



LA MANZANA VERDE



EVALUACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE NO_x UTILIZANDO MATERIALES FOTOCATALÍTICOS COMERCIALES.

PROYECTO LifeMinox-Street (UE)

Benigno Sánchez Cabrero



LA MANZANA VERDE



El País: 03/11/2016

“Restricciones de tráfico por contaminación en Madrid”



La Vanguardia: 16/11/2016

“Barcelona y Madrid, siempre al borde de la alerta por contaminación”



The Guardian: 21/11/2016

“High court gives ministers deadline for tougher air pollution plan” (UK)





→ Proyecto LifeMinox-Street

Life12 ENV/ES/000280

Presupuesto total: 1.912.619€ (Contribución UE : 46%)



Beneficiarios:

- **INECO:** Ingeniería y Economía del Transporte, SA (Coordinador)
- **CIEMAT:** Centro Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas; Departamentos de Energía (Grupo FOTOAIR) y Medioambiente (Colaborador mayoritario)
- **CEDEX:** Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
- **Alcobendas:** Ayuntamiento

Madrid





→ Proyecto LifeMinox-Street: Acciones del proyecto

Estudio de mercado



Elección de materiales fotocatalíticos comerciales para su ensayo

- Pavimentos bituminosos (calzadas)
- Pavimentos de hormigón (aceras)
- Pinturas (fachadas)



Ensayos mecánicos y de durabilidad de pavimentos

Ensayos de actividad fotocatalítica y envejecimiento



Ensayo acelerado de firmes a escala real

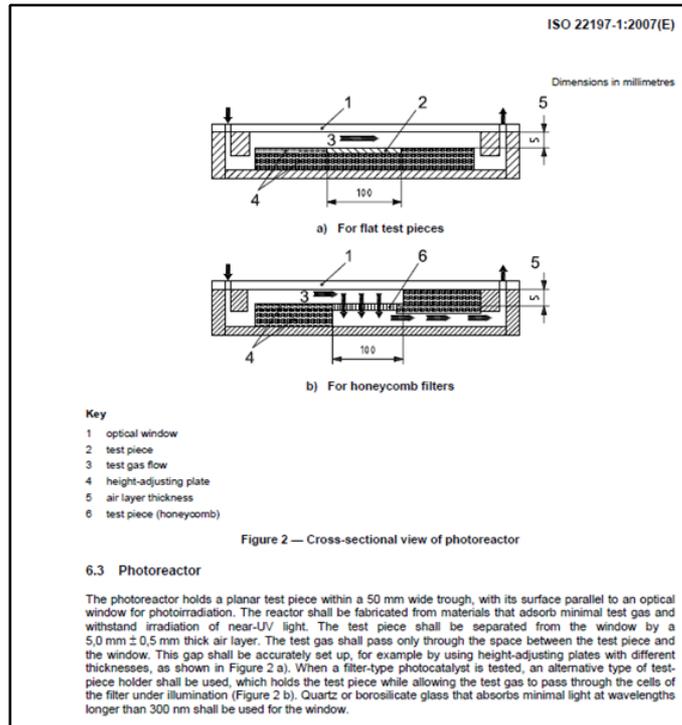


Selección de materiales para su implementación en calle



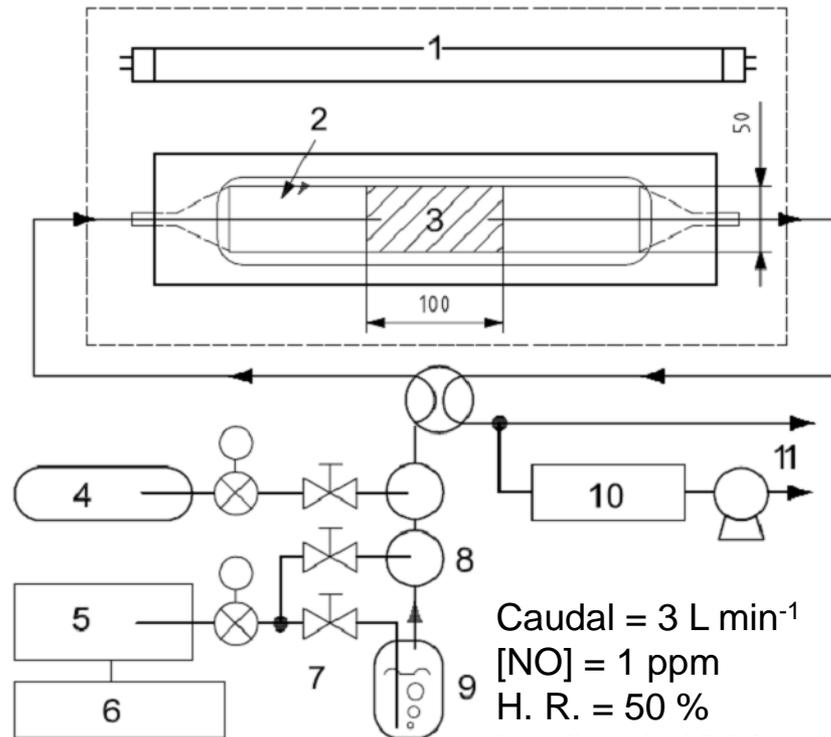


→ Norma ISO 22197-1 (2007): Reactor fotocatalítico





→ Norma ISO 22197-1 (2007)



