



LIFE+RESPIRA

LIFE13 ENV/ES/000417



Con la contribución
del instrumento
financiero LIFE
de la Comunidad
Europea



INFORME LAYMAN

Medidas para reducir la exposición de los ciclistas a los principales contaminantes atmosféricos urbanos



Datos del proyecto

LIFE+ Environment Policy and Governance project

LIFE+ RESPIRA (Reduction of exposure of cyclists to urban pollutants).

Periodo de ejecución: 01/06/2014 - 31/12/2017

Beneficiarios

Coordinador: Universidad de Navarra

Asociados:

Centro de Investigaciones Energéticas, Medio Ambientales, y Tecnológicas
Gestión Ambiental de Navarra S.A.

Confinanciadores: Pavimentos Tudela SL

Presupuesto total del proyecto: 2,330,760 Euro

Presupuesto elegible: 2,245,060 Euro

Contribución de la UE: 1,122,530 Euro (= 50.00% del presupuesto elegible).

Datos de contacto

Coordinador del proyecto: Jesús Miguel Santamaría chusmi@unav.es

Calidad del aire y sostenibilidad urbana



La calidad del aire es el resultado de un conjunto de fenómenos complejos asociados a la emisión de contaminantes atmosféricos, que en áreas urbanas proceden mayoritariamente de la quema de combustibles fósiles (vehículos y calefacciones). Disfrutar de un aire limpio se ha convertido en un objetivo prioritario de la política ambiental y de las estrategias de desarrollo sostenible, ya que se trata de un factor determinante de la calidad de vida.

De acuerdo con las Directrices sobre Calidad del Aire (DCA) elaboradas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), existen graves riesgos derivados de la exposición a los contaminantes atmosféricos en la mayor parte de las ciudades europeas, pudiéndose establecer una clara relación cuantitativa entre los niveles de contaminación y el aumento de mortalidad o morbilidad. De hecho, los estudios científicos evidencian que en la Unión Europea la contaminación atmosférica es responsable de la muerte prematura de 467.000 personas al año, lo cual apunta a la necesidad de reforzar las políticas europeas en la materia llevando a cabo nuevos estudios para determinar los efectos de los contaminantes urbanos en la salud.

Cabe resaltar que la mayor parte de los estudios epidemiológicos relacionados con la calidad del aire se han realizado en ciudades grandes (> 500.000 habitantes). Sin embargo, el 80% de las ciudades europeas tiene un tamaño inferior, muy similar al de la ciudad de Pamplona. Por tanto, los resultados obtenidos en el proyecto LIFE+RESPIRA, que se ha desarrollado íntegramente en el área metropolitana de la ciudad de Pamplona, pueden considerarse representativos de lo que ocurre en un gran número de ciudades europeas.

Teniendo en cuenta el crecimiento constante de las ciudades y el incremento de los problemas asociados al tráfico, resulta patente la necesidad de desarrollar nuevas alternativas de transporte que contribuyan a la mejora de la calidad del aire. Una manera efectiva de contribuir a la sostenibilidad de las ciudades consiste en fomentar el uso de medios de transporte “amigables” con el medio ambiente, como la bicicleta.

Los beneficios del transporte activo son claros: disminuye la congestión del tráfico (medio de transporte más rápido en la ciudad), supone relativamente poco peligro para otros ciudadanos, reduce las emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero, favorece la salud de quien lo practica, previene el desarrollo de enfermedades crónicas (lo que implica una reducción de los gastos sanitarios) y no provoca estrés ni agresividad; al contrario, favorece la sociabilidad y hace que cada desplazamiento sea un paseo del que se puede disfrutar de sensaciones agradables.

Paradójicamente, esta actividad saludable puede suponer un riesgo para los propios ciclistas, debido a que éstos se encuentran próximos a las fuentes de contaminación y a que sus tasas de respiración son 2-4 veces superiores a las de los pasajeros que circulan en coche o a los peatones, lo que favorece una mayor inhalación de contaminantes. Por esta razón, es importante disponer de datos empíricos que permitan informar a los ciclistas respecto a dónde y cuándo circular para que la afección por contaminantes inhalados sea menor.

Las investigaciones integradas sobre la exposición real de los ciclistas a los contaminantes urbanos y sus impactos en la salud son bastantes escasas, aunque se han realizado algunos estudios para determinar la contaminación urbana en zonas de diferente densidad de tráfico o para estimar la relación riesgo/beneficio de caminar o andar en bicicleta en las ciudades bajo diferentes escenarios.

El proyecto LIFE+RESPIRA (www.liferespira.eu) surge precisamente en este contexto como una iniciativa para determinar el grado de exposición de los ciclistas y peatones de la ciudad de Pamplona a los principales contaminantes urbanos. Así mismo, pretende demostrar que es posible reducir la exposición a los contaminantes atmosféricos urbanos aplicando nuevas tecnologías y otras medidas relacionadas con la planificación urbanística, el diseño urbano y la gestión de la movilidad.

