



# LA MANZANA VERDE



**EVALUACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE  $\text{NO}_x$  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)*

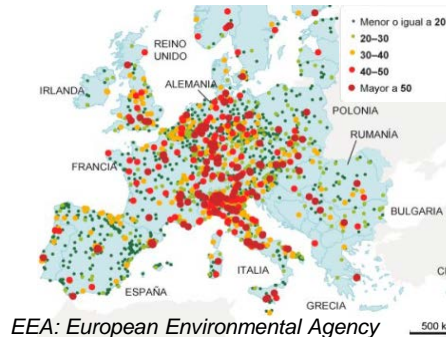




## → Contaminación por NO<sub>x</sub>: Un problema global

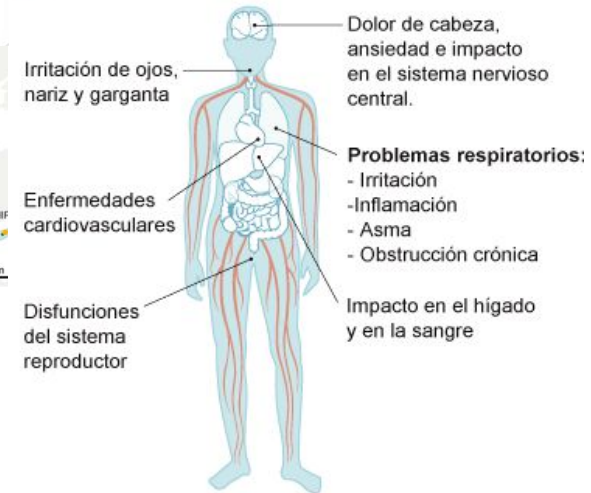
**Normativa española: Real decreto 102/2011**

- **Valores límite: 200 µg/m<sup>3</sup> por hora** (no más de 18 episodios al año) y **40 µg/m<sup>3</sup> por año**.
- **Umbral de alerta: 400 µg/m<sup>3</sup>** (más de 3h consecutivas en una zona representativa).



EEA: European Environmental Agency

### IMPACTO DE LA POLUCIÓN EN LA SALUD



### POBLACIÓN EXPUESTA A LA CONTAMINACIÓN

Partículas contaminantes	Según los límites de			
	En %	<5	5-50	50-75
		La UE		La OMS
PM2.5		20-31		91-96
PM10		22-33		85-88
O3		14-18		97-98
NO2		5-13		5-13
BaP		22-31		76-94
SO2		<1		46-54
CO		<2		<2
Pb		<1		<1
Benceno		<1		12-13

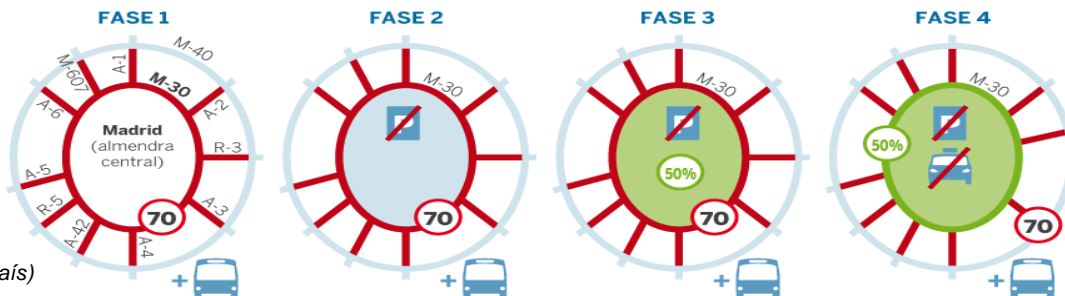
**Protocolo de actuación para contaminación por NO<sub>2</sub> en la Comunidad de Madrid**

### NIVELES DE ACTUACIÓN

- PREAVISO** (Green dot): Más de 180 microgramos/m<sup>3</sup> En dos estaciones Dos horas consecutivas
- AVISO** (Yellow dot): Más de 200 microgramos/m<sup>3</sup> En dos estaciones Dos horas consecutivas
- ALERTA** (Red dot): Más de 400 microgramos/m<sup>3</sup> En tres estaciones Tres horas consecutivas

### ESCENARIOS DE ACTUACIÓN

	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4
Activación (días en cada nivel)	●	●● ○ ●	●●	●●● ○ ●
Circulación en M-30	70 km/h	70 km/h	70 km/h	50% del tráfico**
Accesos entre M-30 y M-40	70 km/h	70 km/h	70 km/h	70 km/h
Aparcamiento en zona SER	Permitido	Prohibido*	Prohibido*	Prohibido*
Circulación en la almendra central	Permitido	Permitido	50% del tráfico**	50% del tráfico**
Circulación de taxis libres en almendra central	Permitido	Permitido	Recomendado no circular***	Prohibido***
Refuerzo del transporte público	Sí	Sí	Sí	Sí



Fuente: (El País)



