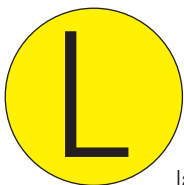


# Pavimentos sostenibles

JAVIER R. VENTOSA

En la lucha contra la contaminación urbana cobran fuerza los pavimentos tratados con materiales fotocatalíticos, cuya exposición a la luz solar produce una reacción que reduce los niveles del óxido de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), principal causa del aire contaminado. Los ensayos de laboratorio indican un nivel de neutralización de este contaminante de hasta un 50% en condiciones controladas. Actualmente se desarrollan en ciudades españolas varios proyectos de I+D+i para contrastar la eficacia descontaminante de estos materiales en condiciones reales, con vistas a su implantación en nuestras calles.



La contaminación urbana es uno de los principales problemas de las grandes ciudades españolas. Los gases contaminantes, procedentes del tráfico, las emisiones de  $\text{CO}_2$  de la industria y las partículas en suspensión, convergen especialmente en las ciudades, donde la arquitectura vertical genera un efecto pantalla que, ayudado por la falta de lluvias y vientos, impide su dispersión. La elevada concentración de estos gases, particularmente del  $\text{NO}_x$ , es muy perjudicial para la salud humana, por lo que las ciudades afectadas tratan de reducir los elevados niveles de contaminación con medidas cada vez más drásticas.

La investigación juega un papel destacado en la lucha contra estas emisiones. Mientras la industria automovilística fabrica coches cada vez más ecológicos, el sector de la pavimentación desarrolla productos descontaminantes para calzadas y aceras basados en la fotocatalisis, una reacción química provocada por la acción del sol sobre un catalizador (dióxido de titanio, o  $\text{TiO}_2$ ) que reduce las concentraciones de óxido de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). Se trata de una tecnología con alto potencial descontaminante, que ofrece grandes posibilidades en un país con tanto sol como España. Como rasgo característico destaca su versatilidad, ya que se

puede aplicar sobre diferentes superficies urbanas: pavimentos sobre los cuales se extiende una lechada con  $\text{TiO}_2$ , rodaduras pulverizadas sobre capas existentes, calzadas peatonales, paramentos de hormigón y revestimiento de edificios.

**Aunque la técnica fotocatalítica es incipiente en España, los grandes ayuntamientos están muy interesados en su potencial descontaminante**

Su implantación todavía es limitada en España, con actuaciones puntuales a pequeña escala en las dos urbes más contaminadas (Madrid y Barcelona) y experiencias más limitadas en otras ciudades. Pese a su relativa novedad, esta tecnología verde atrae cada vez más la atención de los grandes ayuntamientos, encargados de implementar las políticas medioambientales urbanas, así como de colegios y estudios de arquitectura. A ello contribuye la labor difusora de la Asociación Ibérica de la Fotocatalisis (AIF), que agrupa a los fabricantes del sector.

Reflejo de este interés son los ensayos que actualmente se desarrollan en varias ciudades españolas con objeto de despejar incógnitas sobre el comportamiento de los materiales fotocatalíticos en condiciones reales (rendimiento real en la eliminación de  $\text{NO}_x$ , costes de mantenimiento, condiciones óptimas de uso, posible generación de subproductos con efectos adversos, etc.). Con ello se pretende averiguar si esta tecnología es viable para su aplicación a gran escala en vías urbanas. Estos ensayos forman parte de proyectos de I+D+i subvencionados por programas de lucha contra la contaminación urbana de la UE. Entre ellos destacan los realizados en el marco del programa LIFE (instrumento financiero de la UE dedicado al medio ambiente). Se trata de iniciativas que aplican distintas metodologías pero tienen objetivos similares, razón por la cual sus responsables mantienen contactos para identificar sinergias.

De los proyectos en marcha, LIFE MINOX-STREET es el que se arrancó antes, ya que pertenece a la convocatoria LIFE 2012. El proyecto, con vigencia hasta 2017 y presupuesto de 1,9 M€, lo desarrolla un consorcio de empresas y entidades públicas integrado por Ineco como coordinador y por el Centro de Estudios y Experimentación de la Obra Pública (Cedex), el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat) y el Ayuntamiento de Alcobendas (Madrid) como socios. Su objetivo es doble: por un lado, evaluar experimentalmente, primero en ensayos de laboratorio y después en ambiente real, la capacidad y eficacia reales de los materiales fotocatalíticos comerciales para reducir las concentraciones ambientales de óxido de nitrógeno; y por otro, desarrollar un modelo matemático predictivo que permita conocer la

capacidad de dichos materiales para reducir la concentración de  $\text{NO}_x$  en diferentes entornos urbanos, antes de su implementación, posibilitando así la mejora de las estrategias de calidad del aire.