Uso de la bicicleta en Pamplona

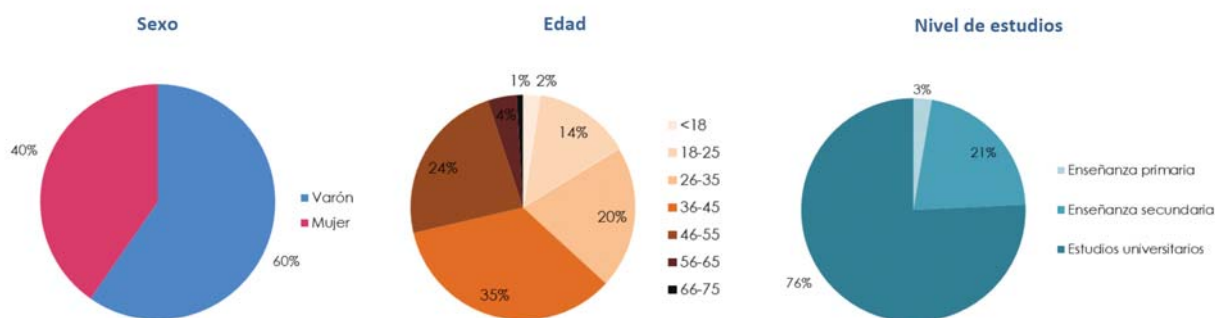
En el proyecto LIFE+ RESPIRA se ha caracterizado la movilidad ciclista de Pamplona gracias a la realización de una completa encuesta online diseñada específicamente para este propósito, en la que participaron 467 ciclistas entre marzo y diciembre de 2015.

Cabe destacar que se trata del mayor esfuerzo realizado hasta esa

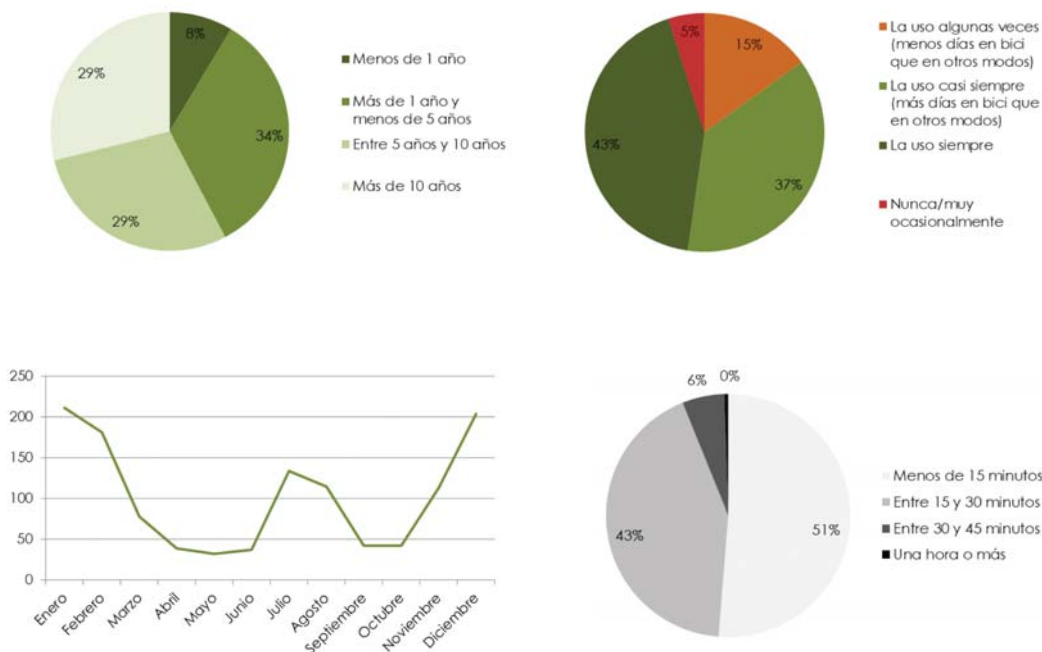
fecha en Pamplona con respecto a este tipo de movilidad, dado que los antecedentes llevados a cabo por el propio ayuntamiento de la capital en el marco del Observatorio de la Bicicleta fueron mucho más reducidos en cuanto a su contenido (apenas una docena de preguntas frente a las más de ochenta que contiene el cuestionario LIFE+RESPIRA) y alcance (259 entrevistas válidas).

Al igual que está ocurriendo en el resto de España, el uso de la bicicleta en Pamplona se ha incrementado de forma exponencial, lo cual evidencia un cambio de hábitos por parte de la población hacia medios de transporte más sostenibles. Las siguientes gráficas recogen datos sobre el perfil de los ciclistas en la ciudad de Pamplona y los principales hábitos de uso de la bicicleta.

PERFIL DE LOS CICLISTAS



HÁBITOS DE USO DE LA BICICLETA



LIFE+RESPIRA: un proyecto de ciencia ciudadana

El término ciencia ciudadana se refiere al “compromiso del público general en actividades de investigación científica, contribuyendo activamente a la ciencia con su esfuerzo intelectual o dando soporte al conocimiento con sus herramientas o recursos”.

En relación con esto, en los últimos años se ha producido un desarrollo vertiginoso del denominado movimiento “smart city”, que persigue transformar las ciudades en espacios sostenibles a través del uso de las nuevas tecnologías. Los ciudadanos pasan a convertirse así en protagonistas del cambio, generando grandes volúmenes de datos que resultan muy valiosos.

