales enfermedades. Esta mayor susceptibilidad también se observa en la media de síntomas percibidos, mostrando un número mayor de síntomas las personas que sufren enfermedades crónicas. En cuanto al conocimiento de enfermedades específicas provocadas por la contaminación del aire, parece claro como estos participantes muestran un mayor conocimiento de dichas enfermedades. Finalmente, destacan por el uso de Facebook como medio de comunicación para informarse.

En cuanto a las personas con hijos, se observa que son quienes muestran un mayor enfado respecto a la contaminación. Estos participantes reportan informarse a través de las plataformas Web.

### La percepción en Pamplona respecto a Barcelona, Madrid, La Coruña y Zaragoza

Si comparamos Pamplona con las otras ciudades estudiadas, los ciudadanos de Pamplona perciben en mayor medida que el aire de su ciudad es bueno o muy bueno, a diferencia de lo que ocurre en Madrid y Barcelona, pero también en Zaragoza y La Coruña (Fig. 5). Este patrón se repite para la mayoría de variables estudiadas: atención al aire que respiran, molestia debida a la contaminación, síntomas físicos causados por la contaminación (como dificultades para respirar, irritación en los ojos o dolores de cabeza) e impactos en la calidad de vida. En Pamplona los ciudadanos manifiestan prestar menos atención, tener menos molestia, menos síntomas y un menor impacto en su calidad de vida. Estas diferencias entre las cinco ciudades estudiadas aparecen como estadísticamente significativas.

Asimismo, Pamplona presenta una menor percepción del riesgo derivado de la contaminación del aire que el



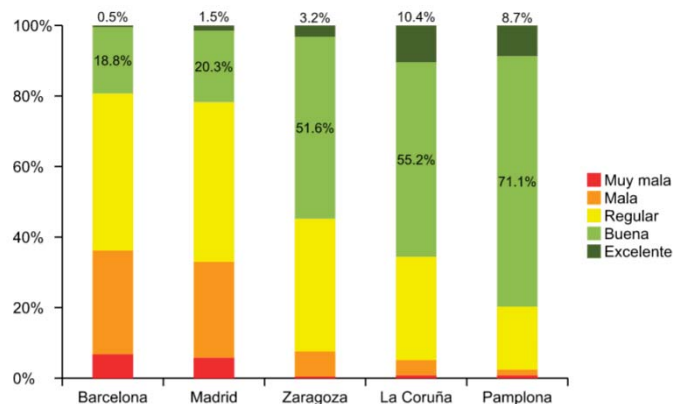


Figura 5. Valoración subjetiva de la calidad del aire en distintas ciudades de España.

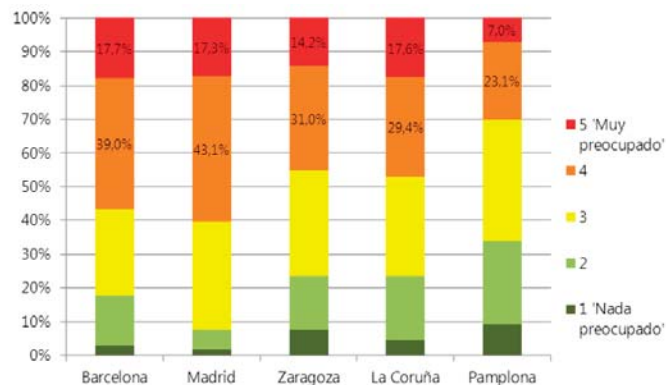


Figura 6. Grado de preocupación de los ciudadanos por la contaminación del aire.

hallado en las otras cuatro ciudades. En torno al 52% del total de entrevistados en Pamplona considera que la contaminación del aire es bastante o muy peligrosa, un porcentaje bajo comparado con la media de las otras cuatro ciudades, donde esta cifra alcanza el 80%. También se aprecian diferencias en cuanto a las enfermedades que atribuyen a la contaminación, siendo los ciudadanos de Pamplona los que tienen un conocimiento infe-

rior sobre ello. Asimismo, los ciudadanos de Pamplona consideran los efectos de la contaminación como menos graves que los ciudadanos del resto de ciudades. En cambio, en el grado de conciencia pública sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la salud, no se observan diferencias significativas entre Pamplona y el resto de ciudades estudiadas. Es decir, los ciudadanos de las 5 ciudades han oído a hablar por igual de los efectos nocivos de la contaminación.

Si nos fijamos en las respuestas emocionales de los ciudadanos, vemos que los datos de Pamplona reflejan una menor preocupación en Pamplona que en las otras cuatro ciudades (Fig. 6), y también menor angustia. Además, los participantes en Pamplona son los que han reportado un nivel más bajo de indignación respecto a la contaminación atmosférica.

En autoeficacia personal no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre Pamplona y el resto de ciudades. Es decir, los ciudadanos de las cinco ciudades creen por igual que no existen acciones que puedan realizar en su día a día para protegerse de la contaminación. Sin embargo, cuando se preguntó a los participantes si se les ocurría de forma espontánea alguna acción para protegerse de la contaminación en el día a día, las respuestas fueron distintas entre las cuatro ciudades y Pamplona. En el caso de las cuatro ciudades, la acción más repetida fue la de usar mascarillas (31%), mientras que en el caso de Pamplona la acción más repetida fue la de evitar zonas de tráfico (29%). Al preguntar por la relación de acciones concretas durante el último mes (modificar sus hábitos de ocio, evitar realizar ejercicio físico, permanecer en casa, etc.), los ciudadanos de Pamplona son los que reportan índices menores de ejecución.

Por lo que se refiere a si han dejado de utilizar algún día el coche a causa de la contaminación del aire, se observan diferencias estadísticamente significativas entre las



5 ciudades estudiadas. Pamplona es la que muestra un porcentaje más elevado, del 12%. Sin embargo, las demás ciudades están entre un 9 y un 10%.

Por último, en relación a las conductas de información, los ciudadanos de Pamplona son de nuevo los que reportan niveles más bajos, aunque en general, se han encontrado niveles reducidos de implicación en el conjunto de la muestra. Así por ejemplo, el 8% de los entrevistados de Pamplona, el 13% en La Coruña, el 19% en Barcelona, el 21% en Madrid y el 22% en Zaragoza afirman haber buscado alguna vez información sobre los niveles de calidad del aire de su ciudad a través de Internet, la

prensa, etc. Por lo que refiere al conocimiento de avisos y alertas cuando se superan ciertos niveles de contaminación, en Madrid y Barcelona, por ejemplo, cerca del 70% de los entrevistados es consciente de la existencia de alertas. Este porcentaje se reduce al 60% en Zaragoza, al 55% en Pamplona y al 52% en La Coruña. Estas diferencias entre las ciudades son estadísticamente significativas. En el caso de la consulta del ICA, no obstante, las diferencias existen entre Pamplona, Barcelona y La Coruña en relación a Madrid y sobretodo en relación a Zaragoza, donde se reportan porcentajes mucho más altos.

## Conclusiones



Motivar y facilitar las acciones individuales de implicación, reducción y autoprotección frente a los impactos de la contaminación debería ser, junto a las medidas estructurales y regulatorias, una de las metas fundamentales de la gestión de la calidad del aire en las ciudades. Por ello es necesario tener en cuenta la dimensión psicosocial en el tema de la contaminación del aire. La reacción de los individuos a la contaminación del aire es a veces más complicada de lo que, en ocasiones, se asume. Los ciudadanos tienen determinadas creencias, actitudes y conductas en relación a este problema ambiental que, si no se tienen en cuenta, pueden conllevar el fracaso o la ineficiencia de ciertas estrategias de comunicación, mitigación y protección de la salud.

Los datos de este estudio pretenden ser de utilidad en el desarrollo de los programas de comunicación del riesgo e implicación pública del proyecto LIFE+RESPIRA en el ámbito de la contaminación atmosférica urbana de Pamplona con la intención de fomentar el cambio de comportamiento en la ciudadanía.

Los resultados de la investigación psicosocial podrían contribuir a la inclusión de indicadores de tipo social (surgidos de la apreciación de la misma población diana) en la valoración socio-económica del problema, así como a la mejora en el diseño y en la evaluación de las estrategias de intervención y difusión previstas. Además, la inclusión de la dimensión social, complementa el análisis ambiental, económico, epidemiológico y tecnológico que se ha realizado en el proyecto. En definitiva, este estudio supone un valor añadido a los objetivos generales del proyecto.

## Referencias

- Araban, M., Tavafian, S. S., Motesaddi Zarandi, S., Hidarnia, A. R., Gohari, M. R., Prochaska, J. M., Montazeri, A. (2013). Introducing a new measure for assessing self-efficacy in response to air pollution hazards for pregnant women. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 11(1), 16. <https://doi.org/10.1186/2052-336X-11-16>.
- Becker, M. H. (1974). The health belief model and personal health behavior. *Slack*, 2(4).
- Bickerstaff, K., & Walker, G. (2001). Public understandings of air pollution: The “localisation” of environmental risk. *Global Environmental Change*, 11(2), 133-145. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(00\)00063-7](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(00)00063-7).
- Brody, S. D., Peck, B. M., & Highfield, W. E. (2004). Examining localized patterns of air quality perception in Texas: a spatial and statistical analysis. *Risk Analysis : An Official Publication of the Society for Risk Analysis*, 24(6), 1561-74. <https://doi.org/10.1111/j.0272-4332.2004.00550.x>.
- Claeson, A. S., Lidén, E., Nordin, M., & Nordin, S. (2013). The role of perceived pollution and health risk perception in annoyance and health symptoms: A population-based study of odorous air pollution. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 86(3), 367-374. <https://doi.org/10.1007/s00420-012-0770-8>.
- De Boer, J., Van der Linden, J., Van der Fligt, J. (1987). De Boer et al. 1987. Air pollution, annoyance and coping.pdf. In *Environmental Annoyance: Characterization, Measurement and Control*. Koelega editor.
- Deguen, S., Ségala, C., Pédrone, G., & Mesbah, M. (2012). A new air quality perception scale for global assessment of air pollution health effects. *Risk Analysis : An Official Publication of the Society for Risk Analysis*, 32(12), 2043-54. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01862.x>.
- Dillard, A. J., Ferrer, R. a, Ubel, P. a, & Fagerlin, A. (2012). Risk perception measures' associations with behavior intentions, affect, and cognition following colon cancer screening messages. *Health Psychology : Official Journal of the*

- Division of Health Psychology, American Psychological Association, 31(1), 106–13. <https://doi.org/10.1037/a0024787>.
- Dixon, J. K., Hendrickson, K. C., Ercolano, E., Quackenbush, R., & Dixon, J. P. (2009). The Environmental Health Engagement Profile: What People Think and Do about Environmental Health. *Public Health Nursing, 26*(5), 460–473. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1446.2009.00804.x>.
- Elliott, S. J., Cole, D. C., Krueger, P., Voorberg, N., & Wakefield, S. (1999). The power of perception: health risk attributed to air pollution in an urban industrial neighbourhood. *Risk Anal, 19*(4), 621–634. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1999.tb00433.x>.
- Evans, G. W., Colome, S. D., & Shearer, D. F. (1988). Psychological reactions to air pollution. *Environmental Research, 45*(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/S0013-9351\(88\)80002-1](https://doi.org/10.1016/S0013-9351(88)80002-1).
- Howel, D., Moffatt, S., Bush, J., Dunn, C. E., & Prince, H. (2003). Public views on the links between air pollution and health in Northeast England. *Environmental Research, 91*(3), 163–171.
- Johnson, B. B. (2003). Communicating air quality information: experimental evaluation of alternative formats. *Risk Anal, 23*(1), 91–103.
- Liao, X., Tu, H., Maddock, J. E., Fan, S., Lan, G., Wu, Y., Lu, Y. (2015). Residents' perception of air quality, pollution sources, and air pollution control in Nanchang, China. *Atmospheric Pollution Research, 6*(5), 835–841. <https://doi.org/10.5094/APR.2015.092>.
- Nowka, M. R., Bard, R. L., Rubenfire, M., Jackson, E. a, & Brook, R. D. (2011). Patient awareness of the risks for heart disease posed by air pollution. *Progress in Cardiovascular Diseases, 53*(5), 379–84. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2010.12.003>.
- Radisic, S., Newbold, K. B., Eyles, J., & Williams, A. (2016). Factors influencing health behaviours in response to the air quality health index: a cross-sectional study in Hamilton, Canada. *Environmental Health Review, 59*(1), 17–29. <https://doi.org/10.5864/d2016-002>.
- Saksena, S. (2011). Public Perceptions of Urban Air Pollution Risks. *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy, 2*(1), 19–37. <https://doi.org/10.2202/1944-4079.1075>.
- Sala, R., Oltra, C., & Gonçalves, L. (2014). Percepción Pública de la Contaminación Atmosférica Urbana: Un Análisis Exploratorio.
- Simone, D., Eyles, J., Newbold, K. B., Kitchen, P., & Williams, A. (2012). Air Quality in Hamilton: Who is Concerned? Perceptions from Three Neighbourhoods. *Social Indicators Research, 108*(2), 239–255. <https://doi.org/10.1007/s11205-012-0064-2>.
- Smallbone, K. (2012). Individuals' Interpretation of Air Quality Information. Retrieved from <http://eprints.brighton.ac.uk/13154/>.
- Weber, J. M., Hair, J. F., & Fowler, C. R. (2000). Developing a measure of perceived environmental risk. *Journal of Environmental Education, 32*(1), 28–35. <https://doi.org/DOI:10.1080/00958960009598669>.
- Williams, I. D., & Bird, a. (2003). Public perceptions of air quality and quality of life in urban and suburban areas of London. *Journal of Environmental Monitoring, 5*(2), 253–259. <https://doi.org/10.1039/b209473h>.
- Zeidner, M., & Shechter, M. (1988). Psychological responses to air pollution: Some personality and demographic correlates. *Journal of Environmental Psychology, 8*(3), 191–208. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(88\)80009-4](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(88)80009-4).

## Valoración económica de los impactos ocasionados por la contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica en las ciudades produce efectos importantes sobre la salud de sus habitantes que se traducen fundamentalmente en dos tipos de afecciones: por un lado, incidencias sobre la morbilidad, especialmente de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, y por otro, aumento de la mortalidad prematura, analizada en términos de reducción de la esperanza de vida.

Estos efectos se traducen en costes económicos directos, tales como gastos sanitarios, pero también indirectos o externos en forma de pérdida de bienestar. Así, el valor del daño asociado al deterioro de la salud está integrado por tres componentes distintos:

- 1) El coste de tratamiento de las enfermedades (medicación y equipos).
- 2) El coste de oportunidad derivado de las bajas laborales, que incluye tanto el valor de la productividad perdida por absentismo o menor rendimiento, como el valor del tiempo de ocio sacrificado a consecuencia de la enfermedad.
- 3) La pérdida de bienestar causada a familiares y enfermos.

