

# Red de sensores de calidad del aire para una gestión sostenible del tráfico urbano



Dolores Hidalgo-Barrio  
Marta Gómez-Rincón  
Emilia Sastre-García  
Jesús de Sebastián-Sanz  
Javier Bécares-García

Dr. Ingeniera Química  
Lda. en Química  
Ingeniera Química  
Ingeniero Industrial  
Ingeniero Industrial

CENTRO TECNOLÓGICO CARTIF. Parque Tecnológico de Boecillo, 205 - 47151 Boecillo (Valladolid).  
Tfno: +34 983 546504. dolhid@cartif.es

Recibido: 20/12/2011 • Aceptado: 25/01/2012

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/4522>

## AIR-QUALITY SENSORS NETWORK FOR A SUSTAINABLE URBAN TRAFFIC MANAGEMENT

### ABSTRACT

- Up to now, the main European cities have implemented fixed stations to measure pollution as well as prediction models of future contamination levels across an urban area. Nevertheless, few cities integrate information coming from both sources (i.e. measures and predictions) in order to have an online control of these traffic flows that are originating emergency situations.

The Project RESCATAME (Pervasive Air-quality Sensors Network for an Environmental Friendly Urban Traffic Management, [www.rescatame.eu](http://www.rescatame.eu)) aims to achieve the sustainable management of the traffic by using a pervasive air-quality sensors network as well as prediction models. These sensors are located close to hot-spots and coexist with legacy systems to considerably enhance the monitoring capability across a network.

The project ultimate objective is to control the level of pollution, mainly emissions from fuel combustion that affect cities all over Europe. The Pervasive Air-Quality Sensors Network supports Local Authorities to achieve an efficient and sustainable urban traffic management in accordance with the existing environmental policies and legislation.

The RESCATAME project will prove that, by using the data collected from the sensors located across the city, providing full time and geographically coverage at low cost, municipalities can efficiently achieve a way of better managing urban traffic in major European cities.

- **Key Words:** air quality sensors, atmospheric pollution, sustainable urban traffic management, traffic pollution, urban traffic.

### RESUMEN

En la actualidad, las principales ciudades europeas miden sus niveles de contaminación únicamente a través de estaciones fijas situadas en unos pocos puntos de la geografía urbana o los estiman mediante la utilización de modelos meteorológicos de predicción de contaminación futura. Pocas ciudades, sin embargo, integran información proveniente de ambas fuentes con el objetivo de efectuar un control continuo de los flujos de tráfico que pueden originar episodios de emergencia debidos a niveles de contaminación que superen los límites legales.

Con el proyecto RESCATAME (Red Extensa de Sensores de Calidad del aire para una Administración de Tráfico urbano Amigable con el Medio ambiente, [www.rescatame.eu](http://www.rescatame.eu)) se pretende conseguir un tráfico urbano sostenible, gestionando para ello un modelo estadístico de predicción de la contaminación atmosférica que se alimente con los datos provenientes de una amplia red de sensores de bajo coste. Dichos sensores se sitúan en puntos estratégicos de la ciudad y coexisten con los sistemas de medición ya disponibles, lo que permite incrementar la capacidad de monitorización gracias a dicha red.

El objetivo último de este proyecto es reducir los niveles de contaminación (principalmente los relacionados con las emisiones por tráfico rodado) que afectan a las ciudades, apoyando a las autoridades

locales a adoptar un enfoque de la gestión urbana que contribuya al cumplimiento de las políticas y legislación existentes en materia de calidad del aire ambiente.

El proyecto RESCATAME demostrará cómo al disponer de datos procedentes de sensores con mayor resolución temporal y espacial se puede mejorar la gestión del tráfico urbano en las principales ciudades europeas.

**Palabras Clave:** contaminación atmosférica, contaminación por tráfico, gestión sostenible del tráfico urbano, sensores de calidad del aire, tráfico urbano.

## 1. INTRODUCCIÓN

En las grandes ciudades se vierten diariamente toneladas de contaminantes al aire y, hoy por hoy, está comprobado que las emisiones procedentes del tráfico de vehículos a motor son la principal causa de la degradación del aire que respiramos, sobre todo desde que las emisiones industriales han disminuido por el desplazamiento progresivo de las industrias fuera de los núcleos urbanos ([1-4]). En los núcleos urbanos es habitual, además, que el problema de los altos niveles de contaminación pueda verse agravado por la deficiente dispersión de los contaminantes que tiene lugar en zonas urbanas con calles estrechas ([5, 6]).

La pérdida progresiva de la calidad del aire en nuestras ciudades y municipios se ha convertido en una seria amenaza para la salud y el bienestar de la población, además de un severo problema medioambiental. Diversas investigaciones han puesto de relieve su relación con la aparición y agravamiento de enfermedades respiratorias ([7, 8]), así como de otras dolencias asociadas, como las vasculares y los cánceres ([9-11]). También es muy clara su relación con el incremento de las alergias que tanto merman la calidad de vida de muchas personas ([7]). Un reciente estudio del *Observatorio de la Sostenibilidad en España* (OSE) sobre la calidad del aire de las ciudades ([12]) refleja que vivir en ciudades con altos niveles de contaminación reduce la esperanza de vida en una franja que puede ir desde unos meses hasta los dos años, además de incrementar el riesgo de padecer todo tipo de enfermedades. Por otro lado, los contaminantes agreden a edificios y obras de arte, causando un grave deterioro y elevado coste de mantenimiento del patrimonio histórico.