El proyecto LIFE+RESPIRA puede considerarse un claro ejemplo de ciencia ciudadana donde más de 200

voluntarios ciclistas han proporcionado, mediante el uso de sensores de bajo coste, unos 150 millones de datos sobre la calidad del aire de la ciudad de Pamplona. Gracias a su colaboración ha sido posible caracterizar de forma exhaustiva la distribución de los contaminantes urbanos en la ciudad, complementando así los datos proporcionados por las estaciones de calidad del aire existentes, que al estar situadas en unos pocos puntos fijos, no pueden recoger todas las situaciones de contaminación que se producen en la ciudad.

Por tanto, el éxito de LIFE+RESPIRA radica en este altruista grupo de voluntarios que, además de contribuir al desarrollo científico, han asegurado que el proyecto tenga un importante impacto a nivel social.



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

¿Cuáles ha sido las acciones desarrolladas en LIFE+RESPIRA?

Uno de los mayores aciertos de este proyecto ha sido sin duda la creación de un equipo científico multidisciplinar constituido por más de 30 investigadores de campos tan diferentes como la biología, química, física, geología, medicina, ingeniería, meteorología, arquitectura, geografía, sociología o periodismo. Ello ha permitido abordar el problema de la contaminación del aire en las ciudades desde perspectivas muy diferentes, fomentando la adquisición de una visión integral del problema y proponiendo soluciones más objetivas.

Aunque se han llevado a cabo 26 acciones para alcanzar los objetivos previstos en el proyecto, en este informe se incluyen aquellas que se consideran más relevantes.

Red de sensores para la medida de la contaminación



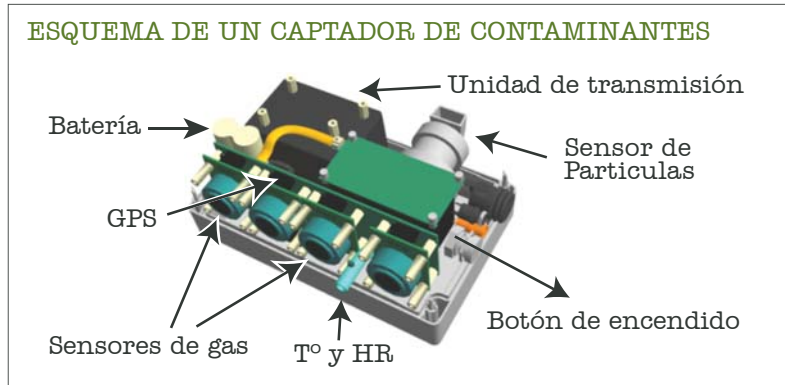
Con LIFE+RESPIRA podemos conocer cómo es la contaminación atmosférica en una ciudad europea de tamaño medio con un nivel de resolución sin precedentes. Además de muchas otras actividades, medidas y estudios, una clave para este resultado es la recogida de datos captados por analizadores atmosféricos portátiles que llevan voluntarios circulando por la ciudad durante sus desplazamientos habituales.



Los equipos analizadores han sido diseñados para este proyecto, usando componentes que eran aún experimentales: sensores electroquímicos de concentración de gases y contadores ópticos de partículas,

suministrados por la empresa AlphaSense. Se encargó la integración de los sensores y el sistema de transmisión a la empresa KUNAK. Un despliegue e integración de sensores a esta escala y de esta

complejidad no se había intentado antes, por lo que ha necesitado numerosos ensayos y procesos de corrección antes de poder obtener datos coordinados con la exactitud y precisión requeridas.



Voluntario con un captador

LIFE+RESPIRA - GESTION DE CAPTADORES					Actualización:
Seleccionar el captador que se va a gestionar					25/02/2016 0:13
En caso de duda, llamar al 948425600 extensión 802396					Actualizado cada 8 minutos
Civitan **** Mendillorri: No qued Condestable *** Prestados: 50%					
Amigos *** Iturrana * Ensanche ** Jun La Rocha ** Disponibles: 32%					
1 - RETRADO	2 - PRESTADO Jimiruzo	3 - PRESTADO artarip	4 - TRASLADAR artarip	5 - PRESTADO aperezdezaib	
6 - PRESTADO rberord	7 - DISPONIBLE Iturrana	8 - PRESTADO guertterospuzur	9 - PRESTADO orainlre	10 - DISPONIBLE Condestable	
11 - RETRADO	12 - DISPONIBLE Condestable	13 - DISPONIBLE Condestable	14 - PRESTADO manuel_serrano1239	15 - DISPONIBLE Jun La Rocha	
16 - DISPONIBLE Jun La Rocha	17 - PRESTADO Javier.Lopez	18 - DISPONIBLE Civitan	19 - PRESTADO rafalopez83	20 - PRESTADO checarrocarlos	
21 - RESERVADO staitar	22 - DISPONIBLE Civitan	23 - PRESTADO Lpliedrag	24 - DISPONIBLE Amigos	25 - RETRADO	
26 - PRESTADO jaarbilla	27 - DISPONIBLE Amigos	28 - DISPONIBLE Ensanche	29 - PRESTADO inaki.arbilla	30 - PRESTADO artarip_park	
31 - DISPONIBLE Ensanche	32 - PRESTADO maizanaos.7	33 - DISPONIBLE Amigos	34 - PRESTADO maizanaos2000	35 - PRESTADO amuzab	
36 - PRESTADO Icticar	37 - PRESTADO fplj	38 - PRESTADO mbarnele	39 - PRESTADO tinaos	40 - PRESTADO alberto.berrueta	
41 - DISPONIBLE Civitan	42 - DISPONIBLE Civitan	43 - PRESTADO dimaza	44 - DISPONIBLE Civitan	45 - PRESTADO artarip	
46 - RETRADO	47 - RETRADO	48 - RETRADO	49 - PRESTADO luisalain	0 - RETRADO	

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

Los sensores captan dos tipos principales de datos: gases indicadores de la contaminación atmosférica (monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y ozono) y partículas en suspensión, así como datos básicos de temperatura, humedad y otras señales. 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.

