

CONAMA 2022

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

**SOLUCIÓN PARA TERRAZAS
DE HOSTELERÍA QUE
MEJORA LA CALIDAD DEL
AIRE Y REDUCE EL RUIDO.
PROYECTO NEMO.**



Autor Principal: Jose Feroso (CARTIF)

Otros autores: Francisco Verdugo (Fundación CARTIF), Jose Ignacio Riesco (AUDIOTEC), Raquel Marijuan (Fundación CARTIF), Sergio Sanz (Fundación CARTIF), Dolores Hidalgo (Fundación CARTIF).

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. Conclusiones
8. Agradecimientos
9. Bibliografía

1. TÍTULO

SOLUCIÓN PARA TERRAZAS DE HOSTELERÍA QUE MEJORA LA CALIDAD DEL AIRE Y REDUCE EL RUIDO. **PROYECTO NEMO.**

2. PALABRAS CLAVE

Calidad del aire, Óxidos de nitrógeno, PM_{2,5}, biofiltro para jardín urbano, soluciones basadas en la naturaleza, contaminación del aire urbano, 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, y se puede considerar el ruido en paralelo, presenta frecuentemente unos niveles tan bajos, que afectan a la salud de los seres humanos y seres vivos que en él habitan. Esta baja calidad incluso puede afectar 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 con un poco de voluntad y labor pedagógica por parte de las administraciones y la academia.

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. Dentro de las nuevas soluciones de mitigación propuestas por el **proyecto NEMO** (H2020-MG-2018-2019-2020, G.A. No. 860441), se encuentra una **barrera multifuncional** que introduce varias tecnologías para mejorar la calidad del aire a través de un biofiltro y reducir el impacto acústico en las ciudades de la UE.

La barrera multifuncional pretende ofrecer una doble solución sencilla y de bajo coste para capturar los principales contaminantes atmosféricos en del ambiente urbano, así como, mitigar la contaminación acústica del tráfico rodado. El sistema consiste en un sistema de extracción de baja potencia que captura de forma continua el aire ambiente y lo hace pasar a través de un biofiltro instalado en un elemento decorativo como es el caso de una jardinera diseñada para tal fin. Este sistema permite capturar los contaminantes que se han considerado más importantes en entornos urbanos procedentes principalmente del tráfico rodado: óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) y material particulado PM_{2,5}. Además, la barrera multifuncional está dotada de una pantalla acústica que permite tanto la reflexión y como absorción del ruido.

En esta comunicación se presenta un extracto del estudio realizado en laboratorio para su desarrollo y el diseño realizado para una intervención piloto como cerramiento de terrazas de locales hosteleros.

4. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica perjudica la salud humana y el medio ambiente [1]. Es un problema que afecta a niveles locales, paneuropeo y hemisférico. Alrededor del 90% de los habitantes de las ciudades europeas están expuestos a contaminantes en concentraciones superiores a los niveles de calidad del aire considerados perjudiciales para la salud. Principalmente, las partículas de diámetro inferior a $2,5 \mu\text{m}$ (**PM_{2,5}**), el dióxido de nitrógeno (**NO₂**) y el ozono troposférico (**O₃**) son los tres contaminantes que más **afectan a la salud humana, a la biodiversidad y los ecosistemas y a la economía de los estados**. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que alrededor de 7 millones de muertes con atribuibles a los efectos combinados de la mala calidad del aire [2]. Por otro lado, la contribución media del tráfico local a las concentraciones urbanas de NO₂ y PM₁₀ se estima en un 75% y un 15%, respectivamente, que nos señala un foco importante sobre el que actuar.

Hay que recordar que tratar de reducir la contaminación una vez que está diluida suele resultar más ineficiente que actuar sobre la fuente. Sin embargo, en el contexto actual del tráfico esto no resulta sencillo y lo más que se puede hacer es tratar de acercar lo máximo posible el sistema de captura y tratamiento del aire a la fuente, al borde de la carretera o vía. Por otro lado, se considera también más eficiente tratar de actuar sobre los contaminantes primarios, óxidos de nitrógeno y partículas y así se ha trabajado el biofiltro.

Por otro lado, el ruido es otro de los grandes problemas de salud ambiental en Europa. La (OMS) ha clasificado el ruido del tráfico, incluyendo carretera, ferrocarril y aéreo, como la segunda causa ambiental más importante de malestar de salud en Europa occidental solo por detrás de la contaminación del aire. Una exposición prolongada a ruido ambiental conduce a problemas cardiovasculares y metabólicos, reducen el desarrollo cognitivo de los niños y alteran gravemente el sueño [3].

Las barreras acústicas se instalan de forma mayoritaria para proteger edificios del ruido generado por carreteras de alta capacidad. En general, estas barreras tienen alturas superiores a los 2,5 metros de altura y su aplicación está limitada a áreas donde el impacto que causan es aceptable (visual y de alteración de la circulación de vehículos y personas). Así, en zonas densamente urbanizadas de las ciudades no se suelen instalar. En este contexto, la proliferación de las terrazas de restaurantes y cafés supone un reto añadido. Por ello, son necesarias soluciones para mitigar el ruido que generen menos impacto visual y más adaptables a la ciudad.