Caudal = 3 L min⁻¹
 [NO] = 1 ppm
 H. R. = 50 %
 Irradiancia UV-A: 10 W m⁻²
 Área probeta: 100 x 50 mm²
 Distancia a cristal < 5 mm
 Tiempo de iluminación: 5h

- | | |
|-------------------------|-------------------------------|
| 1. Fuente de luz | 7. Controladores flujo másico |
| 2. Cristal borosilicato | 8. Mezclador de gases |
| 3. Probeta de ensayo | 9. Humidificador |
| 4. Contaminante | 10. Analizador |
| 5. Aire seco | 11. Venteo |
| 6. Compresor de aire | |





Aceras



15
productos

Asfaltos



4
productos

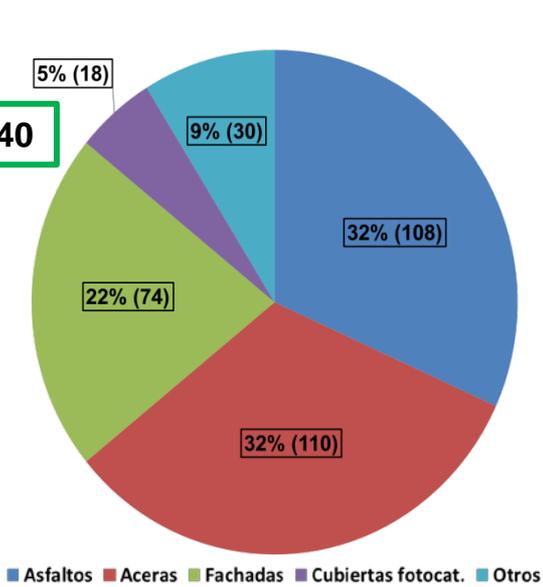
Fachadas



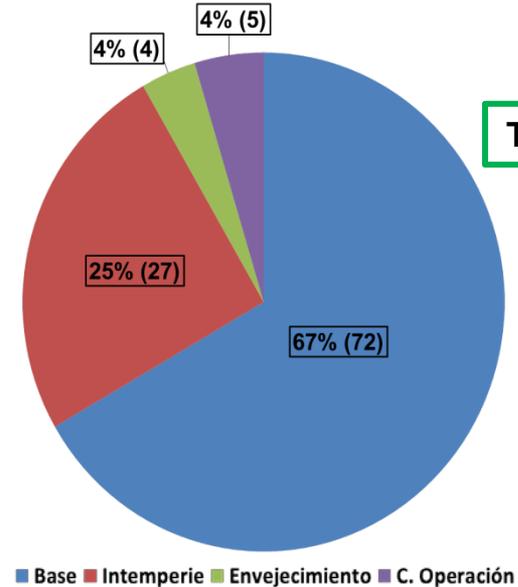
5
productos



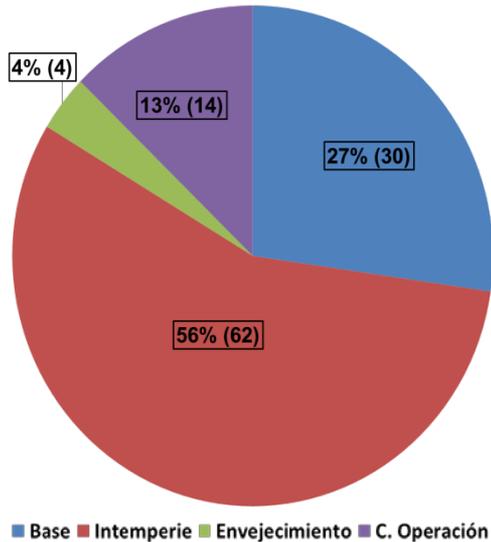