## → 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

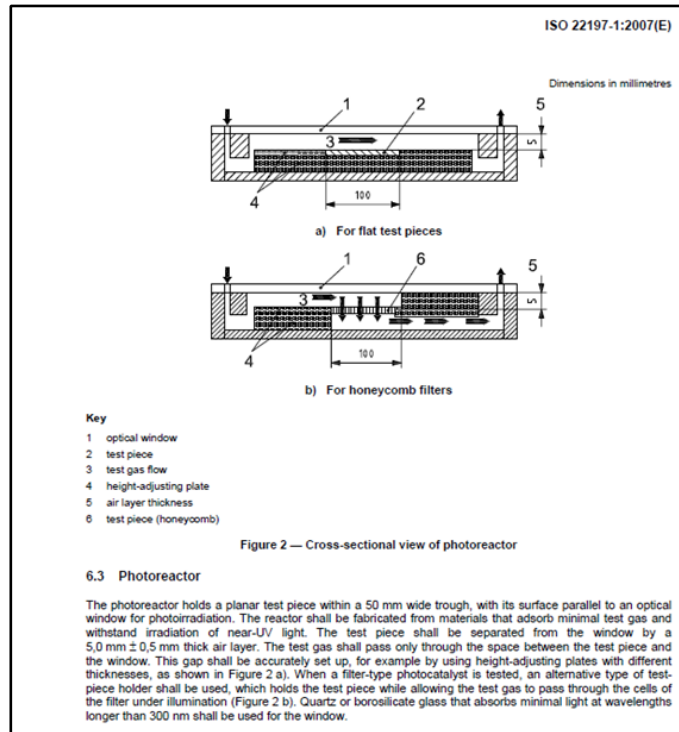


Selección de materiales para su implementación en calle



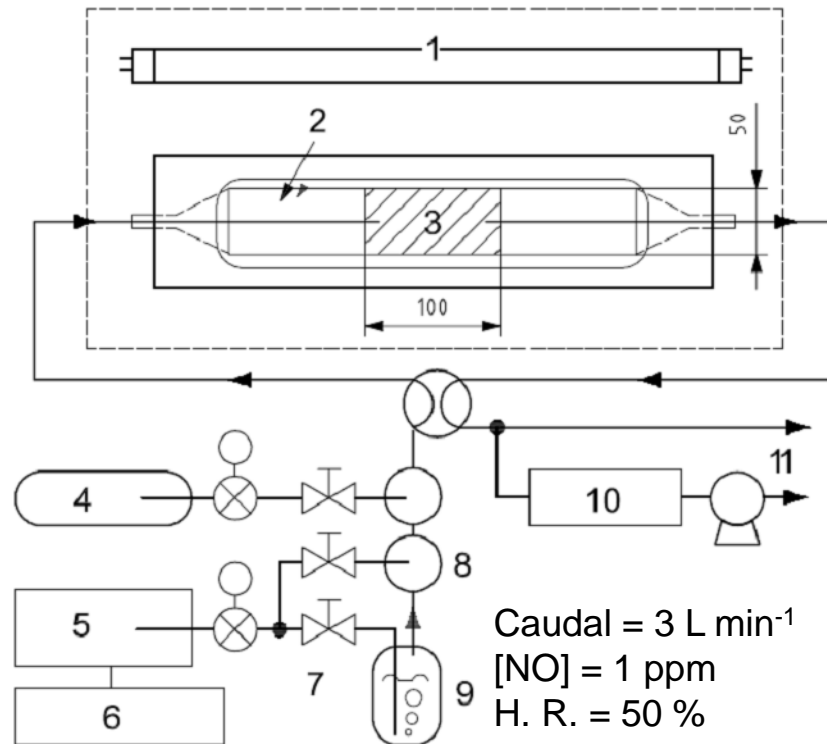


# → Norma ISO 22197-1 (2007): Reactor fotocatalítico





## → Norma ISO 22197-1 (2007)



Caudal = 3 L min<sup>-1</sup>  
 [NO] = 1 ppm  
 H. R. = 50 %  
 Irradiancia UV-A: 10 W m<sup>-2</sup>  
 Área probeta: 100 x 50 mm<sup>2</sup>  
 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**