Para contrarrestar esta situación, la legislación de la *Unión Europea* y de cada uno de sus miembros tiende a endurecer cada día más las normas, abarcando más tipos de contaminantes y rebajando los límites permitidos, para reducir la contaminación ([13, 14]). Se ha demostrado que incluso pequeñas reducciones en los niveles de contaminantes en el aire tienen efectos positivos inmediatos sobre la salud pública ([15-17]). La preocupación en esta materia ha derivado en la promulgación de normativas cada vez más amplias, abarcando cada vez más tipos de contaminantes, y estrictas, reduciendo los límites permitidos. En España, la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y

protección de la atmósfera sustituyó a la *Ley de Protección del Medio Ambiente Atmosférico*, con el objeto de dotar de una legislación básica acorde con las circunstancias y exigencias actuales que suponga un avance en la reducción de la contaminación. El objetivo de la Ley es contribuir a alcanzar y mantener un nivel de protección elevado de las personas y del medio ambiente. Esta norma recoge el modelo de gestión de la calidad del aire vigente en Europa basado en la fijación de objetivos de calidad, la evaluación periódica y la zonificación por parte de las autonomías de su territorio según los niveles de contaminación, identificando las áreas que superen los niveles permitidos. La Ley establece obligaciones para los municipios con población superior a 100.000 habitantes, como la de disponer de instalaciones y redes de evaluación de los niveles de inmisión, informar a la población sobre los niveles de contaminación y calidad del aire y/o elaborar planes y programas para el cumplimiento de los objetivos de calidad del aire. A mediados de 2008 se publicó en el *Boletín Oficial de la Unión Europea* la *Directiva 2008/50/EC*, relativa a la calidad del aire y a una atmósfera más limpia en Europa. Su objetivo es aunar en una misma norma toda la legislación hasta entonces existente sobre calidad del aire, al tiempo que se establecen nuevos límites de emisión para partículas, PM 2.5. En las legislaciones anteriores aparecían los límites de emisión de las partículas PM 10, cuya fuente es antropogénica y/o natural, mientras que las PM 2.5 se deben mayoritariamente al tráfico rodado, particularmente de los vehículos con motor diesel, cuyo crecimiento ha sido espectacular en los últimos años.

El origen de la contaminación de las ciudades es con certeza, como ya se ha citado, debida al tráfico en un alto porcentaje. Pero el control de la contaminación comienza con una correcta medición de la misma y, en la actualidad, las principales ciudades europeas miden sus niveles de contaminación únicamente a través de unas pocas estaciones fijas situadas en diversos puntos de la geografía urbana y/o mediante la utilización de modelos meteorológicos de predicción de contaminación futura. En los estudios realizados para diversas ciudades europeas ([18-22]) se echa en falta un método claro de combinación de mediciones y predicciones, con el fin de efectuar un control en tiempo real de los flujos de tráfico que están originando situaciones de emergencia de contaminación.

Con el proyecto LIFE+ RESCATAME “*Red Extensa de Sensores de Calidad del aire para una Administración de Tráfico urbano Amigable con el Medio ambiente*” se pretende conseguir una gestión sostenible del tráfico urbano utilizando modelos de predicción que se alimenten con los datos recogidos por una amplia red de sensores de bajo coste. Dichos sensores abarcarán puntos estratégicos de la ciudad y coexistirán con los sistemas ya disponibles para incrementar la capacidad de monitorización a través de la red. La aplicación del concepto de “ciudad instrumentada” facilitará la definición de una nueva estrategia de Gestión y Control de Tráfico Urbano basada en la prevención.

La propuesta del proyecto RESCATAME se adecua a los

requerimientos fijados por la normativa europea en materia de sistemas de medida y seguimiento de la contaminación en aglomeraciones urbanas, y facilita la elaboración de planes de acción concretos para evitar zonas puntuales de elevada contaminación. Además ofrece a las autoridades locales un enfoque más integrador de la gestión urbana, incluyendo los sectores de la energía, transporte y el medio ambiente.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

El proyecto RESCATAME tiene como objetivo lograr una gestión sostenible del tráfico a través de dos elementos clave: modelos de predicción y una red de sensores de calidad del aire.

El ámbito geográfico de aplicación del proyecto ha sido inicialmente la ciudad de Salamanca, donde el impacto positivo derivado de una reducción en los niveles de contaminación afectará no solo a la salud humana y el medio ambiente, sino también al patrimonio histórico que dicha ciudad posee (el centro histórico de Salamanca fue declarado patrimonio de la humanidad en 1988 y Capital Europea de la Cultura en el año 2002).

