

CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Biofiltro para contaminación del aire urbano

Desarrollo de un biofiltro integrable en jardines urbanos para capturar emisiones de NO_x y partículas procedentes de aparcamientos subterráneos y túneles.





Autor Principal: Jose Feroso Domínguez (CARTIF CENTRO TECNOLÓGICO).

Otros autores: Raúl Sánchez (CARTIF), Francisco Verdugo (CARTIF), Raquel Maríjuan (CARTIF), Silvia Gómez (CARTIF), María González (CARTIF), José María Sanz (CARTIF), Esther San José (CARTIF), Alicia Villazán (Ayuntamiento de VALLADOLID), Isabel Sánchez (Ayuntamiento de VALLADOLID), Elena Sánchez (Ayuntamiento de VALLADOLID), Javier Feroso (IMDEA Energía), Inés Moreno (IMDEA Energía), Patricia Pizarro (IMDEA Energía), Natividad Sanz (ISOLUX CORSAN aparcamientos), José Antonio Pérez (CONYTRAIR), Laura Crespo (LAURA CRESPO ARCHITECT).

CARTIF CENTRO TECNOLÓGICO

Parque Tecnológico de Boecillo, parcela 205

47151 Boecillo (Valladolid)

983546504 / <https://www.cartif.es/> @cartifct /

ÍNDICE

1. Título
2. Palabras Clave
3. Resumen
4. Introducción
5. Metodología
6. Resultados
7. Discusión
8. Conclusiones
9. Agradecimientos
10. Bibliografía

1. BIOFILTRO PARA CONTAMINACIÓN DEL AIRE URBANO

Desarrollo de un biofiltro integrable en jardines urbanos para capturar emisiones de NO_x y partículas procedentes de aparcamientos subterráneos y túneles.

2. PALABRAS CLAVE

Calidad del aire, Óxidos de nitrógeno, $\text{PM}_{2,5}$, biofiltro para jardín urbano, soluciones basadas en la naturaleza, contaminación del aire urbano, sustrato, emisiones aparcamientos y túneles, Valladolid

3. RESUMEN

Ante el reto actual de luchar contra la contaminación del aire urbano se pueden emplear diversas estrategias. Es conocida la capacidad de autodepuración que tiene la naturaleza, pero las altas tasas de emisión de contaminantes antropogénicos que se llevan produciendo las últimas décadas están sobrepasando todos sus límites. En concreto, en el entorno de las grandes urbes, la calidad del aire atmosférico presenta frecuentemente unos niveles tan bajos, que afectan a la salud de los seres humanos y seres vivos que en él habitan e incluso a los materiales de construcción de las edificaciones. Esta situación hace que sea necesario tomar medidas que tienen que ser consensuadas científica, política y socialmente por el impacto que tienen. Sin embargo, hay otras medidas que por el coste y los beneficios asociados son más sencillas de llevar a cabo.

Las Soluciones basadas en la Naturaleza son enfoques, acciones o procesos que utilizan los principios de la naturaleza para dar solución a distintos problemas relacionados con la gestión territorial y urbana como la adaptación al cambio climático, la gestión de los recursos, del agua, la seguridad alimentaria o la calidad del aire y el entorno.

El biofiltro para jardines urbanos que se presenta en esta comunicación pretende ofrecer una solución basada en la naturaleza, sencilla y de bajo coste para capturar una parte importante de las emisiones de aparcamientos subterráneos y túneles. El sistema consiste en un sistema de extracción de baja potencia que captura de forma continua el aire del interior del aparcamiento y lo hace pasar a través del suelo de un jardín que se crea en la superficie.

Este sistema permite capturar los contaminantes que se han considerado más importantes procedentes de fuentes estacionarias como son las extracciones de los aparcamientos subterráneos y los túneles: los óxidos de nitrógeno, NO y NO_2 y el material particulado $\text{PM}_{2,5}$.

En esta comunicación se presenta un extracto del estudio realizado en laboratorio para su desarrollo y el diseño realizado para una intervención piloto en un aparcamiento existente en Valladolid.

4. INTRODUCCIÓN

La competitividad de las empresas en un mercado global como es el actual, ha de pasar por la mejora de los procesos y el desarrollo de productos novedosos e innovadores, que permitan diversificar la producción y diferenciarse en los mercados. Esto se ha de realizar bajo la universal premisa de la sostenibilidad ambiental.

Cuando el fin se convierte a la vez en el medio, esto es, mejorar la competitividad de las empresas mediante el desarrollo de productos y procesos destinados a la conservación y mejora de la sostenibilidad ambiental, el reto tecnológico e innovador es aún mayor, pero a la vez la consecución de los objetivos planteados presenta considerables beneficios ambientales, sociales y económicos.

En este sentido, la reducción de la contaminación ambiental se presenta como uno de los grandes retos tecnológicos, económicos y sociales a solventar por la sociedad actual, concretamente, la contaminación por emisiones de NO_x material particulado [1]. Favorecer la reducción de este tipo de contaminantes mediante el empleo de tecnologías y productos “verdes”, es decir, mediante el empleo de sistemas vegetales, constituye un gran éxito frente al reto planteado [2].

La situación actual es que ante la inexistencia de tecnologías y soluciones viables económicamente en muchas ocasiones los contaminantes son liberados en la atmósfera libremente cuando las concentraciones no son muy altas. Cuando se trata de fuentes más importantes cuantitativa y cualitativamente existen tecnologías que resultan caras y que implican un consumo de recursos adicional que hace empeorar el impacto ambiental de los procesos.

