



# Aplicación de la nanotecnología y de las mezclas a baja temperatura

Dr. Ing. Juan José Potti

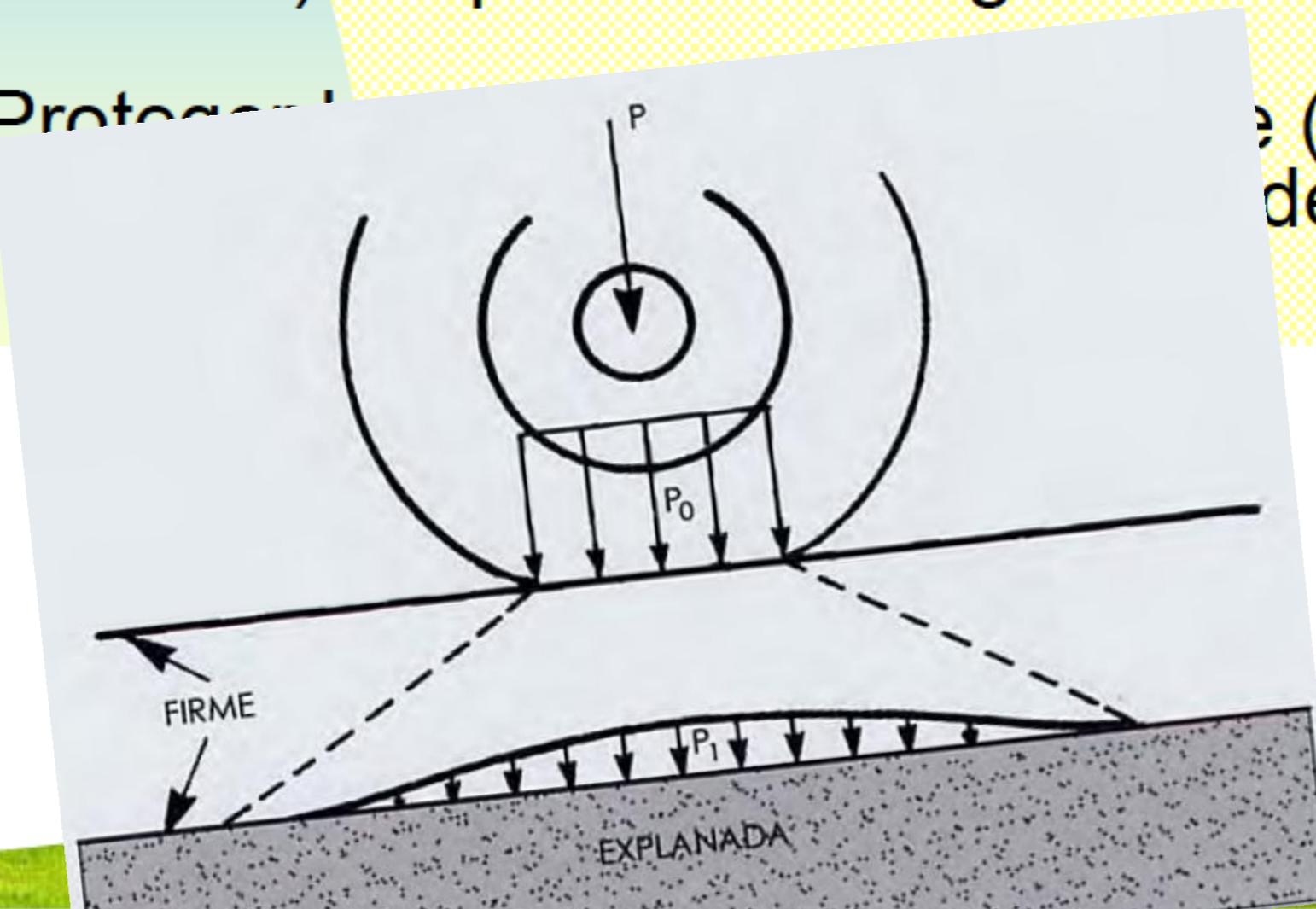
Presidente de Asefma

# ¿Qué es un pavimento?

- Es una estructura estratificada que posibilita circular con seguridad y con comodidad
- Está en las carreteras, en los aeródromos y en otras infraestructuras
- Tiene que soportar las acciones del tráfico y del clima, manteniendo su integridad
- Es la *superestructura* que se apoya sobre la explanada o subrasante (a veces, sobre un tablero de una estructura)

# Funciones

- Proporcionar una rodadura segura, cómoda y permanente
- Absorber las cargas del tráfico (vehículos pesados) sin perder su integridad
- Proteger la estructura de la base (o en su caso, de la sub-base)





## CRITERIOS FUNCIONALES (*características superficiales*)

- Resistencia al deslizamiento
- Regularidad superficial (lisura)
- Ruido por contacto neumático-pavimento
- Reflexión de la luz
- Desagüe superficial
- Otros



## CRITERIOS ESTRUCTURALES (*Factores de diseño*)

- Período de proyecto o vida útil (15–40 años)
- Cargas del tráfico (acumuladas durante la vida útil)
- Características del cemento
- Acciones climáticas
- Materiales disponibles y sus características



¿sostenible?



# ACV y pavimentación

- ▶ Estamos obligados a considerar nuevas exigencias y desafíos:
- ▶ En la fase de construcción
- ▶ En la fase de explotación
- ▶ En la fase de rehabilitación y reutilización

# ACV en el Proyecto Fénix

[www.proyectofenix.es](http://www.proyectofenix.es)



- Ecoindicador 99 (versión igualitaria)
  - Daños a la calidad de los ecosistemas
  - Daños a los recursos
  - Daños a la salud humana

# ACV en el Proyecto Fénix

[www.proyectofenix.es](http://www.proyectofenix.es)