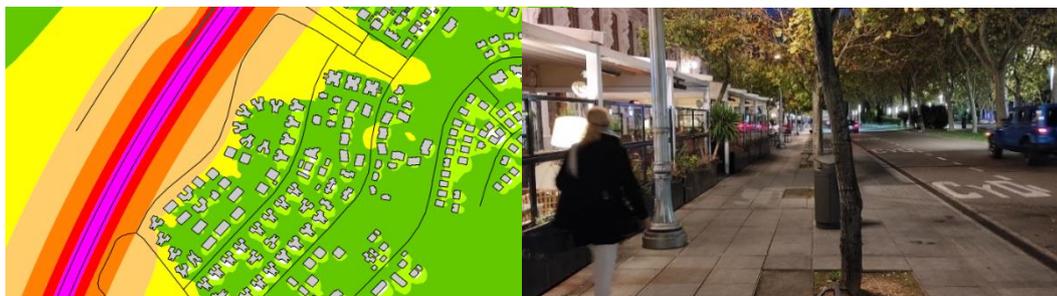


Figura 1. Mapa de ruido genérico de una carretera de alta capacidad (izquierda) y terraza típica con cobertura en el centro de una ciudad (derecha). Elaboración propia.

SOLUCIÓN PARA TERRAZAS QUE REDUCE CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y RUIDO

Dentro de las nuevas soluciones de mitigación propuestas por el **proyecto NEMO**¹ (H2020-MG-2018-2019-2020, G.A. No. 860441), se encuentra una **barrera multifuncional** que introduce varias tecnologías para mejorar la calidad del aire y reducir el impacto acústico en las ciudades de la UE.

La **barrera biofiltro multifuncional** consiste en una estructura donde se integran un sistema de **depuración de aire contaminado** mediante un biofiltro y un sistema de captación activa, una pintura fotocatalítica y además una **barrera anti ruido** dirigida a reducir el ruido del tráfico por un lado y de la actividad en las terrazas de hostelería por el otro. La barrera está diseñada para capturar los principales contaminantes primarios en ambientes urbanos, las partículas y los óxidos de nitrógeno una vez estos se encuentran en el aire urbano, y también el ruido.

Construida básicamente a partir de madera y diseñada para integrar vegetación adaptada a la zona, la barrera cuenta con cuatro elementos principales:

- Una barrera acústica reductora de ruido de 2 metros de altura.
- Un filtro natural que captura el humo del tráfico y contaminantes del aire mediante extractores silenciosos. Incluye vegetación que complementa la captación de partículas contaminantes del tráfico y mejora el bienestar de los usuarios de la terraza.
- Un recubrimiento fotocatalítico para toda la estructura del conjunto.
- Bancos integrados para sentarse o zonas de almacenamiento para el servicio del personal.

Por otro lado, los requerimientos técnicos de diseño de los que se partió al inicio del proyecto fueron:

Reducción del ruido urbano	3 dB	Para coches con $v \leq 50$ km/h (urbano). Condiciones de calle.
Reducción fotocatalítica de NO_x	~20%	Siguiendo norma ISO 22197-1
Caudal capturado de aire	$>100\text{m}^3/\text{min}\cdot\text{m}^2$	Absorción activa de aire urbano.
Captura de NO_x	$> 90\%$	Supuesto aire contaminado con 1ppm NO_x
Captura de material particulado	$>75\%$	Supuesto aire contaminado con $\sim 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Asimismo, para el diseño se consideró que la barrera se integrara en el paisaje urbano de forma adecuada y que los materiales de construcción fuesen lo más sostenibles posible. En este sentido hay que tener en cuenta que la altura máxima se estableció en 2 metros. En esta comunicación se presentan los resultados principales de los estudios llevados a cabo y el diseño de la barrera realizado para el estudio piloto que se llevará a cabo próximamente.

¹ <https://nemo-cities.eu/projects/>

5. METODOLOGÍA

5.1 Reducción del ruido

Existen diferentes alternativas cuando se trabaja en el diseño de soluciones para barreras acústicas. Para el diseño de la barrera hay que tener en cuenta que se busca:

- Protección del ruido ambiental generado por los coches hacia la zona peatonal.
- Reducción del ruido generado por la actividad humana en lado interior de la barrera y reducir la molestia a los vecinos. Además, esta cara de la barrera ha de cumplir también la función de acondicionar el sonido para mejorar la reverberación y la inteligibilidad de las conversaciones.