Se han seleccionado dos vías para el estudio, ambas caracterizadas por una alta densidad de tráfico pero con geometría y localización diferentes. La primera de ellas, C/ Alvaro Gil, es una calle de 250 m, 2 carriles, situada en el centro de la ciudad y flanqueada por edificios altos, lo que dificulta la dispersión de los contaminantes. La segunda vía, Av. de los Cipreses, es una avenida de circunvalación de 950 m, 4 carriles y gran amplitud.

Los contaminantes seleccionados para ser monitorizados a través de la red extensa de sensores son el CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, partículas y ruido, todos ellos generados por el tráfico de las ciudades y cada vez más controlados por las diferentes normativas europeas. Los óxidos de nitrógeno se convierten en la atmósfera en ácido nítrico, un componente que ataca el sistema respiratorio. En cuanto a las partículas en suspensión, generadas principalmente en la combustión de los motores de gasoil, al ser inhaladas por las personas, parte de ellas quedan retenidas en los alvéolos pulmonares y pueden originar cánceres y otras dolencias. Otros contaminantes a tener en cuenta son el ozono, que ataca las mucosas, especialmente de los segmentos de población más vulnerables (niños y ancianos) y el monóxido de carbono, sin olvidarnos del ruido y las molestias que éste genera.

Para seleccionar los puntos óptimos de colocación de los sensores se ha procedido a realizar una modelización de la contaminación primaria. Para ello, se han calculado las emisiones de los contaminantes antes mencionados procedentes del transporte rodado en Salamanca y, a continuación, se ha realizado el modelizado de las mismas utilizando software comercial: *ADMS Roads* y *CALRoads*. Estas herramientas ayudan a evaluar la dispersión de

la contaminación del aire, de este modo, se obtienen predicciones concretas y permite seleccionar los puntos de control deseados.

El diseño de una mota (o unidad compacta de medida de contaminantes y de volumen de tráfico) funcional, duradera, de bajo coste, omnipresente, autónoma, multi-paramétrica e integrada que ofrezca, a la vez, capacidad de transmisión y procesado de datos además de integración en redes neuronales, ha sido el siguiente hito del programa de trabajo. En esta fase se han tratado de solventar los problemas existentes en las motas comerciales como son la falta de autonomía energética, limitación del número de sensores por mota o la falta de protección antivandálica.

El siguiente paso a realizar ha sido la calibración de los sensores y su validación frente a sistemas tradicionales de medida.

Una vez calibrados los sensores, se ha procedido al despliegado de una red de 35 motas en las dos vías de estudio y a la monitorización del aire ambiente urbano en los puntos seleccionados.

El modelo expuesto, tras su validación, podrá replicarse a distintas escalas espaciales: nacional, regional, urbana y vía de tráfico.

### 2.2. MATERIALES

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, en la etapa de modelizado se ha procedido al tratamiento y adecuación de la información disponible para alimentar los dos modelos de dispersión utilizados: *ADMS Roads* y *CALRoads*. Se ha decidido llevar a cabo el modelizado empleando estas dos herramientas, dado que, aunque el software *ADMS Roads* presenta ciertas limitaciones en cuanto a parámetros de señalización se refiere, (no tiene en cuenta las señalizaciones del tránsito (semáforos) o las colas de los automóviles en los mismos), sí que tiene en cuenta las reacciones químicas que se suceden en la atmósfera entre contaminantes como ozono y óxidos de nitrógeno. Por tanto, para el modelizado de estos contaminantes se ha empleado *ADMS Roads*, y el resto de contaminantes, monóxido de carbono y partículas (PM10 y PM2.5), se han modelizado con el software *CALRoads*, que tiene en cuenta las señalizaciones de tránsito pero no las reacciones químicas entre contaminantes.

Para el diseño y fabricación de las motas, se ha tomado como base un modelo comercial (*Libelium Waspmote*) que ha sido modificado para poder albergar 7 sensores, los cinco antes mencionados: CO (*Figaro TGS 2422*), NO<sub>2</sub> (*e2V MICX-2710*), O<sub>3</sub> (*e2V MICS - 2610*), partículas (*Sharp GP2Y1010AU0F*) y ruido (*Panasonic WM-61B*) más un sensor de temperatura (*Microchip MCP9700A*) y otro de humedad (*Sencera 808H5V5*) que permiten ajustar, según las condiciones ambientales, las medidas realizadas. Una imagen de los equipos utilizados puede verse en la Fig. (1).