Este hecho indica de manera clara la necesidad de reducir la contaminación atmosférica mediante el uso de sistemas más sostenibles como pueden ser los que implican plantas y/o procesos basados en el funcionamiento de las especies vegetales frente a la presencia de contaminantes, en concreto en este caso para los NO_x . Aunque existe una gran variabilidad de situaciones en aparcamientos y túneles algunos estudios han mostrado que sus emisiones pueden tener una concentración de NO_x por encima de las 2 ppm [3,4]. Quizás el valor relativo de estas emisiones en comparación con las del tráfico rodado en la superficie sea en muchas ocasiones bajo, pero puede generar zonas de alta concentración que local y temporalmente pueden ser importantes.

Es conocida la capacidad de autodepuración que tiene la naturaleza, pero las altas tasas de emisión de contaminantes antropogénicos que se llevan produciendo las últimas décadas están sobrepasando todos sus límites. En concreto, en el entorno de las grandes urbes, la calidad del aire atmosférico presenta frecuentemente unos niveles tan bajos, que afectan a la salud de los seres humanos y seres vivos que en él habitan e incluso a los materiales de construcción de las edificaciones. Esta situación hace que sea necesario tomar medidas que tienen que ser consensuadas científica, política y socialmente por el impacto que tienen. Sin embargo, hay otras medidas que por el coste y los beneficios asociados son más sencillas de llevar a cabo.

El biofiltro que se presenta en esta comunicación pretende ofrecer una solución sencilla y de bajo coste para capturar una parte importante de las emisiones de aparcamientos subterráneos y túneles. El sistema consiste en un sistema de extracción de baja potencia que captura de forma continua el aire del interior del aparcamiento y lo hace pasar a través del suelo de un jardín que se crea en la superficie.

El empleo de **vegetación**, de la **microbiota** y de los **sustratos** adecuados como medio de reducción de la contaminación atmosférica constituye una solución natural a un mal artificial. Sin embargo, no es sencillo encontrar sistemas vegetales con las tasas de “descontaminación” necesarias para los actuales niveles de emisión de contaminantes. Es necesario el desarrollo de ecosistemas vegetales de alta capacidad de captación en configuraciones innovadoras para poder actuar frente al problema de la contaminación atmosférica en los entornos urbanos.

Un **sustrato** no solo proporciona soporte a las plantas, sino que también fomenta un buen enraizamiento, una excelente nutrición, fortalecimiento de tallo, en el intercambio catiónico, entre muchos otros aspectos. Un sustrato adecuado ayuda a obtener plantas sanas desde el inicio hasta el final de sus ciclos. En el caso que aplica al biofiltro se busca que tenga una adecuada capacidad de captación óxidos de nitrógeno y que pueda tanto albergar a una adecuada microbiota para mantener esta capacidad como soportar la parte vegetal que se encargará de su metabolización para evitar su acumulación.

Las bacterias fijadoras de nitrógeno que se desarrollan de forma natural en el suelo, son conocidas desde hace más de un siglo, y representan un biofertilizante ecológico de alta calidad. Sin embargo, hasta el momento su estudio se centraba en la captación de nitrógeno gas del aire. Existen **cinco grupos principales de bacterias** que participan en el **ciclo del nitrógeno** (véase Figura 1) en el suelo, diazótrofos, amonificantes, nitrosomonas, nitrobacter y las desnitrificantes.

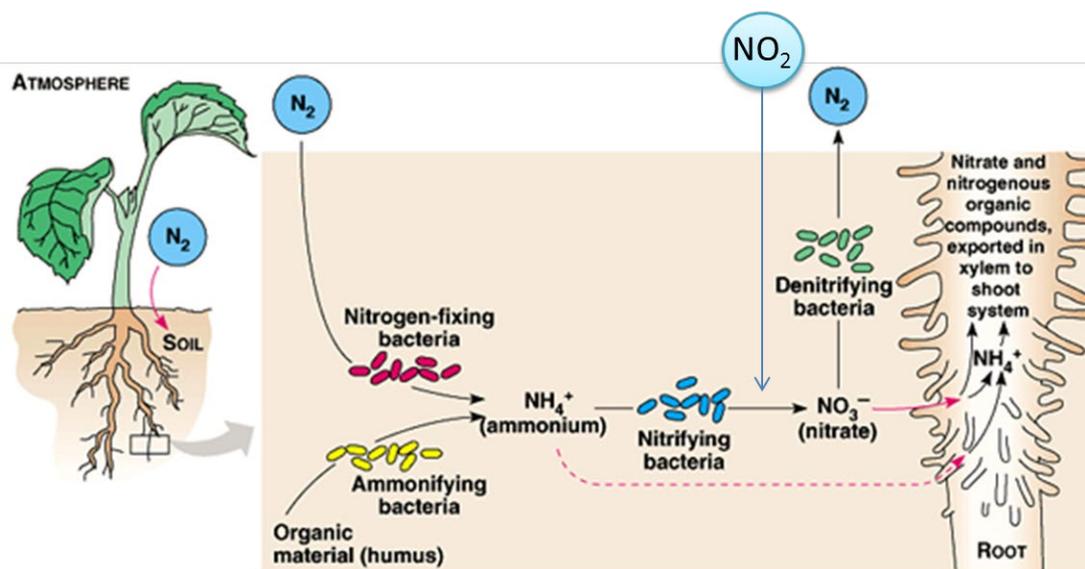


Figura 1. Ciclo del nitrógeno. Adaptado de Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. publishing as Benjamin Cummings Figure 37.9.