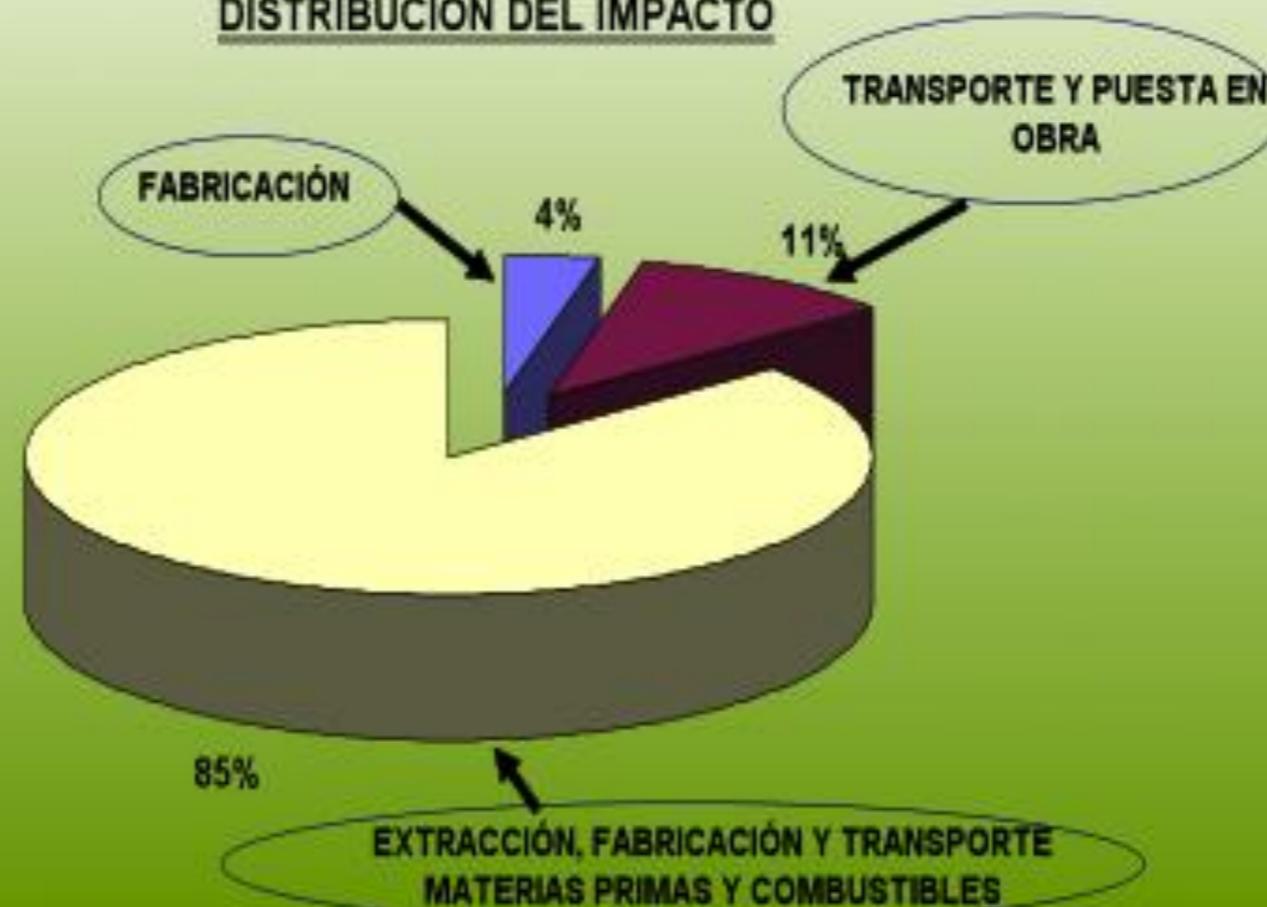


- En España los trabajos realizados de ACV han cubierto las fases de materias primas, fabricación y puesta en obra.
- Se han realizado ACV para todas las categorías de impacto y para los GEI.

# Distribución impacto Eco99

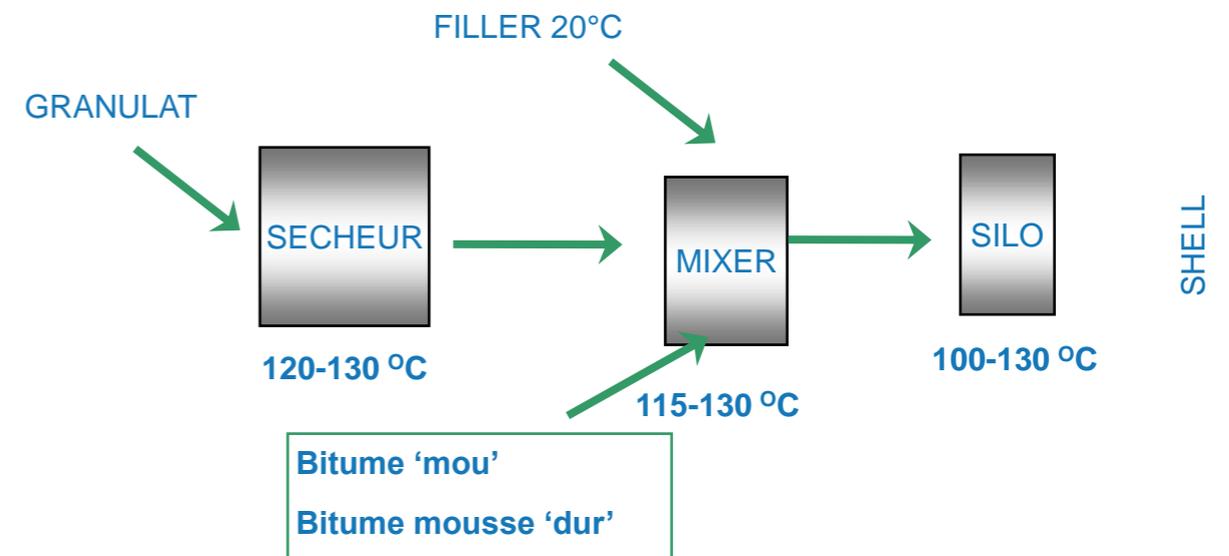
## FASES

### DISTRIBUCIÓN DEL IMPACTO

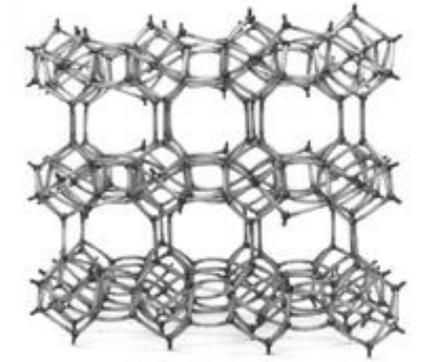


# Los primeros procesos

- ▶ Betún blando para pre-  
envuelta y después betún  
duro bajo forma de espuma
- ▶ Espuma de betún bajo  
presión
- ▶ Reducción de la temperatura  
de envuelta hasta 50°C.  
Ahorro de energía de hasta  
un 35 %
- ▶ 3 E DB : Colas