Total ensayos ISO: 340



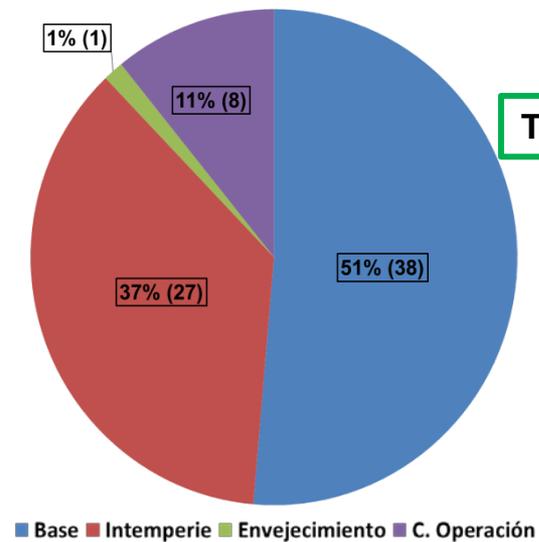
Total Asfaltos: 108



Total Aceras: 110



Total Fachadas: 74





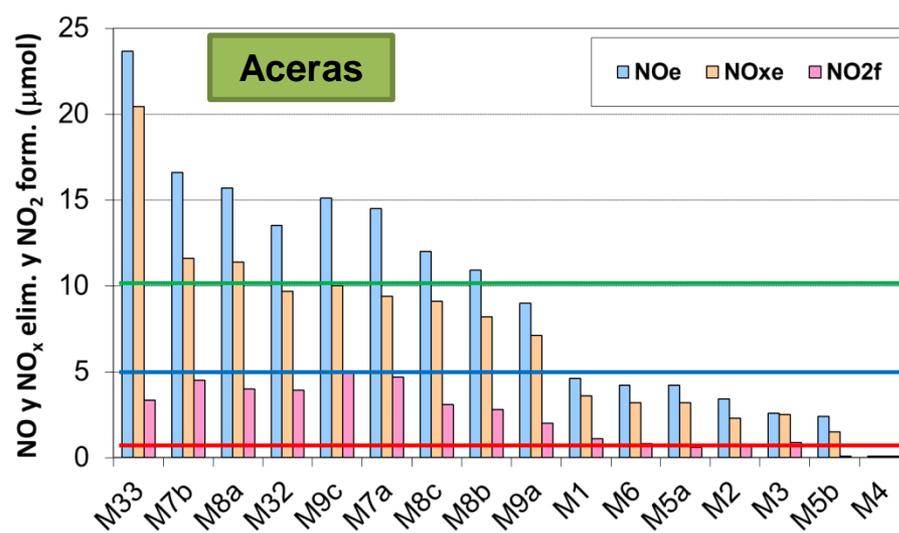
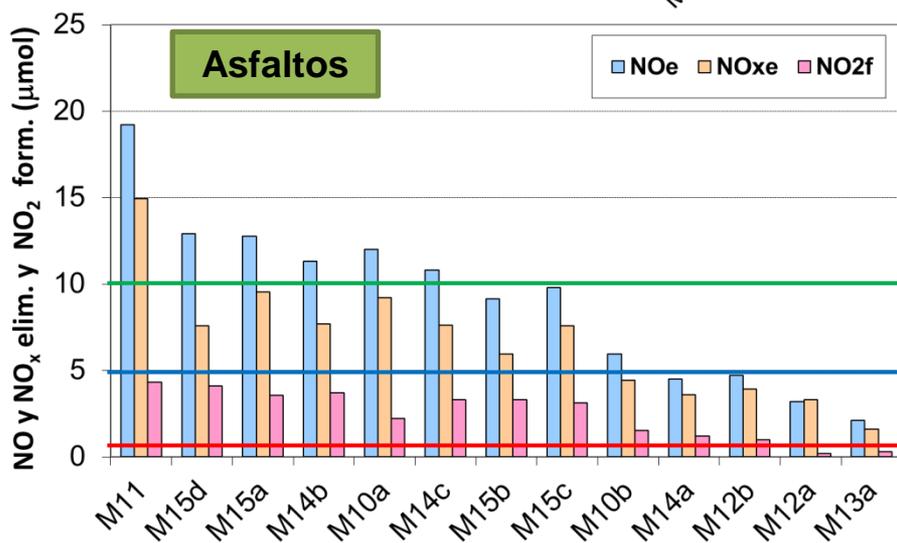
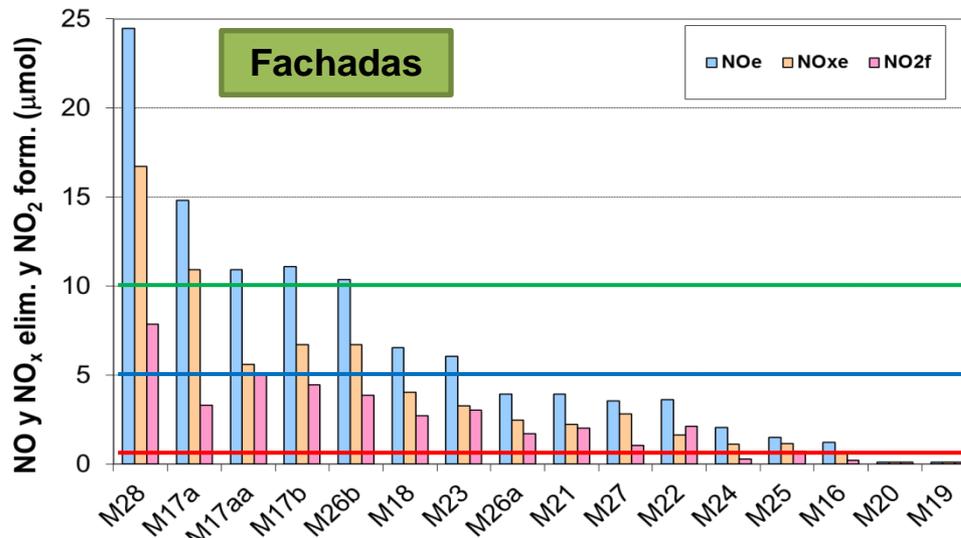
	JIS R 1701-1 2004	ISO 22197 2007	UNI 11247 2010
Fuente de irradiación	Lámpara fluorescente (300-400 nm)	Luz fluorescente BL o BLB Luz Xenon con filtros (300-400 nm)	Lámpara Osram Ultravitalux
Área probeta, cm ²	50	50	64
Flujo Total, ml/min	3.000	3.000	1.500
NO/NO ₂ , ppb	1.000/0	1.000/0	400/150
Irradiancia W/m ²	10	10	20
R.H., %	50	50	35-50
Tiempo de reacción, min	300	300	30