Respecto a la identificación de los contaminantes específicos que ocasionan los impactos sobre la salud, tal y como reconocen los últimos estudios, como el publicado por la Agencia Europea del Medio Ambiente en 2017 (EEA, 2017), los efectos más importantes están causados por las partículas de pequeño tamaño – de diámetro inferior a 2.5 micras- o  $PM_{2.5}$ . Sin embargo, una parte importante de las afecciones a la salud están causadas por las emisiones de óxidos de nitrógeno, como el  $NO_2$ , emisiones que están asociadas al tráfico rodado casi en su totalidad y por ello son las que se han investigado en el proyecto LIFE+RESPIRA.

### Estudio de la ruta de impacto

Para estimar el daño ocasionado por la contaminación atmosférica es necesario aplicar un completo proceso metodológico conocido como ruta de impacto. Esta metodología ofrece un marco de análisis capaz de transformar la información relativa a la emisión de diferentes contaminantes a una unidad común: unidades monetarias. Para ello, es preciso desarrollar un proceso metodológico que consiste en seguir los contaminantes a lo largo de todas las fases, desde su emisión hasta que éstos alcanzan los receptores, ocasionándoles un daño. Pueden distinguirse las siguientes etapas:

- a) Emisión de contaminantes. Este estudio centra su atención en la emisión de  $NO_2$ .
- b) Concentración atmosférica: que consiste en estimar el cambio de la calidad ambiental derivado de un aumento en las emisiones. Para ello se utilizan modelos de dispersión atmosférica.
- c) Exposición de la población a las concentraciones de  $NO_2$  producidas. Para ello es necesario conocer la distribución espacial y por edades de la población de la ciudad.
- d) Impacto ambiental, cuya estimación se lleva a cabo mediante la aplicación de funciones exposición-respuesta que permiten determinar el aumento en las afecciones ocasionadas por un aumento en la concentración atmosférica del contaminante.
- e) Daños ocasionados, que consiste en estimar el valor que la población atribuye a los impactos ocasionados por la contaminación. Dicha estimación permite determinar el deterioro del bienestar de la población como consecuencia de la variación en la calidad atmosférica inducida por la contaminación del transporte en el medio urbano.

Las actividades de modelización del proyecto han dado como resultado unos mapas detallados de la concentración de NO<sub>2</sub> en toda la ciudad de Pamplona. Asimismo, se conoce, con los datos del Padrón Municipal de Habitantes, la distribución de la población de la ciudad de Pamplona en una malla de tamaño de celda de 100x100 m, así como su distribución por edades y la incidencia base de las enfermedades relacionadas con la exposición a NO<sub>2</sub>.

Para la cuantificación de los impactos se han utilizado las funciones exposición-respuesta propuestas por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2013) para estimar los efectos sobre la salud.

El proceso de cálculo de estos impactos sigue esta fórmula general:

$$I = C \times P \times R \times CRF \times V$$

Donde:

I: Impacto expresado en número de casos adicionales

Ci: Concentración del contaminante

P: Población en riesgo

R: Ratio de incidencia

CRF: Función exposición respuesta o cambio en la incidencia por unidad de concentración

V: Valoración monetaria del impacto sobre salud

Las funciones exposición respuesta utilizadas son las propuestas por la OMS en el proyecto HRAPIE y son las siguientes:

1) Efectos de la exposición a largo plazo a NO<sub>2</sub> en la mortalidad de la población mayor de 30 años. Los expertos

de la OMS recomiendan la aplicación de una función CRF lineal que corresponde a un riesgo relativo (RR) de 1,055 (intervalo de confianza 1,031-1,08) por cada 10 µg/m<sup>3</sup> de concentración media anual de NO<sub>2</sub>. Este valor de RR se obtiene del meta-análisis realizado por Hoek et al. (2013) y considera una concentración umbral de 20 µg/m<sup>3</sup>. La tasa de mortalidad se ha obtenidos del Instituto Estadístico de Navarra para la provincia de Navarra y es de un 0,89% para el año 2015. (<http://www.navarra.es/AppsExt/GN.InstitutoEstadistica.Web/informacionestadistica.aspx?R=1&E=1>).

2) Efectos de la exposición a largo plazo a NO<sub>2</sub> en la aparición de síntomas de bronquitis en niños asmáticos de edades comprendidas entre 5 y 14 años. Para la consideración de estos efectos, la OMS recomienda el uso de los resultados del estudio de McConnell et al. (2003), que calcula un RR de 1,021 (intervalo de confianza 0,99-1,06) por cada 1 µg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub>. El porcentaje de niños asmáticos en la ciudad de Pamplona se ha obtenido de los datos del Servicio de Atención Primaria del Servicio Navarro de Salud para cada una de las áreas de salud de la ciudad. La prevalencia de síntomas de bronquitis en niños asmáticos se ha considerado como una media de los valores obtenidos en los estudios de Migliore et al. (2009) (21,1%) y McConnell et al. (2003) (38,7%).

3) Efectos de la exposición a corto plazo a niveles incrementados de NO<sub>2</sub> en mortalidad. Para el estudio de estos efectos la OMS recomienda utilizar los resultados del proyecto APHEA-2 (Samoli et al., 2006) que cubre 30 ciudades europeas y que obtiene un valor de RR de 1,0027 (intervalo de confianza 1,0026-1,0038) por cada 10 µg/m<sup>3</sup> de concentración media de máximas horarias de NO<sub>2</sub>.

4) Efectos de la exposición a corto plazo a concentraciones incrementadas de NO<sub>2</sub> en las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias. La OMS recomien-

da el uso de los valores de RR del estudio de Anderson et al. (2007) de 1,018 (intervalo de confianza 1,0115–1,0245) por cada  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de concentración media de máximas diarias. El valor de base para hospitalizaciones por enfermedades respiratorias se ha obtenido de la base de datos de la OMS European Hospital Morbidity Database (<http://data.euro.who.int/hmdb/>) y es de un 1.26% para España.

Los expertos en el proyecto HRAPIE clasificaron las funciones exposición – respuesta (CRFs) recomendadas en dos categorías:

Grupo A: CRFs que permiten una cuantificación robusta de los efectos. Las dos últimas funciones se incluyen dentro de esta categoría.

Grupo B: CRF para los que hay más incertidumbre sobre la precisión de los datos utilizados para la cuantificación de los efectos. Las dos primeras funciones se incluyen dentro de esta categoría.

En esta evaluación se han utilizado tanto las funciones del grupo A como las del grupo B, de forma que primero se ha calculado un conjunto limitado de impactos basados en la suma de las funciones del Grupo A\* y después un conjunto extendido de impactos basados en la suma de las funciones del Grupo A\* y del Grupo B\*.

La valoración monetaria de estos impactos se realiza multiplicando los impactos en términos físicos por el

valor monetario unitario de cada afección a la salud. Estos valores unitarios pretenden recoger el efecto económico total de los impactos sobre la salud e incluyen los costes sanitarios, las pérdidas de productividad y la aversión a padecer una mala salud o a la reducción de la esperanza de vida. Los valores monetarios usados en este estudio son los utilizados por Holland en el análisis coste beneficio del Paquete de Aire Limpio de la Comisión Europea (Holland, 2014). Dichos valores, actualizados a Euros de 2015 utilizando la variación del IPC, se muestran en la Tabla 1.

Se ha realizado un análisis de la incertidumbre de estos cálculos considerando el intervalo de confianza del 95% reportado por la OMS para cada uno de los RR. Sin embargo, no se han incluido otras fuentes de incertidumbre derivadas de la modelización de la distribución de la contaminación, la exposición de la población, las tasas de referencia de los datos de salud o la valoración monetaria.

### Costes asociados a los niveles de contaminación

Los resultados obtenidos muestran que, en el año 2015, alrededor del 7% de la población de Pamplona ha estado expuesta a niveles de contaminación de óxidos de nitrógeno por encima de los niveles máximos de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  recomendados tanto por la Unión Europea como por la OMS.

Esta exposición da lugar a la aparición de diversos efectos en la salud que se han cuantificado, para las condiciones existentes en el año 2015, en 18 años de vida perdidos por exposición a episodios altos de contaminación en la ciudad, 120 admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias, 152 casos adicionales de bronquitis en niños asmáticos y 60 años de vida perdidos por la exposición a largo plazo a estos niveles incrementados de contaminación (Fig. 1). Los resultados del análisis de incertidumbre realizado se muestran en la gráfica como barras de error.

Tabla 1. Valores monetarios de afecciones a la salud utilizados en este estudio

| Impacto                  | Coste unitario | Unidad                                      |
|--------------------------|----------------|---------------------------------------------|
| Mortalidad               | 68143,70       | Euros <sub>2015</sub> / año de vida perdido |
| Bronquitis               | 694,43         | Euros <sub>2015</sub> /caso                 |
| Admisiones hospitalarias | 2621,82        | Euros <sub>2015</sub> /caso                 |

Estos efectos se traducen en costes médicos y de pérdida de bienestar que se denominan costes externos o externalidades. Los resultados obtenidos, tal y como se puede ver en la figura 2, ascienden a un total de 1,57 (1,04-2,19) millones de Euros si solo consideramos los efectos considerados como A\* (en verde en las gráficas), y a un total de 5,75 (5,62-8,27) millones de Euros si consideramos todos los efectos. Los costes externos más importantes son debidos a la reducción de la esperanza

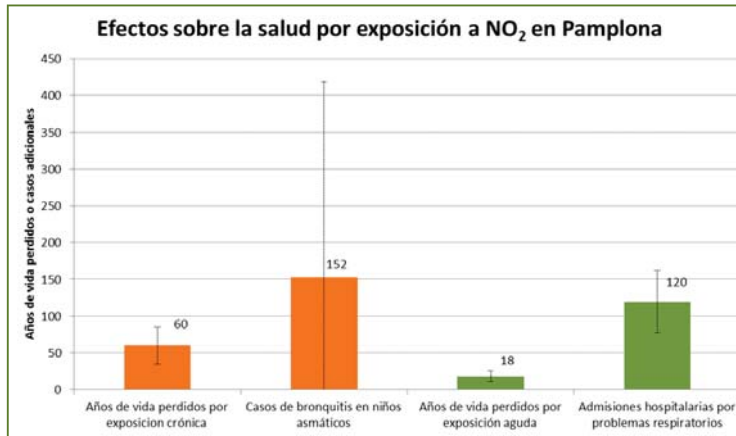


Figura 1. Efectos sobre la salud debidos a la exposición a NO<sub>2</sub>

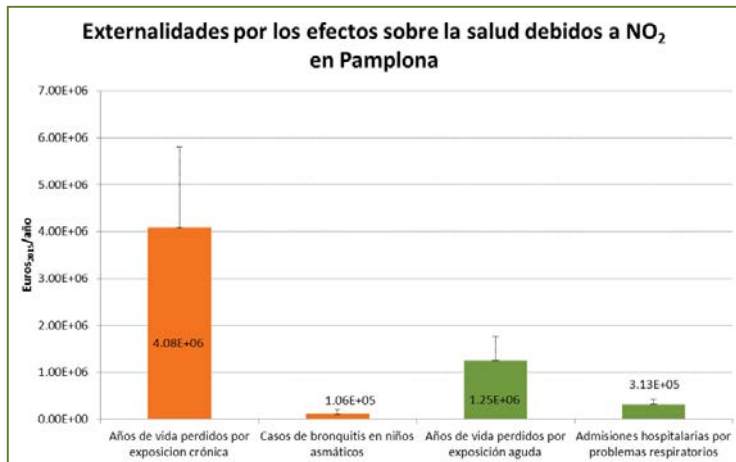
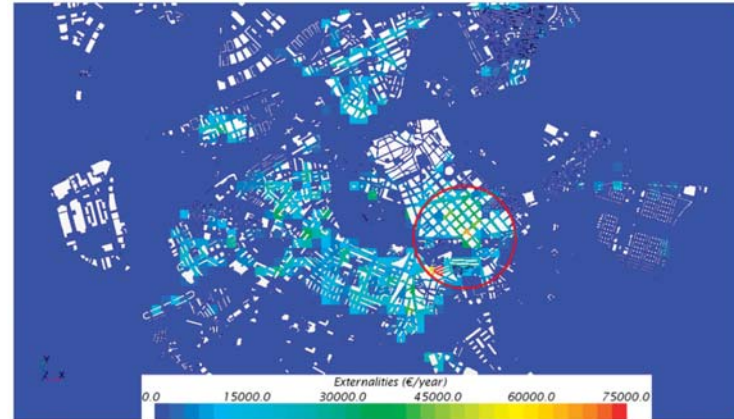


Figura 2. Coste externos debidos a los efectos sobre la salud de NO<sub>2</sub>



de vida seguidos de las admisiones hospitalarias por problemas respiratorios y los casos de bronquitis en niños asmáticos.

Los costes externos debidos a los efectos sobre la salud se distribuyen espacialmente tal y como se muestra en la figura 3 y son mayores en las zonas en las que existe una mayor concentración de contaminantes y donde la densidad de población es más alta.

En esta zona donde los costes externos son mayores se han cuantificado los efectos de las medidas exploradas en este proyecto para reducir la contaminación urbana (capítulo 4). Estas medidas son las siguientes:

- Instalación de arbolado urbano en una de las calles.
- Instalación de pavimentos foto-catalíticos.
- Redistribución del tráfico para evitar estas zonas más densamente pobladas.