Hasta ahora, Ciemat y Cedex han realizado diversos ensayos en laboratorio y en pista de ensayos para caracterizar las propiedades mecánicas, de durabilidad y fotocatalíticas de tres tipos de materiales: mezclas bituminosas, hormigones y pinturas. Actualmente Ciemat desarrolla la fase de implementación, consistente en la aplicación de los materiales seleccionados como óptimos en tres escenarios urbanos de Alcobendas (mezclas bituminosas en calzada, hormigón en aceras y pintura sobre fachadas), así como la monitorización de su comportamiento ambiental y el seguimiento de su propia evolución, habiendo concluido ya la fase de calzada. El objetivo de estos ensayos en condiciones reales es analizar y valorar el verdadero impacto ambiental que cabe esperar del uso de dichos materiales, así como parametrizar su acción para poder desarrollar y luego validar el modelo predictivo. También servirán para realizar un estudio del impacto socioeconómico de este tipo de actuaciones. Como producto final, se elaborará una guía para el uso de materiales fotocatalíticos orientada a administraciones competentes en la gestión de la calidad del aire urbano.

## Empresas privadas, entidades públicas y centros de investigación colaboran para demostrar la viabilidad de la técnica fotocatalítica

### La fotosíntesis de las superficies urbanas

*La fotocatalisis, conocida desde los años 50 en Japón, es un proceso químico consistente en la aceleración de una reacción fotoquímica mediante la combinación de un catalizador y las radiaciones ultravioleta. Como la fotosíntesis de las plantas, que transforma el dióxido de carbono en oxígeno, la fotocatalisis puede transformar los óxidos de nitrógeno, principal causa de la contaminación urbana, en un producto inocuo para la salud humana. La reacción se produce cuando la luz solar incide sobre un catalizador (dióxido de titanio, o  $\text{TiO}_2$ ), aplicado sobre un pavimento urbano, lo que produce la oxidación de los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ) y de azufre ( $\text{SO}_x$ ) y su conversión en sales inorgánicas comunes (nitratos, sulfatos y carbonatos), que quedan depositados como sólidos en el pavimento. Cuando llueve o se baldean las calles son lavados fácilmente y llegan hasta las estaciones depuradoras de aguas residuales, donde son eliminados. Estos materiales también tienen propiedades limpiadoras.*

Otro proyecto, LIFE EQUINOX, de la convocatoria de 2012, es probablemente el más ambicioso ya que propone una demostración a gran escala y en condiciones reales de la eficacia de un producto fotocatalítico concreto sobre un área de más de 80.000  $\text{m}^2$  de la ciudad de Madrid. Este proyecto, con un presupuesto de 1,7 M€ (la mitad lo aporta el programa LIFE), es coordinado por la Fundación Cartif y tiene como socios a las empresas Elsan y Repsol y al Ayuntamiento de Madrid. Su punto de partida es una investigación previa (proyecto Fénix), en la que se ha elaborado la formulación de dióxido de titanio a aplicar en el ensayo, que en laboratorio ha arrojado resultados alentadores de eliminación de  $\text{NO}_x$  ("entre un 20 y un 30%") y de durabilidad.

El área seleccionada para la demostración es un cuadrilátero formado por calles y plazas situado en el distrito de Chamberí, que hace las veces de micro-ciudad. Esta zona ha sido sensorizada con una red de 200 puntos de control de contaminación y estaciones de vigilancia atmosférica para recabar información sobre la ca-

lidad del aire. Para su comparación, también se han sensorizado zonas espejo cercanas, con características similares pero en las que no se aplicará el tratamiento. La demostración se llevará a cabo el próximo abril, mediante el esprayado del tratamiento fotocatalítico sobre el pavimento, y posteriormente, hasta 2017, se analizará su impacto sobre la concentración media de NO<sub>x</sub> en la zona, que se espera equiparar a los ensayos de laboratorio. El programa incluye una evaluación ambiental del tratamiento, así como análisis de sus ciclos de vida y de coste, con vistas a su eventual comercialización.