El proyecto dispone de casi 50 captadores que los voluntarios reservan en una aplicación informática y toman en préstamo como si fueran libros en una biblioteca. Cada sensor lleva un código QR que el voluntario escanea al recoger el equipo, de forma que se le puede atribuir el recorrido. Algunos voluntarios, además, llevan 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 están en posiciones fijas de referencia, con funcionamiento continuo.

Panel de control de sensores

El proyecto genera una cantidad ingente de datos que se deben organizar y analizar. Para ello se han preparado diversas rutinas que combinan las lecturas recogidas por la plataforma de transmisión en una base de datos, que después se explota para su análisis. Los resultados de la explotación se convierten en productos utilizables de muchas formas, pero lo más representativo son los mapas que describen el estado de los contaminantes en cada momento a partir de los datos de los sensores y de los modelos de movimiento que tienen en cuenta las condiciones atmosféricas y que se hacen públicos. LIFE+RESPIRA está pues definido como un proyecto de ciencia ciudadana que pone sus datos y resultados a disposición del público. Para ello emplea la plataforma europea EUDAT, donde los datos quedan permanentemente archivados y desde donde pueden ser obtenidos por cualquier interesado.

Flujo de datos generados por los sensores



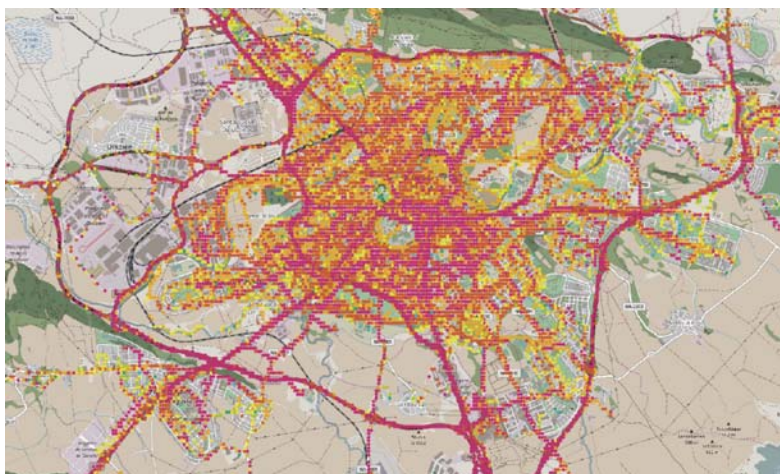
La recogida de datos comenzó en mayo de 2015. En los dos años siguientes, más de un centenar de voluntarios activos ha realizado cerca de 20.000 viajes recorriendo unos 54.000 km en más de 15.000 horas, mientras que los captadores fijos y de referencia funcionaron otras 60.000 horas. Los sensores llevan reportadas 150 millones de mediciones válidas (correspondientes a más de mil millones de lecturas individuales) tomadas en tres millones de posiciones a lo largo de las calles de la ciudad y sus alrededores, cubriendo la mayoría de las situaciones ambientales, climáticas y de tráfico de un año típico.

El estudio a lo largo de dos años permite observar las pautas de contaminación en la ciudad y es revelador de las variaciones a pequeña escala que afectan a sus habitantes. Como era de esperar, se constata la dependencia de la calidad del aire de los focos emisores (principalmente tráfico) y sus variaciones temporales, y las circunstancias atmosféricas y topográficas de la ciudad. Por ejemplo, resulta claramente visible la diferencia en la concentración de contaminantes como el NO_2 entre las vías de más circulación, con concentraciones sostenidas más altas, y las de menor tráfico, así como 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 muestran niveles menores en todos los contaminantes. Los interiores de parques y jardines, por su parte, exhiben niveles de gases muy alejados de los de la calzada. Además, existe 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.

Las condiciones atmosféricas también son determinantes. El viento dominante puede causar acumulaciones locales, llevando la contaminación de fuentes fijas a concentrarse en zonas de estancamiento. Por ejemplo, el monóxido de carbono producido en el cinturón industrial del norte de la ciudad tiende a concentrarse 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 dificulta la dispersión. Análogamente, las zonas residenciales periféricas muestran menores concentraciones de este contaminante.