La introducción de arbolado urbano en una de las calles de la zona mostró unos resultados de costes externos muy similares. Esto es debido a que además de reducir la contaminación por depósito, los árboles afectan al trans-

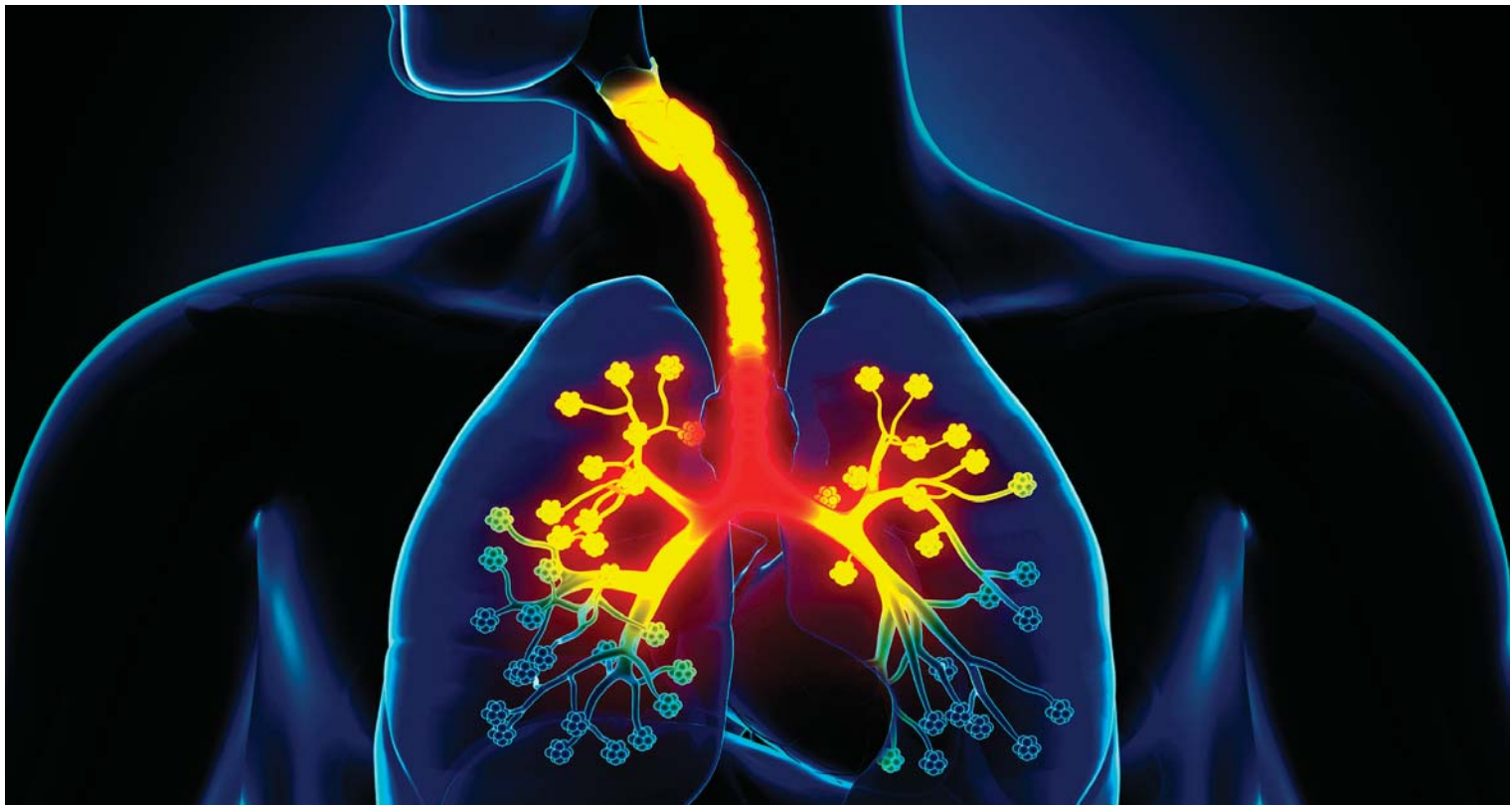


porte vertical y horizontal del contaminante y a que este efecto aerodinámico puede, en determinadas condiciones, ser más importante que el efecto de depósito. La correcta elección de la disposición de la vegetación y la especie elegida resultan cruciales para conseguir los efectos de mitigación deseados.

La instalación de pavimentos foto-catalíticos en las aceras de esta zona de la ciudad produjo como resultado la reducción de la concentración de  $\text{NO}_2$  en la zona, con la correspondiente reducción en los efectos sobre la salud y en los costes externos asociados de un 2%.

Los escenarios de redistribución de tráfico analizados

consistieron en el corte del tráfico rodado total o parcialmente en esta zona de la ciudad y su redistribución total o parcial en las calles circundantes. Los resultados mostraron un potencial muy importante de reducción de impactos de hasta un 58% cuando se eliminaba totalmente el tráfico en una zona extensa de esta área de la ciudad y no se redistribuía en las zonas aledañas. Cuando este tráfico se redistribuye por otras calles y éstas se encuentran densamente pobladas, los resultados muestran mayores impactos en la salud. Es importante, por tanto, diseñar con cuidado estas medidas de redistribución del tráfico para evitar que éste se acumule en calles próximas, generando efectos indeseados.



## Conclusiones

Los resultados obtenidos de la cuantificación de impactos de las emisiones de NO<sub>2</sub> por el tráfico rodado realizada en LIFE+RESPIRA muestran que alrededor del 7% de los ciudadanos de Pamplona ha estado expuesto en el año 2015 a niveles de contaminación de óxidos de nitrógeno por encima de los niveles máximos de 40 µg/m<sup>3</sup> recomendados tanto por la Unión Europea como por la OMS. Esto ocasionó impactos sobre la salud importantes, que en términos económicos suponen una pérdida de entre 1,57 y 5,75 millones de Euros.

Los resultados obtenidos del análisis de las medidas de mitigación muestran que dichas medidas, si están bien diseñadas, permiten mejorar el bienestar de la población de Pamplona al reducir las afecciones a la salud y los costes externos asociados.

## Referencias

- Anderson HR, RW Atkinson SA Bremner J Carrington J Peacock. Quantitative systematic review of short term associations between ambient air pollution (particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, sulphur dioxide and carbon monoxide), and mortality and morbidity. Contract number: 0020017 Report to Department of Health revised following first review June 2007 Division of Community Health Sciences St George's, University of London Cranmer Terrace LONDON SW17 0RE.  
([https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/215975/dh\\_121202.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/215975/dh_121202.pdf) accessed January 2018).
- European Environment Agency, 2017. Air quality in Europe — 2017 report. EEA Report No 13/2017. ISBN 978-92-9213-920-9. ISSN 1725-9177. doi:10.2800/358908.
- Hoek Gerard, Ranjini M Krishnan, Rob Beelen, Annette Peters, Bart Ostro, Bert Brunekreef and Joel D Kaufman. Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environmental Health* 2013, 12:43. <http://www.ehjournal.net/content/12/1/43>.
- Holland, M. Cost-benefit Analysis of Final Policy Scenarios for the EU Clean Air package. Version 2 Corresponding to IIASA TSAP report #11, version 2a. October 2014. (<http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/TSAP%20CBA.pdf> accessed January 2018).
- Holland, M. Cost-benefit Analysis of Final Policy Scenarios for the EU Clean Air package. Version 2 Corresponding to IIASA TSAP report #11, version 2a. October 2014. (<http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/TSAP%20CBA.pdf> accessed January 2018).
- McConnell, R., Berhane K, Gilliland F, Molitor J, Thomas D, Lurmann F, Avol E, Gauderman WJ, Peters JM. Prospective study of air pollution and bronchitic symptoms in children with asthma. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003 Oct 1;168(7):790-7.
- Migliore, Enrica, Giovanna Berti, Claudia Galassi, Neil Pearce, Francesco Forastiere, Roberto Calabrese, Lucio Armeno, Annibale Biggeri, Luigi Bisanti, Massimiliano Bugiani, Ennio Cadum, Elisabetta Chellini, Valerio Dell'Orco, Gabriele Giannella, Piersante Sestini, Giuseppe Corbo, Riccardo Pistelli, Giovanni Viegi, Giovannino Ciccone and SIDRIA-2 Collaborative Group. Respiratory symptoms in children living near busy roads and their relationship to vehicular traffic: results of an Italian multicenter study (SIDRIA 2). *Environmental Health* 2009, 8:27 doi:10.1186/1476-069X-8-27.
- Samoli E., E. Aga, G. Touloumi, K. Nisiotis, B. Forsberg, A. Lefranc, J. Pekkanen, B. Wojtyniak, C. Schindler, E. Niciu, R. Brunstein, M. Dodić Fikfak, J. Schwartz, K. Katsouyanni. Short-term effects of nitrogen dioxide on mortality: an analysis within the APHEA project. *European Respiratory Journal* 2006 27: 1129-1138; DOI: 10.1183/09031936.06.00143905
- WHO, 2013. World Health Organization. Regional Office for Europe. Health risks of air pollution in Europe-HRAPIE project. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. 2013. Disponible en: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/238956/Health\\_risks\\_air\\_pollution\\_HRAPIE\\_project.pdf?ua=1](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf?ua=1)



## **6. MOVILIDAD Y SOSTENIBILIDAD URBANAS**



## Cómo conocer la movilidad ciclista de una ciudad. El caso de Pamplona.

### Ciudades y bicicletas

Cuando hablamos de caracterizar la movilidad ciclista de una ciudad no es otra cosa que conocer la realidad de su utilización respondiendo a una serie de preguntas esenciales sobre los usuarios de la bicicleta y sus desplazamientos.

Básicamente, interesa saber cuántos ciclistas circulan diariamente por las calles de la ciudad y cuántos desplazamientos realizan, quiénes son esos ciclistas; es decir, qué características (perfil) presentan, qué tipo de viajes hacen, cuándo circulan (distribución horaria, estacional...), y por dónde se desplazan habitualmente.

### ELEMENTOS Y METODOLOGÍAS PARA CARACTERIZAR LA MOVILIDAD CICLISTA

#### ● Determinación del número de ciclistas y viajes en bicicleta

Una de las principales preocupaciones de los gestores a la hora de caracterizar la movilidad es conocer el volumen de ciclistas habituales del municipio, o bien el número de desplazamientos que éstos realizan a lo largo del día. Disponer de cualquiera de estos datos, o incluso del porcentaje de viajes sobre el total de los realizados en el conjunto de modos de transporte de la ciudad, permite tener una idea muy clara del peso que tiene la movilidad ciclista en el área metropolitana.

Sin embargo, a pesar de su importancia y aparente sencillez, ésta no es una información fácil de obtener, ya que para disponer de ese dato la única posibilidad, a día de hoy, es encuestar al conjunto de la población. Son las denominadas “encuestas domiciliarias de movilidad” o, de forma más abreviada, “encuestas de movilidad”.

Se trata de trabajos costosos y complejos de abordar, ya que el universo de la encuesta es la población total del

espacio a estudiar y, por tanto, la muestra es muy amplia. Además, las encuestas de movilidad se suelen realizar estratificadas por áreas urbanas de comportamiento homogéneo –denominadas “zonas de transporte”– y eso hace que el tamaño muestral aumente considerablemente con el fin de que sus resultados sean representativos para cada una de ellas.

La realización de encuestas domiciliarias suele conllevar cuestionarios con muchas preguntas, lo cual requiere dedicar mucho tiempo a cada hogar encuestado.

En el caso particular de la movilidad ciclista, al tratarse de un medio que generalmente cuenta con pocos viajes dentro del conjunto, es fácil que su participación en el reparto modal esté por debajo del margen de error calculado para la propia encuesta, lo cual supone una dificultad añadida.

Todo ello hace que este tipo de trabajos sea tremendamente costoso y solo en ocasiones puntuales las administraciones públicas competentes (generalmente ayuntamientos o consorcios encargados del transporte público) se planteen realizarlos (Pazos, 2005).

#### ● Determinación del perfil del ciclista

Para conocer mejor las características de los ciclistas se puede acudir a un rango de fuentes más variado que en el caso anterior. En primer lugar, se puede extraer información de las propias encuestas de movilidad, ya que éstas recogen abundante información personal sobre los sujetos encuestados en cada hogar. Aspectos como la edad, el sexo, los estudios y la actividad laboral forman siempre parte integrante de cualquier cuestionario de este tipo.

También se puede obtener dicha información a través de encuestas más específicas, dirigidas en exclusiva a los ciclistas de la ciudad. En este caso, el tipo de operación se simplifica mucho, ya que el universo de la encuesta es

una población mucho más reducida –las personas que se desplazan en bicicleta por la ciudad– y, por tanto, el tamaño muestral resulta más fácil de manejar. No obstante, el cálculo de este parámetro puede ser un problema si no se dispone del dato global de ciclistas urbanos.

Por último, también se puede hacer una caracterización muy somera de los ciclistas a través de otros métodos no pensados específicamente para ese fin, como son los aforos. En concreto, cuando éstos se realizan a través de aforamientos manuales resulta factible recoger, no solo la información referida al lugar de paso y sentido de circulación, sino también a los propios ciclistas, anotando al menos el sexo y una aproximación de la edad atendiendo a grandes grupos (niños, jóvenes, adultos y ancianos, por ejemplo).

### ● **Determinación del motivo de viaje**

La motivación de los viajes es otro de los aspectos clave a la hora de conocer la movilidad en cualquier medio de transporte y la bicicleta no es una excepción. Cuando hablamos del motivo del viaje podemos hacerlo en dos sentidos diferentes: el objetivo del mismo (así hablamos de desplazamientos por motivo de estudios, laborales, de ocio, compras, etc.) o el motivo que justifica la elección de un determinado modo de transporte (por rapidez, por economía, por salud, por seguridad, etc.).

De nuevo, la mejor forma de recabar este dato es acudiendo a las encuestas, ya sean de movilidad general o dirigidas específicamente a los ciclistas, en las cuáles siempre se suele incluir este tipo de preguntas.

En ocasiones, el motivo del viaje se puede deducir directamente del lugar en el que se realiza la encuesta o cualquier otra operación para analizar la movilidad, como aforos de paso o conteos de bicicletas aparcadas. Por ejemplo, si cualquiera de esas operaciones se realiza en

un colegio o en una universidad, se podrá concluir, sin mucho margen de error, que el motivo de viaje son los estudios.

### ● **Determinación del momento de los desplazamientos**

Otra de las particularidades del análisis de la movilidad ciclista viene determinada por los períodos en los que ésta se desarrolla. De la misma forma que en el conjunto de la movilidad los viajes se concentran en ciertos momentos, también la ciclista está sometida a esos mismos ciclos.

En principio, se puede apreciar una distribución muy desigual de los viajes en función de la época del año en la que nos encontremos. Así, suelen identificarse ciclos estacionales ligados a las condiciones meteorológicas (Nosal y Miranda-Moreno, 2014) y a los períodos de vacaciones, al día de la semana (preferentemente, entre los festivos y los laborables) y a la hora del día (nocturno-diurno, con picos a primera hora de la mañana y a última de la tarde, etc.).

Para obtener información sobre este particular se puede recurrir a las encuestas de movilidad, a las encuestas a ciclistas y a los aforos. Convenientemente diseñadas las preguntas de las encuestas o bien planteado el modelo de aforo, no resulta complicado extraer de ellos los datos requeridos para obtener la distribución estacional, semanal y horaria de los viajes.

En el caso concreto de los aforos, hay que tener en cuenta que determinados modelos (por ejemplo, los manuales) resultan muy costosos de realizar y mantener a lo largo de las 24 horas del día o en distintos días de la semana, y a lo largo de todos los meses del año (siendo económicamente inviables), por lo que hay que recurrir en todo caso a los aforos automáticos. Sin embargo, éstos no están exentos de problemas, ya que

generalmente se centran en viales exclusivamente ciclistas, lo que redundará en una imagen sesgada de los viajes.