Es importante incorporar los grupos de bacterias adecuados y modular las **condiciones del medio** de forma que el ciclo del nitrógeno en el suelo favorezca la captación fundamentalmente de NO_2 . Sin embargo, hay que mantener un equilibrio entre las mismas para mantener la buena calidad del suelo y el correcto desarrollo de la planta. Se puede comentar que para la asimilación del nitrato generado se prefiere fundamentalmente la vía vegetal en lugar de la de las bacterias desnitrificantes en esta aplicación.

En cuanto a las especies vegetales a incorporar, el requerimiento principal que se les ha impuesto, desde un punto de vista funcional, es la capacidad para asimilar una alta cantidad de nitratos. Por otro lado, otros criterios empleados serían bajos requerimientos de riego y mantenimiento y su capacidad para proporcionar alimento y cobijo para polinizadores. La selección de especies se ha de realizar en función de las características del lugar de instalación.

En esta comunicación se presentan un extracto de los resultados de estudios llevados a cabo por el centro tecnológico CARTIF en este sentido y el diseño realizado para una intervención piloto en el marco del proyecto europeo **URBAN GreenUP¹** en la ciudad de **Valladolid**.

5. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del estudio se comenzó por poner a punto un método para evaluar la capacidad de captación de óxidos de nitrógeno y de partículas por parte del biofiltro. Como punto de partida se tomó el ensayo descrito en la norma estándar que se utiliza para materiales fotocatalíticos ISO 22197-1:2007². La instalación empleada de base fue la que actualmente emplea CARTIF para realizar ensayos siguiendo esa norma con ciertas modificaciones. El método propuesto consiste en poner en contacto un aire contaminado con una cierta cantidad de óxidos de nitrógeno en condiciones controladas y estándar con una cantidad de sustrato fijada y con características controladas en una cámara de ensayo diseñada para ello. Las principales características del ensayo son los mostrados en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros principales del método de ensayo para determinar la captación de los óxidos de nitrógeno por parte de los sustratos.

| Parámetro | Valor |
|--|----------------------------------|
| Altura sustrato o componente | 5 cm |
| Diámetro cámara contacto | 5 cm |
| Caudal aire | 3 NL/min ³ |
| Concentración NO ⁴ | 0 – 500 ppb |
| Concentración NO_2 | 0 – 500 ppb |
| Concentración PM ⁵ | 0 – 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| Temperatura aire | 20 \pm 2,5°C |
| Humedad relativa aire | 50% \pm 5% |

Fuente: Elaboración propia.

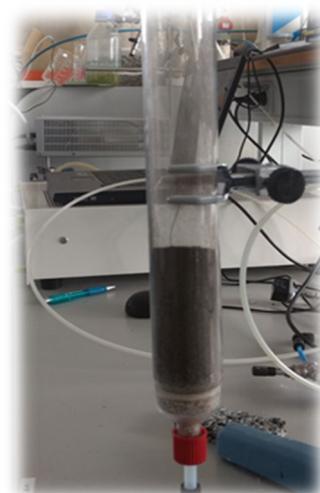


Figura 2. Cámara de contacto suelo / aire contaminado.

¹ <https://www.urbangreenup.eu/>

² <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22197:-1:ed-1:v1:en>

³ NL/m³ litros en condiciones normales por minuto.

⁴ Analizador de óxidos de nitrógenos por método de referencia, CLD-700-AL – NO/NO_x ECO PHYSICS

⁵ Monitor portátil AEROQUAL 200.

El suministro de los óxidos de nitrógeno se realiza mediante botella calibrada con botellas de NO y NO₂ con una concentración de 50 ppm. Mediante dos caudalímetros másicos, uno que controla la alimentación de aire limpio y otro la alimentación de gas contenido en las botellas se controla la concentración empleada en los ensayos. El control de humedad se realiza mediante un circuito auxiliar por el que se borbotea el caudal de aire adecuado en agua. La temperatura se fija mediante el control de la temperatura de laboratorio en el que se encuentra la instalación. Por otro lado, para el ensayo de captación de PM_{2,5} se emplea la misma instalación, pero el suministro de la concentración de partículas se realiza empleando las emisiones de un vehículo diésel EURO 3 en régimen estacionario.

Señalar que el objetivo principal del método es evaluar la captación de NO_x y PM_{2,5} por parte de los elementos que componen los sustratos y determinar una composición adecuada para los que integran el biofiltro.

Empleando estos métodos de ensayo se han evaluado en laboratorio los componentes habituales de los sustratos vegetales empleados comerciales más habituales. De esta forma se puede modular la composición de los sustratos y elementos que componen el suelo del biofiltro y además estudiar la estructura del mismo.

Decir en este punto que no se darán detalles sobre los materiales específicos a emplear, pero sí información sobre la naturaleza de los mismos. La optimización de los materiales a emplear para maximizar la captación de contaminantes con un menor espesor, pérdida de carga y coste es una información que se reserva CARTIF para su utilización comercial en el futuro.

6. RESULTADOS

Después de varios ensayos iniciales se observó la necesidad de afrontar la captación de los principales contaminantes seleccionados de forma diferente: NO, NO₂ y PM_{2,5}.