# Los primeros procesos

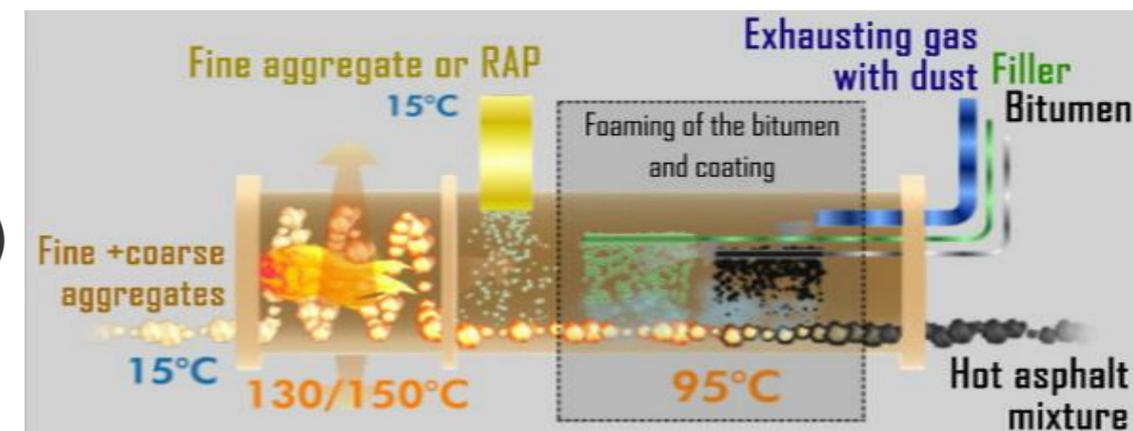


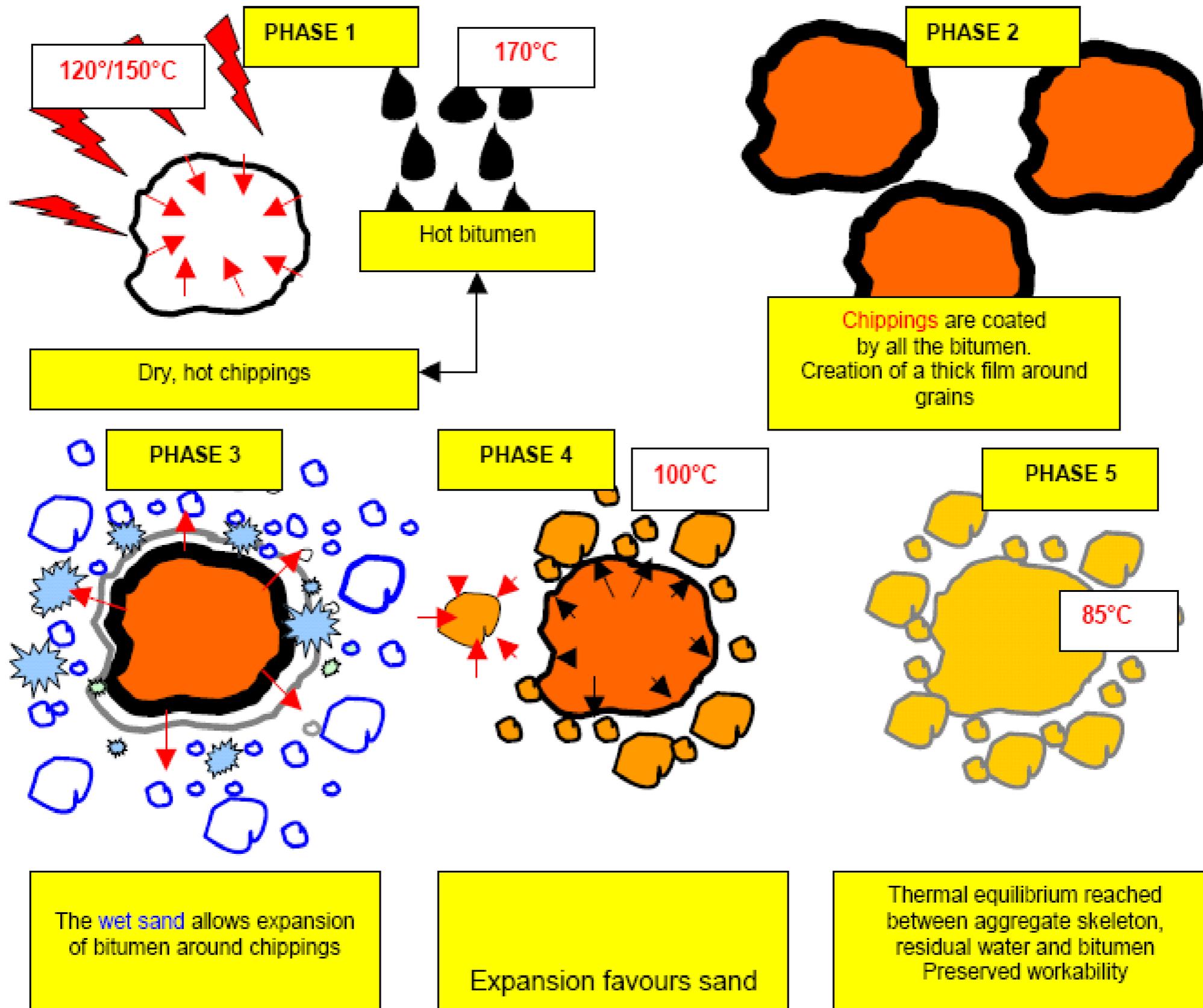
- ▶ Utilización de agua residual de aditivos (portadores de agua) como lubricantes durante la fabricación y ayuda para la puesta en obra
- ▶ Silicato de alúmina de síntesis que llega a tener de un 20 a un 25% de agua encapsulada
- ▶ Dosificación aprox. 3 kg/t de áridos secos (5% del peso de betún)
- ▶ Reducción de la temperatura de 30 a 40°C y ahorro 25% de energía



# Los primeros procesos

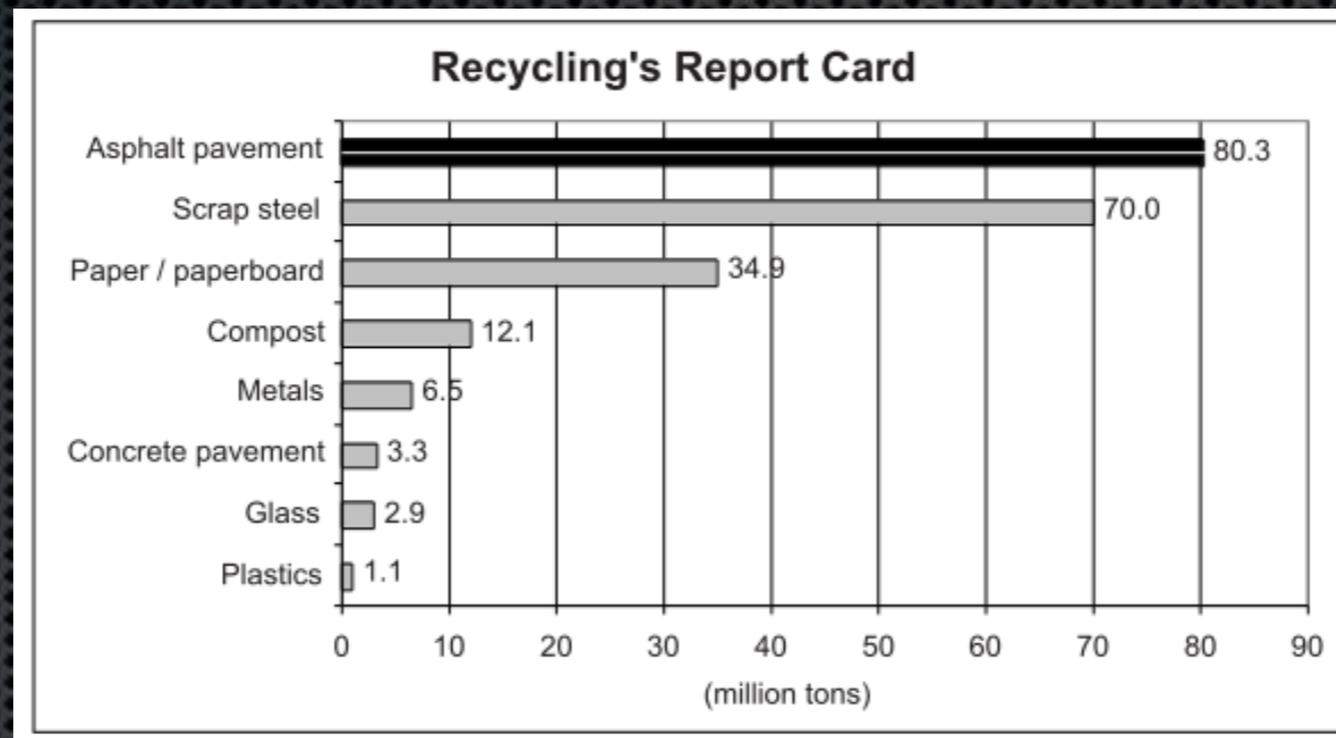
- ▶ Utilización de arena o de áridos fríos y húmedos y/o de áridos parcialmente calientes
- ▶ Aditivación del betún
- ▶ Proceso de envuelta
- ▶ Agua vaporizada hace espumar el betún
- ▶ Reducción de la temperatura de envuelta de 60 a 70°C ( $T < 100^{\circ}\text{C}$ )
- ▶ Ahorro energético de hasta un 50%