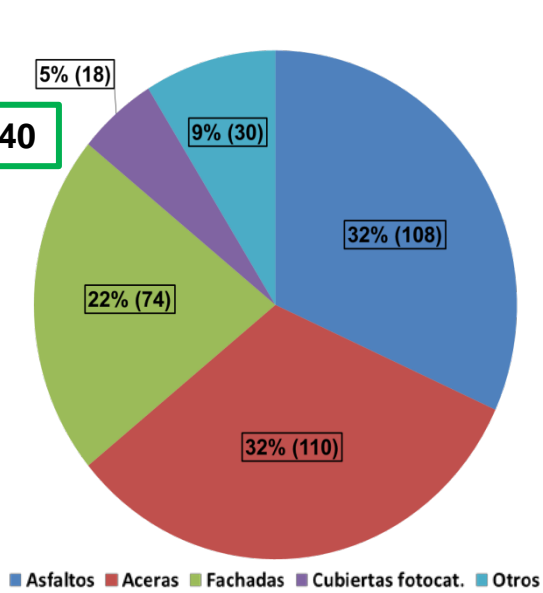


**5  
productos**

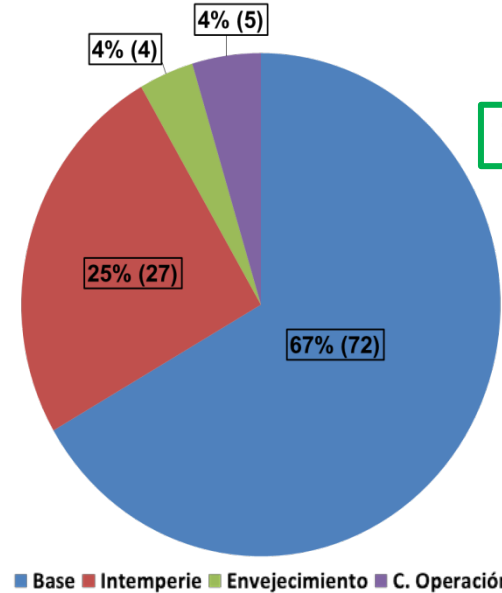




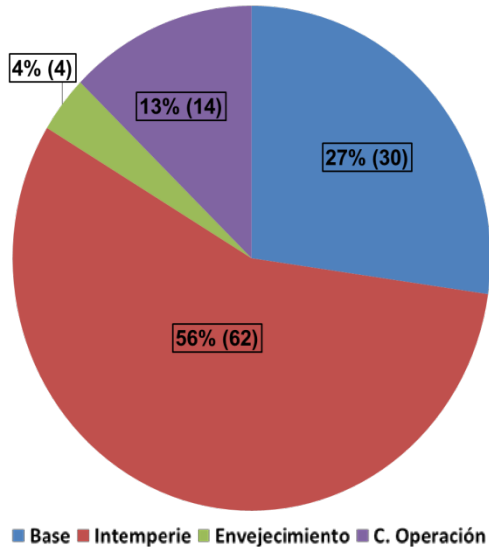
**Total ensayos ISO: 340**



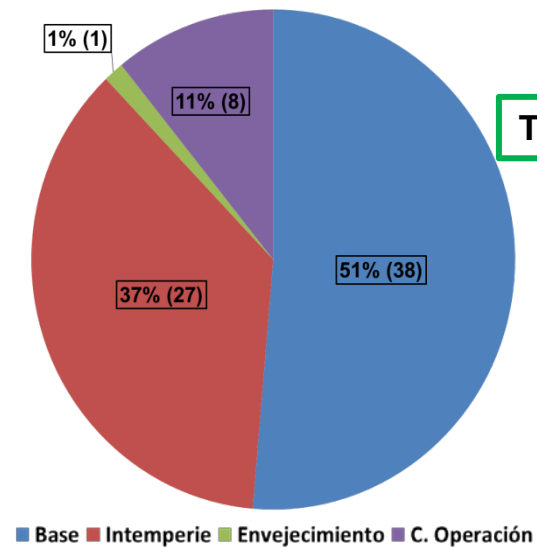
**Total Asfaltos: 108**



**Total Aceras: 110**



**Total Fachadas: 74**





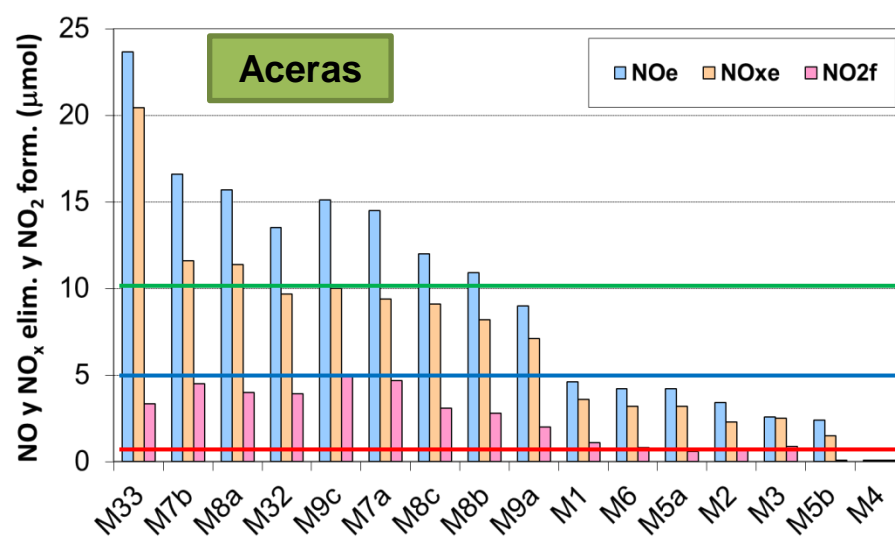
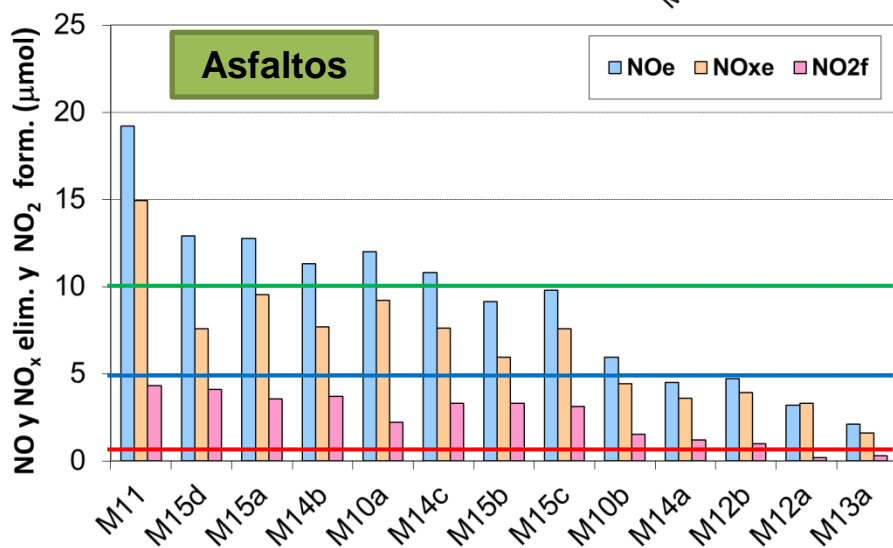
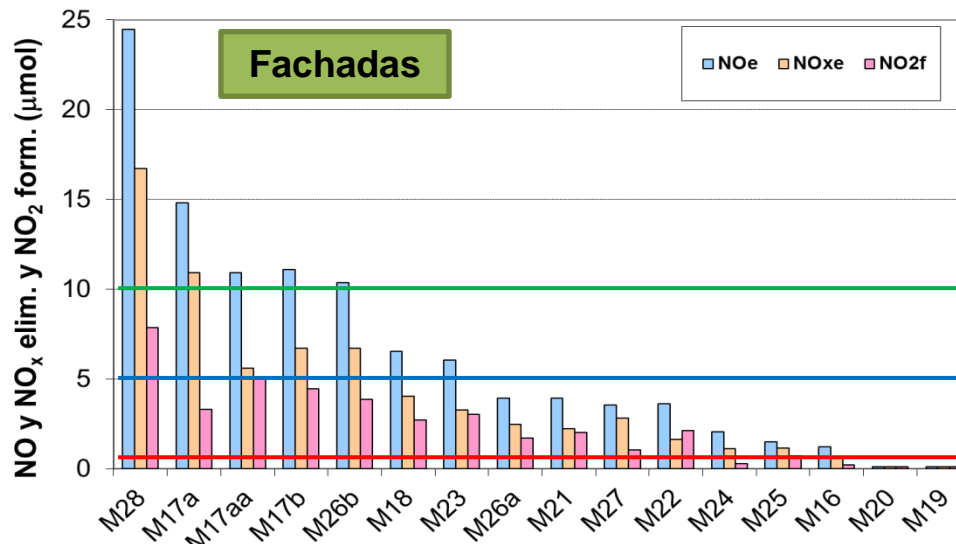
	JIS R 1701-1 2004	ISO 22197 2007	UNI 11247 2010
Fuente de irradiación	Lámpara fluorescente (300-400 nm)	Luz fluorescente BL o BLB Luz Xenon con filtros (300-400 nm)	Lámpara Osram Ultravitalux