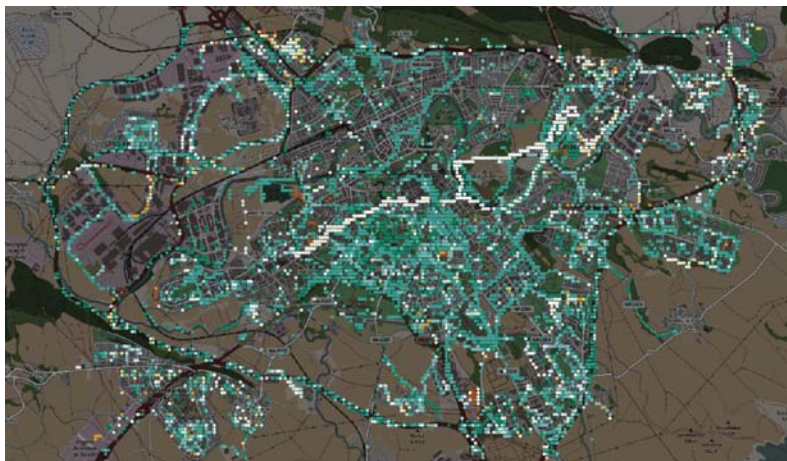
Las posiciones de los puntos con datos reproducen el mapa de la ciudad. El color representa la velocidad media de movimiento



Niveles medios de NO_2 en una escala del verde al rojo. Los mayores niveles corresponden a las vías de más tráfico y circulación más rápida, como circunvalaciones o ejes de varios carriles.



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.



Niveles medios de partículas ultrafinas, $PM_{1.0}$. El eje SW-NE, donde se observan niveles mayores, es perpendicular al viento dominante y queda a resguardo de la dispersión.

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). También es visible una concentración alta de partículas a

lo largo de la vía principal que atraviesa la ciudad, cuya orientación (perpendicular al viento dominante) dificulta su dispersión.

Además de la medición de los contaminantes anteriormente mencionados, un reducido grupo de voluntarios ha intervenido en un estudio específico para determi-

nar la cantidad de compuestos orgánicos volátiles (COVs) inhalados durante sus recorridos. Muchos de estos compuestos están directamente relacionados con el tráfico, especialmente el grupo de los BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos).

El único COV que está regulado por la legislación es el benceno, dado su carácter carcinógeno, por lo que su monitorización se considera de gran importancia. Los otros tres compuestos del grupo, si bien no se ha demostrado que tengan carácter carcinógeno, presentan efectos igualmente dañinos para la salud humana, por lo que su estudio también está plenamente justificado.

Las campañas de muestreo realizadas por los voluntarios ciclistas han revelado que las mayores concentraciones de BTEX se registran cuando éstos circulan cerca de las gasolineras, por carreteras muy transitadas en hora punta y por las proximidades de polígonos industriales (Landaben), de manera que la exposición a tales compuestos se incrementa de forma significativa.

Modelización de la contaminación atmosférica

En el proyecto LIFE+RESPIRA se ha abordado la puesta a punto de modelos atmosféricos de tipo CFD (de sus siglas en inglés, 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 la ciudad de Pamplona. El uso de este tipo de modelos ha sido necesario ya que son los únicos que pueden representar de forma clara y fiable las complejas circulaciones de aire y dispersión de contaminantes en un entorno urbano, las cuales están muy afectadas por la presencia de edificios y arbolado. Esta labor se ha realizado a dos escalas distintas: 1) escala de distrito urbano y 2) escala de toda la ciudad.

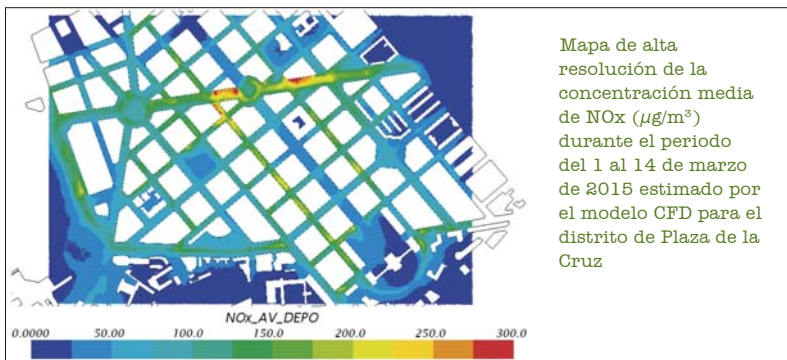
En el primer caso, se ha testado la capacidad del modelo CFD para reproducir las observaciones experimentales tanto de la estación de calidad del aire de Plaza de la Cruz de la zona como de las campañas de medida intensivas realizadas en este distrito en dos calles paralelas muy próximas de características similares en cuanto a tráfico, pero una con arbolado urbano y otra sin él. 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 modelos CFD para reproducir de forma fiable lo observado.

En este estudio se ha puesto de manifiesto la gran variabilidad espacial de la concentración de contaminantes dentro y a lo largo de las calles, detectándose importantes diferencias entre una acera y la de enfrente. Además, se ha observado cómo las condiciones atmosféricas, especialmente la dirección y la velocidad del viento, así como la densidad de hojas del dosel arbóreo, pueden alterar significativamente la distribución de contaminantes.

Por otro lado, se ha realizado por primera vez en España una simulación CFD de muy alta resolución (5 metros) de la dispersión de contaminantes en una ciudad completa como Pamplona. Esto ha supuesto un esfuerzo computacional muy grande, pero 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. Las simulaciones se han centrado en los óxidos de nitrógeno, al considerarse un contaminante muy relevante de las áreas urbanas y con un origen mayoritario en el tráfico.