# Reciclado y mezclas asfálticas

Fuente: Asphalt Pavement Alliance



- El fresado procedente de mezclas asfálticas permite obtener mezclas con calidad igual o superior a las mezclas con áridos nuevos.

# Reciclado y mezclas asfálticas

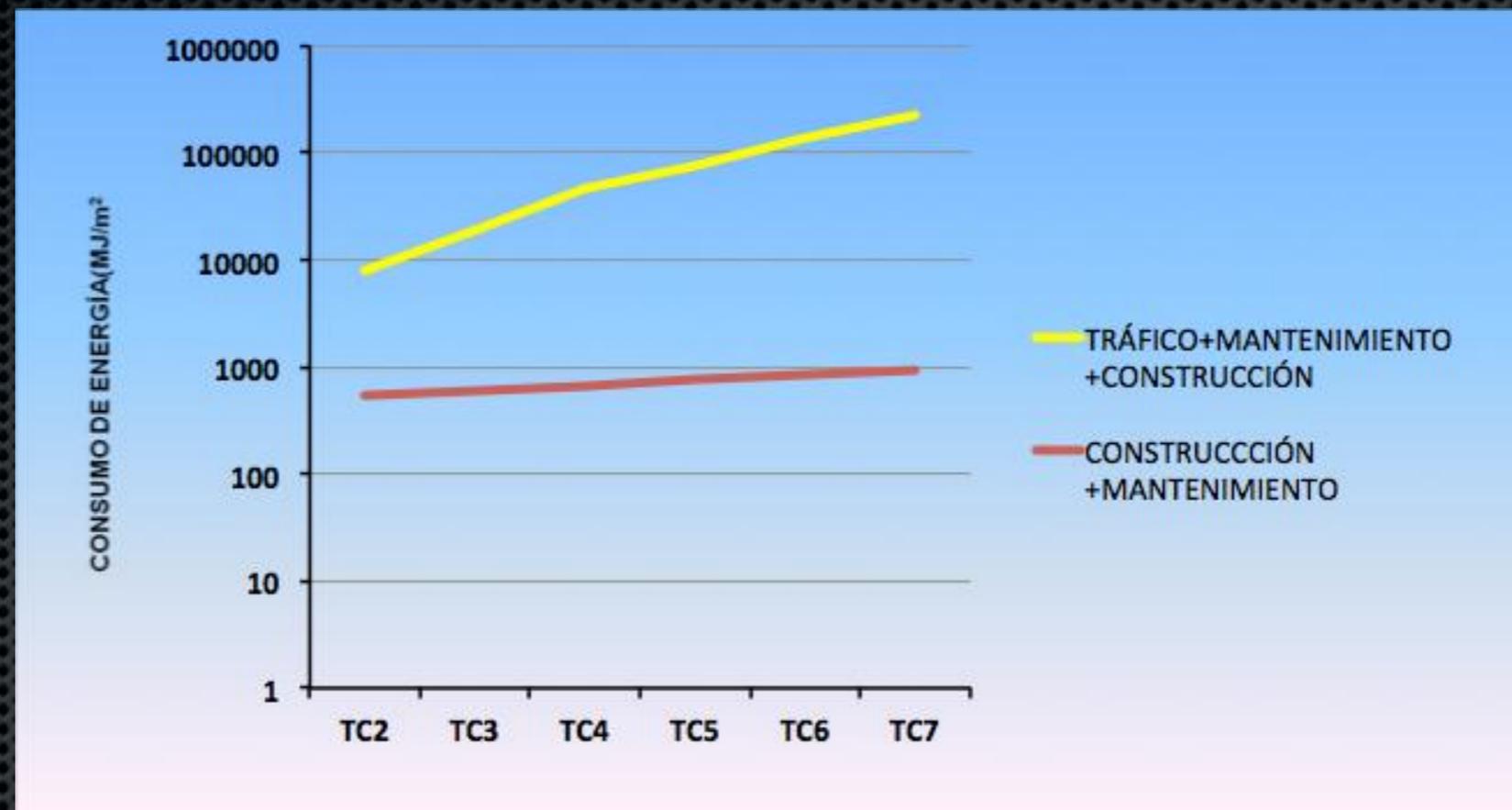
Fuente: Everist Materials LCC

- Criterios básicos de gestión de residuos:
  - Reducir
  - **Reutilizar**
  - Reciclar
  - Recuperar (valorización energética)



# Impactos generados por la carretera

Fuente: Chappat M., Bilal J. (2003)



- Los impactos generados por el tráfico son 10-100 veces mayores que los generados en la construcción y mantenimiento ( periodo de proyecto de 30 años)