Área probeta, cm <sup>2</sup>	50	50	64
Flujo Total, ml/min	3.000	3.000	1.500
NO/NO <sub>2</sub> , ppb	1.000/0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



Cantidad de NO<sub>x</sub> > 0.50 μmol

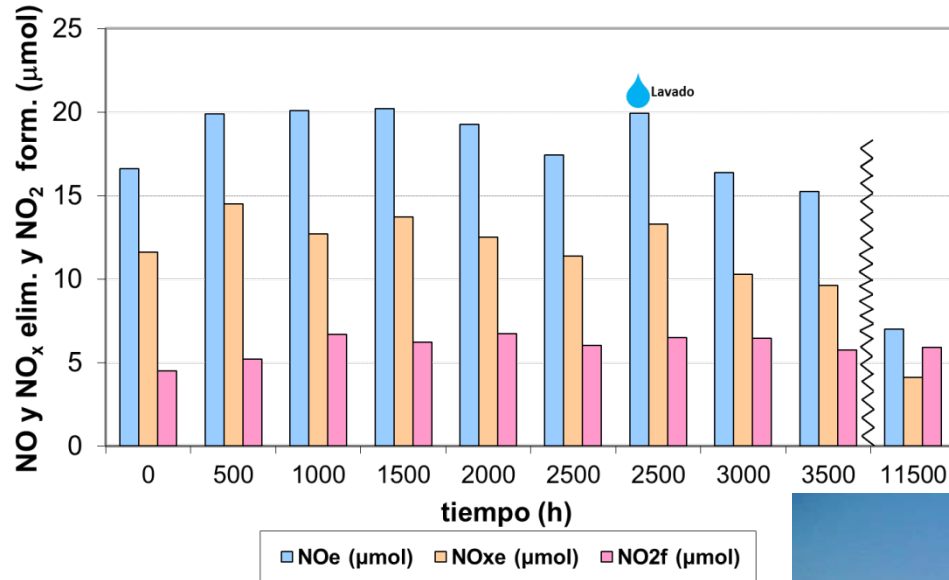


## → Ensayos de actividad fotocatalítica





## ➔ Ensayos de envejecimiento en intemperie



Ensayo ambiental con hasta **66 probetas**

Después de más de **15 meses**, algunas muestras siguen eliminando cantidades de NO<sub>x</sub> 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