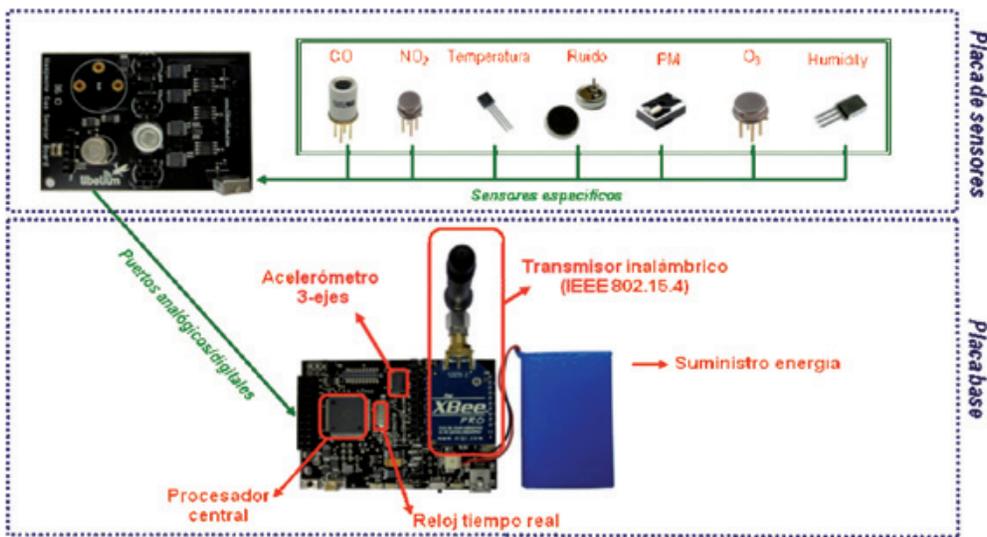


Fig. 1: Componentes de la mota inalámbrica RESCATAME

El nodo de sensores envía los datos recogidos a un router. El router utilizado (*Meshlium, Libelium*) permite tecnología Wifi (2.4GHz, 5GHz), 802.15.4/ ZigBee, GPRS, *Bluetooth* y GPS en el mismo equipo. *Meshlium* tiene un sistema *Linux* embebido que permite gestionar de forma simultánea un alto número de servicios de alto nivel. El software de control interno es el *Meshlium Manager System 2.0*, una plataforma

de código abierto que permite la configuración y control de cualquier parámetro directamente desde un navegador web. También permite la creación de redes mallas usando el protocolo abierto OLSR así como la creación de portales con acceso seguro para guardar los datos de los sensores mediante servicios tales como HTTPS, WEP, WPA, WPA2, (EAP-TLS, EAP-TTLS, EAP-PEAP), MAC y RADIUS.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. MODELO DE PREDICCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Para realizar el modelizado de los contaminantes en estudio (CO, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>), ha sido necesario recopilar información sobre la meteorología