### ● **Determinación de los recorridos**

Para finalizar, la última de las grandes preguntas acerca de la movilidad urbana en bicicleta consiste en saber por dónde circulan los ciclistas, esto es, qué recorridos realizan diariamente por las calles de la ciudad.



Se trata, sin duda, de uno de los aspectos de mayor interés para los gestores de movilidad municipal de cara a la previsión de infraestructuras viarias y de otras medidas.

Las posibles fuentes para obtener la información sobre esta cuestión son muy variadas. En primer lugar, se podría acudir de nuevo a las encuestas, tanto de movilidad general, como específicas para ciclistas. Sin embargo, en la mayoría de los casos la información recogida en ellas se suele circunscribir a una información genérica sobre el origen y destino de los viajes, lo cual permite hacer una matriz de viaje por barrios o zonas de la ciudad pero sin especificar las calles concretas por las que circulan.

El siguiente grupo de fuentes está formado por los aforos de distintos tipos: manuales, captadores neumáticos, videofotográficos (Zangenehpour et al., 2015), etc. En este caso, y en función de la técnica empleada, hay que realizar un diseño particular del aforo para sacar el máximo partido a los trabajos que se realizan.

Por ejemplo, los aforos manuales son los que mayor cantidad de información de un solo punto pueden recoger, pero dado el alto coste que tienen (por la gran cantidad de mano de obra necesaria), resulta impensable repetirlos de forma masiva y con cierta periodicidad. Por el contrario, los captadores neumáticos pueden permanecer en el viario largo tiempo, a cualquier hora del día y con las condiciones atmosféricas más adversas, aunque solo nos ofrecen el dato de paso y es probable que ni siquiera en toda la sección de la calle, sino sólo en un pequeño tramo.

Además de los aforos, ligado a las nuevas tecnologías, se han desarrollado otros sistemas consistentes en que el ciclista lleva algún tipo de dispositivo con sistema de geoposicionamiento y capacidad de transmisión a través de tarjeta telefónica, por ejemplo un smartphone. De esta manera, sus movimientos quedan automáticamente registrados en una gran base de datos.

## La caracterización de la movilidad ciclista en Pamplona

Habiendo visto cuáles son las cuestiones a las que resulta imprescindible responder para caracterizar la movilidad ciclista en una ciudad, así como las herramientas metodológicas que permiten hacerlo, repasaremos ahora los diferentes trabajos desarrollados en Pamplona con respecto a esta cuestión.

### Encuestas de movilidad

En el área metropolitana de Pamplona se han desarrollado en el último cuarto de siglo varios trabajos que responden al perfil de lo que entendemos por una encuesta de movilidad (Tabla 1). En primer lugar, encontramos el “Estudio de Movilidad en relación con el transporte urbano en la Comarca de Pamplona” (Gobierno de Navarra, 1997), realizada externamente por TEMA Grupo Consultor S.A.

Este trabajo se basa en una encuesta de movilidad sobre una muestra de 2.350 hogares (con 7.537 personas residentes en ellos), desarrollada para el conjunto de la Comarca de Pamplona en noviembre de 1996.

Por su parte, el Ayuntamiento de Pamplona encargó en 2004 una encuesta domiciliaria –circunscrita al ámbito municipal de la capital– en el marco de la realización del “Pacto de Movilidad” (Ayuntamiento de Pamplona, 2005a) y de la redacción del “Plan de Ciclabilidad” (Ayuntamiento de Pamplona, 2005b) de la ciudad.

Un año más tarde, en 2005, se hizo una ampliación de esos trabajos mediante una encuesta telefónica realizada en el resto de los municipios de la Comarca (Gobierno de Navarra, 2006). A pesar de que con esta operación se llegó a cubrir el área geográfica que interesaba para poder comparar los resultados con los obtenidos casi una década antes, ambos procesos no son metodológica-

mente equiparables, ya que las encuestas telefónicas se realizaron solo a las personas que se encontraban en el domicilio a la hora de la llamada y, al tener menor duración, se constató que el número de viajes recordados era manifiestamente inferior.

Fruto de esos nuevos trabajos resultó el informe “Movilidad en relación con el transporte urbano en la Comarca de Pamplona 2006”, que fue la base fundamental para la redacción del Plan de Movilidad Urbana Sostenible de la Comarca de Pamplona (Gobierno de Navarra, 2008), documento que nunca se llegó a aprobar.

Finalmente, en 2013, se realizó la última encuesta domiciliaria, en este caso encargada por la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona (2014) y que es la más completa y ambiciosa de las ejecutadas hasta la fecha.

El trabajo de campo, desarrollado por la empresa COTESA tuvo en cuenta un total de 4.348 hogares, en los que residían 11.363 personas.

| AÑO  | ENTIDAD                                | ÁMBITO                 | MUESTRA       |
|------|----------------------------------------|------------------------|---------------|
| 1996 | Gobierno de Navarra                    | Comarcal               | 2.350 hogares |
| 2004 | Ayuntamiento de Pamplona               | Pamplona               | 1.000 hogares |
| 2005 | Gobierno de Navarra                    | Comarca (sin Pamplona) | 708 hogares   |
| 2013 | Mancomunidad de la Comarca de Pamplona | Comarcal               | 4.348 hogares |

Tabla 1. Encuestas de movilidad realizadas en la Comarca de Pamplona.

Como resumen, cabe concluir que, de las tres encuestas de movilidad realizadas en la Comarca de Pamplona, la de 1996 y la de 2013 son metodológicamente equiparables y, por tanto, sus resultados comparables entre sí,

mientras que las efectuadas en 2004-2005 no lo son, salvo para el municipio de Pamplona.

En el conjunto de las encuestas domiciliarias analizadas, tan solo la que se realizó en 2004 por parte del Ayuntamiento de Pamplona y la reciente de 2013 han podido aportar información sobre el número de viajes realizados diariamente en bicicleta. La encuesta domiciliaria de 1996 no desagregaba este modo de transporte (lo cual es, por sí mismo, un dato muy significativo) y la realizada en 2005 para el conjunto de la comarca, extraía un porcentaje de desplazamientos tan pequeño que ni siquiera se aportó el dato.

### Encuestas a ciclistas

El interés por el estudio de la movilidad ciclista y la necesidad de conocer cómo se está llevando a cabo su desarrollo en Pamplona ha hecho que, en los últimos cuatro años, se hayan realizado varias encuestas específicas sobre este modo de transporte (Tabla 2).

La pionera, titulada “Estudio del Perfil del Ciclista Urbano de Pamplona”, fue la desarrollada por Xabier Aquerreta en 2013. El autor de dicho trabajo, miembro de la Asociación de Medios de Transporte Saludables (AMTS), realizó 420 encuestas presenciales con un cuestionario bastante amplio que permitió tener una primera imagen de la movilidad en bicicleta dentro de la ciudad.

Resulta altamente significativo que este trabajo, tan necesario como se ha visto después, no fuera realizado ni impulsado por las autoridades municipales, sino que partió de la sociedad civil, al parecer más preocupada por estas cuestiones que el propio ayuntamiento de la ciudad.

Un par de años después, y nuevamente fuera del ámbito público, desde el proyecto LIFE+RESPIRA, se puso en

marcha un estudio *on-line* denominado “Encuesta a ciclistas urbanos de Pamplona”. Se trata de un trabajo sobre un cuestionario muy completo en sus contenidos (80 preguntas), que consigue recoger 473 encuestas entre 2015 y comienzos de 2016.

Para contextualizar los datos de Pamplona en paralelo, se llevó a cabo la misma encuesta adaptada para ciclistas del resto de España, que fue difundida con la colaboración de ConBici y otras asociaciones.

Ese mismo año (2015) el Ayuntamiento de Pamplona, a través del Observatorio de la Bicicleta, realizó una Encuesta a ciclistas. Se trata de un cuestionario breve, de tan solo 11 preguntas y que fue contestado por 259 personas.

El escaso contenido de la misma y el número muy inferior de respuestas que se obtuvo, unido al hecho de que la encuesta realizada en el marco del proyecto LIFE+RESPIRA acaba prácticamente de realizarse, hace que se considere que este trabajo apenas aportó información relevante para el conocimiento de la movilidad ciclista en Pamplona.

De nuevo el Ayuntamiento de Pamplona realizó en 2017 un trabajo titulado “Encuesta sobre hábitos de movilidad y valoración de la infraestructura ciclista actual”. En total participaron 1.021 personas, que respondieron el cuestionario por varios medios (50% *on-line* y 50% presencial).

Se trata de una encuesta con puntos interesantes, como el hecho de haber conseguido un número de respuestas muy amplio y que nos ofrece una nueva perspectiva sobre la movilidad ciclista, prácticamente dos años después de la anterior encuesta y en un momento en que el incremento de este modo de transporte ha sido más que palpable en las calles de la ciudad.

El diseño adolece de errores metodológicos importantes,



ya que no es ni una encuesta de movilidad general (como se demuestra por el hecho de contar con más de un 30% de personas que dicen moverse habitualmente en bicicleta por la ciudad), ni tampoco es una encuesta a ciclistas, dado que el 32,5% dice no usarla nunca. Está, por tanto, en tierra de nadie y resulta en su conjunto poco útil por ese motivo.

No obstante, haciendo una extracción de las respuestas pertenecientes exclusivamente a ciclistas podría utilizarse como una encuesta específica para este colectivo de ciudadanos y, por tanto, sus datos serían comparables a los de los trabajos citados anteriormente.

| AÑO       | ENTIDAD                  | ENCUESTAS | Nº PREGUNTAS |
|-----------|--------------------------|-----------|--------------|
| 2013      | Xabier Aquerreta         | 420       | -            |
| 2015-2016 | LIFE+ RESPIRA            | 473       | 80           |
| 2015      | Ayuntamiento de Pamplona | 259       | 11           |
| 2017      | Ayuntamiento de Pamplona | 1021      | 26           |

Tabla 2. Encuestas a ciclistas realizadas en la Comarca de Pamplona.

### Encuestas en centros atractores de desplazamientos

El interés por el estudio de la movilidad metropolitana ha hecho que, en los últimos años, se hayan realizado varias encuestas en algunos de los principales centros atractores de la conocida como “movilidad obligada”, es decir, la que se refiere a los desplazamientos por motivos educativos o laborales. Sin duda estas encuestas específicas constituyen otra fuente importante de información a tener en consideración.

La primera encuesta a destacar es la realizada en la Universidad Pública de Navarra en 2009 en el marco de su Plan de Movilidad Sostenible. 269 alumnos y 110

trabajadores de dicha entidad completaron un cuestionario de 20 preguntas.

La segunda a la que se va a hacer mención es la encuesta impulsada desde el Plan de Movilidad Urbana Sostenible de la Universidad de Navarra (2012). La población universitaria entonces era de 10.635 personas (86% alumnos, 8% PAS y 6% profesores). Se elaboró una encuesta presencial de 14 preguntas que permitió caracterizar la movilidad en dicho campus. La encuesta se realizó en el mes de diciembre de 2010, obteniéndose un total de 631 cuestionarios completados, en un 92% por estudiantes.

En tercer lugar, cabe destacar la realización de una encuesta de hábitos de desplazamiento al trabajo realizada en 2013 a los empleados de la fábrica Volkswagen Navarra, una de las empresas con mayor número de empleados de la Comunidad Foral que está ubicada en el polígono Landaben, a pocos kilómetros de Pamplona. El cuestionario formó parte de la fase de diagnóstico del Plan de Movilidad Sostenible al Trabajo y constaba de 23 preguntas. Fue completado de forma presencial por 4.500 trabajadores, cifra que supone el 38% de la plantilla (1.700 empleados).

La última encuesta a la que se hace mención tiene la doble particularidad de que se especializó en los escolares de secundaria y de que se ha realizado por iniciativa de LIFE+RESPIRA. 2.500 escolares de entre 6 y 16 años y más de 600 familias, pertenecientes a 10 centros educativos, complementaron *on-line* la encuesta de movilidad, de 34 preguntas en el caso de los alumnos y de 25 en el de las familias. Si bien la cifra de encuestas trabajadas resulta muy satisfactoria, sin embargo, está pendiente de comprobar si resulta representativa de la realidad comarcal. Nos consta que la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona está trabajando en este sentido.

La aportación de todos estos trabajos al conocimiento de la movilidad ciclista del área metropolitana de Pamplona

es parcial, ya que, a pesar de contar con un número elevado de encuestas, el escaso porcentaje de ciclistas entonces no proporcionaba información suficiente como para evitar plantearse estudios específicos.

Aún con todo, haciendo una extracción de las respuestas pertenecientes exclusivamente a ciclistas, se pueden utilizar como una encuesta específica para este colectivo de ciudadanos y, por tanto, sus datos serían comparables a los de los trabajos citados anteriormente. Y sobre todo, su validez radica en su aportación particular para cada centro atractor a la hora de tomar medidas de planificación y gestión.

### Aforos

El tercer gran tipo de estudios que se han desarrollado en Pamplona han sido los aforos de bicicletas (Fig. 1).

El primero se desarrolló en 2015, en paralelo a los trabajos de la encuesta que hizo el Ayuntamiento de Pamplona. Se realizó manualmente, en un solo día (laborable) y de forma simultánea en 14 puntos de muestreo repartidos por la ciudad. Los aforadores estuvieron trabajando durante 14 horas (entre las 7:30 y las 21:30 h.) y registraron en total cerca de 20.000 pasos de bicicleta.

El siguiente aforo se desarrolló en 2016, tomando como referencia el anterior y con intención de complementarlo, pues aunque se repiten algunos puntos de aforo, otros son nuevos.

En total se aforaron 10 puntos mediante el procedimiento de medición automática por gomas y, por tanto, se pudieron realizar mediciones las 24 horas durante varios días.

Con independencia de estos dos aforos, se han desarrollado otras operaciones de carácter más puntual y objetivo más concreto.

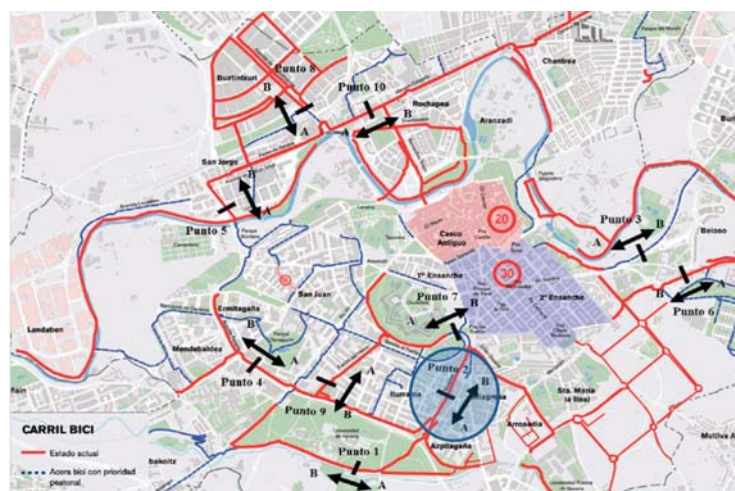


Figura 1. Puntos de aforo del Ayuntamiento de Pamplona en 2015 (izquierda) y de la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona en 2016 (derecha).