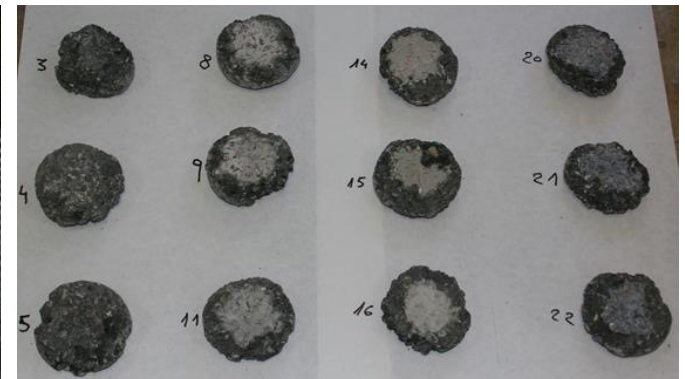
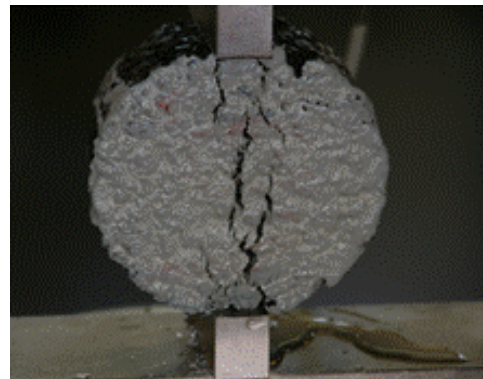
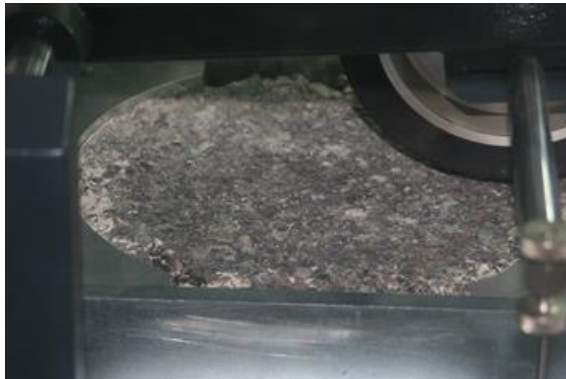
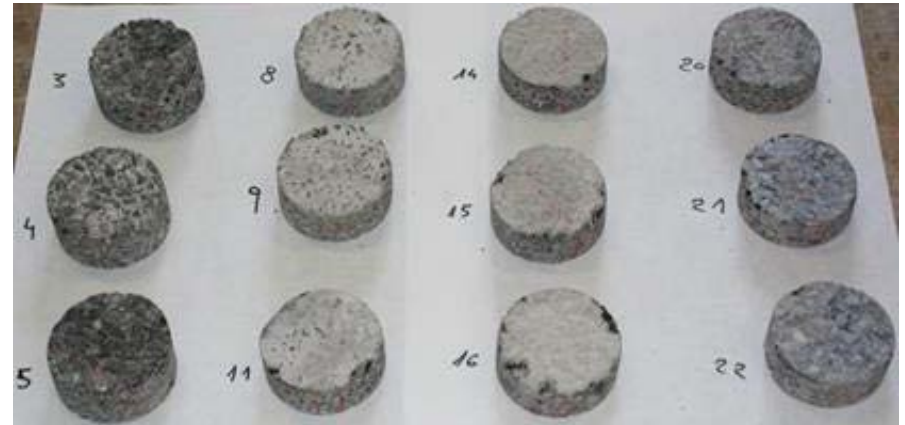
## → CEDEX: Ensayos físicos y de durabilidad