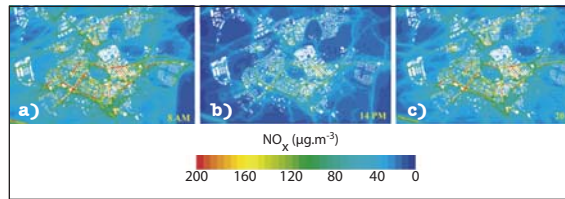
Esto ha posibilitado identificar aquellas calles y a qué horas del día hay mayores o menores concentraciones de contaminantes. Los resultados obtenidos por estas simulaciones de toda la ciudad se han ajustado bien a las concentraciones observadas de óxidos de nitrógeno en las estaciones de calidad del aire de la ciudad. También se han comparado con el ingente número de datos recopilados por los sensores que los ciclistas voluntarios del proyecto han portado en sus viajes habituales a lo largo de la ciudad.



El buen comportamiento de los modelos CFD ha permitido igualmente realizar simulaciones para investigar el impacto del arbolado de las calles, estudiando cómo se dispersan los contaminantes en función de la densidad de las copas, que varía claramente en función de la estacionalidad. Además, se ha investigado qué ocurriría si en una calle que no tiene arbolado se plantasen árboles de un tamaño y características similares a los de otras calles de la ciudad. De los efectos opuestos que tiene la vegetación urbana (sumidero de contaminantes por depósito o reducción de la capacidad dispersiva de la atmósfera), se ha encontrado que el efecto de reducción de la capacidad dispersiva y alteración de las circulaciones de aire domina en la mayor parte de condiciones al efecto de sumidero. En las calles con arbolado urbano denso y con tráfico el arbolado supone una tapadera que dificulta la ventilación fuera de la calle de los contaminantes emitidos por los coches. Además, este efecto no sólo se detecta en las calles en las que se planten nuevos árboles, sino que afecta a otras calles próximas, alterando la distribución espacial de contaminantes.

Las conclusiones más relevantes de estos estudios son que el uso del arbolado urbano ha de plantearse analizando, para cada caso particular, los impactos que pueden ocasionar en la calidad del aire, sin olvidar otros aspectos como son la reducción de la temperatura, el consumo energético de los edificios o las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) y alérgenos. Es decir, no existen normas generales que se puedan establecer y, tanto para el arbolado urbano como para las barreras vegetales, es preciso considerar diversas alternativas como el tipo de árboles (caduco o perenne, altura, densidad de hojas, etc.), tamaño y forma de la vegetación (copas de los árboles o setos), localizaciones adecuadas dentro la calle o respecto a la carretera, etc.

Finalmente, 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 pavimentos fotocatalíticos. La primera opción es mucho más efectiva que la segunda, ya que el efecto de esos pavimentos es débil en reducir la concentración de contaminantes a la altura de respiración de los peatones.



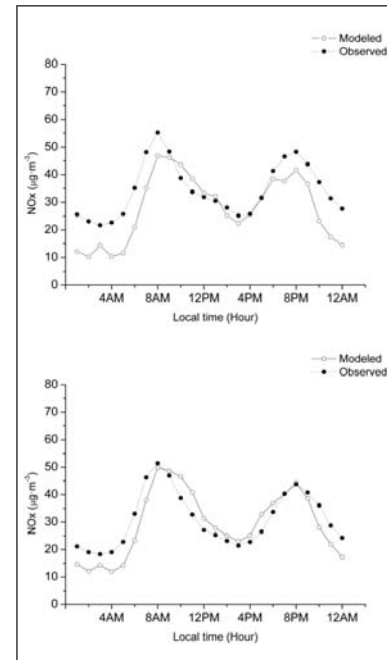
Mapas horarios de alta resolución de la concentración promedio anual de NOx durante 2016: a) 8 a.m., b) 2 p.m., c) 8 p.m., todos ellos hora local.

¿Cuál es la relación entre la calidad del aire y vegetación urbana?

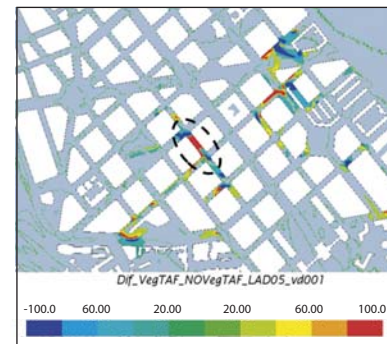
La vegetación urbana y peri-urbana ayuda a promover la salud y el bienestar de los ciudadanos ofreciendo servicios ambientales, sociales, culturales y económicos. LIFE+RESPIRA ha evaluado la influencia de la vegetación urbana en la calidad del aire. Los modelos de calidad del aire predicen que la vegetación puede mejorar su calidad incrementando el depósito seco de los contaminantes atmosféricos, lo que disminuye sus concentraciones en la atmósfera. Además, mediante los efectos en el microclima disminuyendo la temperatura de interiores y exteriores, la vegetación urbana puede promover el ahorro de energía y la reducción de emisiones. Sin embargo, la vegetación urbana puede ocasionalmente reducir la calidad del aire al emitir compuestos alérgicos, compuestos orgánicos volátiles, que pueden actuar como precursores de contaminantes secundarios, y en ocasiones puede dificultar la dispersión de los contaminantes atmosféricos.

LIFE+RESPIRA ha demostrado mediante tres campañas de medida en diferentes estaciones del año que la distancia entre los carriles ciclistas y los carriles de tráfico es el principal factor responsable de la disminución de la concentración de carbón negro (black carbon) en el aire, uno de los principales contaminantes ligados al tráfico. Cuando esta distancia no es posible, el empleo de barreras vegetales de separación, como por ejemplo los setos, ayuda a reducir la exposición de los ciclistas a las partículas finas emitidas por el tráfico.

