



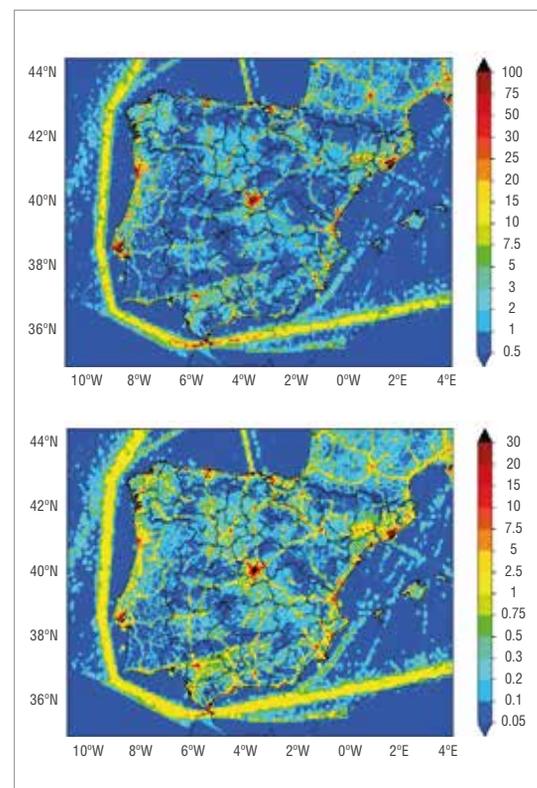
Dr. Jaume Vila Gómez  
Investigador senior - I+D en Kheme Chemical S.L.

**La oxidación fotocatalítica** es capaz de degradar un amplio rango de contaminantes y transformarlos en productos inocuos para la salud con la única ayuda de la luz, ya sea artificial o natural. En consecuencia, los materiales fotocatalíticos, como el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), son muy interesantes para el desarrollo de materiales de construcción como adoquines, pavimentos, materiales cerámicos, vidrios, pinturas, etc., con funciones autolimpiantes, descontaminantes o antibacterianas. De este modo, mediante la fotocatalisis se pueden tratar aguas residuales o degradar contaminantes atmosféricos como los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) y los compuestos orgánicos volátiles ( $\text{COV}_s$ ).

La contaminación atmosférica tiene un doble efecto negativo. Por una parte, están las consecuencias lógicas sobre la salud y el medioambiente, pero, por otra, también hay una serie de consecuencias económicas que no pueden ser obviadas. Respirar aire limpio sin riesgo para la salud debería ser un derecho fundamental. El principal riesgo para la población se encuentra en las ciudades, debido al tráfico vehicular y la calefacción de los hogares, pero también hay riesgos originados por las industrias, centrales térmicas, refinerías, puertos y aeropuertos (Figura 1).

↑ Calle con adoquines de concreto bicapa con actividad fotocatalítica.  
PREFABRICADOS RODA

→ Figura 1. Arriba: Emisiones de Óxido Nítrico ( $\text{NO}$ ) (kg/h) en España, 5:00 pm 6 de marzo de 2019. Abajo: Emisiones de Dióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) en España, 5:00 pm 6 de marzo de 2019.  
BARCELONA SUPERCOMPUTING CENTER



**Consecuencias sobre la salud y medioambientales:** la contaminación atmosférica causa y agrava enfermedades respiratorias y vasculares, así como algunos tipos de cáncer. Por ejemplo, en España la contaminación está directa o indirectamente relacionada con casi 20.000 muertes prematuras cada año<sup>1</sup>. Los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) son emitidos a la atmósfera como consecuencia de procesos de combustión, en particular, actividades industriales y de tráfico vehicular. Son prácticamente los principales responsables del smog fotoquímico, una mezcla de productos químicos peligrosos derivados de la interacción de la luz solar con contaminantes atmosféricos. Los NO<sub>x</sub>, juntamente con los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), generan las lluvias ácidas y provocan enfisemas y bronquitis. Además, son capaces de afectar seriamente los procesos metabólicos de las plantas. Por si todo esto fuera poco, con la ayuda de oxígeno y luz solar están implicados en la formación de ozono, el cual es extremadamente útil e importante en la capa inferior de la estratosfera, ya que bloquea la fracción peligrosa de la luz UV solar, pero que en las capas más bajas de la atmósfera habitadas por los seres vivos resulta extremadamente tóxico<sup>3-7</sup>.