# ACV, fase de explotación



**MIRIAM**  
Models for rolling resistance In Road  
Infrastructure Asset Management Systems

FEHRL

Road Directorate

UCPRC  
UNIVERSITY OF CALIFORNIA | PAVEMENT RESEARCH  
TRANS + DESIGN CENTER

TRAFIKVERKET

GoTrans

BPRC

vti

bast

ZAG

Statens vegvesen

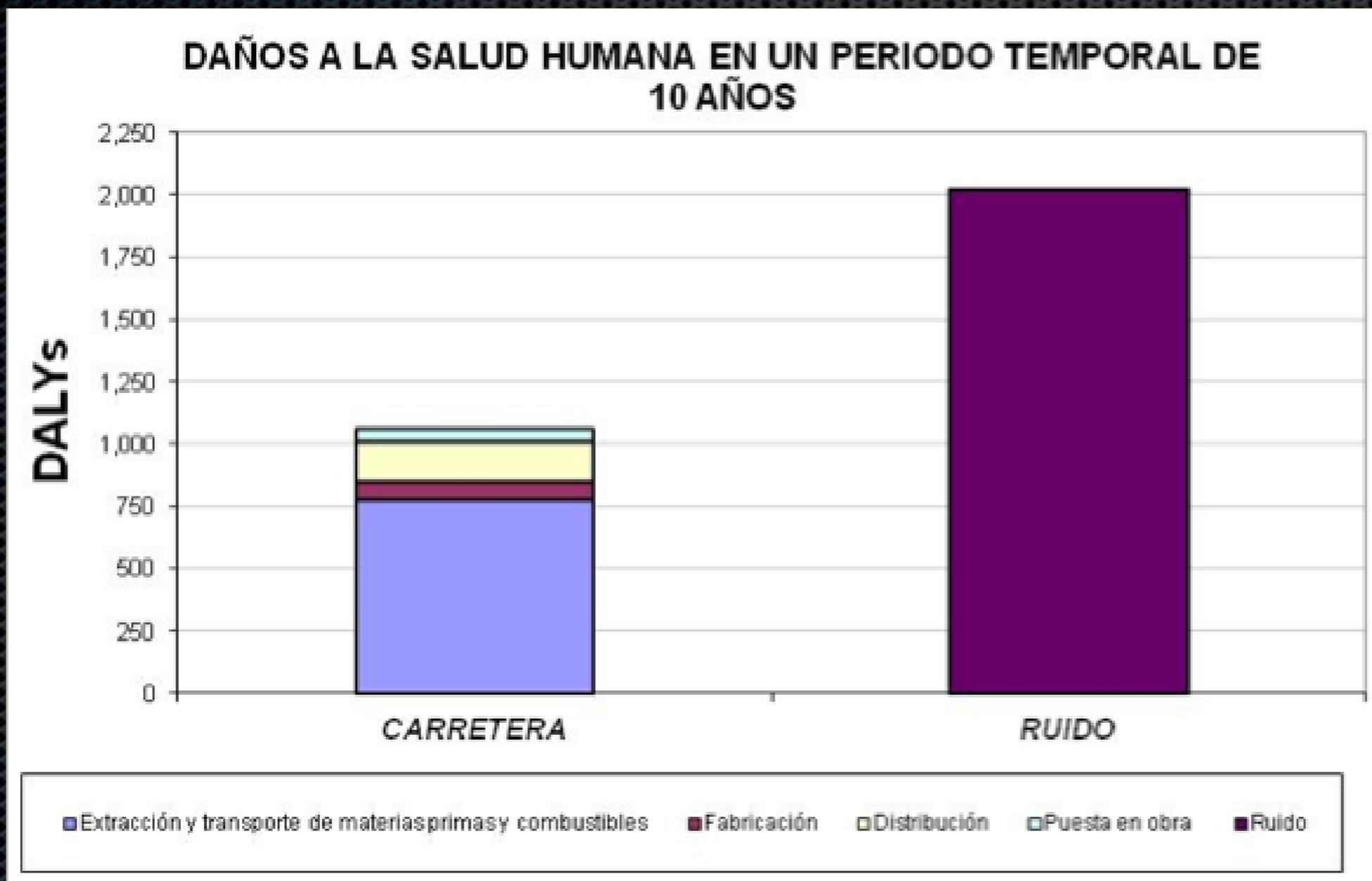
AIT

The image shows a central photograph of a road at night with cars and streetlights, framed by a diamond shape. To the left of this image is a vertical list of logos for various organizations involved in the project.

<http://miriam-co2.net/index.htm>

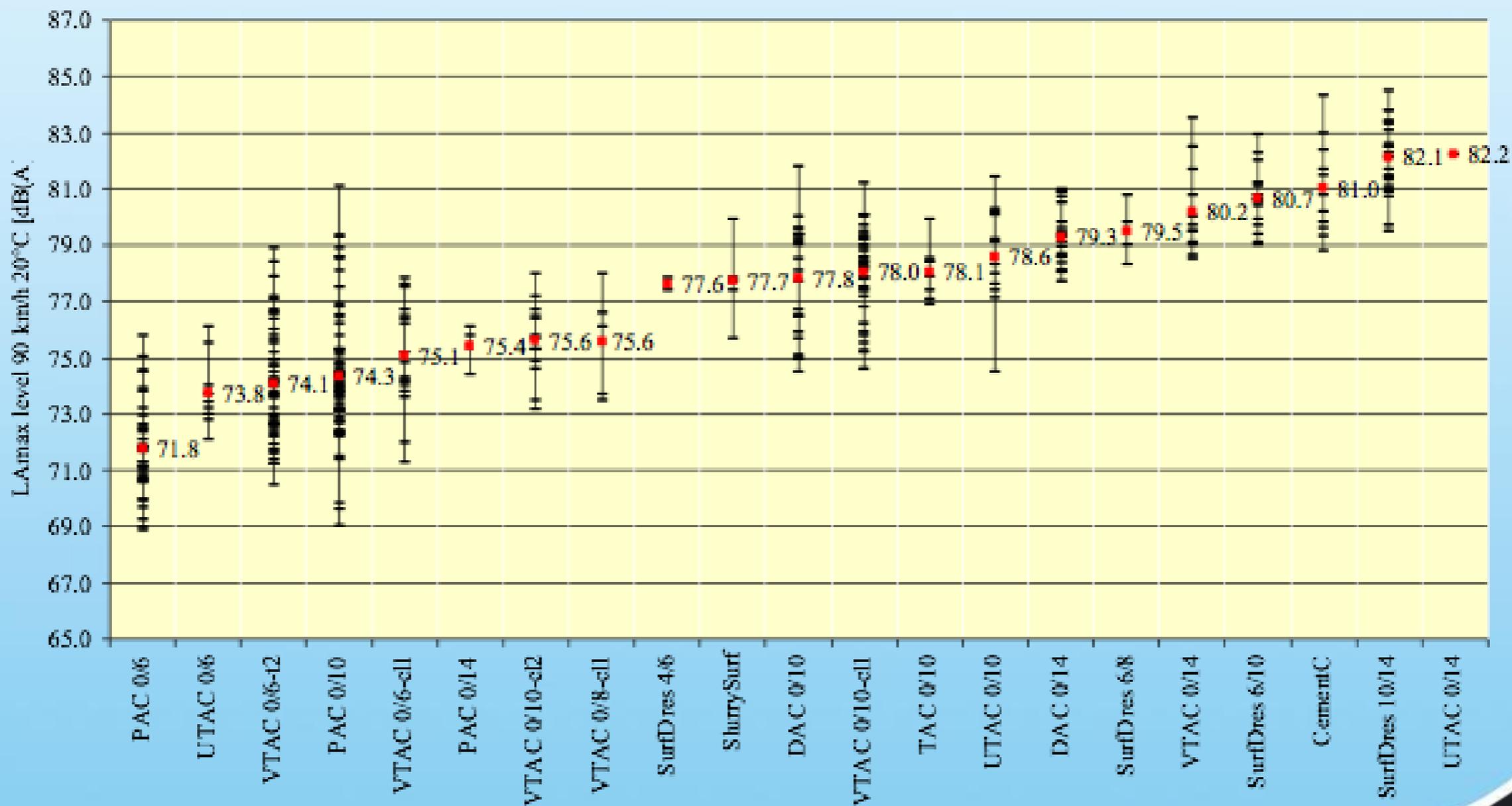
- El consumo de combustible está relacionado fundamentalmente con la regularidad superficial y con la macrotextura.
- Es normal finalizar obras con valores de IRI inferiores a 0,8 mm/m