También se ha analizado la influencia de la presencia de arbolado viario en la distribución de los contaminantes en calles estrechas tipo "street canyon". Para ello, se ha contado con una importante colaboración de los vecinos, que han permitido la instalación de sensores en sus fachadas. Los resultados indican que la presencia de arbolado reduce la dispersión vertical de las partículas emitidas por el tráfico, lo que en ocasiones podría empeorar la calidad del aire en calles con arbolado y tráfico intenso. Los resultados han servido para comprobar la idoneidad de los modelos atmosféricos de tipo CFD para estimar la distribución espacial de los contaminantes atmosféricos.



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



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 incrementa en el escenario virtual y gris la zona donde las diferencias modeladas son inferiores a $20 \mu\text{g m}^{-3}$.



Muestreo para evaluar la influencia de los setos en la calidad del aire de Pamplona.

La ciudad de Pamplona presenta una importante diversidad de arbolado urbano y peri-urbano, alcanzando más de 300 especies. Sin embargo, las 10 especies más abundantes representan un 62% de la superficie arbolada. 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. Además, hay que destacar que 5 de las 10 especies más abundantes presentan un alto índice de alergenicidad (Tabla 1).

Estos resultados subrayan la importancia de considerar la calidad del aire dentro de los criterios para la selección de las especies que conforman el arbolado urbano.

Especie	Superficie (%)	Conductancia estomática	PFP ¹	Mitigación contaminación	Índice alergenicidad ¹
<i>Platanus x hispanica</i>	16,9	65	2,3	Medio	Alto
<i>Populus nigra</i>	11,6	110	-2		Alto
<i>Populus x euramericana</i>	9,4		-2		Bajo
<i>Aesculus hippocastanum</i>	4,6		2,7	Medio	Medio
<i>Populus alba</i>	4,2	289	-2	Alto	Alto
<i>Celtis australis</i>	3,5	159			Medio
<i>Ulmus minor</i>	3,3	94			Alto
<i>Acer negundo</i>	3,2	76	1,7	Medio	Medio
<i>Acer pseudoplatanus</i>	2,9		1,7	Medio	Medio
<i>Fraxinus excelsior</i>	2,3	97	2,1	Medio	Alto

Tabla 1. Características de las 10 especies más abundantes del arbolado de Pamplona en relación con la calidad del aire: porcentaje de la superficie total arbolada de Pamplona correspondiente a una especie; conductancia estomática ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), indicador de la capacidad potencial de absorber contaminantes atmosféricos gaseosos; PFP es el “pollution flux potential”, índice que representa la capacidad de interacción entre el follaje y la atmósfera, considerando tanto el depósito como la emisión de contaminantes atmosféricos; la capacidad de mitigar la contaminación atmosférica incluye material particulado y compuestos gaseosos.

Valoración económica de los impactos causados por la contaminación

De acuerdo con los últimos estudios publicados por la Agencia Europea del Medio Ambiente en 2017, las partículas atmosféricas con un tamaño inferior a 2,5 micras ($\text{PM}_{2,5}$) constituyen los contaminantes del aire más dañinos para la salud. Los óxidos de nitrógeno le siguen de cerca, emisiones que están asociadas al tráfico rodado casi en su totalidad. Por esta razón, en LIFE+RESPIRA se ha decidido utilizar los niveles de NO_2 para determinar los impactos causados por la contaminación.

Partiendo de los resultados de concentraciones de NO_2 obtenidos en las simulaciones realizadas mediante los modelos CFD para toda la ciudad de Pamplona, se ha seguido la metodología propuesta por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para estimar los efectos de los contaminantes utilizando para ello funciones que relacionan la exposición a los contaminantes

con la aparición de efectos sobre la salud.

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

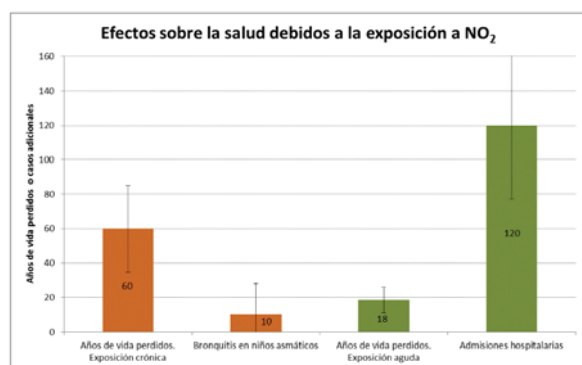
Esta exposición da lugar a la aparición de diversos efectos en la salud que se han cuantificado, para las condiciones existentes en el año 2015, en 18 años de vida perdidos por exposición a episodios altos de contaminación en la ciudad, 120 admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias, 15 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.