El NO necesita de una adsorción con reacción química y mucha superficie de contacto disponible para conseguir una captación eficiente. Ninguno de los componentes de habituales empleados en la formulación de sustratos suele poseer estas características. Dentro de las posibilidades existentes para incorporar al biofiltro se evaluaron diversos materiales. El material más adecuado fue un carbón activado. En la figura 3 se muestran los resultados de un ensayo de captación de NO con un carbono activo adecuado.

En la gráfica se puede apreciar cómo antes de su entrada en la cámara en contacto con el material la corriente tiene una concentración de 1 ppm de NO aproximadamente pero el material adsorbente captura casi completamente el contaminante.

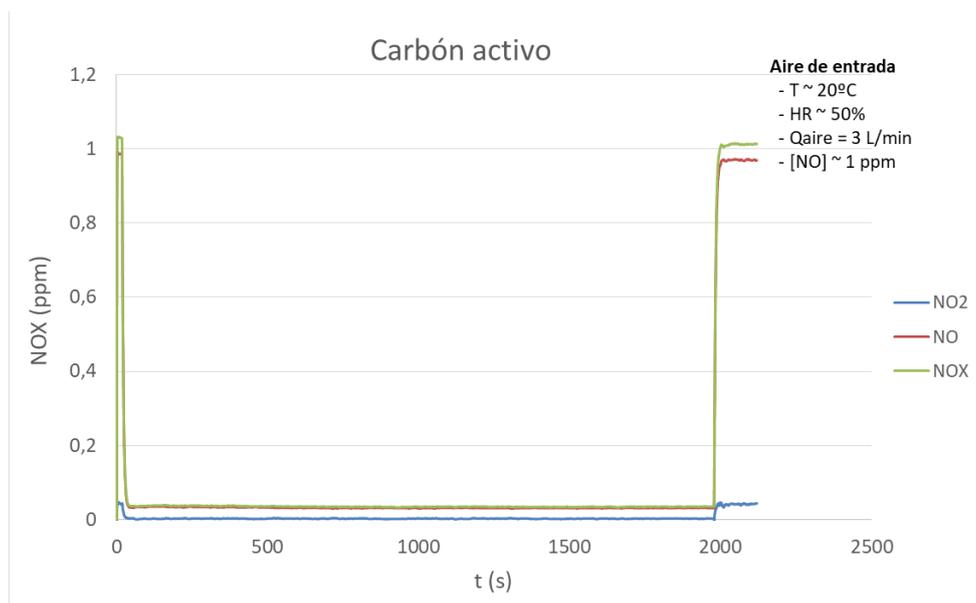


Figura 3. Resultados de un ensayo de captación de NO con carbón activo.

Por otro lado, para la captación de material particulado, se encontró que la estrategia adecuada era conseguir una estructura adecuada en capas del biofiltro incorporando un material fibroso natural (como lana de oveja, turba negra⁶ o fibra de coco) para mejorar la captación. Se pueden incorporar otros materiales artificiales, pero como se ha mencionado antes en el diseño se están primando los materiales naturales si resultan funcionalmente adecuados.

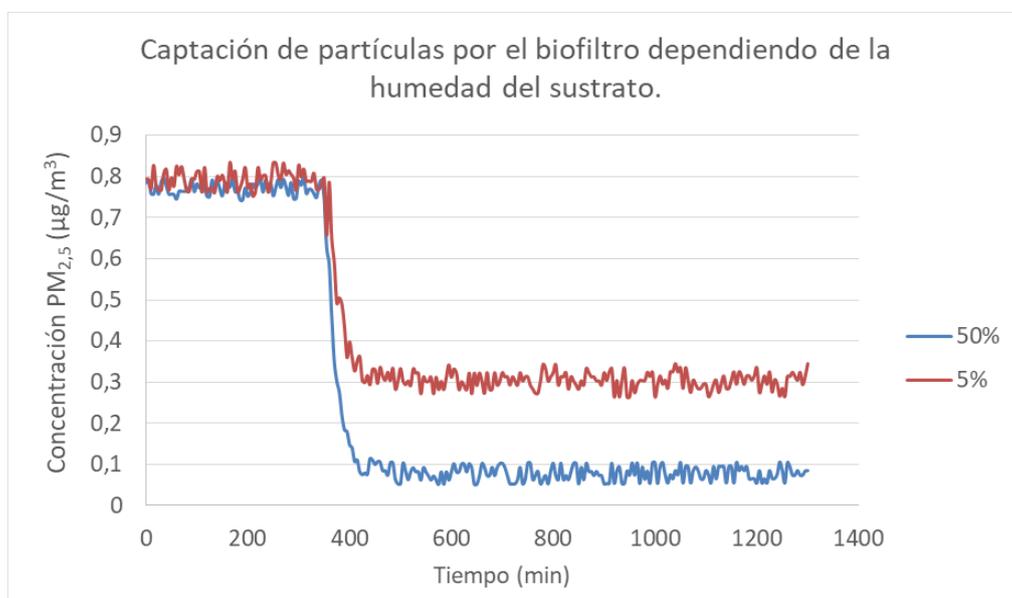


Figura 4. Resultados graficados de un ensayo de captación de partículas al biofiltro con dos humedades del mismo diferentes.