Cantidad de NO_x > 0.50 μmol

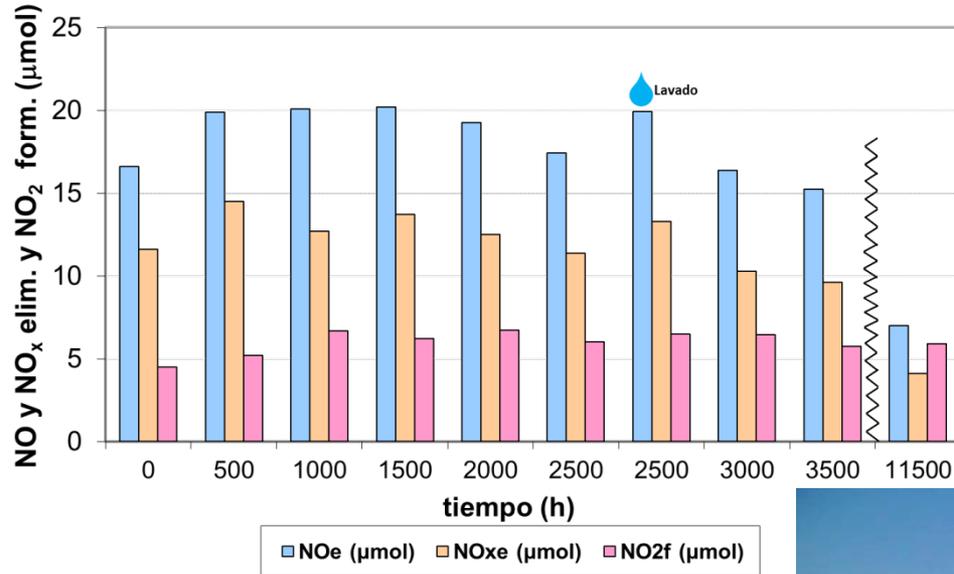


→ Ensayos de actividad fotocatalítica



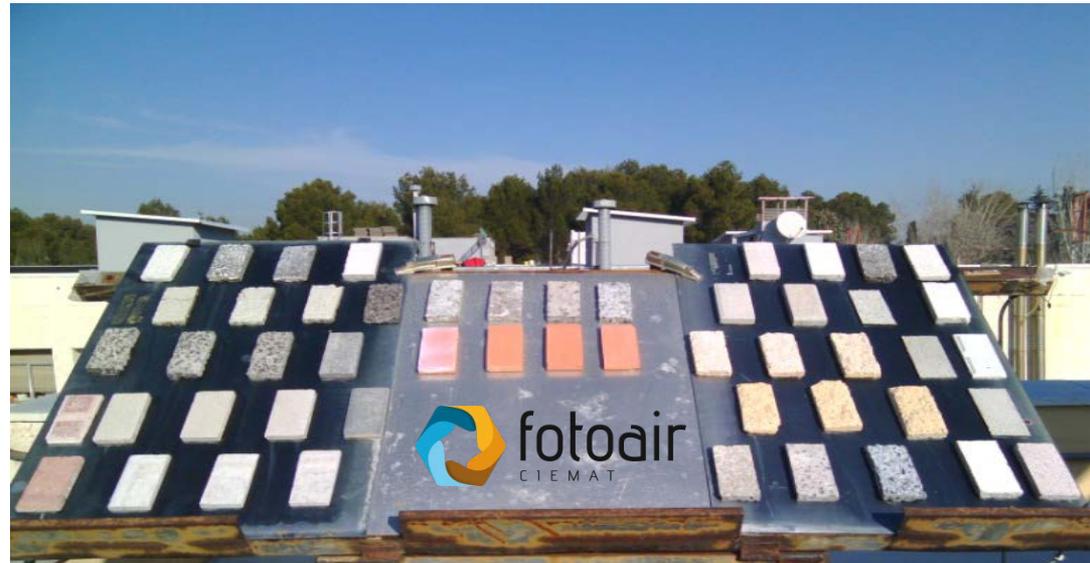


Ensayos de envejecimiento en intemperie



Ensayo ambiental con hasta **66 probetas**

Después de más de **15 meses**, algunas muestras siguen eliminando cantidades de NO_x cercanas a **5 μmoles**





→ CEDEX: Pista de ensayo acelerado de firmes a escala real

Estudio de las propiedades mecánicas y de durabilidad de los pavimentos bituminosos tratados con productos fotocatalíticos:

- Ensayos de rodadura (hasta 80.000 ciclos)
- Extracción de probetas y ensayos en laboratorio





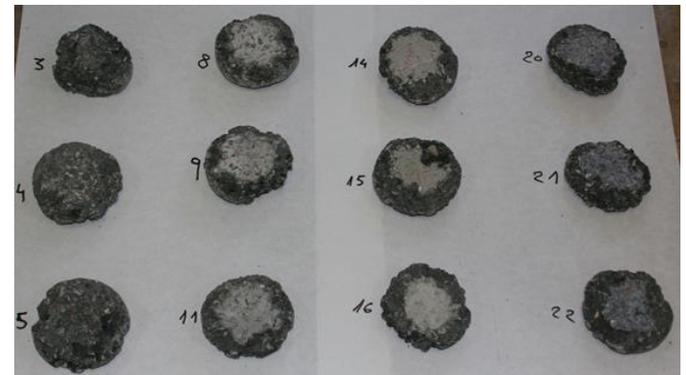
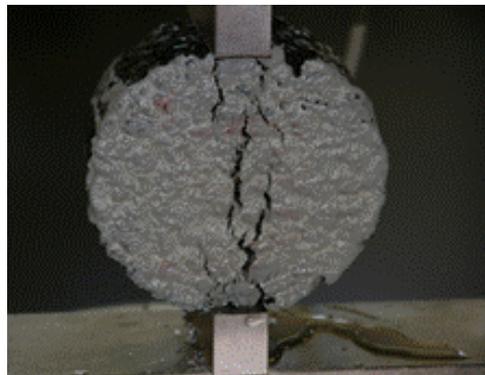
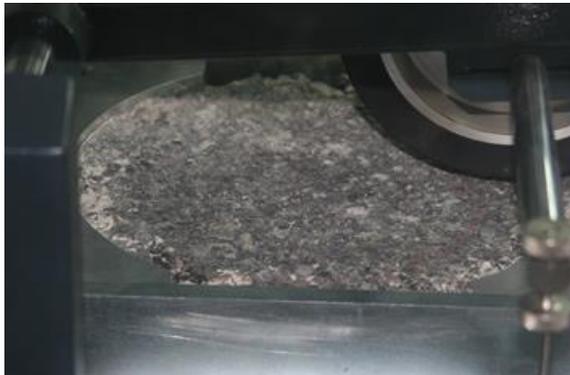
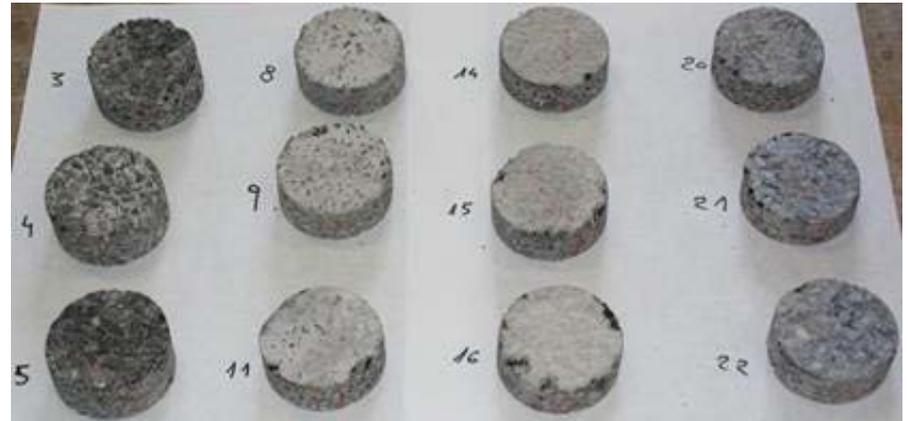
→ CEDEX: Ensayos físicos y de durabilidad

Ensayos iniciales

- Contenido de huecos
- Sensibilidad al agua
- Resistencia a deformaciones plásticas
- Pérdida de partículas
- Módulo de rigidez a 3 temperaturas