### Ensayos iniciales

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

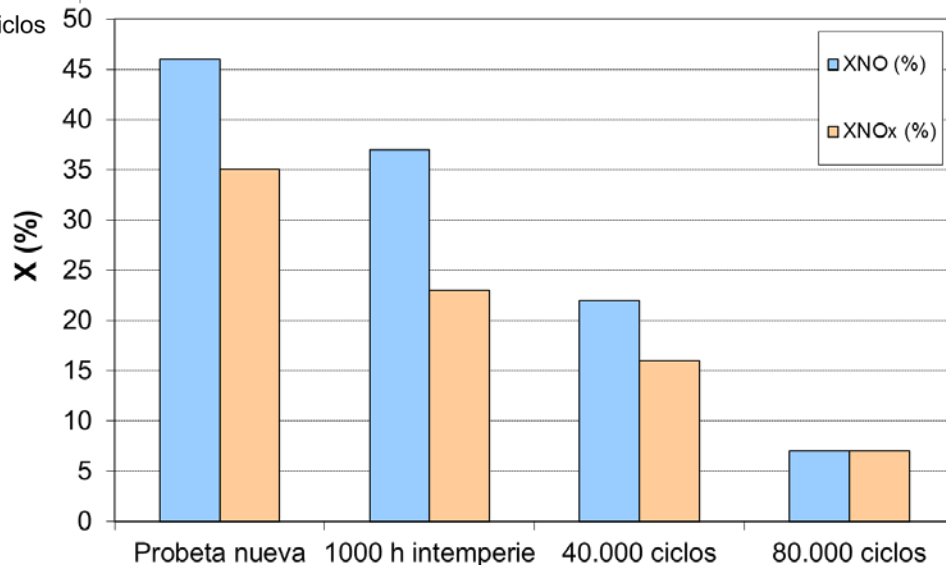
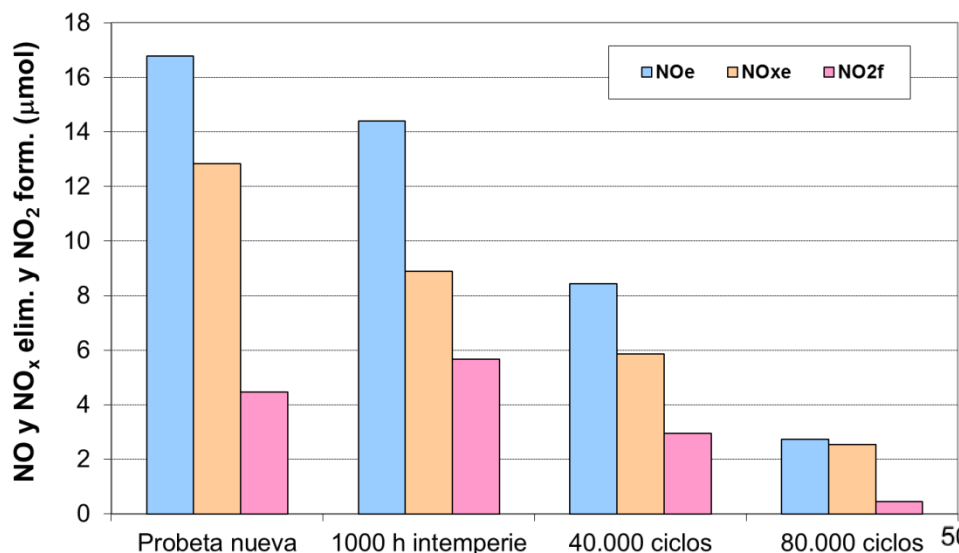
### Ensayos tras desgaste por rodadura

- Contenido de huecos



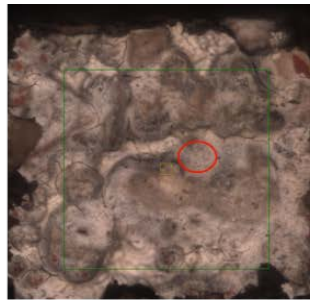


## → Actividad fotocatalítica tras rodadura

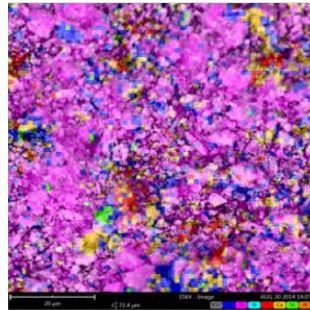




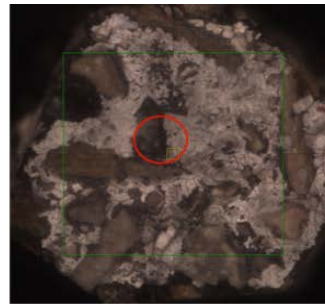
## → Análisis microscópicos de los efectos de la rodadura: SEM



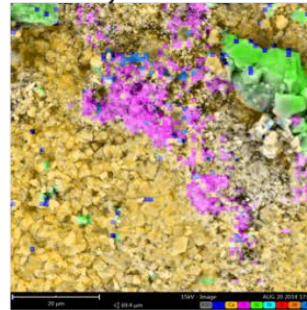
**Sin rodar**



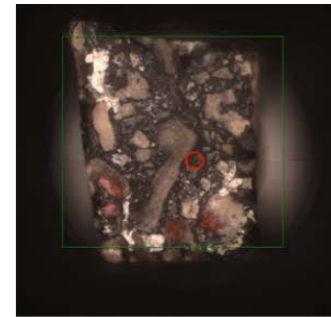
Element	Weight percentage	Certainty
O	67.4 %	99.6 %
Ti	18.5 %	99.6 %
N	5.0 %	99.1 %
C	3.0 %	99.4 %
Ca	2.9 %	99.0 %
Si	2.4 %	99.1 %
Al	0.7 %	97.0 %