Entre 2013 y 2015 Jesús Sukuntza, miembro de AMTS, realizó un aforo de larga duración en un punto fijo de la Vuelta del Castillo con el fin de comprobar, con una medición semanal de una hora, los cambios en el volumen de paso de ciclistas debidos a la evolución temporal,

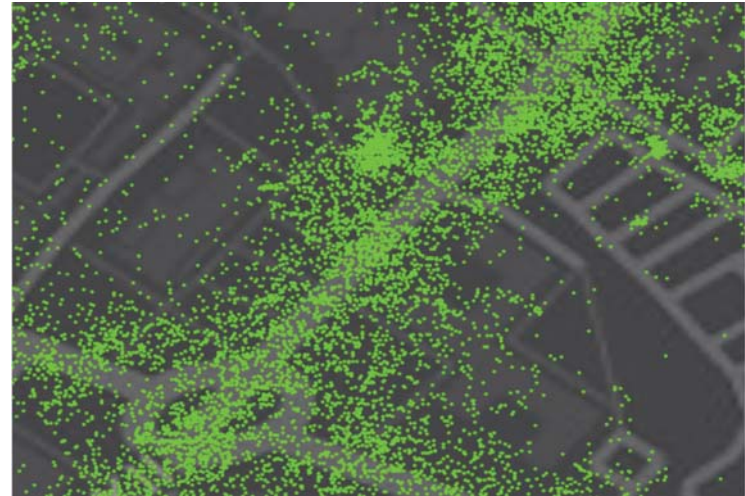


Figura 2. Corredores de movilidad ciclista registrados por los voluntarios del Proyecto LIFE+RESPIRA.

cambios estacionales, fenómenos meteorológicos, etc.

Más recientemente (finales de 2017), el propio Jesús Sukuntza ha impulsado y coordinado un grupo de voluntarios que han aforado en 6 puntos del primer Ensanche de Pamplona con la intención de analizar las preferencias de circulación de los ciclistas en cuanto al tipo de vía por el que transitan. El estudio ha consistido en medir el paso de bicicletas en 3 días laborables durante 2 horas.

Por último, cabe reseñar también otro tipo de aforos diferentes a los anteriores, ya que lo que se contabiliza en ellos no son desplazamientos por un punto, sino bicicletas estacionadas. Han sido realizados durante años por el profesor Arturo Ariño, de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Navarra, contando para ello con la colaboración de alumnos en prácticas de la asignatura de Ecología.

Estos trabajos, centrados en contabilizar manualmente el paso de bicicletas en determinados puntos de aforo situados en carriles bici y en analizar la ocupación de los

aparcamientos, tienen la virtualidad de ser repetidos en condiciones similares desde hace años, por lo que las conclusiones que se pueden obtener son de interés para realizar estudios longitudinales sobre el uso de la bicicleta en Pamplona.

### Herramientas basadas en el geoposicionamiento

El último tipo de estudios que se han desarrollado en Pamplona han sido los basados en herramientas TIC, que permiten posicionar geográficamente y, por tanto, cartografiar los recorridos de los ciclistas.

Las dos experiencias de las que tenemos conocimiento se han desarrollado ligadas al propio proyecto LIFE+RESPIRA.

El captador utilizado por los ciclistas voluntarios del proyecto para registrar los valores de los contaminantes permitió a la vez mostrar su localización dentro los principales ejes de la ciudad conforme se desplazaban por la ciudad. Tal y como se aprecia en la figura 2, los millones de puntos registrados dibujan muy bien los

corredores más importantes de circulación y –lo que es aún más interesante– permiten posicionar la bicicleta dentro de la calle, según el tipo de vía que están utilizando para desplazarse.

La segunda experiencia tiene que ver con el programa educativo LIFE+RESPIRA y con el trabajo realizado con

10 centros educativos para localizar los recorridos de los alumnos al centro escolar. En este caso, a través de la aplicación Wikiloc y filtrando a los estudiantes que se desplazan en bicicleta, podemos obtener un mapa bastante detallado de sus recorridos urbanos, aunque no demasiado denso, debido al poco uso de este medio de transporte.



## Conclusiones



La bicicleta ha pasado inadvertida en los estudios sobre movilidad urbana desarrollados en Pamplona hasta hace muy poco tiempo. Apenas existían estudios centrados en este modo de transporte y en los de carácter más general no era tenida en cuenta. Sin embargo, en el último lustro se ha producido una concatenación de trabajos de diferentes características (encuestas, aforos, etc.) que han permitido avanzar mucho en el conocimiento de este fenómeno.

Este despertar del interés por la movilidad ciclista, que ha sido paralelo al aumento de la importancia de la bicicleta en el mix de la movilidad urbana de la ciudad, no ha venido siempre de la mano de las administraciones públicas responsables de la planificación y gestión de la movilidad, sino que ha partido (al menos en un momento inicial) de la sociedad civil y del mundo universitario.

A día de hoy existen muchos trabajos paralelos y que, en algunos casos, se superponen en el tiempo, pero tienen el inconveniente de no abarcar el conjunto de aspectos sobre la movilidad que sería deseable, ni de ser metodológicamente comparables entre sí. Más que repetir estudios, es necesario buscar una mayor complementariedad entre los trabajos que se realizan por parte de instituciones públicas y de entidades privadas con el fin de establecer las bases de un sistema completo de caracterización de la movilidad ciclista en Pamplona.

## Referencias

Ayuntamiento de Pamplona, 2005a. Pacto local de movilidad sostenible de Pamplona. Aprobado en sesión del día 30 de noviembre de 2005. Url [https://www.mcp.es/sites/default/files/basicpage/pacto\\_movilidad\\_pamplona.pdf](https://www.mcp.es/sites/default/files/basicpage/pacto_movilidad_pamplona.pdf) [consultado 12/12/2017].

Ayuntamiento de Pamplona, 2005b. Plan de ciclabilidad de Pamplona. Documento de trabajo inédito.

Gobierno de Navarra, 1997. Movilidad en Relación con el Transporte Urbano en la Comarca de Pamplona. Memoria Síntesis. Departamento de Obras Públicas y Transportes. Servicio de Transporte. Documento de trabajo inédito.

Gobierno de Navarra, 2006. Movilidad en relación con el transporte urbano en la Comarca de Pamplona 2006. Documento de trabajo inédito.

Gobierno de Navarra, 2007. Observatorio de la movilidad y del transporte de la Comarca de Pamplona. Pamplona: Gobierno de Navarra, Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Dirección General de Transportes.

Gobierno de Navarra, 2008. Plan de movilidad urbana sostenible de la Comarca de Pamplona. Documento de trabajo inédito.

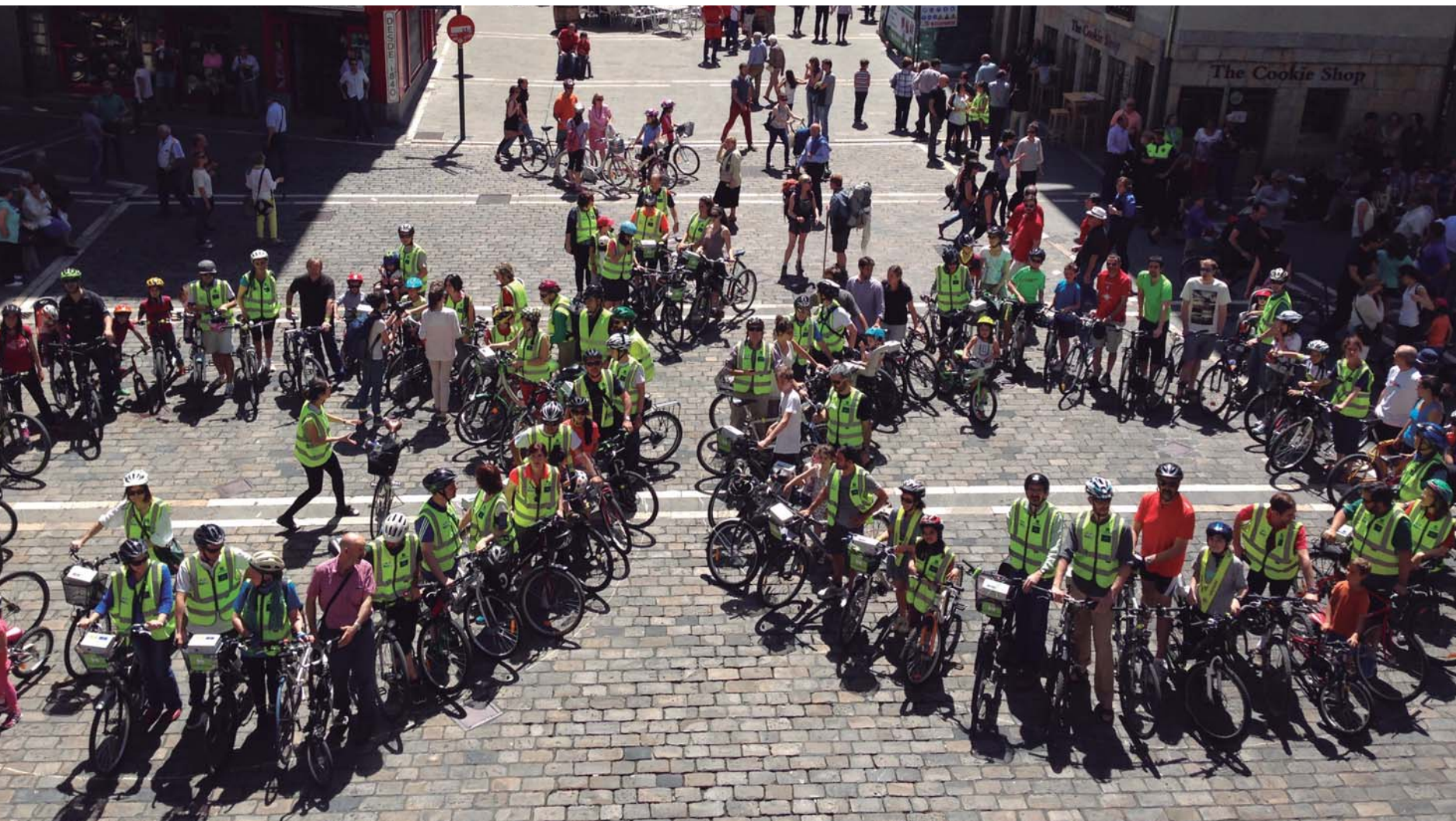
Mancomunidad de la Comarca de Pamplona, 2014. Análisis y Diagnóstico de la Movilidad en la Comarca de Pamplona. Documento de trabajo inédito.

Nosal, T. y Miranda-Moreno, L.F., 2014. The effect of weather on the use of North American bicycle facilities: A multi-city analysis using automatic counts. *Transportation Research Part A* 66: 213-225.

Pazos, M., 2005. El estudio de la movilidad diaria en España: limitaciones en las fuentes y alternativas propuestas. *Eria*, 66 (2005), págs. 85-92.

Zangenehpour, S., Miranda-Moreno, L.F. y Saunier N., 2015. Automated classification based on video data at intersections with heavy pedestrian and bicycle traffic: Methodology and application. *Transportation Research Part C* 56: 161-176.

# 7. COMUNICACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL



## LIFE + RESPIRA: una campaña de comunicación crossmedia

Internet ofrece grandes posibilidades para difundir mensajes con distintos formatos y modos narrativos, eliminando algunas de las limitaciones de los medios tradicionales, que imponen notables restricciones para llevar a cabo una representación certera y eficaz del medio ambiente (León, 2007).

La calidad de la representación de las cuestiones ambientales que llevan a cabo los medios convencionales ha sido objeto de numerosas críticas, entre las que destaca la de no ser capaces de informar eficazmente al público ni de involucrar a los ciudadanos en el cambio cultural que el planeta está demandando. Ante esta situación, el entorno digital abre un nuevo y esperanzador panorama, por cuanto permite utilizar mayor variedad de soportes y formas narrativas, haciendo posible así una representación más flexible (León, 2015).

En este proceso de implicación del público cobra ahora una inusitada relevancia el papel de las instituciones científicas que trabajan en las distintas vertientes de los asuntos ambientales. Centros de investigación, asociaciones ciudadanas y grupos ecologistas, disponen ahora de nuevos medios para concitar la atención ciudadana.

### Comunicación *crossmedia*

Los actores de estos nuevos procesos comunicativos ambientales saben bien que ahora ya no se trata de producir contenidos para un solo medio de difusión, sino de plantear estrategias transversales, que obtengan el mayor rendimiento posible de contenidos diseñados para múltiples soportes. No en vano, en el entorno digital cada medio de comunicación ya no se limita a difundir contenidos en un solo soporte –imágenes en la televisión, sonidos en la radio, etc.–, sino que todos optan, en mayor o menor medida, por difundir contenidos en varios formatos; por ejemplo, todos los medios difunden textos, fotos y vídeos en sus redes sociales.

Surgen así modelos de comunicación basados en estrate-

gias *crossmedia*, en las que se emplean contenidos que son publicados en múltiples canales, utilizando distintos soportes y formatos, como textos, fotos, vídeos y audios (Veglis, 2014). Con frecuencia, estos contenidos están diseñados siguiendo una estrategia conjunta y se difunden de forma coordinada en las diferentes plataformas.

Como es bien sabido, Internet ha evolucionado hacia la denominada web 2.0, en la que la participación se convierte en un elemento fundamental, hasta el punto de que se modifica radicalmente el modelo tradicional de emisores y consumidores, dejando paso a los prosumers, que ejercen simultáneamente el papel de productores y consumidores de contenidos (Toffler, 1980). Aquella vieja y legítima aspiración de los medios de lograr la retroalimentación por parte del público, es ahora más factible que nunca, gracias a unas herramientas que lo hacen posible.

El modelo de comunicación vertical y unidireccional deja paso a otro donde imperan la horizontalidad y la interactividad. Esto hace posible que surja una comunidad virtual en la que se establece un complejo entramado de relaciones entre ciudadanos e instituciones con intereses comunes.