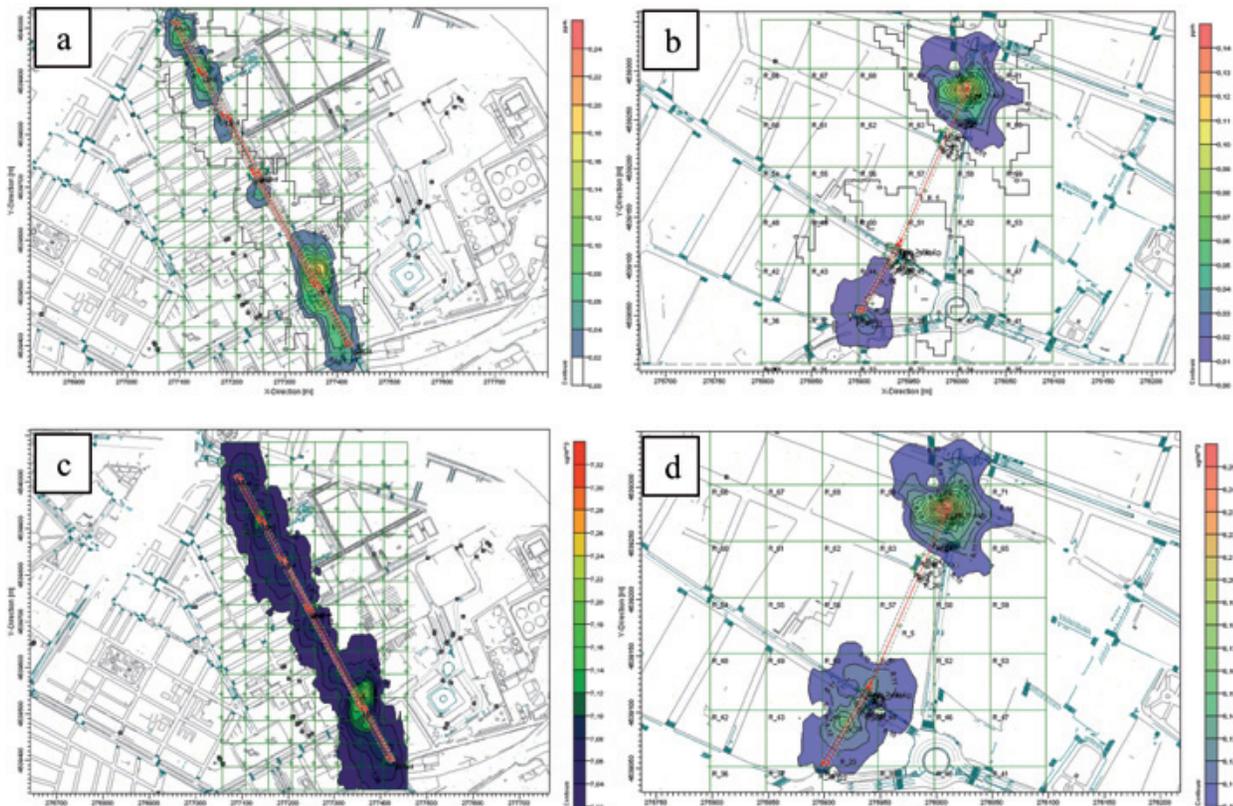


Fig. 2: Resultado de los modelizados: a) *Dispersión de CO en Av. Cipreses - abril 2010*; b) *Dispersión de CO en Álvaro Gil - junio 2010*; c) *Dispersión de PM<sub>2,5</sub> en Av. Cipreses - abril 2010*; d) *Dispersión de PM<sub>2,5</sub> en Álvaro Gil - enero 2010*

en la zona, concentraciones de fondo (background) de los contaminantes, señalización de tráfico y flujo de tráfico para los distintos meses de estudio (enero, abril y junio de 2010) en las vías seleccionadas. La elección del periodo de estudio se ha realizado con el fin de observar una posible influencia de la meteorología e intensidad de tráfico en el modelizado de los distintos contaminantes:

- Datos meteorológicos de los meses de estudio: temperatura, dirección del viento, altura de la mezcla de la atmósfera, velocidad del viento y estabilidad atmosférica.
- Background de los contaminantes atmosféricos primarios en los meses de estudio.
- Datos actualizados del parque de vehículos de Salamanca 2010.
- Datos sobre la señalización de las calles de estudio y sobre el aforo (nº de vehículos) de las áreas de estudio.

Una vez recogida la información, se ha procedido a su tratamiento y adecuación para obtener los parámetros de entrada a los dos modelos de dispersión utilizados: *ADMS Roads* y *CALRoads*. Los parámetros finales de entrada a estos dos modelos, han sido la capacidad de saturación de la vía, el flujo de tráfico medio y las emisiones contaminantes asociadas a cada tipo de vehículo.

Se han observado grandes diferencias en las curvas de dispersión según sea el contaminante analizado, la época del año y el tipo de vía, como puede observarse en los modelizados incluidos a modo de ejemplo en la Fig. (2).

A través de los mapas de modelizado se observa que los picos de contaminación (*hotspots*) coinciden con las zonas donde hay una señal que obliga a los vehículos a parar o disminuir mucho su velocidad (ej. semáforo, señal de stop o cruce). Estos puntos serán pues, los más adecuados para colocar las motas de monitorización, ya que uno de los objetivos va a ser medir concentraciones máximas generadas. Los vientos predominantes en la ciudad de Salamanca son del noroeste, por lo que la mayor dispersión de contaminantes se da principalmente en esa dirección.

Se observa que el CO es el contaminante que más contribuye cuantitativamente a la polución de entre todos los analizados, generándose en concentraciones significativas:  $\sim 160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (calle céntrica) y  $\sim 280 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (circunvalación). Su dispersión es escasa ya que también lo es su tiempo de retención en la atmósfera. La dispersión, alcance y tiempo de retención en la atmósfera de las partículas es mayor que la de cualquier otro contaminante, lo que demuestra que las partículas puede generar un gran impacto incluso a grandes distancias del punto donde se generan. Este efecto se ve acentuado para las partículas de menor tamaño ( $\text{PM}_{2.5}$ ) con un tiempo de retención en la atmósfera de entre 2 y 4 días, frente a los 2 días de las  $\text{PM}_{10}$ . Las mayores concentraciones de  $\text{NO}_2$  se detectan en los meses cálidos aunque la concentración máxima de este contaminante está controlada por su gran reactividad en presencia de la luz solar. Siempre en zonas donde la concentración de  $\text{NO}_2$  es mínima, la concentración de  $\text{O}_3$  es máxima, como corresponde por ser

el  $\text{O}_3$  un contaminante secundario que se genera al reaccionar los óxidos de nitrógeno presentes en el medio. Por esta razón la formación de ozono está favorecida en los meses en los que la radiación solar es mayor.

### 3.2. RED DE MOTAS

Se ha diseñado una red de 35 motas desplegada en las dos calles de estudio (10 motas el Álvaro Gil y 25 en Av. de los Cipreses). Todas las motas se han localizado, en ambas vías, en los puntos donde mayores niveles de contaminación se han registrado para los contaminantes estudiados (a excepción del  $\text{O}_3$ ) tomando como referencia la información extraída del modelizado previo.

El diseño final de las motas y la red ha estado determinado por su funcionalidad, ya que estos sistemas deben ser capaces de medir las concentraciones de contaminantes y transmitir esas medidas en tiempo real, sin olvidar su ubicación en plena ciudad, a la intemperie, donde los equipos están expuestos a los elementos y pueden ser objeto de vandalismo callejero. Ha sido necesario también que estos sistemas de medida tengan un alto grado de autonomía para poder mantenerse on-line durante varios meses sin que sean necesarias operaciones de mantenimiento, para lo que es preciso que los sistemas de alimentación y de carga estén bien calculados en relación con el consumo de las unidades.