**Consecuencias económicas:** los niveles actuales de contaminación son directamente responsables de gastos relacionados con ingresos hospitalarios y bajas médicas. De acuerdo con Ecologistas en Acción, Confederación de Ecologistas de España, este costo puede alcanzar los 46.000 millones de euros anuales en España, lo que supone alrededor del 4,7% del PBI<sup>2</sup>. Otras estimaciones de costos económicos del impacto sobre la salud causado por el ozono y partículas en suspensión reportaron entre 276.000 y 790.000 millones de euros en la Unión Europea, lo que supone entre un 3 y un 9% de su PBI.

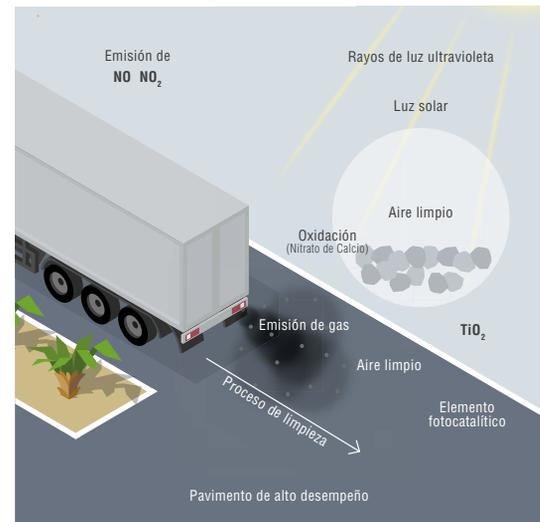
Así pues, para afrontar estos problemas es necesario adoptar una estrategia general que implique, por un lado, la reducción de la generación de contaminantes desde sus fuentes. Pero, por otro, también es posible degradar agentes contaminantes allí donde habita la gente, es decir, en los ambientes urbanos.

El dióxido de titanio, TiO<sub>2</sub>, es el material fotocatalítico más empleado en la actualidad. Se trata de un material semiconductor comúnmente utilizado como pigmento blanco en pinturas, cosméticos y aditivos alimentarios. De todas las fases cristalinas del TiO<sub>2</sub>, la anatasa es la más empleada para el propósito que nos ocupa en el presente artículo, ya que presenta la mayor actividad fotocatalítica<sup>3</sup>. El único inconveniente es que no absorbe la luz visible, únicamente la ultravioleta, si bien esto está siendo solucionado en los últimos tiempos<sup>4</sup>.

El uso de materiales fotocatalíticos en entornos urbanos comenzó en los primeros años de la década de los 90. El TiO<sub>2</sub> puede ser integrado en el cemento y, por tanto, en el concreto, o puede ser empleado como parte de la formulación de recubrimientos. Así, ejemplos de materiales de construcción fotocatalíticos que contienen

TiO<sub>2</sub> son: morteros y concretos, losetas exteriores, adoquines, barreras de protección acústica etc. En general, estructuras de concreto en calles, plazas y autopistas ofrecen una superficie que puede ser aprovechada para implementar fotocatalizadores activos y reducir la concentración de gases contaminantes en las proximidades de la fuente de emisión, previniendo así su difusión al medioambiente (Figura 2).

→ Figura 2. Proceso de descontaminación fotocatalítica en ambientes urbanos. JAUME VILA GÓMEZ



El uso de TiO<sub>2</sub> en combinación con materiales cementosos y otros materiales de construcción ha demostrado ser efectivo en la eliminación de contaminantes atmosféricos. Así pues, se ha desarrollado y probado un gran número de productos comerciales. Sólo en Japón, más de 50.000 m<sup>2</sup> estaban ya recubiertos con materiales fotocatalíticos<sup>5-6</sup>. Estos materiales pueden ser clasificados como se establece en la Tabla 1.7:

↓ Tabla 1. Clasificación de los materiales de construcción fotocatalíticos<sup>8</sup>. JAUME VILA GÓMEZ