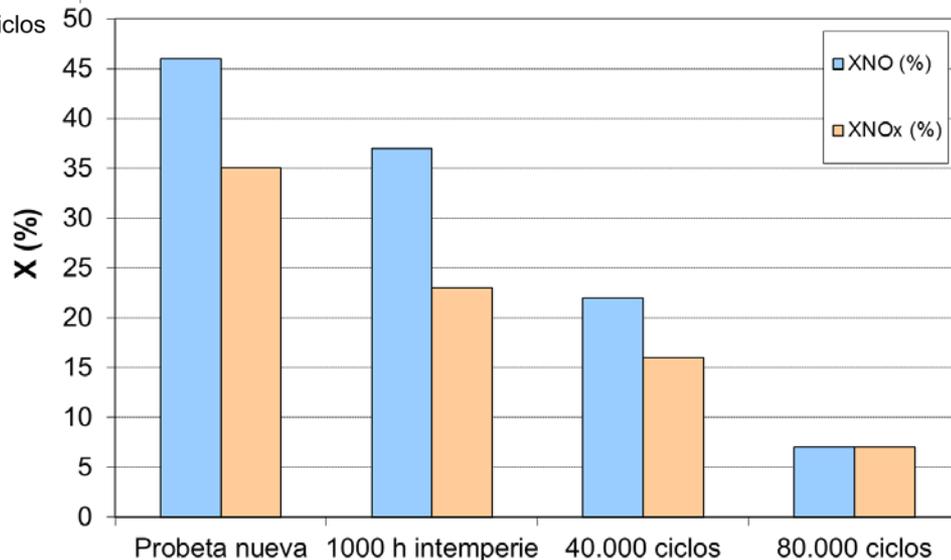
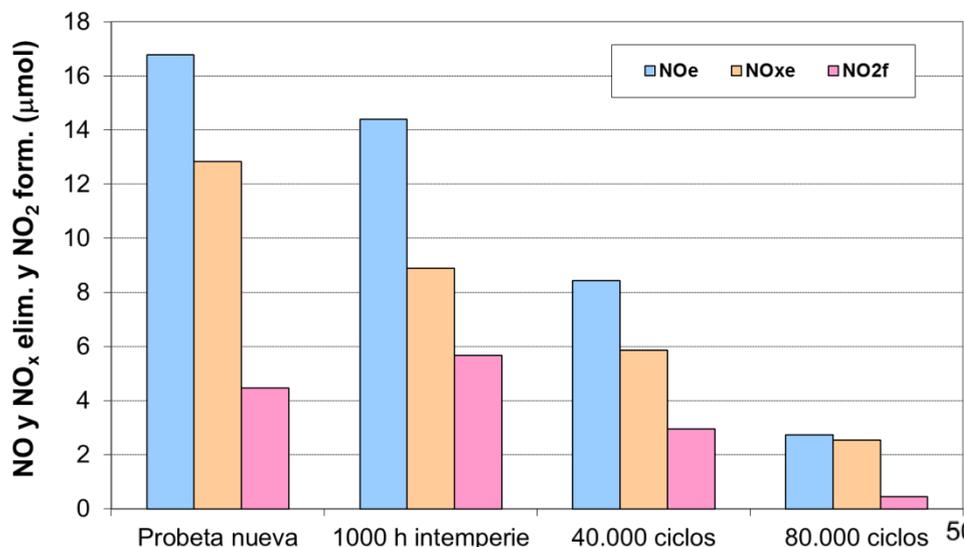
Ensayos tras desgaste por rodadura

- Contenido de huecos

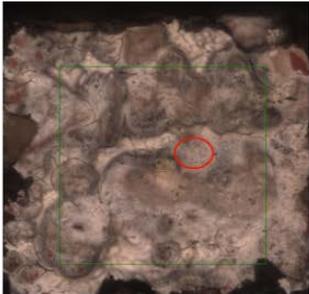




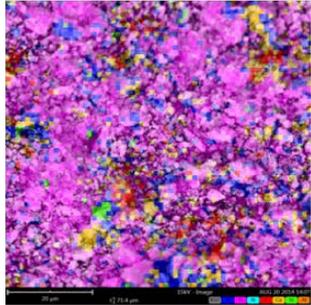
→ Actividad fotocatalítica tras rodadura



→ Análisis microscópicos de los efectos de la rodadura: SEM



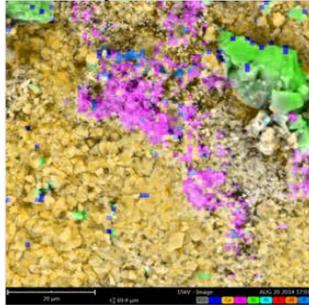
Sin rodar



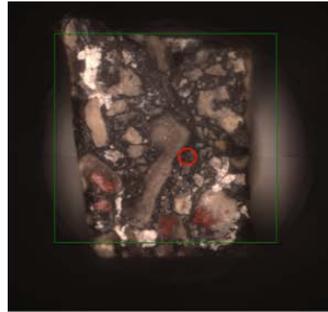
Element	Weight percentage	Certainty
O	67.4 %	99.6 %
Ti	18.5 %	99.6 %
N	5.0 %	99.1 %
C	3.0 %	99.4 %
Ca	2.9 %	99.0 %
Si	2.4 %	99.1 %
Al	0.7 %	97.0 %



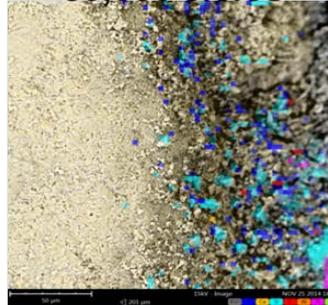
40,000 ciclos



Element	Weight percentage	Certainty
O	58.1 %	99.5 %
Ca	21.7 %	99.6 %
Ti	7.7 %	99.2 %
Si	5.3 %	99.4 %
N	3.9 %	97.9 %
C	1.7 %	99.1 %
Al	1.3 %	98.0 %
K	0.4 %	95.3 %