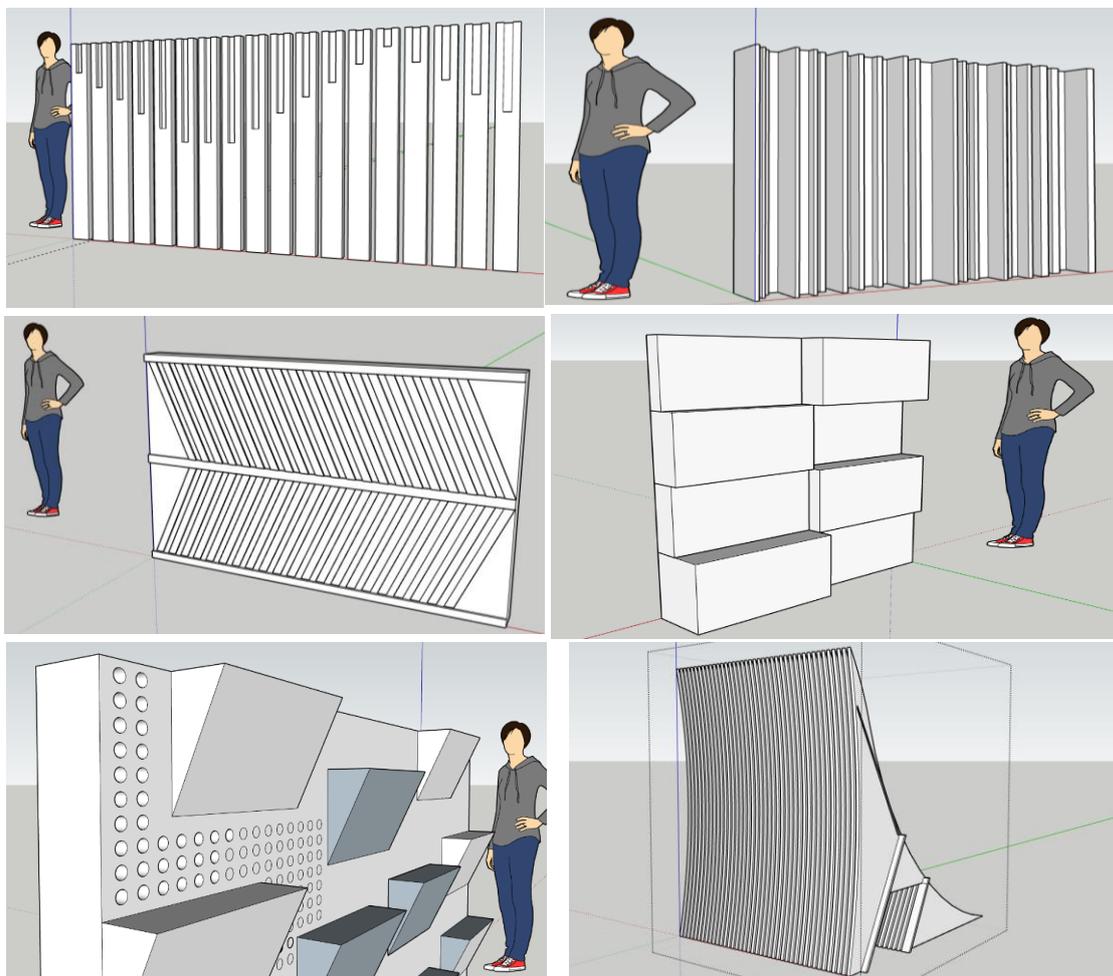


Figura 2. Distintos tipos de diseños de barrera estudiados. Fuente AUDIOTEC.



Figura 3. Instalación de laboratorio con una muestra de panel metálico perforado. Fuente AUDIOTEC.

Para llevar a cabo los estudios, en laboratorio se analizaron distintos tipos de sistemas empleando la norma UNE EN ISO 354:2004. Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante.

En la Figura 3 se muestra una imagen de la instalación de laboratorio durante uno de los ensayos con un panel metálico perforado. Se analiza el efecto de dos variables, el efecto de la cámara de aire con diferentes espesores entre la lana de roca y el panel y el efecto de la geometría de las perforaciones.

5.2 Reducción del NO_x. Material fotocatalítico.

Los materiales fotocatalíticos permiten producir, mediante la incorporación de materiales de naturaleza semiconductor, procesos de oxidación-reducción en presencia de radiación de la longitud de onda adecuada. Una de sus aplicaciones es emplear la radiación solar para oxidar compuestos presentes en medio acuoso o aire para eliminarlos.

En este sentido, en las dos últimas décadas se ha trabajado intensamente para desarrollar materiales y soluciones para emplear en entornos urbanos para luchar contra la contaminación ambiental y en especial contra los óxidos de nitrógeno en ciudades con altos niveles.

Teniendo en cuenta los objetivos de la barrera multifuncional, se incluyó como uno de los elementos en su diseño, un recubrimiento para sus superficies exteriores. Así, durante este proyecto se trabajó para adaptar una pintura a la superficie finalmente elegida. Así, con la colaboración de PROQUICESA, empresa especializada en la fabricación de pinturas, entre ellas fotocatalíticas se trabajó en un recubrimiento para madera.

Existen diferentes normas y procedimientos que se pueden emplear para evaluar la actividad fotocatalítica de materiales. Entre ellas, quizás la más extendida a nivel europeo es la norma ISO 22197-1 relativa a la eliminación de NO. Su equivalente a nivel español sería UNE-ISO 22197-1:2012². Nos referimos a la norma para conocer los detalles completos del ensayo. Como aspecto más destacado se puede indicar que el ensayo consiste en hacer pasar una corriente de aire de 3 NL/min contaminado con una concentración de 1000ppb \pm 100ppb sobre una probeta recubierta del material fotocatalítico de 5x10 cm. En la Figura 4 se puede observar la instalación experimental empleada para llevar a cabo los estudios planteados.

² <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0049195>



Figura 4. Instalación experimental para los ensayos fotocatalíticos. Fuente CARTIF.

La metodología de preparación de los tratamientos fotocatalíticos fue la de partir de una base convencional de pintura estándar y preparar distintas formulaciones modificando las cantidades de catalizador fotocatalítico (*slurry* con TiO₂ nanoparticulado) y otros aditivos adicionales para mejorar la fijación sobre los soportes estudiados.

5.3 Reducción del PM y NO_x. Biofiltro.

Para seleccionar los materiales más adecuados para el biofiltro, inicialmente se definieron una serie de ensayos estándar para determinar su capacidad para capturar NO₂, NO y PM. Por otro lado, como aspecto importante para evaluar rendimientos y consumos energéticos, también se evaluó la pérdida de carga del aire a su paso por el biofiltro. La condición buscada era maximizar la captura de los contaminantes mientras se minimizaba la pérdida de carga del aire a través del sistema.

Asimismo, se sometió a los sustratos a los ensayos estándar para este tipo de materiales que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Ensayos convencionales usados para caracterizar sustratos.