# ACV, fase de explotación



# ACV, propiedades acústicas

Fuente: SPB French data base, LCPC Strasbourg (Passenger Cars @ 90 km/h and 20°C)





# Criteria ACV

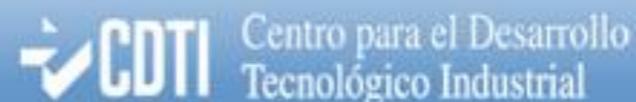
- ▶ Ruido generado y absorbido
- ▶ IRI y consumo de combustible
- ▶ Durabilidad
- ▶ Otras funcionalidades: captación de NOx



# Proyecto Fénix NANOMATERIALES

• [www.proyectofenix.es](http://www.proyectofenix.es)

Cofinanciado por:



# NANOMATERIALES



Investigación en nuevos conceptos de carreteras más seguras y sostenibles CEN20071014 (2ª convocatoria CENIT)

## IDENTIFICACIÓN ACTIVIDAD

NANOMATERIALES

NANOMATERIALES ACTIVOS PARA LA REDUCCIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN

**Objetivo:** Investigación, desarrollo y aplicación de nanopartículas fotocatalíticamente activas en las carreteras para la reducción de gases de combustión generada por los vehículos.

**Socios:** El trabajo a continuación descrito ha sido realizado conjuntamente por SERVIÀ CANTÓ, SACYR, REPSOL, ELSAN, CARTIF y IQAC-CSIC.

# NANOMATERIALES



Efectos sobre el medio ambiente y sobre la salud humana

NO <sub>x</sub>	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Origina ácido nítrico y genera problemas de lluvia ácida.
	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Produce edema pulmonar e insuficiencia respiratoria
	N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Origina ácido nitroso y genera problemas de lluvia ácida.
	NO <sub>2</sub>	Origina N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
	NO	Posee aplicaciones en medicina como vasodilatador.
	N <sub>2</sub> O	Utilizado en medicina como anestésico.

[http://en.wikipedia.org/wiki/User:Benjah-bmm27/Gallery#inorganic\\_compounds](http://en.wikipedia.org/wiki/User:Benjah-bmm27/Gallery#inorganic_compounds)

Los Angeles

Barcelona



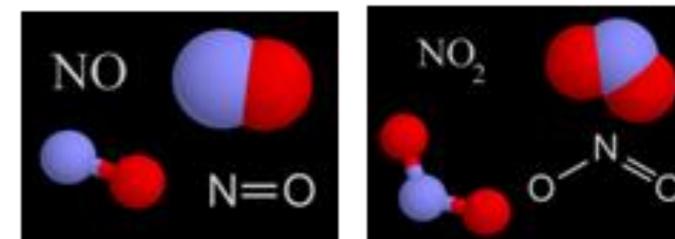
Aspecto de los óxidos de nitrógeno en forma concentrada

<http://csmbr.hjmu.edu.cn/bases/020303.htm>

<http://www.wikiguia.org/index.php?title=Barcelona>

## Contaminantes

NO<sub>x</sub>  
COVs



## Efectos sobre la salud

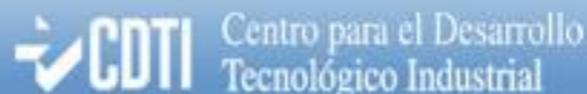
Disminución de la función pulmonar

Enfisemas y otros problemas pulmonares

Otros problemas respiratorios



Cofinanciado por:



# NANOMATERIALES : Límites legales de NO<sub>x</sub>



## LEGISLACIÓN: BOE 260, 30 Octubre 2002

REAL DECRETO 1073/2002, de 18 de octubre, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono.

### ANEXO II

Valores límite para el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y umbral de alerta para el dióxido de nitrógeno

I. Valores límite del dióxido de nitrógeno y de los óxidos de nitrógeno.

Los valores límite se expresarán en µg/m<sup>3</sup>. El volumen se normalizará a la temperatura de 293 K y a la presión de 101,3 kPa.