Internet juega un papel clave en la comunicación del medio ambiente, debido a la facilidad de convergencia de los medios, las escasas limitaciones entre las dimensiones de lo público y lo privado y su orientación intrínseca a la apelación del usuario individual (Adams y Gynnild, 2013: 114). Y este nuevo paradigma resulta especialmente adecuado para desarrollar proyectos de voluntariado ambiental, ya que, en este ámbito, “ser visible es un requisito para un reconocimiento social más amplio y para facilitar la incorporación de voluntarios y la obtención de recursos” (De Castro, 2002: 330).

En este contexto, las redes sociales se erigen en una herramienta de gran potencial, ya que facilitan el

contacto entre los gestores de los proyectos y los voluntarios ambientales, abriendo enormes posibilidades de comunicación, basadas en la cercanía y el feedback (Adams y Gynnild, 2013: 116).

### El plan de comunicación de LIFE+RESPIRA

Como ya se ha explicado, LIFE+RESPIRA está diseñado de tal modo que los ciudadanos son agentes fundamentales en la investigación, además de beneficiarios de los resultados. Las características de la investigación y el modo en que se ha llevado a cabo hacen que la comunicación haya sido uno de los elementos clave del proyecto, ya que ha resultado decisiva para informar y sensibilizar a los distintos públicos destinatarios. Como conse-

cuencia, se ha implementado un ambicioso plan de comunicación crossmedia, que incluye más de un centenar de acciones a lo largo de los tres años de investigación, desarrollado por un equipo interdisciplinar de especialistas en comunicación ambiental, publicidad, marketing, redes sociales y producción audiovisual.

En sintonía con el planteamiento general del proyecto, el plan de comunicación tiene por objetivo informar y sensibilizar sobre la importancia de la calidad del aire, dando a conocer la investigación y sus sucesivos resultados; así como concienciar sobre la conveniencia del uso de la bicicleta como medio de transporte urbano, como agente idóneo para mejorar la calidad del aire.

Tabla 1. Acciones de comunicación según los públicos objetivo.

| Público objetivo | Comunidad científica                                                                                                                                                                                                         | Voluntarios                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Grupos ecológicamente sensibilizados                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Instituciones y administraciones públicas | Público en general                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Acciones         | Publicaciones científicas<br>Comunicaciones a congresos<br>Seminario internacional<br>Actas del seminario internacional<br>Perfil en Twitter<br>Folleto institucional (castellano, euskera e inglés)<br>Paneles informativos | Sesiones presenciales de formación y motivación<br>Paneles informativos<br>Folletos<br>Conferencias de prensa<br>Notas de prensa<br>Correo electrónico<br>Newsletter<br>Sitio web<br>Perfil en Facebook<br>Perfil en Twitter<br>Canal de Youtube<br>Documental (castellano en inglés)<br>Vídeos (castellano y euskera)<br>Programas de radio | Jornada de presentación del proyecto<br>Jornadas técnicas<br>Documento técnico<br>Newsletter<br>Sitio web<br>Perfil en Twitter<br>Perfil en Facebook<br>Canal en Youtube<br>Unidad didáctica sobre Calidad del aire movilidad y salud<br>Vídeos<br>Documental<br>Programas de radio<br>Paneles informativos<br>Folletos (castellano, euskera e inglés)<br>Carteles<br>Elementos de merchandising (camisetas, accesorios de bicicleta, mochilas, etc.) | Reuniones de presentación                 | Sitio web (en castellano, euskera, inglés y francés)<br>Presentaciones y talleres en efemérides relacionadas<br>Conferencias de prensa<br>Notas de prensa<br>Videocomunicados<br>Atención a medios de comunicación<br>Documental (castellano en inglés)<br>Vídeos (castellano y euskera)<br>Perfil en Twitter<br>Perfil en Facebook<br>Canal en Youtube<br>Concurso para la creación del logotipo<br>Concurso de fotografía<br>Layman's report |





Figura 2. Bicicleta humana en la plaza del Ayuntamiento de Pamplona. Foto: Manuel Castells.

La campaña de comunicación distingue cinco públicos objetivos diferenciados:

1. La comunidad científica: un grupo interdisciplinar formado por 35 investigadores, especialistas en las distintas disciplinas científicas implicadas en el proyecto: química ambiental, movilidad, ecología, bioinformática y comunicación ambiental.

2. Los voluntarios del proyecto: 121 hombres y 79 mujeres, de edades comprendidas entre 18 y 71 años, cuya participación ha sido uno de los elementos fundamentales para llevar a cabo la investigación.

3. Los ciudadanos con especial sensibilidad por las cuestiones ambientales: personas con un alto grado de compromiso y concienciación ambiental, incluyendo usuarios habituales de la bicicleta, así como miembros de grupos y asociaciones relacionadas con el medio ambiente.



Figura 1. Folleto empleado en la campaña de captación de voluntarios. Diseño: Juan Boronat (Ojo de pez comunicación)

4. Instituciones y administraciones públicas: como agentes fundamentales en la gestión de la calidad del aire urbano y la movilidad.

5. El público en general: al que se intenta acceder a través de los medios de comunicación social y otras actividades.

Las acciones de comunicación dirigidas a la comunidad de voluntarios han sido diversas (Tabla 1). Se han organizado eventos presenciales, paneles informativos, folletos impresos, notas de prensa, vídeos publicados en YouTube, programas de radio en la emisora local 98.3 y Universidad de Navarra, informaciones publicadas en

sitio web del proyecto, notas en Facebook y Twitter. También se mantenido un contacto constante entre el equipo investigador y los voluntarios por correo electrónico.

La comunicación dirigida a la comunidad científica se ha concretado en la participación en más de 20 congresos, celebrados en distintos países. El seminario final, celebrado en Pamplona los días 12 y 13 de diciembre de 2017, ha servido de marco para la presentación de los principales resultados de la investigación.

En cuanto a la comunicación dirigida a los voluntarios, en los primeros meses del proyecto ha estado especialmente centrada en la captación. Entre los materiales de comunicación utilizados, destaca un vídeo difundido a través del canal de Youtube y las redes sociales del proyecto (<https://www.youtube.com/watch?v=-vV-11135KA>), un folleto tipo flyer (Fig. 1) y unas etiquetas que se han colgado en bicicletas aparcadas en distintos lugares de la ciudad, con información similar a la del flyer. Esta campaña ha permitido alcanzar la cifra de 150 voluntarios en los ocho primeros meses del proyecto, superando las previsiones iniciales.

La comunicación dirigida a la comunidad de personas especialmente sensibilizadas en materia ambiental se ha canalizado fundamentalmente a través del sitio web y las redes sociales. El sitio web, publicado en español, euskera, inglés y francés ([www.liferespira.eu](http://www.liferespira.eu)), ha alcanzado en diciembre de 2017 más de 16.000 usuarios y 43.000 páginas vistas (Fig. 3).

A lo largo de todo el proyecto las redes sociales han contado con una participación constante. El perfil de Facebook ha llegado a 1500 “Me gusta” y el de Twitter ha superado los 860 seguidores (a 31 de diciembre de 2017). Entre los materiales de producción propia difundidos a través de las redes sociales, cabe destacar 20 vídeos de entre uno y cinco minutos de duración, publicados en YouTube, que han superado en conjunto las 6.700 visualizaciones. También se ha realizado un docu-

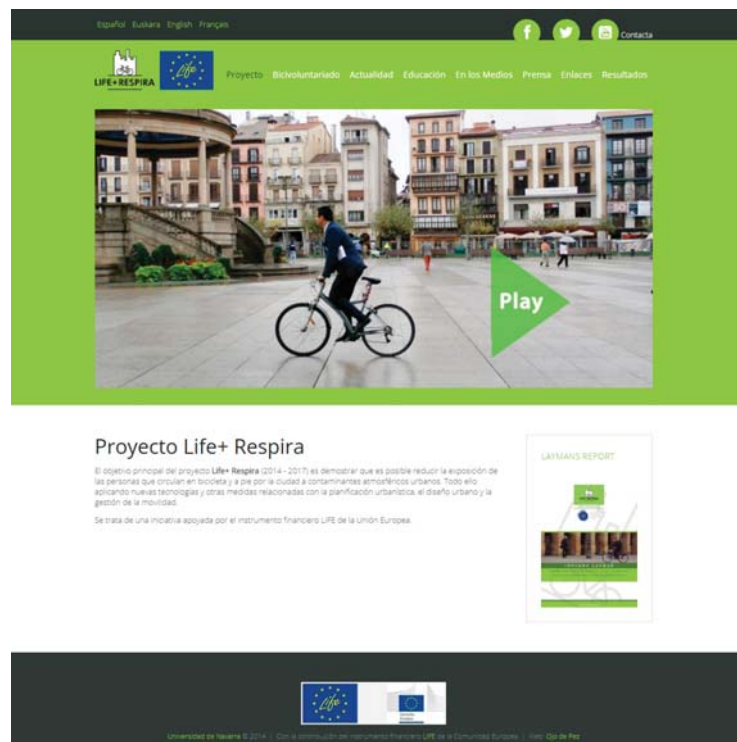


Figura 3. Sitio web del proyecto. Diseño: Juan Boronat (Ojo de pez comunicación)

mental sobre el proyecto de investigación, que ha sido difundido a través de festivales especializados y plataformas de distribución en internet.

La comunicación dirigida a las instituciones públicas se ha concretado en numerosas reuniones con entidades locales, como el Ayuntamiento de Pamplona y la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona, en las que se ha dado a conocer el proyecto, propiciando diversas formas de colaboración.

Finalmente, LIFE+RESPIRA ha tratado de llegar hasta el público en general, fundamentalmente a través de los medios de comunicación convencionales. Para difundir

el proceso y los resultados del proyecto se han convocado ocho conferencias de prensa y se han difundido 15 notas de prensa. El proyecto ha sido recogido por más de 130 medios de comunicación local y nacional (prensa, radio, televisión y medios digitales), con una audiencia estimada de más de 10 millones de personas. Entre los medios nacionales que han publicado información sobre LIFE+RESPIRA, cabe destacar las ediciones digitales de los diarios El País y La Vanguardia (Fig. 4), así como los informativos de Tele 5 y la Cadena Ser.

## Referencias

Adams, P. C. y Gynnild A.. (2013): Environmental Messages in Online Media: The Role of Place. Environmental Communication. Vol. 7, No 1, pp. 113-130.

De Castro, R. (2002). “Voluntariado, altruismo y participación activa en la conservación del medio ambiente”. Intervención Psicosocial, Vol. 11 N.º 3, pp.: 317-331.

León, B. (2015). “El medio ambiente y sus imágenes. Hacia un nuevo modelo de representación”, en León, B. (coord.), El medio ambiente en el nuevo universo audiovisual. Barcelona, UOC, pp. 17-34.

León, B. (2007). “El medio ambiente en las televisiones españolas. Un análisis de contenido de los informativos nacionales”, en Contreras, Fernando, et al., Cultura verde: Ecología, Cultura y Comunicación. Sevilla, Junta de Andalucía, 2007, pp.: 361-373.

Toffer, A. (1980). The Third Wave. New York, Bantam Books.

Veglis, A. (2012). “From Cross Media to Transmedia Reporting in Newspaper Articles”. New York, Springer Science and Business Media.



Figura 4. Publicaciones en prensa nacional

## Programa educativo sobre calidad del aire y movilidad sostenible

### Infancia y movilidad

La movilidad determina en buena medida cómo es una ciudad: sus paisajes sus sonidos, su calidad del aire, su comercio o incluso las relaciones forjadas entre los ciudadanos. Reflexionar sobre qué modelo de movilidad deseamos es preguntarse sobre qué tipo de ciudad escogemos para vivir y dejar como legado a nuestros hijos.

El transporte motorizado es el elemento del sistema urbano que más condiciona la morfología de la ciudad. La configuración de los barrios y de los entornos urbanos de proximidad, como los espacios que rodean los centros educativos, dependen directamente de cómo esté ordenado el tráfico motorizado. Así, la motorización está en el origen de muchos cambios en los comportamientos sociales que empeoran la calidad del espacio comunitario y el desarrollo de la convivencia. En un estudio realizado en los setenta en las calles de San Francisco (Appleyard y Lintellen, 1972) se demostró que hay una relación inversamente proporcional entre el volumen de tráfico en las calles y la intensidad y calidad de las relaciones vecinales. Los autores analizaron la herida que crea una vía con mucho tráfico en un barrio y averiguaron que los contactos sociales disminuían conforme aumentaba el número y la velocidad de los vehículos.

Las transformaciones urbanas ocasionadas por el transporte motorizado afectan especialmente a la infancia. Los niños pierden posibilidades de jugar en la calle, de desplazarse de manera autónoma, de incluirse en sociedad y de contribuir a la vida familiar.

En el ámbito de la salud infantil sabemos que las alergias y, sobre todo, los problemas respiratorios son consecuencia directa de la contaminación del aire. Según la OMS (2017) cada año mueren 570.000 niños menores de cinco años por infecciones respiratorias (como la neumonía), atribuibles a la contaminación y al

humo del tabaco. Además, investigaciones en salud neurológica confirman que también influye en su desarrollo cognitivo (Mortamais et al., 2017).

Además de la baja calidad del aire, otros factores también ligados a las transformaciones urbanas como el ruido o la falta de contacto visual con elementos naturales (árboles, plantas, tierra...) se relacionan con el estrés y la pérdida de concentración (Kahn y Kellert, 2002; Dadvand, et al., 2015; Sunyer et al., 2015).

Por otra parte, los desplazamientos a pie, en bicicleta u otros medios de transporte activo son una oportunidad para promover la actividad física en la población, especialmente en los niños y jóvenes. En España alrededor de la mitad de los niños y adolescentes incumplen las recomendaciones dadas al respecto (FIN, 2016). El ejercicio realizado caminando o pedaleando al colegio previene problemas de obesidad e incluso se refleja en el nivel de concentración de los escolares.

De los niños y de su educación depende el futuro de nuestras ciudades. Es conocida la referencia del sociólogo y pedagogo italiano Francesco Tonucci y su obra “La Ciudad de los Niños” (1996), a través de la cual nos propone repensar la ciudad teniendo en cuenta e incorporando en el diálogo a los niños.

Siguiendo la estela de todos estos planteamientos se han elaborado guías y otros documentos técnicos de apoyo dirigidos a dinamizar y a facilitar el desarrollo de experiencias de movilidad infantil y juvenil en las ciudades (Schollaert, 2002; Román y Salís, 2010; Román, 2013). Conscientes de todo ello, son bastantes los centros escolares o los propios municipios que trabajan por fomentar el empleo de medios sostenibles para acceder a diario al colegio (Fig. 1), bien con la puesta en marcha de los caminos escolares o bien con otras iniciativas (planes de movilidad sostenible al centro educativo, etc.).