Aplicaciones horizontales de exterior	Aplicaciones verticales de exterior	Aplicaciones interiores
Pavimentos de concreto	Pinturas	Pinturas
Adoquines de concreto	Recubrimientos de acabado, yesos y otros materiales de acabado a base de cemento	Paneles de concreto
Recubrimientos para pavimentos y carreteras (pinturas, morteros autonivelantes, etc.)	Encofrados permanentes	Pavimentos de concreto
Tejas y paneles	Bloques de mampostería	
Azulejos a base de cemento	Elementos acústicos	
	Mobiliario urbano	

La rugosidad de los materiales a base de cemento es una ventaja cuando su objetivo es la eliminación de contaminantes gaseosos<sup>8</sup>, especialmente los gases ácidos como los NO<sub>x</sub>. En este caso, los productos ácidos de la reacción fotocatalítica (ácido nitroso y ácido nítrico) son neutralizados en el medio alcalino presente en el concreto para ser posteriormente eliminados en forma de nitritos y nitratos. Es más, los contaminantes gaseosos ácidos se ven parcialmente absorbidos por la superficie alcalina del material cementoso, lo que aumenta el tiempo de contacto de los reactantes en la superficie fotocatalítica.



↑ Foto 1. Adoquines de concreto con actividad fotocatalítica.  
CORTESÍA PREFABRICADOS RODA. ESPAÑA

La durabilidad de estos materiales de construcción fotocatalíticos ha sido evaluada durante los últimos años. Staub de Melo<sup>8</sup> *et al.* encontraron una “considerable” pérdida en la conversión de NO<sub>x</sub> de alrededor del 50% en adoquines, un año después de su colocación. Sin embargo, el lavado de estos adoquines consiguió reactivar su capacidad descontaminante<sup>9</sup>. Agentes externos, como la suciedad y la abrasión resultan determinantes en la pérdida de eficiencia de los adoquines<sup>9</sup>. Por tanto, cuando estos bloques son colocados en carreteras con tráfico vehicular, la formulación del concreto debe ser cuidadosamente estudiada, con el fin de que resistan no solo la compresión, sino también la abrasión. Además, se deben desarrollar métodos para determinar si las nanopartículas de TiO<sub>2</sub> pueden ser liberadas a la atmósfera por efecto de la abrasión<sup>9</sup>.

Otra fuente de pérdida de actividad fotocatalítica a lo largo del tiempo en materiales a base cemento es la carbonatación<sup>12</sup>. La exposición del concreto a la atmósfera puede ocasionar la pérdida de alcalinidad de la superficie de este y, además, la presencia de TiO<sub>2</sub> puede afectar a la velocidad de la carbonatación<sup>11</sup>. Por otra parte, la propia carbonatación induce cambios que pueden afectar a la fotoactividad del TiO<sub>2</sub> agregado al material. Este efecto ha sido analizado en diferentes estudios en los que se ha observado un descenso en la actividad fotocatalítica en morteros de laboratorio. La explicación dada en estos estudios ha sido que la carbonatación obstruye los poros superficiales del mortero, impidiendo el contacto entre el TiO<sub>2</sub>, por una parte, y la luz y los gases contaminantes que se pretende degradar, por la otra<sup>4,12</sup>.

Para concluir, los materiales de construcción fotocatalíticos son una realidad, más que una promesa. Su uso, ampliamente extendido, unido a otras actuaciones, puede suponer un importante impulso a la reducción de la contaminación atmosférica. Sin embargo, debe realizarse un esfuerzo adicional para mejorar la durabilidad de su actividad fotocatalítica y para evitar cualquier posibilidad de liberación de nanopartículas al ambiente. En este sentido, de entre los materiales fotocatalíticos de construcción, aquellos realizados a base de cemento, como los elementos de concreto prefabricado, presentan la tecnología más factible, ya que las nanopartículas de TiO<sub>2</sub> se encuentran efectivamente retenidas en la masa de concreto y, por otra parte, tienden a formar agregados de mayor tamaño y, por tanto, no respirables en caso de liberación al ambiente.