También a la convocatoria LIFE 2013 pertenece LIFE PHOTOSCALING, proyecto desarrollado por tres organismos públicos (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, del CSIC, como coordinador, y ETS de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid y Ayuntamiento de Madrid como socios), con un presupuesto de 1,7 M€ y periodo de vigencia hasta 2019. Este proyecto sostiene que la escala de ensayos

### **Fabricación de ecoasfalto**

*Además de la fotocatalisis, también se ensayan otras técnicas para fabricar pavimentos urbanos sostenibles. Es el caso de LIFE SURE, proyecto LIFE que realizan Sacyr, Cedex y Ayuntamiento de Madrid hasta 2017. Su objetivo es el desarrollo de una nueva tecnología, el reciclado templado con emulsión a tasa total (RTE), que permite reutilizar todo el material procedente del fresado de carreteras para fabricar una nueva mezcla a una temperatura inferior a 100%, apta para asfaltar vías urbanas, y menos contaminante que las mezclas tradicionales. Ofrece ventajas económicas (material reutilizado al 100%, no requiere áridos ni ligantes, mayor vida útil), sociales (prestaciones similares, mejores condiciones de trabajo, rápida apertura al tráfico) y medioambientales (menos emisiones de CO<sub>2</sub> al reducirse la temperatura de fabricación, ahorro energético, reducción de residuos) respecto a las mezclas en caliente.*

*Como parte del programa, Sacyr desarrolló en 2014 una planta portátil de fabricación de mezclas bituminosas templadas procedentes del reciclado y en el verano de 2015, una vez fabricadas las mezclas RTE, se extendieron en dos tramos de pruebas (pista de ensayos del Cedex y calle Méndez Álvaro, de Madrid) para auscultar su comportamiento. Según los primeros resultados, el nuevo ecoasfalto tiene prestaciones similares a las mezclas en caliente. Actualmente se continúa con la auscultación de los tramos de ensayo y se analizan los ciclos de vida y de costes del ecoasfalto, que en poco tiempo podría dar el salto de la I+D al mercado.*

*El Ayuntamiento madrileño es socio de otra iniciativa de la convocatoria LIFE 2015, el proyecto ColdRAP100, que investigará sobre la rehabilitación en frío de firmes bituminosos empleando el 100% del material asfáltico recuperado.*

en laboratorio con la tecnología fotocatalítica ya está consolidada y propone dar un salto a la escala real para demostrar su validez en términos de eficiencia, durabilidad y efectos no deseados, como forma de despejar las dudas que esta tecnología aún ofrece para su implantación general. Para ello establece una metodología a escala de planta piloto con dos objetivos: por un lado, desarrollar instrumentos para el escalado de los procesos del laboratorio a la aplicación real y, por otro, crear una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para la evaluación integral de cada solución fotocatalítica, que ayude a implantar esta tecnología a gran escala.

Próximamente arrancará la fase de ensayos, para lo cual ya se han construido, en instalaciones del CSIC, dos plataformas de demostración a escala de planta piloto, que incluyen bancos de pruebas con losas y probetas, donde se testarán diferentes materiales fotocatalíticos en condiciones reales simuladas. Estos materiales se han seleccionado a partir de una convocatoria pública del Ayuntamiento de Madrid entre fabricantes de productos fotocatalíticos, a la cual optaron 19 empresas con 26 productos (emulsiones, lechada de cemento, material en masa y otros), de los que se seleccionaron ocho. Los resultados permitirán desarrollar instrumentos de evaluación (indicadores de validación, protocolo de ensayos, base de datos y modelo ambiental) y una herramienta de soporte a la toma de decisiones, que servirá como criterio de conformidad de cada producto a escala real. La etapa final prevé implementar en una calle de Madrid el material considerado óptimo por la herramienta, lo que permitirá validarla en condiciones reales.

### **Más ensayos comunitarios**

Fuera de la convocatoria LIFE, el Ayuntamiento de Madrid, a través de su Departamento de Apoyo Técnico e Innovación, participa en otro proyecto, cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (Feder) de la UE, consistente en la aplicación de productos fotocatalíticos en un entorno urbano. Los ensayos, iniciados a finales de 2014 en varias calles del distrito de Villaverde, han incluido la aplicación de productos fotocatalíticos (emulsión acuosa, baldosas y adoquines para aceras y calzadas, y pintura para un túnel, actuaciones ejecutadas por la empresa Alvac), así como campañas de monitorización y medición a cargo del Instituto Eduardo Torroja, la Fundación Cartif y las empresas Eptisa y Servicios de Ingeniería. Actualmente se ultiman las fases de evaluación de la eficiencia y durabilidad de los materiales, así como su incidencia real sobre el aire ambiente. Como objetivo final, está previsto definir las prescripciones técnicas de los materiales ensayados para incorporarlas, en su caso, a los pliegos de prescripciones técnicas generales del Ayuntamiento de Madrid, que son de aplicación a todas las obras municipales.