Parámetro	Norma
Muestreo para análisis de sustratos	UNE-EN 12579.
Preparación de muestras para ensayos químicos y físicos.	UNE-EN 13040.
Determinación del contenido en materia seca.	UNE-EN 13040.
Contenido en humedad.	UNE-EN 13040.
pH	UNE-EN 13037.
Conductividad eléctrica	UNE-EN 13038.
Contenido en materia orgánica y cenizas.	UNE-EN 13039.

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de captura de NO₂.

El ensayo de captura de NO₂ consiste básicamente en hacer pasar una corriente contaminada con NO₂ por el sustrato a estudiar. La operativa básica del ensayo se basa en la norma ISO 22197-1: 2016 de análisis de capacidad fotocatalítica de materiales de construcción. Se hace pasar un flujo de aire de 3NL/min con una concentración de 1000ppb ± 100ppb. Para alimentar el contaminante, se emplea una botella calibrada y se diluye convenientemente empleado caudalímetros másicos tanto para el aire como para el NO₂. El aire se introduce con una temperatura de 20°C ± 2.5°C y una humedad de 50% ± 5%.

El lecho tiene 5 cm de diámetro y una altura de 60 cm. Para los ensayos estándar se rellenaba el lecho con 5 cm de sustrato. En la Figura 5 se muestra una imagen de la cámara de ensayo.

Un parámetro importante es la humedad del sustrato. Este parámetro afecta tanto a la captación de NO₂ como al resultado del resto de ensayos que se recogen a continuación. Para realizar comparación de materiales se han de ensayar con la misma humedad.



Figura 5. Cámara de contacto para el ensayo de NO₂. Fuente CARTIF.

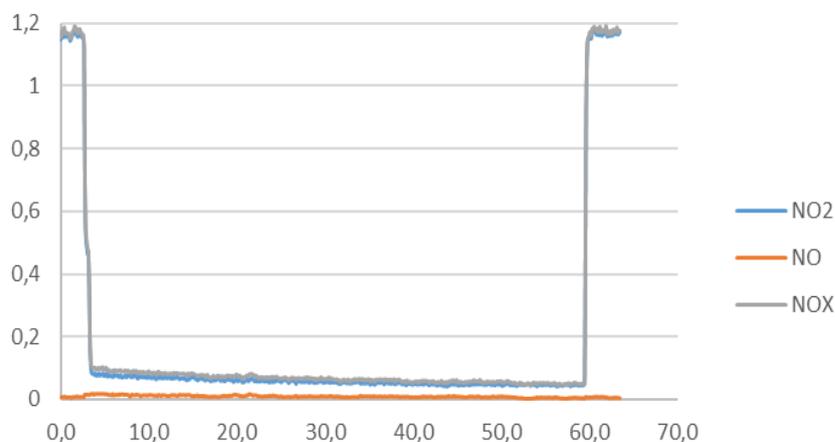


Figura 6. Gráfica de evolución de un ensayo de captación de NO_x.
Elaboración propia.

En la Figura 6 se muestra una gráfica típica de evolución de la concentración de NO_x durante un ensayo. El tramo central es el que muestra la concentración de salida a través del lecho. En la ecuación 1 se muestra la expresión empleada para mostrar los resultados en % de contaminante

eliminado.

$$X (\%) = ([Entrada] - [Salida]) / [Entrada] \times 100$$

Eq. 1

Ensayo de captura de NO.

Este ensayo es similar al descrito anteriormente, pero se sustituye el NO₂ en la alimentación por NO a través, igualmente, de una botella calibrada con la concentración adecuada de NO en aire.

Ensayo de captura de partículas.

Este ensayo consiste básicamente en evaluar el porcentaje de partículas capturado por el material fibroso del biofiltro monitorizando la entrada y la salida del sistema con un medidor de partículas (AEROQUAL 200 PM₁₀ y PM_{2.5} límite medida de 2000 µg/m³) de un lecho de dicho material. Como fuente de emisión de partículas para generar la corriente contaminada (entrada de alrededor de 300 µg/m³) se empleó una furgoneta con emisiones EURO 4. El resultado se expresa en porcentaje de partículas eliminado empleando una expresión similar a la mostrada en la ecuación 1. En la Figura 7 se muestra un detalle de la instalación empleada en el estudio.



Figura 7. Analizador de PM₁₀ y PM_{2.5} en la instalación. Fuente CARTIF.

Ensayo de pérdida de carga.

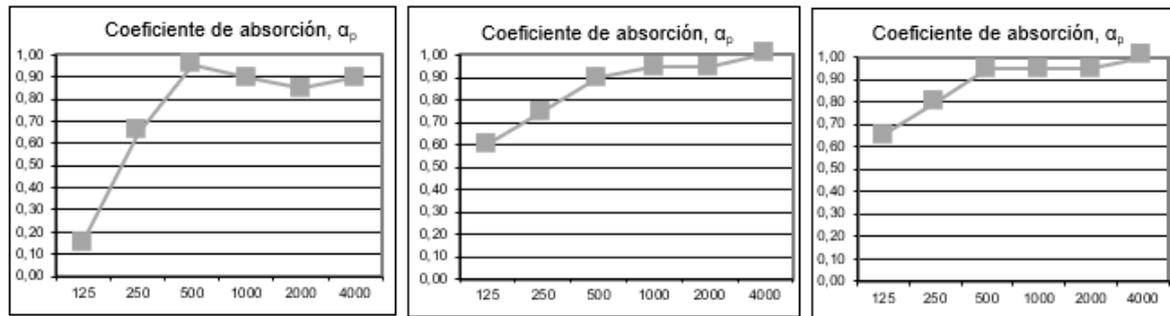
Este test consiste básicamente en hacer pasar un flujo de aire controlado, 3 NL/min, a través de un lecho de 10 cm de altura y 4 cm de diámetro en una cámara como la mostrada anteriormente en la descripción del ensayo de captura de NO₂. La medida de la pérdida de carga se establece con dos sondas de presión diferencia situadas a la entrada y salida del lecho de forma adecuada. Los resultados de este test se expresan en mbar de pérdida de carga.