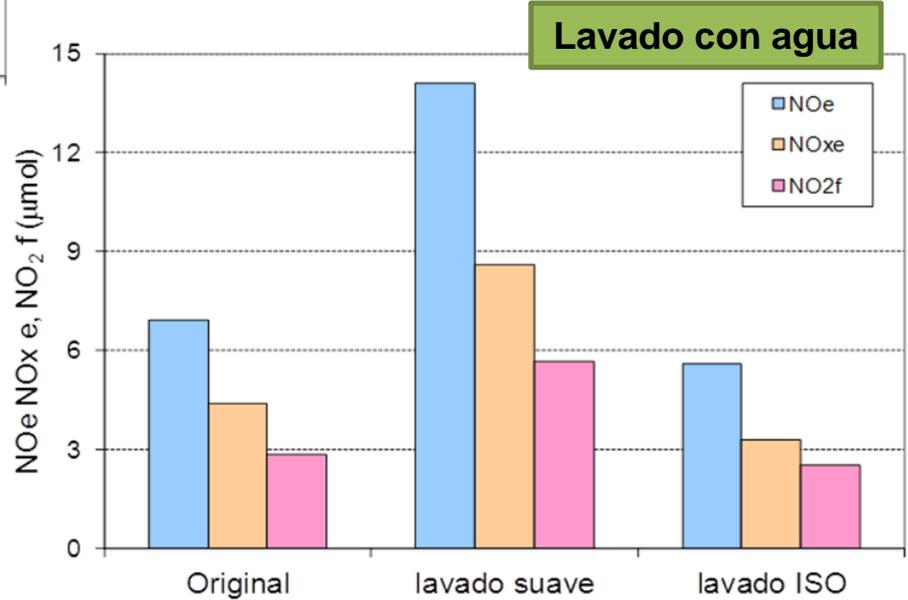
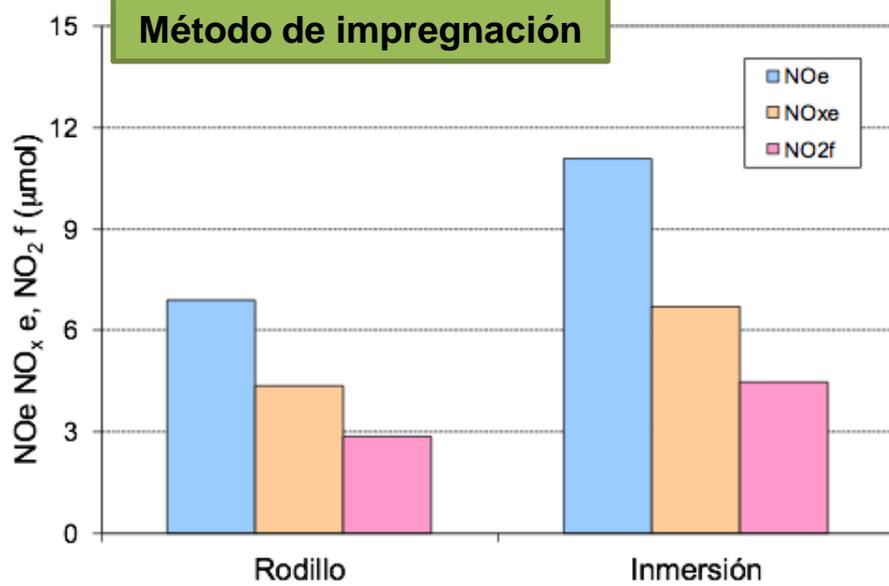
80,000 ciclos



Element	Weight percentage
O	65.2%
Ca	26%
Si	4.56%
C	2.27%
Al	0.951%
Ti	0.712%
S	0.258%