El diseño final se ha dividido en cuatro partes: la carcasa de protección, el sistema de alimentación y de carga, la unidad de procesamiento y la transmisión de datos y los sensores de medida. Estos cuatro elementos han sido integrados para la obtención de una mota funcional y duradera. Para la carcasa se ha diseñado un poste parecido a los parquímetros con objeto de que pase desapercibido. La ventaja del poste frente a otros sistemas de instalación (por ejemplo, elementos colgados de farolas o señales de tráfico), es el mayor grado de protección de la mota frente a posibles ataques vandálicos, además de que este diseño facilita la colocación de la placa fotovoltaica que alimenta el sistema, así como que permite saber la concentración real de contaminante que está inhalando un viandante, ya que el aire analizado es captado a través de varias rejillas, colocadas a una altura equivalente a la nariz



Fig. 3: Componentes del sistema de medición: a) poste, b) sistema de alimentación fotovoltaico, c) equipos de medida

humana, que permiten la entrada y circulación del aire, como puede observarse en la Fig. (3a).

En el cabezal del poste se han localizado los sensores de medida, la unidad de transmisión de datos y el sistema de alimentación, situados todos ellos sobre una placa recubierta de material aislante, Fig. (3c). Sobre esta misma placa, pero por el otro lado, se han conectado la antena de transmisión y la placa fotovoltaica para su alimentación, Fig. (3b).

Debido al uso del sistema de alimentación fotovoltaico el sistema no necesita estar conectado a la línea eléctrica, lo que permite su implantación en casi cualquier lugar de las vías seleccionadas. Otro elemento innovador que ha sido diseñado específicamente para el prototipo de mota utilizado en este proyecto es un regulador-programador de carga que va conectado a las baterías de las motas. Dicho regulador tiene como objeto gestionar de una forma más racional el consumo de la mota, evitando en todo momento que el sistema se descargue para evitar paros en la toma de datos e, incluso, la caída del sistema por falta de alimentación. El consumo de las motas ha sido determinado experimentalmente mediante pruebas de cien ciclos de operación. En la Fig. (4a) se puede ver observar el ciclo de carga tipo de las baterías instaladas en la vía pública tras ser conectadas a la placa fotovoltaica y al regulador-programador.

El sistema de transmisión de datos utilizado es el *Waspote* XBee-802.15.4, compuesto por tres elementos:

microcontrolador (*ATmega* 1281), antena (XBee-802.15.4) y placa de gases (puerto adaptado para los microsensores). Este sistema permite la transmisión de datos mediante señales de radio, que van siendo transmitidas de una mota a otra hasta que la señal llega al portal donde se recoge la información de las motas y se transmite al sistema de proceso de datos. La arquitectura flexible de este sistema permite distintas topologías a la hora de transmitir los datos: *p2p*, *árbol* y *mesh*.

Dado que las calles de estudio están situadas a kilómetro y medio de distancia una de otra y que las interferencias existentes pueden interrumpir la comunicación, se ha instalado un *router* en cada una de las vías para evitar estos potenciales problemas. Cada *router* está conectado a una única base de datos. Es por ello que el diseño de red finalmente utilizado es el de dos redes locales en estrella, una en cada calle, para las cuales el *router* actúa de nodo central.

El nodo de los sensores manda la información de los datos monitorizados al *router* de cada red local utilizando el protocolo de comunicación estándar IEEE 802.15.4. Los *routers* almacenan los datos temporalmente y más tarde los envían vía GPRS o *Ethernet* a una base de datos situada en el centro de gestión de tráfico.

Tras instalar las motas en las calles de estudio, comprobar las comunicaciones y validar la información que recogen los sensores, se ha comenzado a recoger información en continuo de los niveles de CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, partículas y ruido alcanzados en los puntos de estudio. En la Fig. (4) se puede ver como los sensores instalados registran variaciones en los parámetros monitorizados. Así se observa, por ejemplo, como los sensores de contaminación registran variaciones diarias muy acentuadas. Se registran picos de contaminación muy marcados a primeras horas de la mañana y otros más tenues por la tarde. El comportamiento de todas las motas, en términos cualitativos, es similar, reflejando alta densidad de tráfico a determinadas horas del día y de forma habitual. La red también registra situaciones de contaminación anómalas debidas, por ejemplo, a un accidente, obras de mantenimiento, etc., que afectan el flujo de tráfico de forma puntual.

Se observa, además, que las concentraciones alcanzadas en cada punto varían en función del tipo de calle, las condiciones meteorológicas y los sistemas de gestión del tráfico instalados. Es por ello que modificando las medidas existentes de gestión de tráfico (por ejemplo, variando puntualmente la frecuencia semafórica, mediante guardias urbanos que redistribuyan temporalmente los flujos de tráfico, etc.) se está consiguiendo evitar picos de contaminación que han sido previstos con antelación gracias a la información procedente de la red de sensores.