Es un test que sirve a nivel comparativo para comparar los distintos materiales estudiados y a nivel absoluto para conocer la energía necesaria que tendrá que emplear el extractor.

6. RESULTADOS

6.1 Reducción del ruido

Empleando la norma de ensayo comentada en el punto anterior, se obtuvieron los siguientes resultados de absorción acústica sin cámara de aire, con una cámara de aire de 40mm con una cámara de aire de 50mm. En la Figura 8 se puede apreciar como la cámara de aire hace aumentar el coeficiente de absorción pero que no hay mucha diferencia entre los dos espesores estudiados.



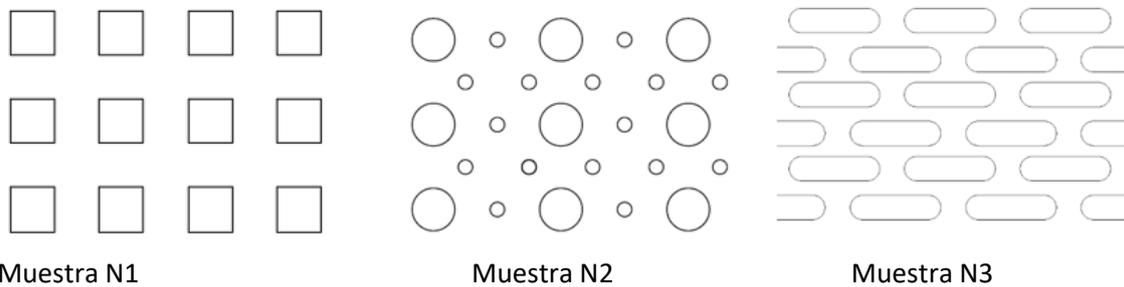
Sin cámara de aire
 $\alpha_p=0,9$

Cámara de aire de 50mm
 $\alpha_p=0,95$

Cámara de aire de 40mm
 $\alpha_p=0,95$

Figura 8. Resultados de los ensayos del material, sin cámara de aire, con una cámara de 40 mm y con una cámara de 50mm. Elaboración propia.

A continuación, se evaluó el efecto de la geometría de los huecos en un material sin cámara de aire. En la Figura 9 se muestran las geometrías estudiadas y en la Figura 10 las gráficas con los resultados y se puede apreciar como entre la muestra N2 y N3 no existen grandes diferencias.

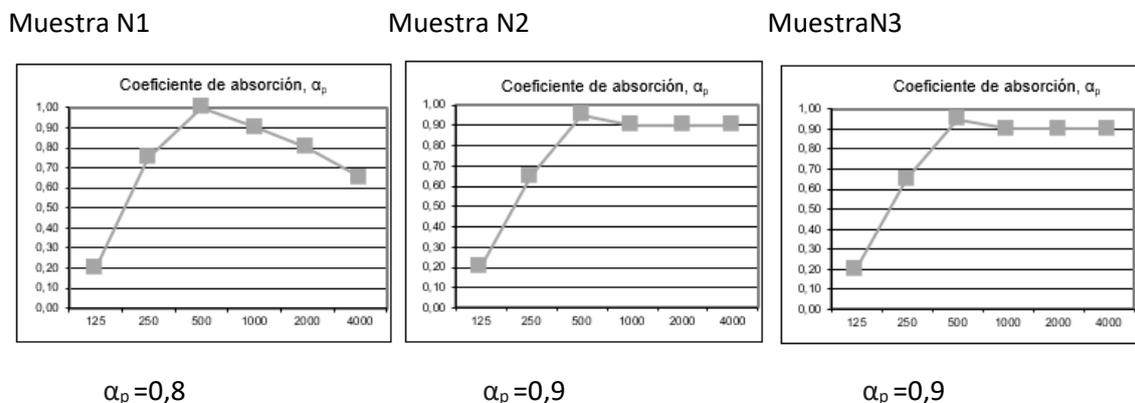


Muestra N1

Muestra N2

Muestra N3

Figura 9. Geometrías seleccionadas para el estudio. Elaboración propia.



$\alpha_p=0,8$

$\alpha_p=0,9$

$\alpha_p=0,9$

Figura 10. Resultados de los ensayos de las diferentes geometrías. Elaboración propia.

6.2 Reducción del NO_x. Material fotocatalítico.

Para diseñar las formulaciones, se llevó a cabo un diseño de experimentos. Entre los factores para obtener una buena actividad fotocatalítica se consideraron el tipo de catalizador (polvo PC500 Cristal, *slurry* PC-S7 Cristal y una mezcla al 50% de ellos, S/L), la concentración del mismo (10, 25 y 50 g/L, CAT), el tipo de resina (Acrylic, EVA y Silicate, AES) y su concentración (1, 2,5 y 5%, RES). Se realizó un diseño de experimentos (Tabla 2) con un arreglo ortogonal L9 para llevar a cabo el plan experimental.

Tabla 2. Arreglo experimental L9 empleado en el estudio. Elaboración propia.