### Programa educativo de LIFE+RESPIRA

La comunidad escolar es ideal para replicar esta iniciativa, pionera en materia de calidad del aire y movilidad, ejerciendo un importante efecto multiplicador en sus familias y en la sociedad en general. Partiendo de estas premisas la educación ambiental ha sido un eje prioritario en el proyecto LIFE+RESPIRA.

Con el doble objetivo de sensibilizar a los jóvenes sobre la importancia de la calidad del aire urbano y los factores de las que depende (políticas de gestión, modelo urbanístico, etc.), así como de adquirir hábitos de movi-



Figura 1. Iniciativas para fomentar la movilidad sostenible



Figura 2. Guía docente del proyecto didáctico LIFE+RESPIRA y página web de Mancoeduca en la que se oferta el taller de RESPIRA.

lidad sostenible y saludable, LIFE+RESPIRA ha desarrollado el proyecto educativo RESPIRA “Nuevos aires para una Ciudad Educadora, Saludable y Segura” (Fig. 2), ofertado durante el curso académico 2016-17 a alumnos de educación secundaria obligatoria y de tercer ciclo de primaria residentes en Pamplona y su comarca.

Es importante destacar que el programa educativo mencionado ha sido respaldado por el Departamento de Educación del Gobierno de Navarra y el Consejo Escolar de Navarra. También se ha contado con la colaboración de Mancoeduca, un prestigioso programa de educación ambiental creado hace 25 años por la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona (MCP), institución local encargada del transporte público.

El proyecto didáctico contempla una serie de objetivos que se enumeran a continuación:

- La adquisición de conocimientos relativos a la calidad del aire, los condicionantes urbanos de los que depende y la relación con la salud.
- La adquisición de competencias científicas, tecnológicas, sociales y comunicativas, vinculadas con el desarrollo de la secuencia didáctica, en la que distintos elementos y materias se van interrelacionando.
- El fomento de competencias creativas e imaginativas para la resolución de los problemas ambientales urbanos y de su puesta en relación con el entorno más próximo al colegio.
- La adquisición de competencias ciudadanas tanto para el futuro como para el presente, puesto que abre la ventana a la participación de niños y jóvenes en el proceso de mejora ambiental y transformación de la ciudad.

### **El programa educativo contempla las siguientes actividades:**

1. Sesiones de formación dirigidas a profesores de secundaria y personal de Mancoeduca, en las que investigadores de LIFE+RESPIRA adiestran a los profesores en la adquisición de conocimientos en materia de calidad del aire y movilidad sostenible.

2. Charlas y talleres de investigación y concienciación en las aulas en los que los propios escolares reflexionan, con la supervisión de un experto en educación ambiental o de un investigador LIFE+RESPIRA, sobre el entorno urbano de su centro. Las charlas, de una hora de duración, se han impartido en el propio centro educativo por investigadores del proyecto y personal de Mancoeduca formado al efecto. Cada taller se estructura en las siguientes partes principales:

a) Análisis de los hábitos de movilidad de los alumnos y de sus consecuencias a distintos niveles (ciudad, paisaje, salud, etc.).

b) Realización de recorridos peatonales (Fig. 3) en el entorno inmediato al centro con los analizadores del proyecto LIFE+RESPIRA para registrar datos de contaminación.

c) Caracterización del entorno urbano del centro educativo: detección de problemas y aportación de propuestas.

d) Análisis de la información (Fig. 4) a partir de los datos registrados por el captador, utilizando material de diversa índole (mapas, ortofotos, etc.).

e) La búsqueda de soluciones prácticas y creativas, que pueden ser de diferente naturaleza, dado que el tema puede ser abordado desde diferentes disciplinas y empleando técnicas muy diversas (Fig. 5). Esta fase solo la han completado algunos centros de

manera voluntaria han accedido a elaborar un proyecto de investigación vinculado a LIFE+RESPIRA. Los estudiantes involucrados han trabajado como verdaderos investigadores.



Figura 3. Recorrido peatonal realizado por alumnos de secundaria en el entorno inmediato a su centro educativo.

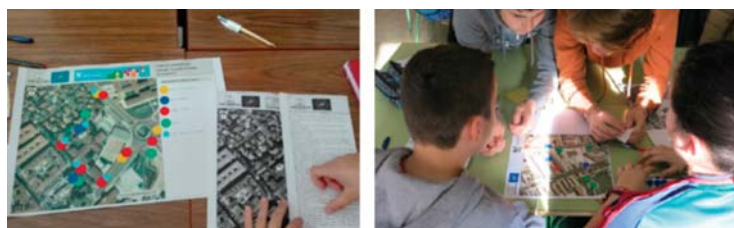


Figura 4. La reflexión sobre los problemas ambientales urbanos es una parte esencial del proceso de aprendizaje.



Figura 5. Las propuestas son de diversa índole y requieren de grandes dosis de imaginación y creatividad.

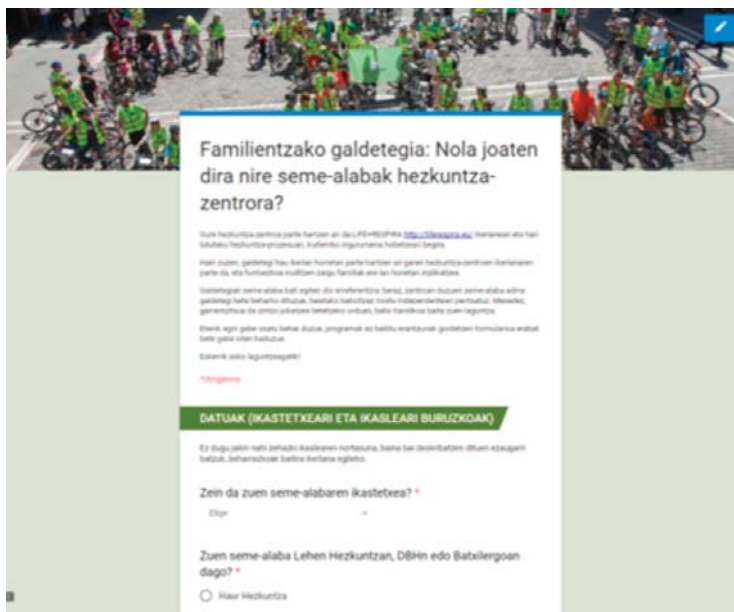


Figura 6. Encuestas on-line realizadas tanto a estudiantes como a sus familiares.



Figura 7. Profesores recibiendo la formación.

3. Encuestas. Se han realizado encuestas de movilidad *online* (Fig. 6) a escolares y familias, en las que se aborda, entre otras cuestiones, la percepción del trayecto que los alumnos recorren a diario entre el domicilio y su centro escolar. Los centros educativos participantes han dispuesto de la información en tiempo real (a través de un acceso -vía google drive- a las respuestas de sus encuestas). Esta información tan privilegiada les permitirá diseñar soluciones ad hoc para cada caso .

4. Análisis de desplazamientos. Los alumnos han identificado utilizando diversas plataformas digitales los recorridos que realizan entre sus centros escolares y los hogares, lo que ha permitido elaborar las denominadas “arañas de desplazamiento”, que no son otra cosa que la cartografía conjunta de cada uno de los viajes realizados por los alumnos.

5. Actividades con asociaciones de padres y madres de los centros. Se han ofertado a las asociaciones de padres y madres de los centros un taller de creatividad urbana orientado a familias en el Museo Universidad de Navarra, con posibilidad de visitar posteriormente el conjunto de exposiciones del Museo y el edificio.

### Principales resultados

Más de 2.000 alumnos, con edades comprendidas entre los 10 y 16 años, pertenecientes a 31 centros educativos de Pamplona y su comarca, han participado en los talleres y charlas adscritas al proyecto didáctico de LIFE+RESPIRA. Las 94 actividades han estado dirigidas, bien por personal de Mancoeduca: 7 educadores y técnicos fueron específicamente formados al efecto por investigadores de LIFE+RESPIRA (Fig. 7), o bien por los propios científicos de LIFE+RESPIRA (salvo las realizadas en el Museo de la Universidad de Navarra).

Del total, unos 800 escolares correspondientes a 10 centros recibieron una formación más exhaustiva e

incluso desarrollaron un proyecto particular del centro a partir de talleres dirigidos por sus propios profesores (16 en total), que previamente fueron específicamente formados por personal de LIFE+RESPIRA. En ese marco de trabajo escolar se desarrollaron propuestas relativas al incremento de la seguridad y comodidad en trayectos peatonales y ciclistas, mejora de la señalización y diseño de los espacios públicos, limitación de su ocupación por parte del vehículo privado, revegetación y embellecimiento del mobiliario urbano (Fig. 8).

Los profesores involucrados han valorado muy favorablemente el programa educativo diseñado y ejecutado por LIFE+RESPIRA porque consideran el hecho de la cercanía un factor de impacto para el alumno. Este altísimo nivel de satisfacción entre colegios participantes asegura en parte la continuidad a futuro del programa una vez finalizado el proyecto LIFE+RESPIRA.

Dependiendo del empeño particular de cada centro, las propuestas se han llevado a cabo en mayor o menor medida.

El trabajo y las propuestas que realizaron los diez centros educativos más involucrados se expusieron en una jornada que tuvo lugar en la sede del Consejo Esco-



Figura 8. Alumnos de secundaria decoran con un diseño propio una cabina de medición de la calidad aire perteneciente a la red de estaciones de control de Gobierno de Navarra. De esta manera los vecinos han conocido para qué sirve y a la vez se fomenta responsabilidad en el alumno.



Figura 9. Foro de participación de los escolares, acompañados de sus profesores e investigadores de LIFE+RESPIRA con las entidades públicas. Los alumnos trasladan sus reflexiones y propuestas a las autoridades competentes. Fuente (imagen izquierda) <http://www.navarrainformacion.es/2017/06/18> Fuente (imagen derecha): <https://pamplonaactual.com/alcalde-pamplona-recibe-las-sugerencias-los-escolares-mejorar-la-calidad-del-aire-la-capital/>

## INDICADORES DEL PROGRAMA EDUCATIVO LIFE+RESPIRA

|       |                                                                                                                     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 31    | Centros educativos de Pamplona y Comarca han participado en las actividades del proyecto educativo                  |
| 16    | Profesores recibieron formación específica y han participado en el proyecto dirigiendo a sus alumnos.               |
| 2.014 | Estudiantes han participado en las actividades del proyecto educativo                                               |
| 10    | Centros educativos han participado en el proyecto de forma directa más directa, desarrollando un proyecto educativo |
| 800   | Estudiantes-investigadores han participado en el proyecto educativo                                                 |
| 7     | Educadores y técnicos de Mancoeduca han recibido formación específica                                               |
| 4     | Actividades para asociaciones de padres (3 talleres en el Museo de la Universidad de Navarra y 1 charla)            |
| 94    | Eventos formativos desarrollados (implicando a 2014 estudiantes)                                                    |
| 2.500 | Encuestas de estudiantes y 600 encuestas de padres o madres                                                         |



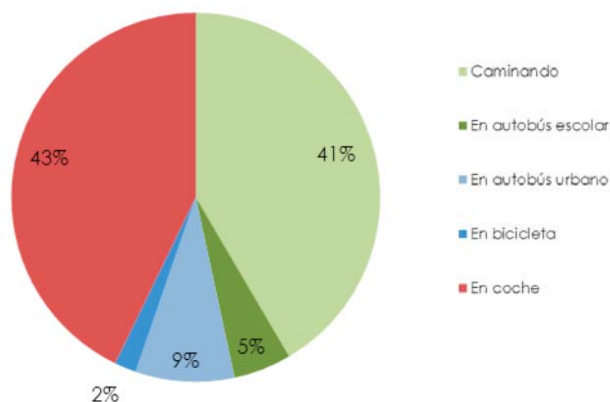


Figura 10. Reparto modal de los desplazamientos que los escolares de Pamplona y su comarca realizan entre el hogar y el centro educativo

lar de Navarra antes de terminar el proyecto LIFE+RESPIRA. Durante este encuentro, los alumnos pudieron exponer sus ideas y conclusiones ante las máximas autoridades del Ayuntamiento de Pamplona y de Villava, la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona y del Consejo Escolar, así como de las direcciones generales de Educación y de Medio Ambiente del Gobierno de Navarra.

Los escolares, acompañados por sus docentes (Fig. 9), expusieron públicamente las propuestas elaboradas en sus centros educativos en el marco del programa educativo y le entregaron al alcalde un dossier que recogía todos los detalles sobre las mismas.

A continuación se presentan los resultados principales de la **encuesta** de movilidad escolar: 2.500 escolares de entre 6 y 16 años y más de 600 familias, pertenecientes a 10 centros educativos, complementaron la encuesta 1.

La encuesta ha revelado (Fig. 10) que el porcentaje de alumnos que acude al centro educativo en coche iguala al que va en medios no motorizados (41% caminando y 2% en bicicleta; el 14% restante acude en bus). Cabe destacar que el reparto modal de los desplazamientos que los escolares realizan entre el hogar y el centro

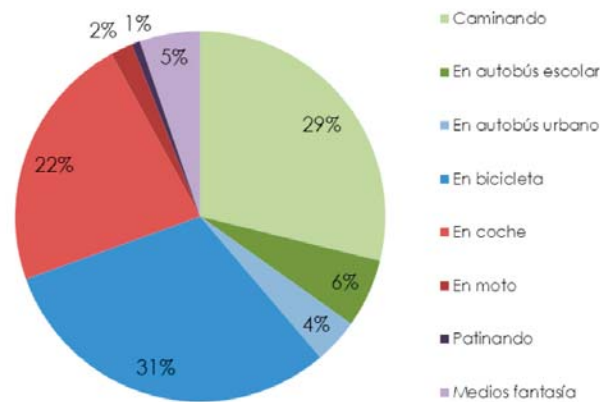


Figura 11. El reparto modal de los desplazamientos que los escolares realizan entre el hogar y el centro educativo, de acuerdo a lo que ellos desean.

educativo es uno de los indicadores comunes europeos voluntarios incluidos por la CE en la propuesta “Hacia un perfil de la sostenibilidad local” (Grupo de trabajo de medición, seguimiento y evaluación de la sostenibilidad local, grupo de expertos en medio ambiente urbano, 2000), cuyo objetivo es apoyar a las autoridades locales suministrando información objetiva y comparable sobre los progresos en materia de sostenibilidad de toda Europa.

Atendiendo a sus respuestas, si de los escolares dependiera, al 31% les gustaría ir en bicicleta, porcentaje que es superado con creces en otras investigaciones (Dekoster y Schollaert, 2000) y al 30% le gustaría ir a pie. De cumplirse sus deseos se estarían perdiendo algunos peatones en favor de ciclistas.