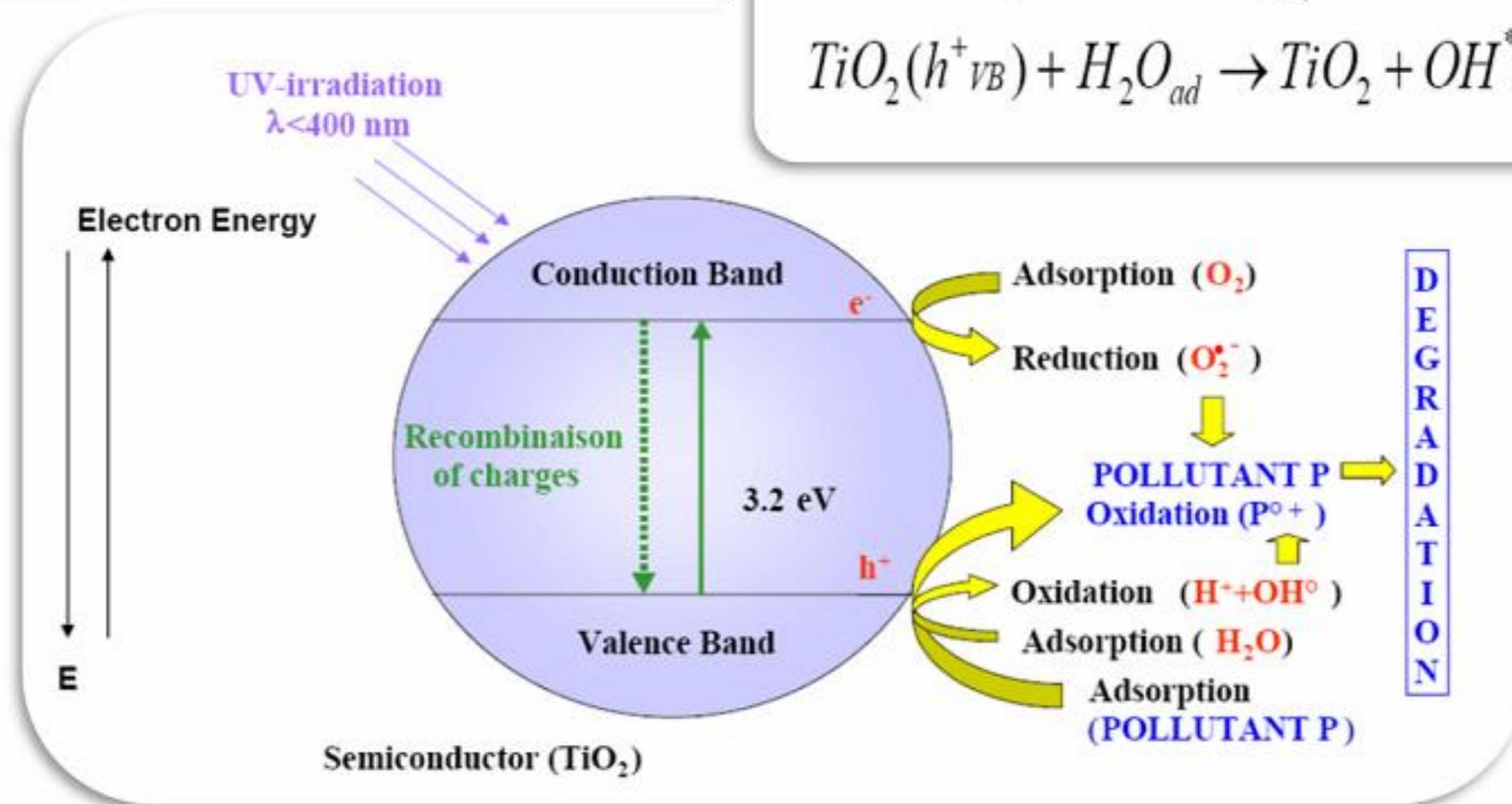
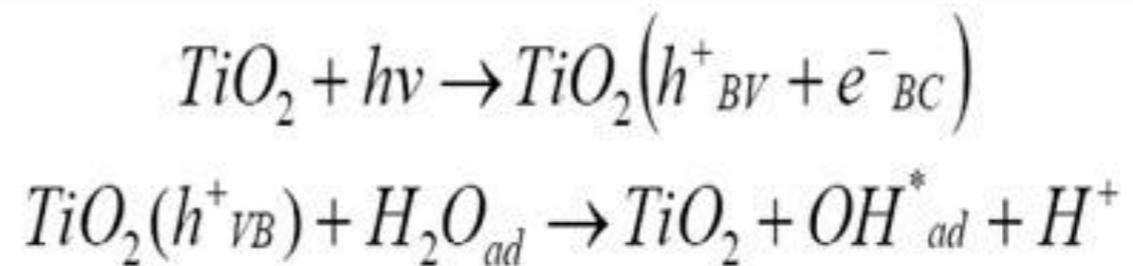
	Periodo de promedio	Valor límite	Margen de tolerancia	Fecha de cumplimiento del valor límite
1. Valor límite horario para la protección de la salud humana.	1 hora.	200 µg/m <sup>3</sup> de NO <sub>2</sub> que no podrán superarse en más de 18 ocasiones por año civil.	80 µg/m <sup>3</sup> a la entrada en vigor del presente Real Decreto, reduciendo el 1 de enero de 2003 y posteriormente cada 12 meses 10 µg/m <sup>3</sup> hasta alcanzar el valor límite el 1 de enero de 2010.	1 de enero de 2010.
2. Valor límite anual para la protección de la salud humana	1 año civil.	40 µg/m <sup>3</sup> de NO <sub>2</sub> .	16 µg/m <sup>3</sup> , a la entrada en vigor del presente Real Decreto, reduciendo el 1 de enero de 2003 y posteriormente cada 12 meses 2 µg/m <sup>3</sup> , hasta alcanzar el valor límite el 1 de enero de 2010.	1 de enero de 2010.
3. Valor límite anual para la protección de la vegetación*.	1 año civil.	30 µg/m <sup>3</sup> de NO <sub>x</sub> .	Ninguno.	A la entrada en vigor de la presente norma.

\* Para la aplicación de este valor límite se tomarán en consideración los datos obtenidos en las estaciones de medición representativas de los ecosistemas a proteger, sin perjuicio, en su caso, de la utilización de otras técnicas de evaluación.

# NANOMATERIALES



## FOTOCATÁLISIS



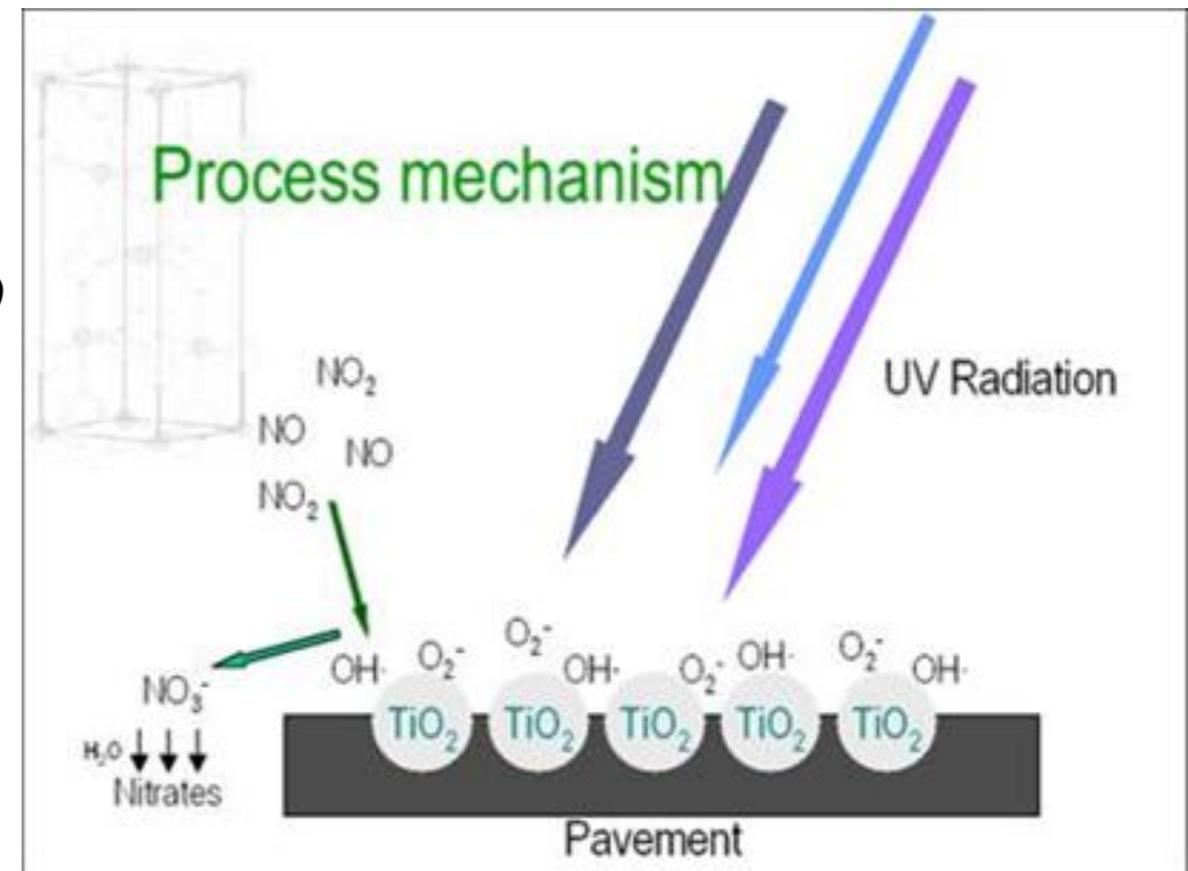
# NANOMATERIALES



## MECANISMO DE REACCIÓN

La oxidación fotocatalítica del NO produce dos productos mayoritarios: NO<sub>2</sub> gas (Indeseado) y HNO<sub>3</sub> en la superficie catalítica. El HNO<sub>2</sub> es un producto secundario y menor ([NO<sub>2</sub><sup>-</sup>]= 0)