	[Ligante] (% w)	S/L	Cat. Concentr. (g/L)	Ligante
RUN #1	1	S	10	Acrylic
RUN #2	1	50%	25	EVA
RUN #3	1	L	50	AES
RUN #4	2,5	S	25	AES
RUN #5	2,5	50%	50	Acrylic
RUN #6	2,5	L	10	EVA
RUN #7	5	S	50	EVA
RUN #8	5	50%	10	AES
RUN #9	5	L	25	Acrylic

Los resultados (Tabla 3) para cada una de las experiencias según el ensayo de la ISO 22197-1 se emplearon como variable respuesta. Para llevar a cabo los ensayos se empleó de base aluminio con una carga de 0,3 L/m². La muestra los resultados. Adicionalmente, en la tabla se han añadido columnas extra que incluyen el ratio de catalizador y ligante empleado, el porcentaje de NO_x eliminado por cantidad de catalizador y la desviación entre los dos resultados obtenidos. A continuación, se construyeron las gráficas factoriales (Figura 11) para identificar los niveles óptimos considerando el criterio de mayor mejor.

Los resultados del análisis de varianza a los resultados muestran que la concentración del TiO₂ es el factor con mayor influencia con un 58%, luego estaría la concentración de ligante con un 17% de influencia y finalmente el tipo de catalizador con un 12% (con un 99% de confianza). El tipo de ligante tuvo una influencia despreciable en los resultados.

Por otro lado, se considera que los valores de % de NO eliminados por los materiales alrededor del 20% son adecuados para la aplicación buscada. De acuerdo a las gráficas factoriales (Figura 11), la mejor combinación de los factores de control es emplear 50 g/L de TiO₂, 2,5% de ligante y usar catalizador en polvo que además es el que tiene el precio más económico.

Tabla 3. Resultados experimentales del estudio realizado. Elaboración propia.

	Rep. 1	Rep. 2	[Cat]/[Binder] (%)	%NOx/[Cat]	Desvest
RUN #1	4,15	4,99	1	0,5	0,6
RUN #2	22,34	17,07	2,5	0,8	3,7
RUN #3	30,96	10,36	5	0,4	14,6
RUN #4	36,41	25,65	1	1,2	7,6
RUN #5	60,32	64,39	2	1,2	2,9
RUN #6	20,55	8,73	0,4	1,5	8,4
RUN #7	54,23	56,09	1	1,1	1,3
RUN #8	0,65	5,53	0,2	0,3	3,5
RUN #9	5,11	3,45	0,5	0,2	1,2

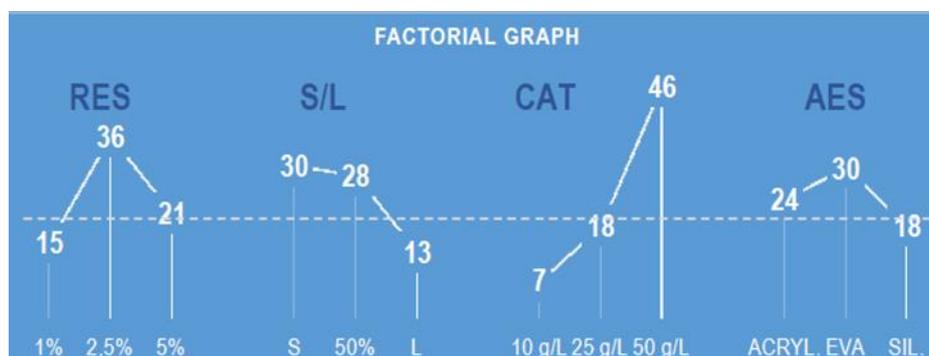


Figura 11. Gráficas factoriales. Elaboración propia.

A continuación, se realizaron ensayos para adaptar esta formulación de base a los distintos potenciales materiales a emplear en la fabricación de la barrera. La sostenibilidad era un criterio importante, pero se incluyeron en el estudio otros materiales para tener una mayor flexibilidad a la hora de localizar potenciales aplicaciones.

Así, se adaptó la formulación para su empleo en madera, hormigón, acero y material polimérico. En la Figura 12 se muestran las imágenes de algunos de los materiales estudiados. Los detalles de estas formulaciones no se presentan en esta comunicación por motivos de confidencialidad. Solamente se muestra en la Figura 13 un resumen de los resultados obtenidos para el recubrimiento fotocatalítico diseñado para madera y que además es transparente porque es el seleccionado para su estudio en la evaluación piloto posterior que se realizará en el marco del proyecto.

SOLUCIÓN PARA TERRAZAS QUE REDUCE CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y RUIDO