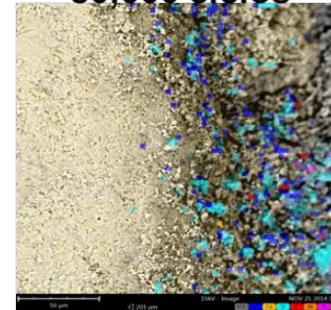
**40,000 ciclos**



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**

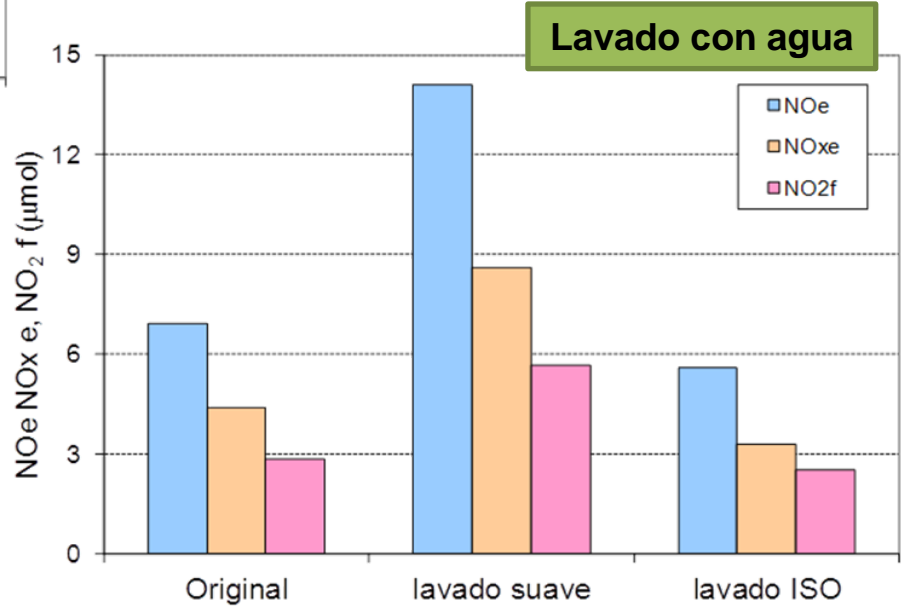
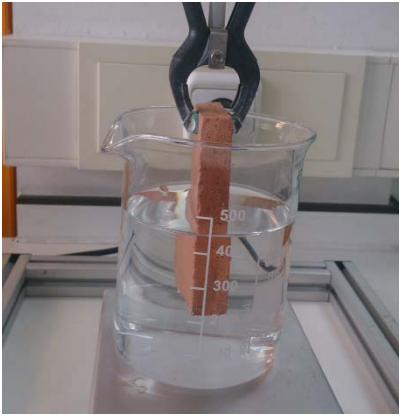
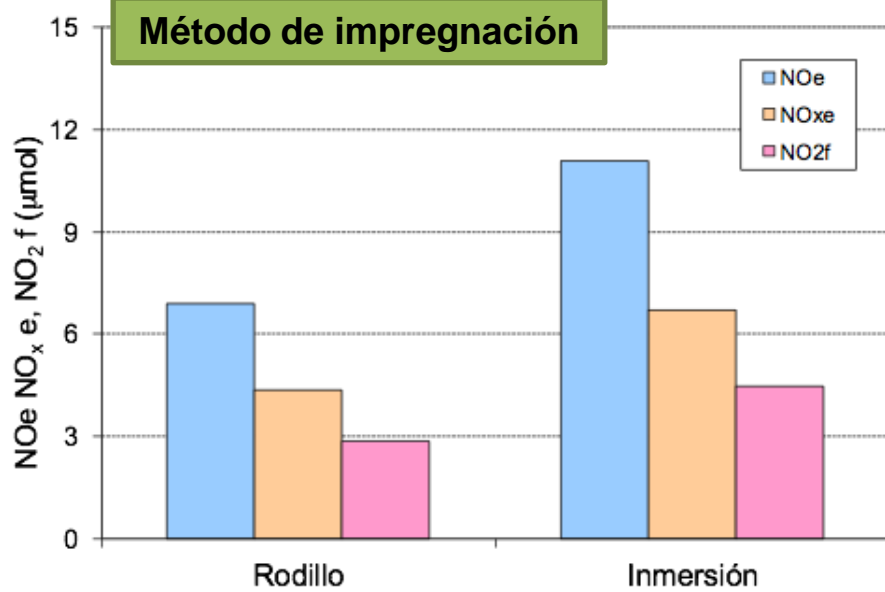


Element	Weight percentage
O	65.2%
Ca	26%
Si	4.56%
C	2.27%
Al	0.951%
Ti	0.712%
S	0.258%