Es interesante resaltar que existen diferencias de preferencia entre los alumnos de primaria y los de secundaria. Con la edad descende el porcentaje de deseo de ir en bici, que pasa de un 42% a un 28%, aunque el de ir caminando se incrementa (desde un 24% a un 34%), sin llegar a compensarlo. También es cierto que menos de la cuarta parte de los alumnos desearía ir en coche al cole (Fig. 11).

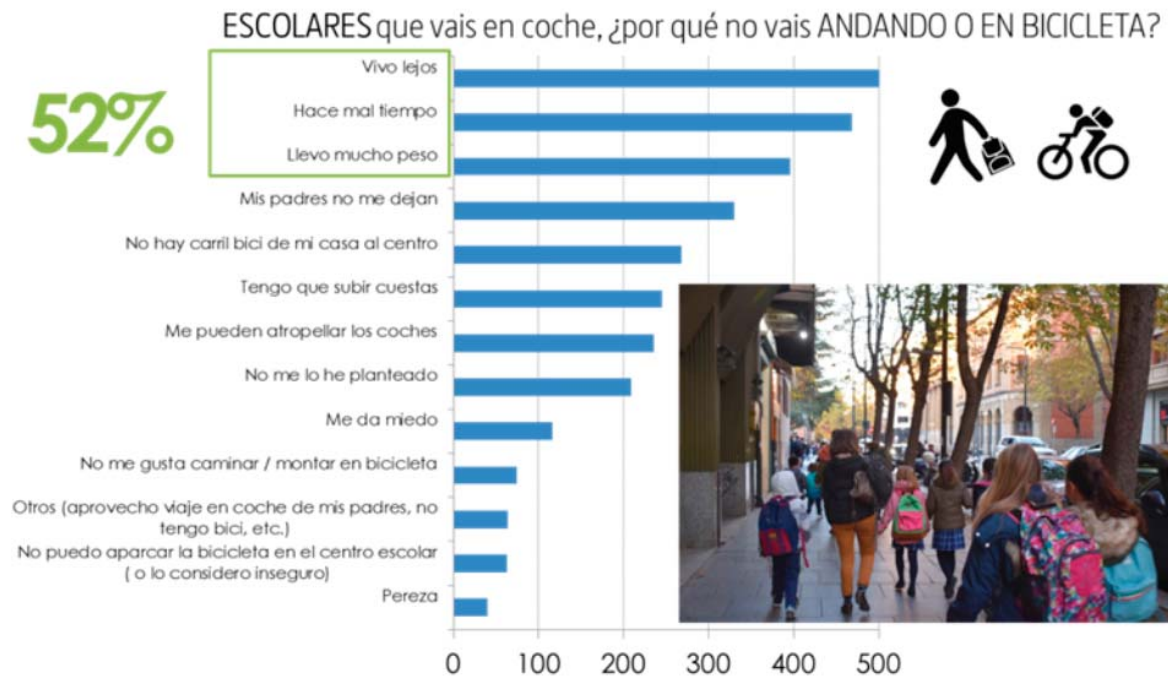


Figura 12. Escolares desplazándose en bicicleta al centro educativo.

Los motivos que dan los alumnos que viajan en coche para no ir de forma activa al centro educativo son muy variados (Fig. 12). Por orden, estos son los más nombrados: la distancia, el clima y el peso. Estas tres razones aglutinan la mitad de las respuestas. Algunos otros motivos referidos son infraestructurales (no hay carril bici, tengo que subir cuestas, no puedo aparcar la bici en el centro escolar o lo considero inseguro, etc.) y otros no (mis padres no me dejan, me da miedo, no me gusta caminar o montar en bici, etc.).

Los motivos que los padres que llevan a sus hijos en coche esgrimen en la encuesta son prácticamente tres (aglutinan el 95% de las respuestas), por este orden: aprovechan el viaje en coche al trabajo para dejar a su hijo, la excesiva distancia hasta el centro escolar y la mayor comodidad.

En cuanto a la percepción de la calidad del aire, uno de cada dos alumnos manifiesta percibir contaminación en el camino entre casa y el centro educativo. Y aunque la diferencia es poca, los que acuden en bicicleta son más sensibles a este respecto. Estos datos pudieran ser sorprendentes para una ciudad como Pamplona, a priori no especialmente “contaminada”. Esto se explica por la influencia del propio proyecto educativo, ya que si comparamos las respuestas de los alumnos con las de sus padres (uno de cada tres, aproximadamente) –que no han sido formados al respecto–, existen notables diferencias. Además, estos datos a su vez concuerdan con el resultado del estudio de percepción de la contaminación llevado a cabo en LIFE+RESPIRA.

Pasando a otra actividad, el análisis de desplazamientos del alumnado ha permitido conocer en detalle en los centros educativos participantes cuales son las calles y plazas más frecuentadas por los alumnos que acceden caminando o en bicicleta (Fig. 13). Esta información permite trabajar en detalle si se quiere en proyectos de seguridad vial, caminos escolares, embellecimiento del entorno inmediato al centro, etc. Esta información gene-

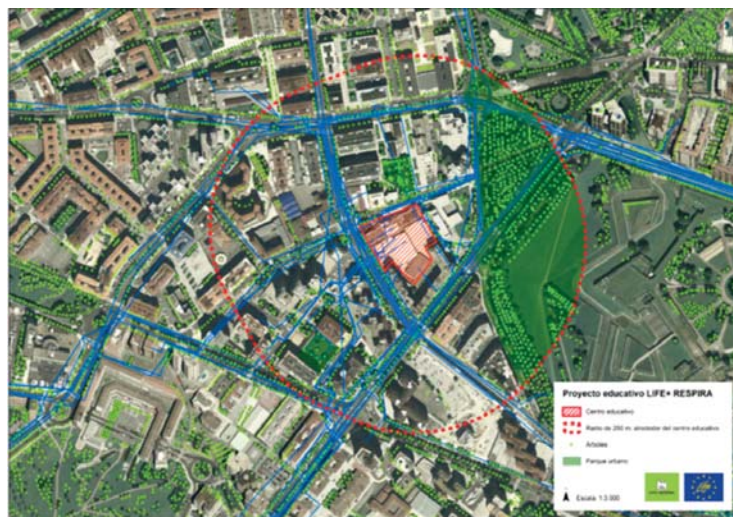


Figura 13. Itinerarios domicilio-centro educativo realizados por los alumnos que van caminando o en bicicleta.



Figura 14. Padres e hijos durante el taller de creatividad impartido en el Museo de la Universidad de Navarra.

rada en el marco de LIFE+RESPIRA podrá servir a otros proyectos que surjan más adelante, impulsados por los propios centros o por las administraciones públicas.

En cuanto a las actividades con asociaciones de padres y madres de los centros educativos, se ha impartido una charla en el propio centro por parte de personal de Mancoeduca. Además de las actividades llevadas a cabo en los centros escolares, se han realizado en el marco del proyecto educativo 4 talleres en el Museo de la Universidad de Navarra dirigidos a familias (Fig. 14), que han servido para concienciar a adultos y niños, en un contexto creativo y artístico, de las repercusiones que nuestras decisiones en materia de movilidad tienen sobre el medioambiente.

## Conclusiones

La infancia supone un período importante para adquirir y consolidar hábitos saludables que reviertan en la misma ciudad. Esta propuesta educativa ha contribuido a concienciar y a sensibilizar a los niños y jóvenes sobre la importancia de la calidad del aire y de la adquisición de hábitos de vida saludables y sostenibles para mejorar la calidad de vida de las ciudades, donde pueden jugar un papel activo. No solo han ejercido de agentes impulsores de cambios en materia de sostenibilidad en sus propios centros escolares, sino que también han participado como ciudadanos trasladando sus reflexiones y propuestas a las autoridades competentes.

RESPIRA “Nuevos aires para una Ciudad Sostenible, Saludable y Segura” constituye una propuesta innovadora en la que niños y jóvenes, así como las comunidades educativas, han podido implicarse en el proyecto LIFE+RESPIRA para impulsar la información, formación y adopción de hábitos de movilidad saludable y sostenible que contribuyan a la transformación urbana.

Se trata de un proyecto didáctico (1) integrado, ya que favorece la interacción entre los centros educativos y entre estos y los investigadores del proyecto y sus voluntarios, favoreciendo su implicación y la experimentación de los beneficios que aporta el trabajo colaborativo y en red; y (2) flexible, ya que los centros interesados han

podido abordar la investigación desde distintas perspectivas y ajustar la secuencia temporal, según sus intereses programáticos. Los centros han dinamizado cambios de infraestructuras y de hábitos desde la perspectiva más científica, creativa o más participativa. Los resultados obtenidos podrán además servir de apoyo a otros proyectos relacionados, como los caminos escolares seguros o los planes de movilidad sostenible a los centros escolares.

La inserción del proyecto educativo de LIFE+RESPIRA en Mancoeduca ha permitido mantener parte de actividades educativas más allá de la duración específica del proyecto. Y como un hito en el Proyecto LIFE, la MCP ha ampliado la oferta del taller de LIFE+RESPIRA para este y, muy probablemente, otros cursos académicos. También esta colaboración ha permitido fortalecer las relaciones institucionales con las autoridades de transporte del área metropolitana de Pamplona, lo que contribuirá a la implementación del nuestro proyecto educativo.

## PROPUESTAS DE MEJORA

Desarrollo de proyectos de caminos escolares que entusiasmen y comprometan a familias, profesorado, administraciones públicas y demás agentes implicados.

Elaboración de planes de movilidad sostenible a los centros escolares en consonancia con la implantación de políticas de movilidad sostenible.

Impulso de proyectos didácticos versátiles. La calidad del aire y la movilidad sostenible son temáticas que se pueden abordar en los centros escolares en diferentes asignaturas (física, química, ciudadanía, ética, ciencias sociales, biología, etc.) debido a su carácter transversal. La dirección y el claustro de profesores de los centros escolares tienen la oportunidad de enfocar el proyecto didáctico desde la perspectiva que mejor se adecúe a sus circunstancias.

Para garantizar la continuidad de los proyectos didácticos que se realizan en el contexto de un proyecto de investigación LIFE, o de otra índole, se sugiere buscar la colaboración de una plataforma (como ha sido la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona en este caso), que garantice la continuidad de su aplicación.

## Referencias



Appleyard D.; Lintell M., 1972. The Environmental Quality of City Streets: The Residents' Viewpoint. *Journal of the American Institute of Planners* 38 (2): 69-83.

Dadvand P., Nieuwenhuijsen M.J., Esnaola M., Fornsa J., Basagaña X., Alvarez-Pedrerol M., Rivas I., López-Vicente M., De Castro Pascual M., Su J., Jerrett M., Querole X., Sunyer J., 2015. Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112 (26): 7937-7942.

Dekoster, J., Schollaert U., 2000. *Cycling: The Way Ahead for Towns and Cities*. EDC collection. Office for Official Publications of the European Commission. ISBN 9789282880982.

FIN, Fundación para la Investigación Nutricional, 2016. Informe 2016: Actividad Física en niños y adolescentes en España. Descargable en: <https://www.activehealthykids.org/wp-content/uploads/2016/11/spain-report-card-long-form-2016.pdf>. [Consulta 10/01/2018].

Grupo de trabajo de medición, seguimiento y evaluación de la sostenibilidad local, grupo de expertos en medio ambiente urbano, 2000. Informe técnico: Hacia un perfil de la sosteni-

bilidad local. Indicadores comunes europeos. Dirección General de Medio Ambiente. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo. ISBN 92-828-9414-2.

Kahn P.H., Kellert S.R., 2002. *Children and Nature: Psychological, Sociocultural, and Evolutionary Investigations*. MIT Press, Cambridge, MA.

Mortamais M, Pujol J, van Drooge BL, Macià D., Martínez-Vilavella G., Reynes C., Sabatier R., Rivas I., Grimalt J., Fornsa J., Alvarez-Pedrerol M., Querol X., Sunyer J. 2017. Effect of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons on basal ganglia and attention-deficit hyperactivity disorder symptoms in primary school children. *Environ Int.*, 105: 12-19.

OMS, Organización Mundial de la Salud, 2017. Don't pollute my future! The impact of the environment on children's health. Ginebra (Suiza). CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Román, M. 2013. *Camino Escolar Paso a Paso*. DGT, Dirección General de Tráfico. Descargable en: <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/educacion-vial/recursos-didacticos/infancia/proyectos-de-camino-escolar.shtml>, Consulta [10/01/2018].

Román M.; Salís I., 2010. *Camino escolar. Pasos hacia la autonomía infantil*. Ministerio de Fomento. Descargable en: [http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/\\_ESPECIALES/CAMINO\\_ESCOLAR/](http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/_ESPECIALES/CAMINO_ESCOLAR/). Consulta: [11/01/2018].

Schollaert, U., 2002. *La ciudad, los niños y la movilidad*. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Luxemburgo.

Sunyer J., Esnaola M., Alvarez-Pedrerol M., Fornsa J., Rivas I., López-Vicente M., Suades-González E., Foraster M., García-Esteban R., Basagaña X., Viana M., Cirach M., Moreno T., Alastuey A., Sebastian-Galles N., Nieuwenhuijsen M. y Querol Q., 2015. Association between Traffic-Related Air Pollution in Schools and Cognitive Development in Primary School Children: A Prospective Cohort Study. *PLoS Med* 12(3): e1001792. doi:10.1371/journal.pmed.1001792

Tonucci F, 1996. *La città dei bambini: un modo nuovo di pensare la città*. Laterza, Roma.



## LIFE+RESPIRA

LIFE13 ENV/ES/00417



Con la contribución  
del instrumento  
financiero LIFE  
de la Comunidad  
Europea

### Socios



Universidad  
de Navarra



**Ciemat**  
Centro de Investigaciones  
Energéticas, Medioambientales  
y Tecnológicas

Nafarroako  
Ingurumen  
Kudeaketa S.A.



Gestión  
Ambiental de  
Navarra, S.A.

### Co-financiador



Pavimentos  
Tudela

### Colaboradores



Ayuntamiento de  
Pamplona  
Iruñeko Udala



Mancomunidad  
Comarca de Pamplona  
Iruñerriko  
Mankomunitatea

**upna**  
Universidad  
Pública de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa



FUNDACIÓN  
CAJANAVARRA

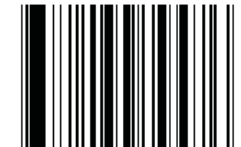


**AMTS**  
ASOCIACIÓN MEDIOS DE TRANSPORTE SALUDABLES



[www.liferespira.eu](http://www.liferespira.eu)

ISBN> 978-84-947947-6-6



9 788494 794766