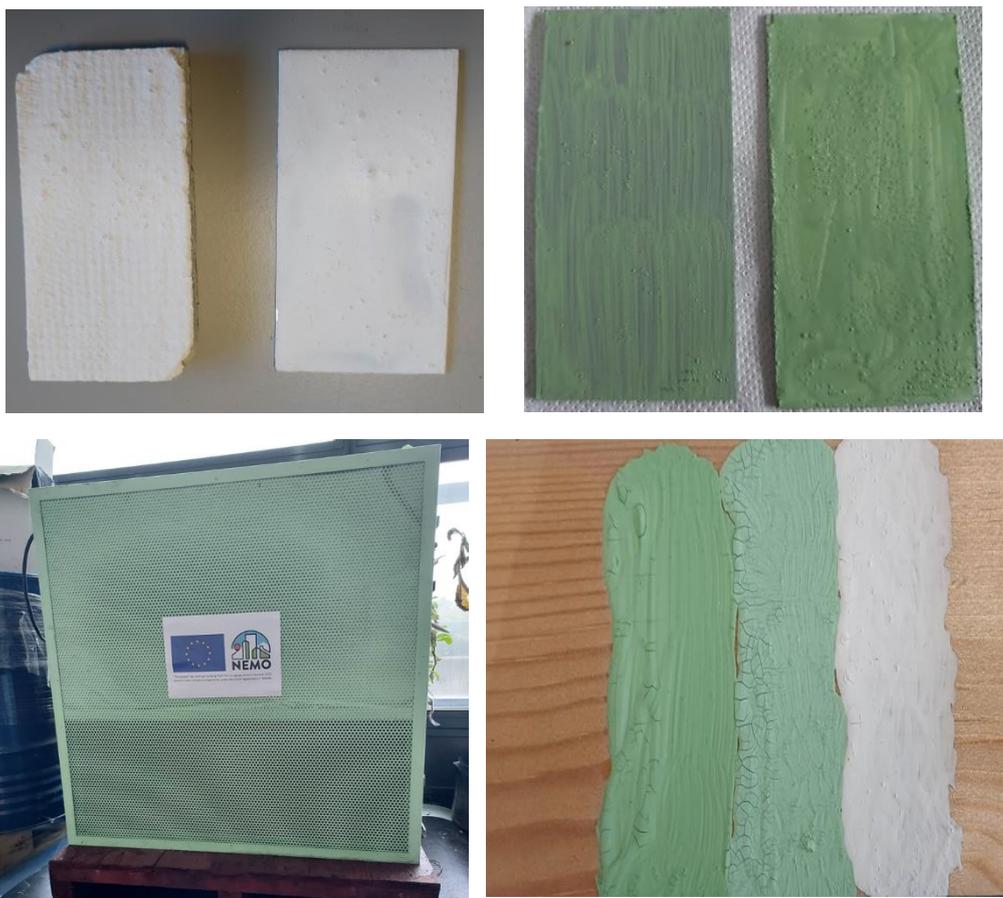


Figura 12. Montaje con las imágenes de algunos de los materiales estudiados. Elaboración propia.

**Formulación
transparente
en madera**

19,2% / 17,2%

Valor medio
18,2%

80% / 77%



Figura 13. Resumen de los resultados del ensayo con la norma ISO 22197-1 al recubrimiento desarrollado para la madera. Elaboración propia.

6.3 Reducción del PM y NO_x. Biofiltro.

El biofiltro consiste en un sistema multicapa:

- Una capa fibrosa que permite la captura del material particulado y además estructura el sistema haciendo de separación entre las otras dos capas.



- Una capa con material absorbente a base de carbón activo que hace de retenedor temporal del NO que absorbe el sistema.
- Una capa con material absorbente a base de sustrato natural que captura de forma muy eficiente el NO₂ capturado por el sistema.
- Una capa vegetal plantada en el sustrato que estructura el suelo y metaboliza los nitratos en los que se convierte el NO₂ capturado.

El biofiltro se estructura de forma de capas consecutivas para maximizar el rendimiento de captura de los contaminantes y para reducir la presencia de cortocircuitos. A continuación, se muestra un resumen de los estudios llevados a cabo para cada capa.

Capa fibrosa

En la se muestran los resultados de los ensayos de captura de PM y de pérdida de carga de varios materiales. Como se puede ver la mayor eficiencia se consigue para la lana de roca, pero también es necesaria una mayor energía para producir el filtrado. De los materiales mostrados el más adecuado parece ser la lana de oveja.

Tabla 4. Resultados de los ensayos realizados a los diferentes materiales estudiados.
Elaboración propia.

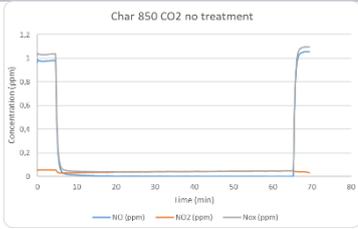
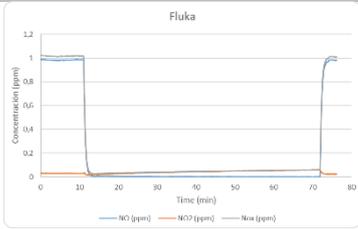
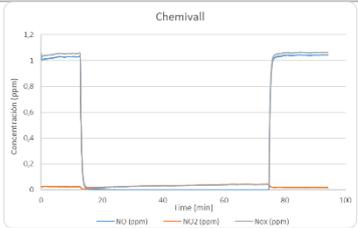
Material	Description	Efficiency (%)		Pressure drop (Pa)*
		PM ₁₀	PM _{2,5}	
Fibra de coco	Fibra obtenida del mesocarpio del coco y empleado normalmente para cultivo hidropónico o hacer sustratos. Muy poroso y duradero.	78	65	1
Lana de oveja	Lana de oveja sin lavar ni peinar. Muy poroso y duradero.	91	75	2
Lana de roca	Lana mineral dispuesta en placas fibrosas	94	79	25
Arena silícea	Sistema alternativo estructurado en partículas en lugar de en fibras	56	44	5

Capa adsorbente

Esta capa se localiza entre una primera capa de material fibroso y el sustrato natural. Se emplea esta capa para capturar el NO que no es absorbible por el sustrato natural. Para seleccionar el material adecuado se estudió la capacidad de captación de NO de un char (producto sólido procedente de la pirólisis) de restos de poda y dos materiales comerciales empleando el procedimiento descrito anteriormente.