#### 4. CONCLUSIONES

En toda Europa no se ha producido aún la integración de los sistemas de control y predicción de la contaminación, ni la de éstos con los de gestión del tráfico, que siguen casi en exclusiva modelos de movilidad orientados a resolver

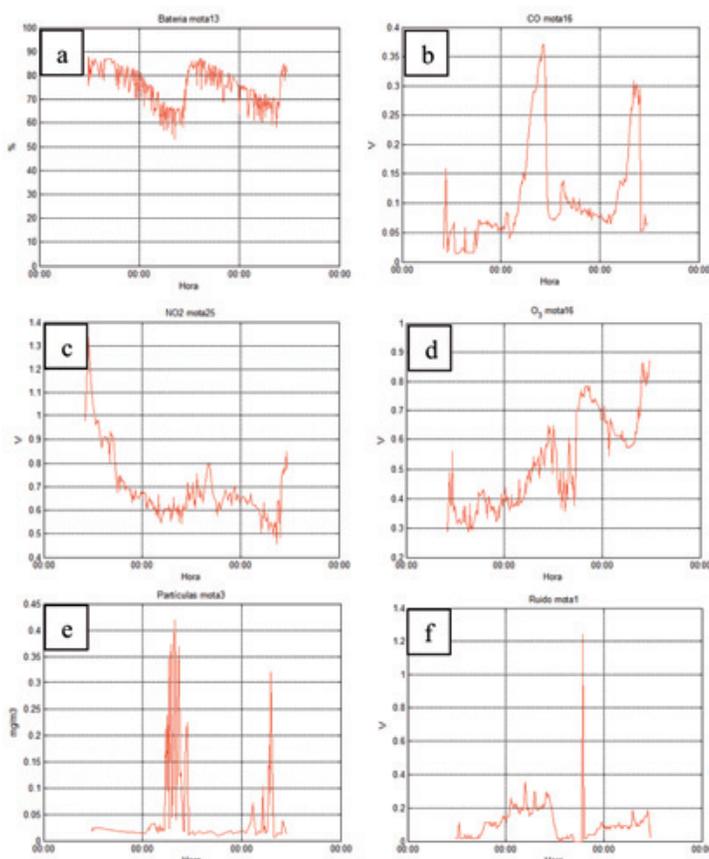


Fig. 4: Información recibida del sistema de medición: a) nivel de carga de la batería, b) evolución CO, c) evolución NO<sub>2</sub>, d) evolución O<sub>3</sub>, e) evolución partículas, f) evolución del ruido

cualquier volumen de demanda de tráfico que exista en las vías urbanas, sin tener en cuenta ninguna consideración medioambiental. Es por ello que la aplicación del concepto de "ciudad instrumentada" facilitará la definición de una nueva estrategia de Gestión y Control de Tráfico Urbano basada en la prevención. El uso e integración de datos medidos y modelizados es un elemento esencial de la futura gestión de la contaminación atmosférica.

A través del proyecto RESCATAME se pretende crear una plataforma de datos para informar, entender, valorar y evaluar impactos de las acciones encaminadas a mejorar la accesibilidad, abordar el problema de la congestión, mejorar la calidad del aire y poner en marcha un Sistema de Información de Tráfico.

En el marco del desarrollo de este proyecto se ha instalado una extensa red de sensores de bajo coste en puntos estratégicos de las principales vías de la ciudad de Salamanca para recoger información relevante relativa al tráfico y a los niveles de contaminación que éste genera.

La integración total de los componentes de la mota diseñada: la carcasa de protección, sistema de alimentación y de carga, unidad de procesamiento y transmisión de datos y los sensores de medida en una mota funcional para la medición de contaminantes atmosféricos, representa un avance técnico notable sobre el estado del arte. Los sensores elegidos permiten la medida de los indicadores atmosféricos más relevantes para la salud y sus sistemas de transmisión y control permiten formar redes flexibles, ideal para las controlar los *hotspots* de las áreas urbanas. Este diseño tiene un bajo coste, resulta poco invasivo y permite crear una red urbana de medición online de contaminantes atmosféricos por menos coste que el de una sola estación de medida fija.

El objetivo último del proyecto RESCATAME ha sido reducir los niveles de contaminación (principalmente los relacionados con las emisiones por tráfico rodado) que afectan a las ciudades de toda Europa. La Red de Sensores de Calidad del Aire puede prestar su apoyo a las Autoridades Locales para lograr una gestión eficiente y sostenible del tráfico urbano de acuerdo con las políticas y legislación existentes en materia de calidad del aire ambiente.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la financiación recibida de la Comisión Europea a través de su programa LIFE+ para la realización de este trabajo (proyecto LIFE 08 ENV/E/000107) y al Ayuntamiento de Salamanca por los datos suministrados para la elaboración de este estudio.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Jacquemin B. "Traffic-related air pollution: exposure assessment and respiratory health effects". Director: Pekkanen J. Universidad Pompeu Fabra, Departamento de Ciencias Experimentales y de la Salud, 2007. Depósito legal: B.43132-2009/978-84-692-7317-3
- [2] Finkelstein M, Jerrett M, Sears M. "Traffic Air Pollution and Mortality Rate Advancement Periods". *Am J Epidemiol*. 2004.