⁶ El empleo de turba está generando destrucción de ecosistemas por su sobre explotación. En la medida de lo posible se recomienda evitar su utilización. <https://www.rhs.org.uk/advice/profile?pid=441>

En la figura 4 se muestra el resultado de captación de partículas del sistema a dos humedades del suelo diferentes, un 50% y un 5%. Como se puede apreciar es necesaria cierta humectación para tener una alta eficiencia de captación de partículas.

Para la captación del NO_2 se ha formulado un sustrato vegetal que permite que con un espesor reducido se pueden conseguir altos niveles de captación del contaminante. En la figura 5 muestra el resultado de un ensayo de captación de NO_2 por parte del sustrato empleado en la configuración actual del biofiltro. Como se puede observar el sustrato es capaz de absorber un altísimo porcentaje del NO_2 que se introduce. En la línea de evolución de la concentración del NO durante el ensayo se puede apreciar un primer pico inicial cuando se introduce la corriente de NO_2 a través del sustrato. No se ha investigado su origen y no se conoce a ciencia cierta su origen, pero se considera un valor residual.

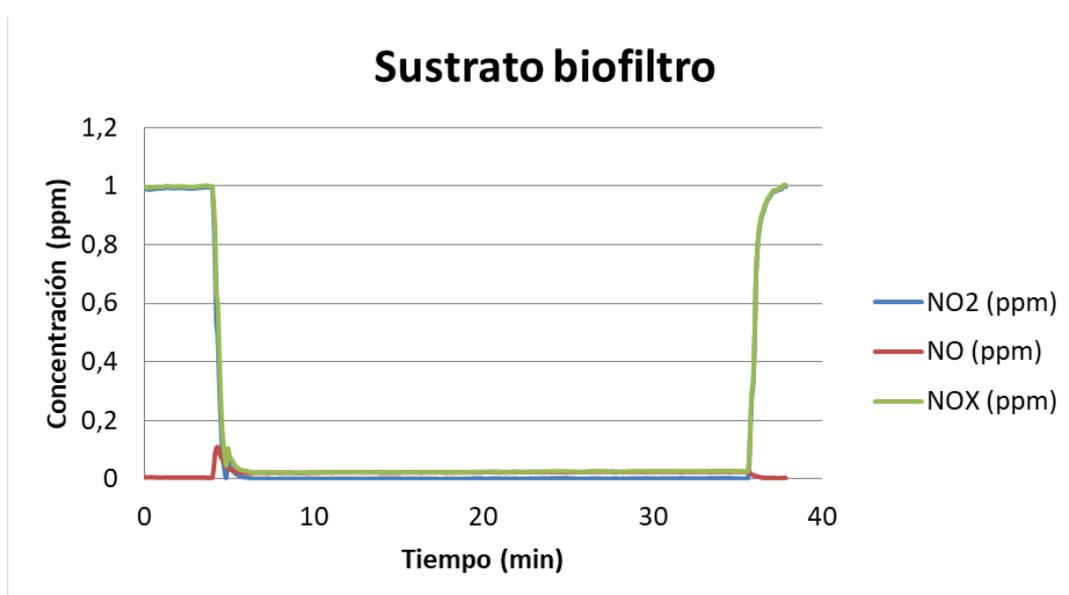


Figura 5. Gráfica del resultado del ensayo de captación del sustrato base empleado para configurar el biofiltro.

Como se ha indicado anteriormente no se quieren dar más detalles de forma intencionada pero sí que se ha querido incluir en este punto un estudio inicial que se llevó a cabo. Se evaluó la liberación de óxidos de nitrógeno al hacer pasar aire limpio a través de los diferentes componentes del sustrato y diferentes sustratos comerciales. Se encontró que el suelo estándar emitía NO de forma continua pasando por un pico y hasta alcanzar un valor estable después de varios minutos. En la Tabla 2 se muestran los resultados encontrados para los valores una vez estabilizados.

Tabla 2. Ensayo en blanco para la emisión de óxidos de nitrógeno por el suelo.

| | NO | NO ₂ | NO _x |
|-----------------------------|-------|-----------------|-----------------|
| Concentración entrada suelo | 0,006 | 0,001 | 0,007 |
| Suelo 0% de humedad | 0,007 | 0,001 | 0,008 |
| Suelo 20% de humedad | 0,034 | 0,002 | 0,036 |
| Suelo 50% de humedad | 0,025 | 0,003 | 0,028 |
| Suelo 80% de humedad | 0,017 | 0,004 | 0,021 |

Como se puede ver el suelo tiene una ligera emisión de óxidos de nitrógeno al hacer circular aire a su través. Esta emisión se asocia fundamentalmente al NO como puede verse en la tabla anterior.

Por otro lado, el pH es un factor que tiene una gran influencia en el comportamiento del suelo en lo que se refiere su capacidad de captación de NO₂. pH ácidos provocan la generación de grandes emisiones de NO a pesar de que sean capaces de retener gran parte del NO₂ y por lo tanto se desaconseja en el caso de sustratos con pH ácido para este tipo de aplicaciones. En la Figura 6 se muestra el resultado de un ensayo de captación de NO₂ realizado a un sustrato comercial para plantas acidófilas.