Como se puede ver en la Tabla 5, el material que da mejor resultados es el carbón activo comercial número 2. Además, hay que decir que, al encontrarse en forma de pellet, la pérdida de la capa que lo que contiene es muy baja.

Tabla 5. Resultados obtenidos para los materiales adsorbentes estudiados. Elaboración propia.

Carbon active	Particle size	NO elimination (%)	NO ₂ elimination (%)	NO _x elimination (%)	Gráfica del ensayo
Char 850 CO ₂ No tratado	< 1mm	99	26	95	
Carbón activo comercial 1	< 1mm	99	-40	95	
Carbón activo comercial 2	Pellets (Ø3mm)	99	-29	96	

Sustrato natural

La principal función de esta capa es la de capturar el NO₂ contenido en el aire y además servir de sostén para la parte vegetal y microbiota del biofiltro. Para configurar el sustrato se realizaron una serie de ensayos a distintos materiales empleados habitualmente en la preparación de sustratos técnicos. En la **Tabla 6** se muestran los resultados de captación de NO₂ para estos materiales. Entre los factores empleados en la selección de estos materiales estuvo el evitar emplear el uso de musgos procedentes de fuentes consideradas difícilmente renovables.

Tabla 6. Resumen de los resultados de los ensayos realizados a los sustratos. Elaboración propia.

Sustrato	Eficiencia de eliminación NO ₂ (%)	Gráfica del ensayo
Sustrato base 1	98,4%	
Sustrato base 2	94,9%	
Sustrato base 3	98,5%	
Compost FORSU	79,3%	
Sustrato de fibra de coco	71,3%	

Vegetación

Finalmente, el biofiltro dispone de una capa de vegetación plantada en el sustrato que sirve además de para metabolizar los contaminantes absorbidos por el sustrato con fines estéticos. Las especies elegidas se seleccionan atendiendo a su porte, a sus necesidades hídricas y a la localización del biofiltro. Además, para su selección se suele considerar la característica de que sirvan también de alimento o refugio para polinizadores. En la Tabla 7, se muestra un resumen de las especies que se pueden emplear en el diseño de biofiltro.

Tabla 7. Especies vegetales que se pueden emplear en el biofiltro. Elaboración propia.

Especie	Porte	Mantenimiento	Pollinator friendly	Descripción
Cotoneaster sp.	Arbustiva	Poda de limpieza periódica	Si	
Berberis sp.	Arbustiva	Poda de limpieza periódica	Si	
Rosmarinus officinalis L.	Arbustiva	Poda de limpieza periódica	Si	
Thymus sp.	Herbácea	Poda de limpieza periódica	Si	
Bellis sp.	Herbácea	-	Si	
Viola Oradata	Herbácea	-	Si	

7. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de la primera fase del estudio llevada a cabo en el proyecto NEMO en base a los resultados y la discusión realizada se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Se ha diseñado una **barrera acústica** para entornos urbanos que permite albergar un **biofiltro** para captura de contaminación. El material de la barrera que ha mostrado mejores resultados es una combinación de paneles de madera perforados, lana de roca y listones superficiales colocados adecuadamente. De esta forma se puede conseguir una reducción de 3 dBA en el lado opuesto de la calzada. Además, la barrera se ha diseñado para conseguir su integración en el entorno, teniendo en cuenta la seguridad de los vehículos y los viandantes y suficiente para resistir las cargas dinámicas a las que estará sometida.

SOLUCIÓN PARA TERRAZAS QUE REDUCE CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y RUIDO

- Se ha desarrollado un recubrimiento fotocatalítico adecuado para el material empleado, la madera, que muestra una actividad aceptable alrededor del 18% y que además es transparente respetando la imagen del material original.
- Por otro lado, también se ha mostrado como es factible crear un biofiltro asimilable a jardín urbano que es capaz de capturar los principales contaminantes con tres capas de materiales seleccionados e incorporando las especies vegetales adecuadas y adaptadas al entorno seleccionado.
 - **Material fibroso.** Esta capa aporta propiedades estructurales para la separación del resto de los materiales y también permite la captura eficiente de las partículas ($PM_{2,5}$) presentes en el aire. Considerando la sostenibilidad y la eficiencia, de los materiales posibles se seleccionó la lana de oveja.
 - **Material adsorbente.** Su principal funcionalidad es la de capturar el NO presente en el aire. Se pueden encontrar en el mercado materiales que se pueden emplear para esta función en el biofiltro.
 - **Sustrato natural.** Esta capa sirve para capturar el NO_2 arrastrado por el aire contaminado y como sostén para la vegetación.
 - La **vegetación** se selecciona siguiendo criterios estéticos y técnicos que se adecuan a las condiciones de la zona climática en la que está, al riego disponible y por supuesto permitiendo el metabolismo de los nitratos capturados, el mantenimiento de la microbiota del suelo y con criterios para fomentar la biodiversidad a nivel local, todas las especies son beneficiosas para polinizadores.

Por último, comentar que el proyecto trabaja para el desarrollo de un piloto para una aplicación del sistema que se ha considerado muy interesante: adaptar la barrera para su integración en terrazas de hostelería.



Figura 14. Recreación de una potencial aplicación para la barrera NEMO. Elaboración propia.

8. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n.º 860441.

Además, los autores quieren agradecer a PROQUICESA su colaboración en este proyecto.

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] European Environmental Agency (EEA) & World Health Organization (WHO).
- [2] https://www.who.int/airpollution/data/AP_joint_effect_BoD_results_May2018.pdf
- [3] WHO, 2018, WHO environmental noise guidelines for the European region, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen accessed 7 December 2018.