- Vol.160 p.173-177. <http://dx.doi.org/10.1093/aje/kwh181>
- [3] Schwela D, Zali O. *Urban Traffic Pollution*. London: E&FN Spon Editors, 2003. ISBN: 0-419-23720-8
- [4] Carslaw D. "Evidence of an increasing NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> emissions ratio from road traffic emissions". *Atmospheric Environment*. 2005. Vol.39(2) p.4793-4802. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.01.046>
- [5] Berkowicz R, Hertel O, Larsen S, et al. Modelling traffic pollution in streets [en línea]. Ministry of Environment and Energy. National Environmental Research Institute. January 1997 [ref. 27 de julio 2010] Disponible en Word Wide Web: <[http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/9D313499-E237-4C1A-ADC4-D31737E31613/0/A11\\_ModellingTrafficPollutioninStreets.pdf](http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/9D313499-E237-4C1A-ADC4-D31737E31613/0/A11_ModellingTrafficPollutioninStreets.pdf)>
- [6] Bogó H, Gómez D, Reich S, et al. "Traffic pollution in a downtown site of Buenos Aires City". *Atmospheric Environment*. 2001 Vol.35(10) p.1717-1727. [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00555-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00555-0)
- [7] Gehring U, Wijga A, Brauer M, et al. "Traffic-related Air Pollution and the Development of Asthma and Allergies during the First 8 Years of Life". *Am J Respir Crit Care Med*. 2010 Vol. 181(6) p.596-603. <http://dx.doi.org/doi:10.1164/rccm.200906-08580C>
- [8] Molitor J, Molitor N, Jerrett M, et al. "Bayesian modeling of air pollution health effects with missing exposure data". *Am J Epidemiol*. 2006 Vol.164(1) p.69-76. <http://dx.doi.org/aje/kwj150>
- [9] Brook R, Rajagopalan S, Pope C, et al. "Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association Circulation". *Circulation*. 2010 Vol.121(21) p.2331-2378. <http://dx.doi.org/doi:10.1161/CIR.0b013e3181d8ce1>
- [10] Vineis P, Husgafvel-Pursiainen K. "Air pollution and cancer: biomarker studies in human populations". *Carcinogenesis*. 2005 Vol.26(11) p.1846-185. <http://dx.doi.org/10.1093/carcin/bgi216>
- [11] Wild C. "Environmental exposure measurement in cancer epidemiology". *Mutagenesis*. 2009 Vol.24(2) p. 117-125. <http://dx.doi.org/doi:10.1093/mutage/gen061>
- [12] OSE 2007 Informe de Calidad del aire en las ciudades: clave de sostenibilidad urbana. Observatorio de la Sostenibilidad en España. 382 p.
- [13] Twigg M. "Progress and future challenges in controlling automotive exhaust gas emissions". *Applied Catalysis B: Environmental*. 2007 Vol.70(1-4) p. 2-15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2006.02.029>
- [14] Greening P. "European Vehicle Emission Legislation—Present and Future". *Topics in Catalysis*. 2004 Vol.16-17(1-4) p.5-13. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1016629326634>
- [15] Pérez-Grau L. "The urban health effects and impact of anthropogenic and natural air pollution". Director: Künzli N. Universidad Pompeu Fabra, Departamento de Ciencias Experimentales y de la Salud, 2009. Depósito legal: B.14963-2010 / 978-84-693-2351-9
- [16] Hales S, Howden-Chapman P. "Effects of air pollution on health". *BMJ*. 2007 Vol.335(7615) p.314-315. <http://dx.doi.org/1136/bmj.39304.389433.AD>
- [17] Tonne C, Beevers S, Armstrong B, et al. "Air pollution and mortality benefits of the London Congestion Charge: spatial and socioeconomic inequalities". *Occup Environ Med*. 2008 Vol.65(9) p.620-627. <http://dx.doi.org/10.1136/oem.2007.036533>
- [18] Briggs D, de Hoogh C, Gulliver J, et al. "A regression-based method for mapping traffic-related air pollution: application and testing in four contrasting urban environments". *The Science of the total Environment*. 2000 Vol.253(1-3) p.151-167
- [19] Berkowicz R, Winther M, Ketzler M. "Traffic pollution modeling and emission data". *Environmental Modelling & Software*. 2006 Vol.21(4) p.454-460
- [20] Zito P, Chen H, Bell M. "Predicting Real-Time Roadside CO and NO<sub>2</sub> Concentrations Using Neural Networks". *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2008. Vol.9(3) p.514-522. <http://dx.doi.org/10.1109/TITS.2008.928259>
- [21] 2006 The Eddington Transport Study. HMSO Publication. ISBN-10: 0-11-840482-2, ISBN-13: 9-780118-404872 Printed by The Stationery Office 12/06 332189(2006). 62p
- [22] Bell M, Bennett L, Gillam W. "The 'Instrumented City': data provision for traffic management and research". En: *Actas del Seventh International Conference on Road Traffic Monitoring and Control*, (London 26-28 April 1994) p.19-22. <http://dx.doi.org/10.1049/cp:19940416>