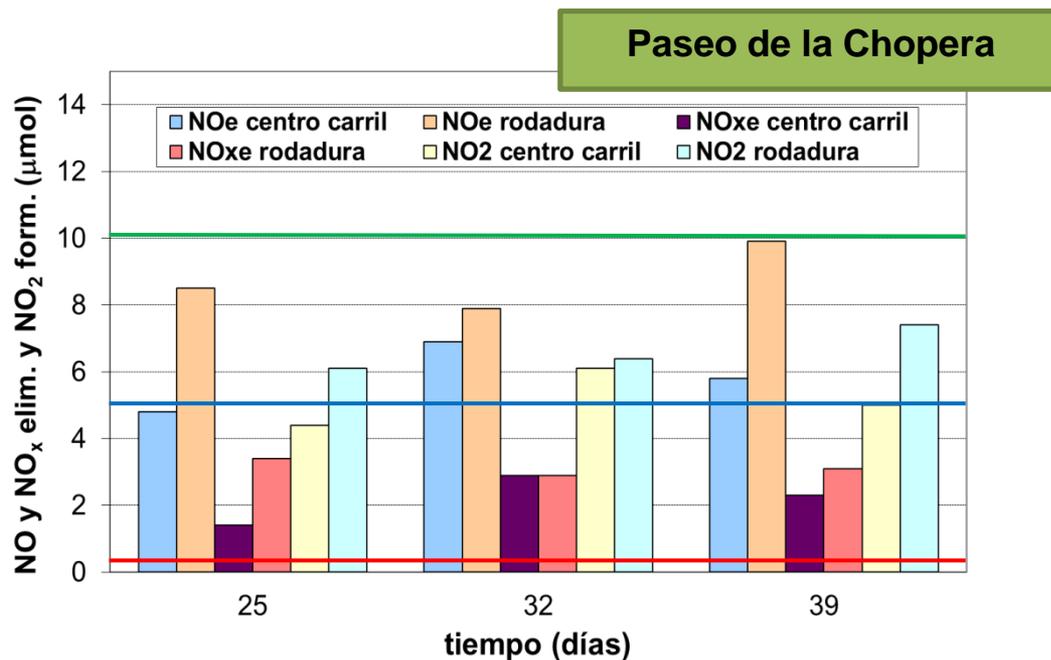


➔ Otros parámetros influyentes en la actividad fotocatalítica



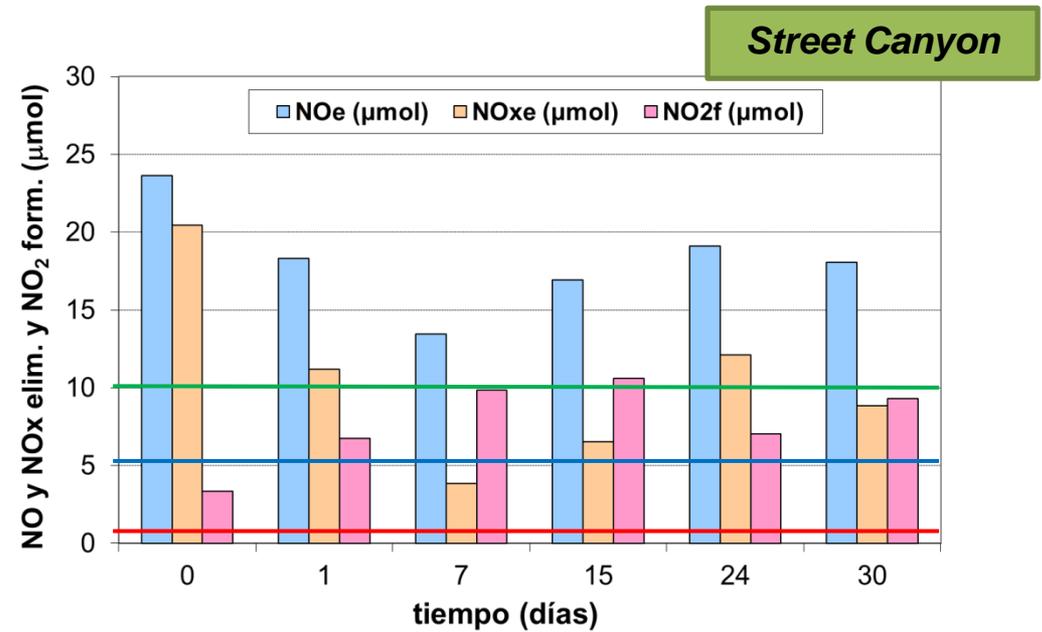


→ Aplicaciones reales en núcleo urbano





→ Aplicaciones reales en núcleo urbano





→ Conclusiones



- Asfaltos:** Un material ha alcanzado conversiones de NO_x del **40%**
 El 50% de los materiales ensayados ha superado el **20%** de eficiencia. **Todos** ellos cumplen los requisitos establecidos por la **PIAJ** (Eliminación $\text{NO}_x > 0,5 \mu\text{moles}$).
- Aceras:** Un material ha alcanzado conversiones superiores al **55%**.
 Más del 50% de los materiales ensayados han superado ampliamente los **5 μmoles** (**10 veces más** que los requisitos establecidos por **PIAJ**).
- Fachadas:** El producto más fotoactivo ha alcanzado una conversión del **45%**.
 Más del **60%** de los materiales ensayados **NO** han alcanzado los **5 μmoles** eliminados y dos de ellos se han mostrado sin actividad.



→ Conclusiones

- La **naturaleza del sustrato**, la **porosidad**, las **propiedades texturales** y la **hidrofilia** son factores a tener en cuenta en las propiedades finales del material.
- Los **estudios de envejecimiento en intemperie** han revelado un **decaimiento** de la actividad con el paso del tiempo, lo que convierte en primordial el estudio de la **durabilidad** de los materiales.
- Los estudios en condiciones reales realizados con **asfaltos**, indican una clara influencia de la **deposición de partículas, aceites y/o grasas** en el **decaimiento** fotocatalítico (por encima de los efectos provocado por la **rodadura**).
- Finalmente se puede concluir que **la mayor parte** de los materiales analizados cumplen el certificado de estandarización de la *Photocatalysis Industry Association of Japan* (**PIAJ**) con una cantidad de NO_x eliminado superior **0.5 µmoles**, incluso tras ser sometidos a procesos de desgaste.

¡GRACIAS!