Estos efectos se traducen en costes médicos y de pérdida de bienestar

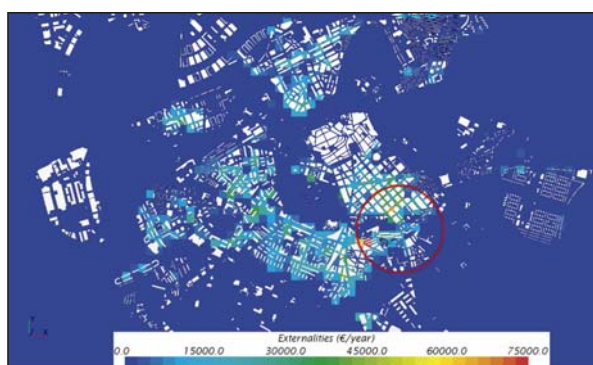
que se denominan costes externos o externalidades, y que también han sido calculados en este proyecto. Para ello se han tomado las valoraciones monetarias utilizadas en el Análisis Coste Beneficio realizado por el programa Europeo de Aire Puro para Europa o programa CAFE en sus siglas en inglés. Los resultados obtenidos ascienden a un total de 5,7 millones de Euros en el año 2015.

Estos costes externos debidos a los efectos de los contaminantes sobre la salud, tal y como se muestra en la imagen inferior en la zona marcada con un círculo rojo, son mayores en las zonas en las que hay más concentración de contaminantes y donde la densidad de población es más alta.

Las medidas exploradas en este proyecto para reducir la contaminación urbana permitirían mejorar el bienestar de la población de Pamplona al reducir las afecciones a la salud y los costes externos asociados.



Efectos sobre la salud debidos a la exposición a NO_2



Distribución de los costes externos calculados.

Programa educativo LIFE+RESPIRA

La acción educativa se ha considerado prioritaria en el proyecto LIFE+RESPIRA y para ello se ha desarrollado una unidad didáctica que ha sido ofertada a los centros escolares con el objetivo de contribuir a sensibilizar a los jóvenes sobre la importancia de la calidad del aire urbano y la adquisición de hábitos de movilidad sostenible y saludable.



Cabina de calidad del aire pintada por alumnos del colegio Escolapios Pamplona, en el barrio de la Rotxapea (Pamplona).



Acto de clausura el 15 de junio de 2017 en la sede del Consejo Escolar de Navarra. Escolares y docentes transmitieron sus propuestas al Ayuntamiento de Pamplona.

El programa LIFE+RESPIRA-EDUCACIÓN ha generado un conjunto de materiales con metodologías basadas en la experiencia y el conocimiento del proceso científico, buscando trascender del ámbito escolar y llegar a la ciudadanía a través del programa de voluntariado y las actividades dirigidas a las asociaciones de padres y madres (APYMAS).

Para ello se ha contado con el apoyo y colaboración del Gobierno de Navarra y la Mancomunidad de Comarca de Pamplona (MCP), de manera que las actividades propuestas por LIFE+RESPIRA se han incorporado al programa de educación ambiental promovido por la MCP, Mancoeduca.

Beneficios socioeconómicos de LIFE+RESPIRA



Pamplona es una ciudad de tamaño medio similar al 80% de las ciudades existentes en Europa, por lo que los resultados de este proyecto son fácilmente aplicables a un alto número de ciudades europeas.

LIFE+RESPIRA es un proyecto que incluye desarrollo tecnológico, investigación científica, mejoras ambientales y herramientas de utilidad pública en un contexto urbano y social. La contribución tecnológica demuestra la posibilidad real de emplear sensores portátiles desplegados a gran escala para obtener datos válidos de interés social.

La I+D generada se plasma en equipos fácilmente transportables y adecuados para proyectos de "citizen science". LIFE+RESPIRA está creando instrumentos, protocolos y capacidades para extender el análisis de contaminación a escala fina a otras ciudades, con sensores rediseñados más compactos y de mejor resolución y fiabilidad. Entre otros resultados, el proyecto ha generado protocolos de calibración que mejoran muy sensiblemente los disponibles hasta la fecha para sensores electroquímicos, ya transferidos a la industria.

Desde el punto de vista ambiental LIFE+RESPIRA favorece el cumplimiento de la legislación europea sobre calidad del aire, aportando datos actualizados y herramientas de obtención, gestión y procesado de datos, necesarios para el desarrollo de nuevas políticas en esta materia. De hecho, la mejora y el control de la calidad del aire se consideran una línea fundamental en la política ambiental del Ministerio de Agricultura, Alimentación, Pesca y Medio Ambiente del Gobierno de España debido a los efectos que la contaminación atmosférica puede producir sobre la salud humana y los ecosistemas.

Finalmente, se espera que LIFE+RESPIRA haya contribuido a la sensibilización por la problemática que aborda y a generar un cambio hacia hábitos diarios más sostenibles. LIFE+RESPIRA se ha diseñado contando con una importante implicación social a través de la constitución de un equipo de voluntarios. Un grupo ciudadano como este, de carácter altruista, asegura el impacto del proyecto a escala social, ya que no queda relegado a nivel de técnicos y científicos especialistas, fomentándose así la sensibilización por las problemáticas abordadas.

Además, es de prever que la amplia difusión que ha tenido el proyecto en los diferentes medios de comunicación, la participación de los voluntarios en diversas efemérides y el programa de educación implementado en muchos colegios de la ciudad de Pamplona, contribuyan a la puesta en marcha de iniciativas a distintos niveles (personal, empresas, administraciones,...), lo que querrá decir que los ciudadanos son conscientes de la importancia de disfrutar de una buena calidad del aire y que la resolución de este problema se encuentra en manos de todos.



LIFE+RESPIRA

LIFE13 ENV/ES/000417



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