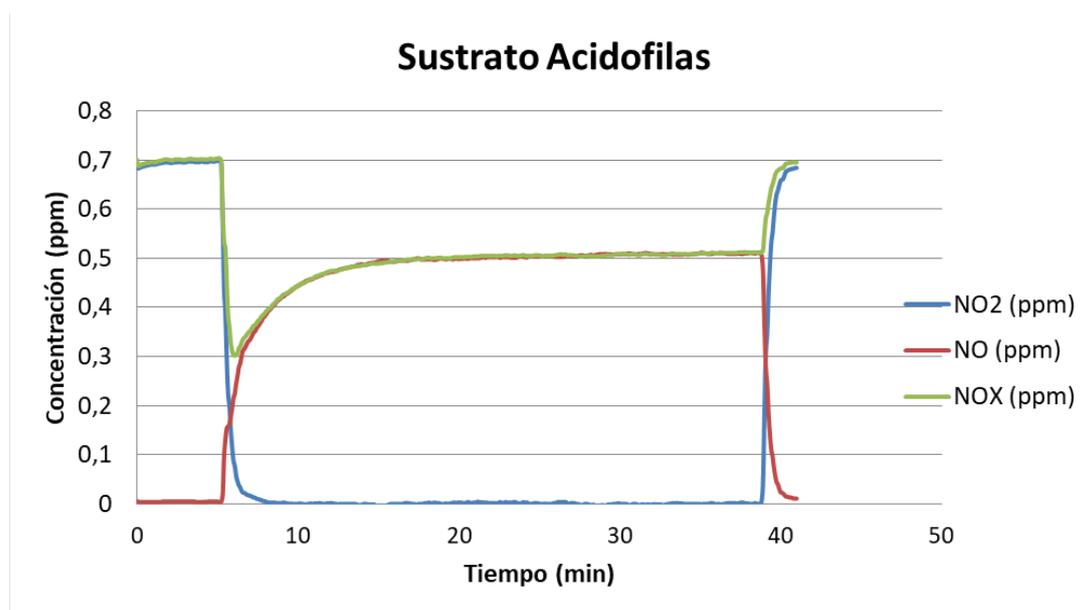


Figura 6. Gráfica del resultado del ensayo de captación de NO₂ con un sustrato de pH ácido.

7. DISCUSIÓN

Una vez estudiado en el laboratorio la captación de los principales contaminantes primarios en entornos urbanos se ha configurado un biofiltro capaz de captarlos de forma efectiva de la extracción de aparcamientos subterráneos y de los túneles.

En el marco del proyecto europeo H2020 URBAN GreenUP⁷ se planificó una implementación piloto para la utilización del biofiltro en una implementación real en un aparcamiento existente en la ciudad de Valladolid. El proyecto de implementación se ha realizado en el marco del proyecto y el Ayuntamiento de Valladolid ya ha adjudicado su instalación como obra menor. Los trabajos comenzarán durante el mes de diciembre de 2020 y el tiempo máximo previsto para su ejecución es de tres meses.

⁷ <https://www.urbangreenup.eu/>

A continuación, se recogen un resumen de las especificaciones publicadas en el contrato de obras menor publicado por el Ayuntamiento de Valladolid.

El biofiltro se ha estructurado en capas siguiendo el esquema mostrado en la Figura 7. Además de los componentes del biofiltro que realizan la captación de los contaminantes del aire, se incluyó en el diseño una estructura de soporte con trámex y una malla de acero de 1mm de luz y un volumen inferior en el que se libera el aire contaminado y a través del cual se distribuye por la parte inferior del biofiltro. A continuación, el aire asciende a su través.

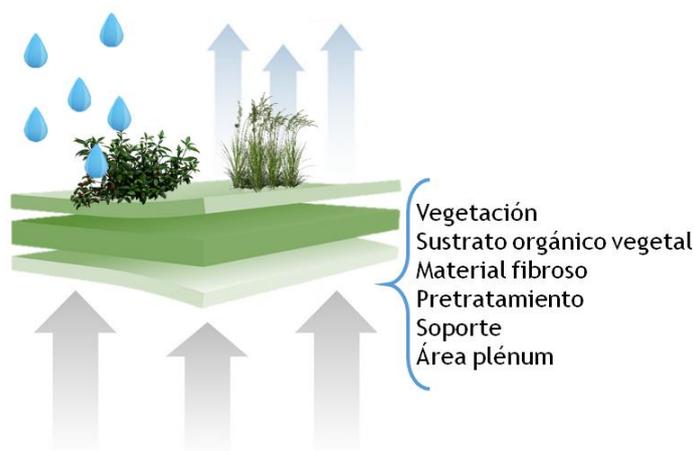


Figura 7. Esquema estructura biofiltro.

Vegetación. En la tabla siguiente se muestran las especies vegetales escogidas para integrar en el biofiltro.

Tabla 3. Especies vegetales seleccionadas para el biofiltro piloto de Valladolid.

| Especie | Tipo | Mantenimiento | Adecuado para polinizadores |
|----------------------|-----------|------------------|-----------------------------|
| <i>Berberis sp.</i> | Arbustiva | Poda de limpieza | Si |
| <i>Bellis sp.</i> | Herbácea | - | Si |
| <i>Viola Oradata</i> | Herbácea | - | Si |
| <i>Viola Sp.</i> | Herbácea | - | Si |

Las necesidades de riego se irán controlando durante el tiempo de monitorización prevista del sistema que son 2 años. Se realizarán solamente riegos someros para mantener la vegetación, pero sin afectar de forma importante a la capacidad de captación del sistema. Asimismo, como operaciones de mantenimiento se realizará una supervisión mensual de forma visual y la aireación del suelo bianualmente.