---

Todos estos proyectos aún están en fase de desarrollo, por lo que aún no existen resultados definitivos sobre la eficacia real de la fotocatalisis en entornos urbanos. No obstante, otras iniciativas comunitarias ya concluidas, como el proyecto Light2CAT, subvencionado por el 7º Programa Marco de la UE y realizado en varias ciudades europeas, entre ellas Valencia, reflejan un alto rendimiento de los materiales fotocatalíticos en condiciones reales. El proyecto piloto de Valencia, liderado por la fundación municipal InnDEA entre 2014 y 2015, ha consistido en la pavimentación de aceras de una céntrica calle mediante baldosas fabricadas con cementos fotocatalíticos y la posterior medición del aire ambiente antes y después de las obras. Los resultados, ya publicados, reflejan el éxito del programa piloto: se han alcanzado importantes reducciones de los niveles de monóxido de nitrógeno (72%), dióxido de nitrógeno (28,4%) y otros óxidos de nitrógeno (56,6%) en el aire de la zona de ensayos. Aun cuando haya sido un ensayo a pequeña escala, son resultados que mueven al optimismo.

### Otras experiencias

En paralelo a estos ensayos comunitarios, en varias ciudades se han puesto en marcha experiencias a pequeña escala con esta tecnología. Una de las más singulares es el proyecto de isla fotocatalítica, que prevé la creación de un entorno urbano de edificios en el que todos los materiales de su superficie (calzadas, aceras, fachadas y cubiertas) están tratados con productos fotocatalíticos que contribuyen al unísono a neutralizar el  $\text{NO}_x$ . Esta iniciativa, promovida por la AIF y aún en desarrollo, se realiza a nivel práctico en La Rosilla, en el Ensanche de Vallecas (Madrid), y se ha estudiado a nivel teórico en una manzana del Eixample barcelonés.

---

Precisamente los ayuntamientos de Madrid y Barcelona, ciudades con zonas que superan los niveles permitidos de  $\text{NO}_x$ , son los más activos de España en el estudio y aplicación a pequeña escala de materiales fotocatalíticos, cuyo empleo ya recomiendan en sus respectivos planes de calidad del aire. En Madrid, el Ayuntamiento ha realizado desde 2008 media docena de ensayos sobre calzadas de calles aprovechando la operación asfalto y actualmente se ultima el primer test a gran escala en Villaverde. También existen iniciativas privadas de uso de estos materiales en fachadas de hoteles y en lonas para revestimientos de edificios en rehabilitación.

El Ayuntamiento de Barcelona ha promovido varias pruebas piloto en instalaciones municipales y en octubre de 2014 dio un gran paso para consolidar esta tecnología al anunciar la adopción de productos fotocatalíticos en todos los pliegos de licitación de pavimentos de la ciudad. La primera aplicación a escala real se produjo en 2010 con la pavimentación de la plaza de Can Rosès mediante losetas tratadas con  $\text{TiO}_2$ . Otras actuaciones incluyen la aplicación de pavimentos y tratamientos fotocatalíticos en varias calles (avenidas Diagonal y Gran Vía de las Corts, vías adyacentes al mercado de Sants), en el muro de Fabra y Puig o en la fachada del edificio Leitat, ya ejecutados, así como en la reforma del puente de Sarajevo, en ejecución, y en otras calles y túneles de la ciudad.

En el resto de España existen otras experiencias con materiales fotocatalíticos, básicamente el revestimiento de fachadas de edificios en la Comunidad Valenciana (Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Jaime I de Castellón), País Vasco (sede del Grupo Bilbu e iglesia Iesu en San Sebastián, del arquitecto Rafael Moneo), Málaga (edificios de las calles Larios y Barroso, edificio Sindicatos e iglesia de San José Obrero), Sevilla (edificio de Seguros Santa Lucía) y A Coruña (cubierta del establecimiento Ikea), entre otros. ■