↑ Foto 2. Iglesia Dives in Misericordia. Roma, Italia.  
WIKIPEDIA

## Referencias

1. EU Commission – Environment DG, 2005: CAFE CBA: Baseline Analysis 2000 to 2020. [http://ec.europa.eu/environment/archives/cafec/activities/pdf/cba\\_baseline\\_results2000\\_2020.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/cafec/activities/pdf/cba_baseline_results2000_2020.pdf)
2. Ecologistas en Acción, 2011 report: “La calidad del aire en el Estado español durante 2011”.
3. J. Chen, C.S. Poon. Photocatalytic construction and building materials: From fundamentals to applications. *Building and Environment* 44 (2009) 1899-1906.
4. A. Folli, J.Z. Bloh, D.E. McPhee. Band structure and charge carrier dynamics in (W,N)-codoped TiO<sub>2</sub> resolved by electrochemical impedance spectroscopy combined with UV-vis and EPR spectroscopies. *Journal of Electrochemical Chemistry*, 780 (2016) 367-372.
5. L. Osburn. Literature review on the application of titanium dioxide reactive surfaces on urban infrastructure for depolluting and self-cleaning applications. 5th Post Graduate Conference on Construction Industry Development. Bloemfontein, South Africa, 16-18 March 2008, p.11.
6. M. Kaneko, I. Okura. *Photocatalysis: Science and Technology*. Kodansha, 2002.
7. L. Cassar, A. Beeldens, N. Pimpinelli, G. Guerrini. Photocatalysis of cementitious materials. *Proceedings of the international RILEM symposium on photocatalysis, environment and construction materials – TDP 2007*, Florence. RILEM Publications, Bagneux, 131-143.
8. J.V Staub de Melo, G. Trichês, P.J.P. Gleize, J. Villena. Development and evaluation of the efficiency of photocatalytic pavement blocks in the laboratory and after one year in the field. *Construction and Building Materials* 37 (2012) 310-319.
9. M.M. Hassan, H. Dylla, L.N. Mohammad, T. Rupnow. Evaluation of the durability of titanium dioxide photocatalyst coating for concrete pavement. *Construction and Building Materials* 24 (2010) 1456-1461.
10. M. Lackhoff, X. Prieto, N. Nestle, F. Dehn, R. Niessner. Photocatalytic activity of semiconductor-modified cement-influence of semiconductor type and cement ageing. *Applied Catalysis B: Environmental* 43 (2003) 205-216.
11. I.K. Konstantinou, T.A. Albanis. TiO<sub>2</sub> assisted photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous solution: kinetic and mechanistic investigations – A review. *Applied Catalysis B* 49 (2004) 1-14.
12. M.V. Diamanti, F. Lollini, M.P. Pedferri, L. Bertolini. Mutual interactions between carbonation and titanium dioxide photoactivity in concrete. *Building and Environment* 62 (2013) 174-181. 

## ¿Qué es la Hoja de Ruta FICEM?



La Hoja de Ruta FICEM es el compromiso de la industria cementera Latinoamericana, en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> hacia una economía baja en carbono y la promoción del uso del cemento, como solución a las necesidades de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático.

### OBJETIVO 1

**Aportar a los objetivos mundiales** para el desarrollo sostenible **ODS y COP 21**, los objetivos globales de la Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento (**WBCSD**) y los **objetivos regionales** para enfrentar el **cambio climático**.

### OBJETIVO 3

**Determinar el potencial de reducción de CO<sub>2</sub> por país y planta**, basado en la eficiencia energética e innovación para la producción de Clinker y Cemento en Latinoamérica.

### OBJETIVO 5

**Estandarizar y facilitar** la elaboración de las Hojas de Ruta por País, para lograr cumplir los **requerimientos de Mitigación y Adaptación** de acuerdo a las oportunidades y necesidades **locales**.



### OBJETIVO 2

**Construir la línea base de emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria regional**, mediante la implementación de un sistema para la Medición, Reporte y Verificación FICEM (**MRV FICEM**), usando la data reportada en el protocolo **The Getting Numbers Right (GNR)**.

### OBJETIVO 4

**Identificar las acciones** para implementar el potencial de **reducción de CO<sub>2</sub>** en nuestro ciclo de vida y **posicionar al cemento** como el material más **resiliente** para las necesidades de **adaptación al cambio climático**.

### OBJETIVO 6

**Posicionar a FICEM como referente** de la industria para facilitar diálogos y negociaciones asociadas al cambio climático en nuestros países.

**Posicionando al cemento como material líder en la construcción resiliente**

Federación Interamericana del Cemento  
**FICEM**

#### Contáctenos:

 Calle 118 # 19 - 52 | Bogotá, Colombia  
 Tel: +57 1 6582978  
 Correo: [ntriana@ficem.org](mailto:ntriana@ficem.org)