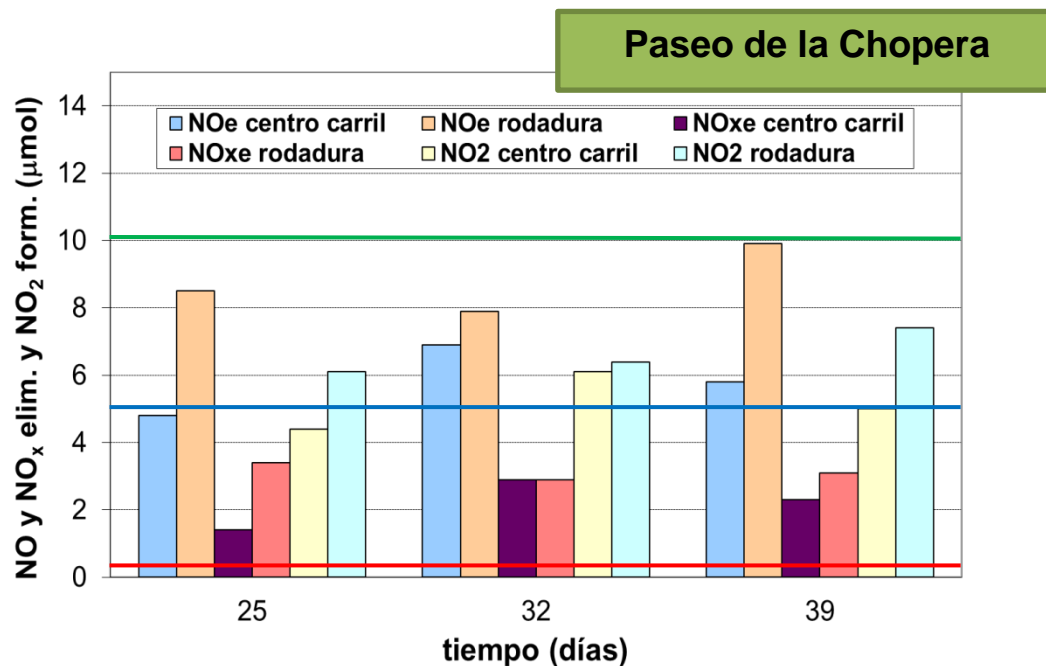


# ➔ Otros parámetros influyentes en la actividad fotocatalítica



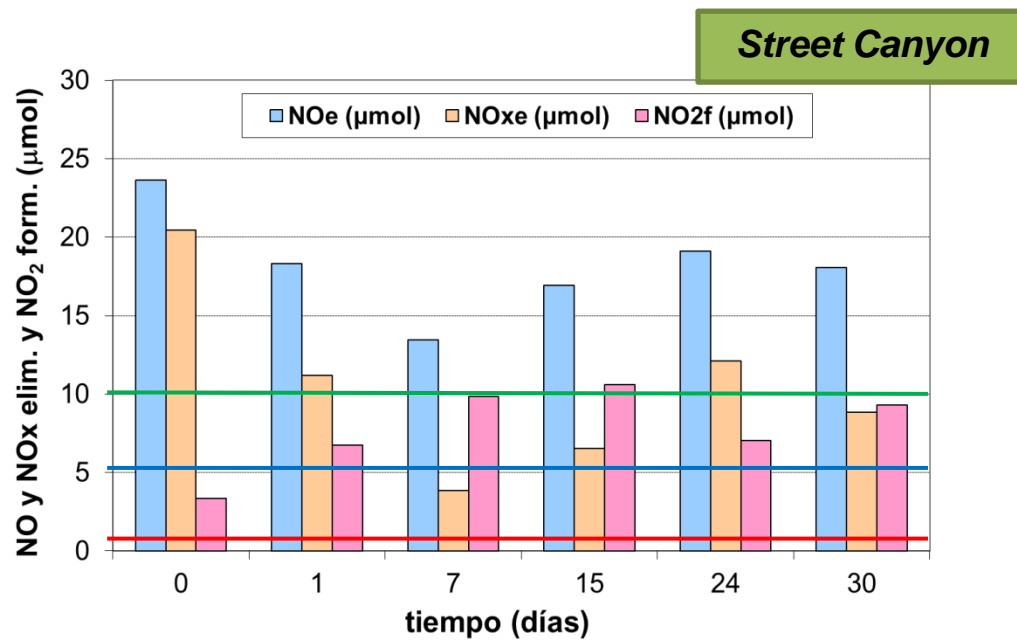


## → Aplicaciones reales en núcleo urbano





## → Aplicaciones reales en núcleo urbano





## → Conclusiones

340 ENSAYOS

26 PRODUCTOS  
FOTOCATALÍTICOS

3 TIPOS DE ASFALTOS

9 TIPOS DE ACERAS

3 TIPOS DE FACHADAS

HETEROGENEIDAD  
DE RESULTADOS

DESDE 0 HASTA 55%  
EN CONVERSIÓN NO<sub>x</sub>

- **Asfaltos:** Un material ha alcanzado conversiones de NO<sub>x</sub> del **40%**  
El 50% de los materiales ensayados ha superado el **20%** de eficiencia. **Todos** ellos cumplen los requisitos establecidos por la **PIAJ** (Eliminación NO<sub>x</sub> > 0,5 μmoles).
- **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<sub>x</sub> eliminado superior **0.5 µmoles**, incluso tras ser sometidos a procesos de desgaste.

# ¡GRACIAS!