El biofiltro tendrá una capa inicial de material adsorbente de 5 cm, una segunda capa de material fibroso de 5 cm y una capa final de sustrato de 35 cm. Sobre esta capa se situará otro soporte trámex para evitar que el acceso de personas y animales pueda compactar el sustrato y disminuir la capacidad de filtración. Esta capa superior de trámex irá soportada por pletinas fijadas a los bordes de granito o sistema similar.

Sustrato vegetal URBAN GreenUP (espesor 35 cm). Este material debe ser capaz de adsorber al menos $4,16 \cdot 10^{-3}$ mg NO₂/min/m² (resultado basado en ensayo de laboratorio empleando un caudal de 3L/min de aire con 1 ppm de NO₂ en condiciones normales).

Material fibroso URBAN GreenUP (espesor 5 cm al extender). Material de origen natural compuesto por fibras no trenzadas que sea subproducto de procesos que se realicen a menos de 250 km. Un material adecuado será el subproducto borra de la industria del lavado y peinado de lana.

Material adsorbente URBAN GreenUP (espesor 5 cm). Este material realizará un pretratamiento y debe ser capaz de adsorber al menos $2,72 \cdot 10^{-3}$ mg NO/min/m² (resultado basado en ensayo de laboratorio empleando un caudal de 3L/min de aire con 1 ppm de NO en condiciones normales).

La localización seleccionada para el biofiltro es un parterre presente al lado de una de las torres de salida de humos del aparcamiento. De esta forma se puede extraer directamente el aire del interior del aparcamiento. El extractor seleccionado tiene un caudal de extracción nominal de 3.500 m³/h y tiene una potencia de 250 W. En la Figura 8 se muestra la sección del diseño realizado del biofiltro y en la Figura 9 su situación en planta.

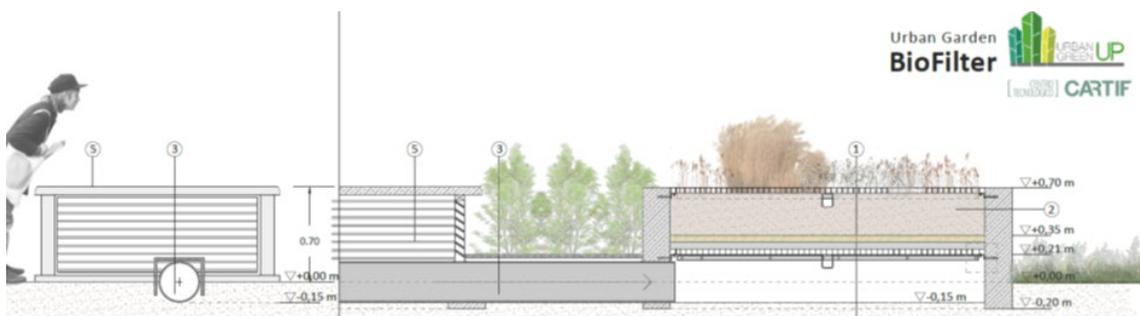


Figura 8. Sección del biofiltro diseñado para el aparcamiento subterráneo. Elaboración propia.

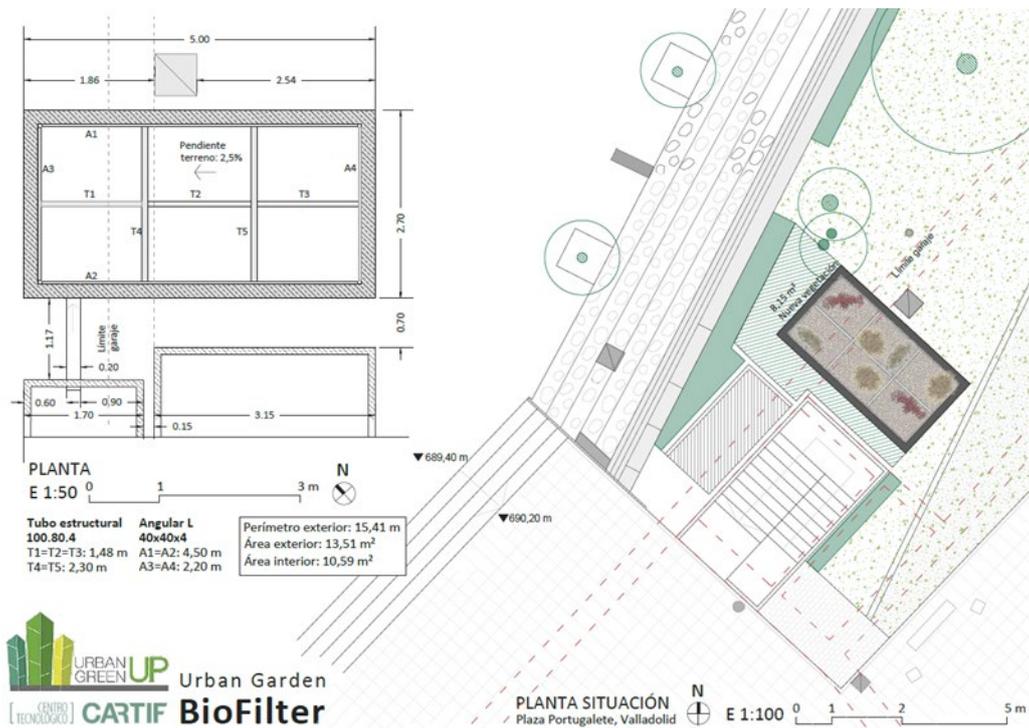


Figura 9. Planta de situación del biofiltro.

El diseño del biofiltro se ha realizado manteniendo en la medida de lo posible la estética de las jardineras y alcorques existentes en las inmediaciones de la Catedral de Valladolid en la Plaza de Portugalete. Dichas jardineras tienen forma rectangular y están elevadas sobre la cota del suelo. El borde contenedor está hecho hormigón visto. En la Figura 10 se muestra la situación elegida para la instalación del biofiltro con su aspecto actual antes de la implantación del sistema situado en la Plaza de Portugalete de Valladolid.



Figura 10. Situación actual de la zona de implantación del biofiltro.

Para esta actuación se ha propuesto una monitorización de dos años en la que se medirá en continuo la calidad del aire (NO_2 y $\text{PM}_{2,5}$) del interior del aparcamiento en la zona de extracción y la del exterior en la zona de salida del biofiltro. Como referencia también se medirá la calidad del aire. Asimismo, se tomarán muestras del sustrato y se determinará su capacidad de captación de NO_2 en laboratorio para comprobar su funcionalidad. Asimismo, se medirá la presión diferencial en la salida del extractor para comprobar que la porosidad del biofiltro se mantiene en unos niveles aceptables.

Asimismo, como un indicador más del funcionamiento del sistema se empleará el consumo eléctrico del sistema de extracción actual del aparcamiento. Actualmente este sistema se activa periódicamente cuando la concentración de monóxido de carbono en el interior es superior a 50 ppm. Se compararán los consumos antes y después de la intervención teniendo en cuenta el nivel de ocupación y se valorará si la instalación del biofiltro permite además reducir el número de veces y el tiempo que se activa el sistema de extracción actual.

8. CONCLUSIONES

Ante el reto actual de luchar contra la contaminación del aire urbano se pueden emplear diversas estrategias. Es conocida la capacidad de autodepuración que tiene la naturaleza, pero las altas tasas de emisión de contaminantes antropogénicos que se llevan produciendo las últimas décadas están sobrepasando todos sus límites. En concreto, en el entorno de las grandes urbes, la calidad del aire atmosférico presenta frecuentemente unos niveles tan bajos, que afectan a la salud de los seres humanos y seres vivos que en él habitan e incluso a los materiales de construcción de las edificaciones. Esta situación hace que sea necesario tomar medidas que tienen que ser consensuadas científica, política y socialmente por el impacto que tienen. Sin embargo, hay otras medidas que por el coste y los beneficios asociados son más sencillas de llevar a cabo.

Las Soluciones basadas en la Naturaleza son enfoques, acciones o procesos que utilizan los principios de la naturaleza para dar solución a distintos problemas relacionados con la gestión territorial y urbana como la adaptación al cambio climático, la gestión de los recursos, del agua, la seguridad alimentaria o la calidad del aire y el entorno [5].

El biofiltro para jardines urbanos que se presenta en esta comunicación pretende ofrecer una solución basada en la naturaleza, sencilla y de bajo coste para capturar una parte importante de las emisiones de aparcamientos subterráneos y túneles. El sistema consiste en un sistema de extracción de baja potencia que captura de forma continua el aire del interior del aparcamiento y lo hace pasar a través del suelo de un jardín que se crea en la superficie.

Este sistema permite capturar los contaminantes que se han considerado más importantes procedentes de fuentes estacionarias como son las extracciones de los aparcamientos subterráneos y los túneles: los óxidos de nitrógeno, NO y NO_2 y el material particulado $\text{PM}_{2,5}$.

El sistema está compuesto por:

- un extractor que captura el aire contaminado del interior del aparcamiento,
- un sistema de conductos que lo conducen,
- una zona hueca en la parte inferior del biofiltro que actúa como plénum para distribuir

el aire,

- un soporte para el biofiltro formado por un trámex y una malla de acero de 1mm de luz,
- un adsorbente que actúa capturando el NO,
- un material fibroso natural que estructura el biofiltro y mejora la captación del material particulado,
- un sustrato vegetal captura el NO₂ y mantiene la parte vegetal y
- vegetación que metaboliza el NO₂ capturado.

9. AGRADECIMIENTOS



El proyecto URBAN GreenUP ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea según el Acuerdo de Subvención No 730426.

10. BIBLIOGRAFIA

1. World Health Organization (2016). Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease [Archivo pdf].
<https://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>
2. Air Quality Expert Group for DEFRA (2018). Report on Impacts of Vegetation on Urban Air Pollution [Archivo pdf].
https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/1807251306_180509_Effects_of_vegetation_on_urban_air_pollution_v12_final.pdf?
3. Indrehus O. and Vassbotna, P. (2001). CO and NO₂ pollution in a long two-way traffic road tunnel: investigation of NO₂/NO_x ratio and modelling of NO₂ concentration. J. Environ. Monit., 3(2), 220-225. <https://doi.org/10.1039/B009493P>
4. Indrehus O. and Tybring Aralt. T. (2005). Air quality and ventilation fan control based on aerosol measurement in the bi-directional undersea Bømlafjord tunnel. J. Environ. Monit., 7(4), 349-356. <https://doi.org/10.1039/B414916E>
5. Grupo de Trabajo sobre Soluciones Basadas en la Naturaleza de la Fundación CONAMA (2018). Soluciones basadas en la Naturaleza.
<http://www.fundacionconama.org/que-hacemos/proyectos/soluciones-basadas-en-la-naturaleza/>