- 1.-  $NO + OH^* \xrightarrow{h\nu} HNO_2$
- 2.-  $HNO_2 + OH^* \xrightarrow{h\nu} NO_2 + H_2O$
- 3.-  $NO_2 + OH^* \rightarrow HNO_3$
- 4.-  $NO + NO_3^- \xrightarrow{h\nu} 2NO_2$



# NANOMATERIALES



## SÍNTESIS DE CATALIZADOR

**Síntesis de óxidos inorgánicos mediante procesos sol-gel**

**1 Hidrólisis**

$$\text{H}_2\text{O} + \text{Ti-OR} \rightarrow \text{H}_2\text{O-Ti-OR} \rightarrow \text{HO-Ti-OH} + \text{ROH}$$

**2 Condensación**

*(a) Sol-gel*

$$\text{Ti-OH} + \text{Ti-OH} \rightarrow \text{Ti-O-Ti} + \text{H}_2\text{O}$$

*(b) Sol-gel*

$$\text{Ti-OH} + \text{Ti-OR} \rightarrow \text{Ti-O-Ti-OR} + \text{H}_2\text{O}$$

*(c) Sol-gel*

$$\text{Ti-OR} + \text{Ti-OR} \rightarrow \text{Ti-OR-Ti-OR} + \text{ROH}$$

*(d) Sol-gel*

$$\text{Ti-OH} + \text{Ti-OR} \rightarrow \text{Ti-O-Ti-OR} + \text{H}_2\text{O}$$

Y.A. Attia, ed., "Sol-gel Processing and Applications", Plenum Press, NY (1994)

**Método clásico sol-gel en solución acuosa**

Partículas entre 20-300 nm  
Chung-Hsin Lu et al. Jour. Hazard. Mat. 2004

**Utilizando microemulsiones**

Partículas entre 2-50 nm  
M.S. Lee et al. Sol. Ener. Mat., 2005

**Utilizando soluciones micelares**

Poros entre 20-50 nm  
Antonietti et al. Langmuir, 2004

**Utilizando emulsiones altamente concentradas**

Poros > 50 μm  
Esquera et al. Adv. Mater. 2003

+ Tratamiento hidrotermal  
140 °C  
4-5 horas

# NANOMATERIALES



## *TRATAMIENTO FOTOCATALÍTICO*

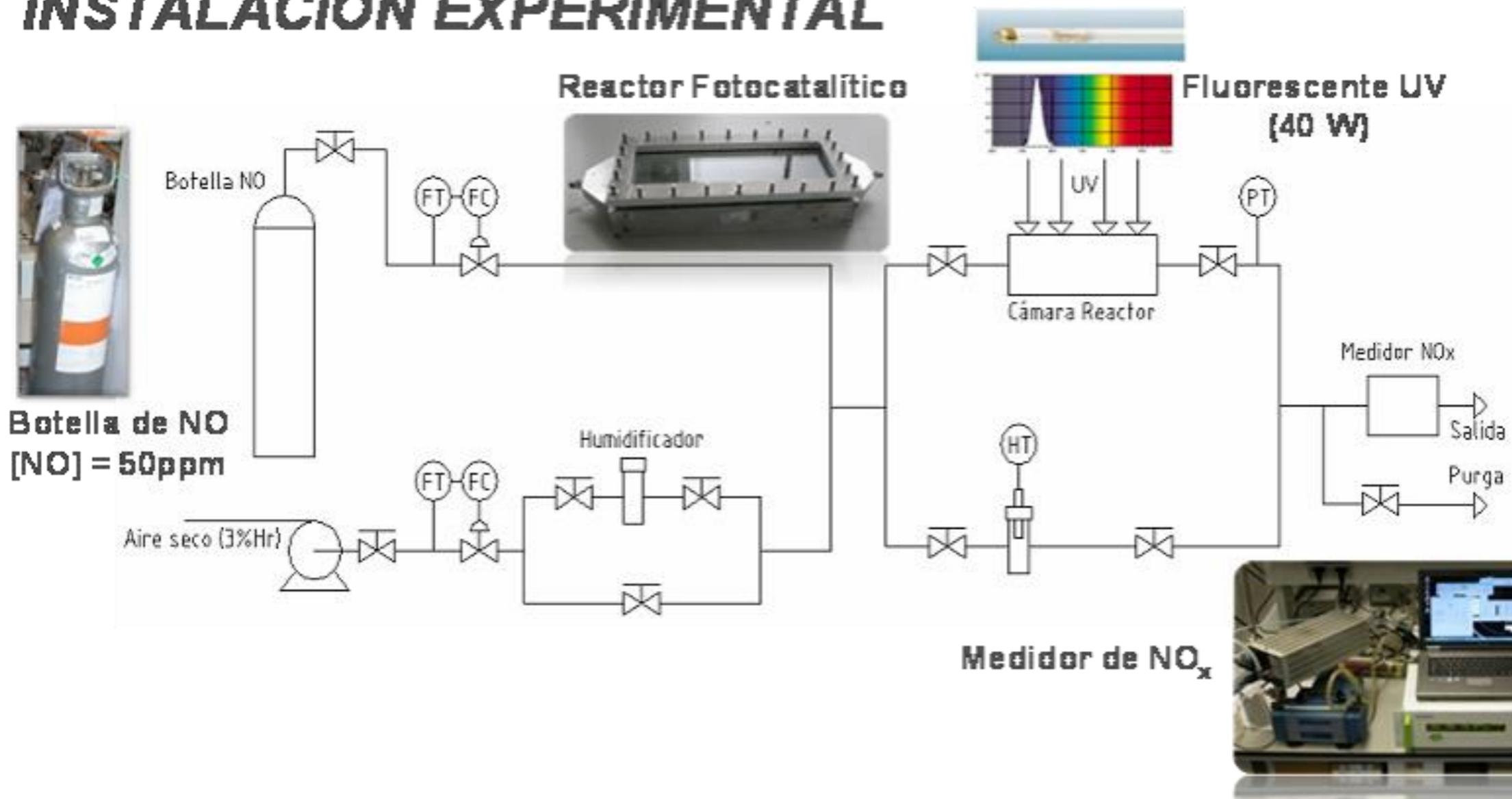
- Método de aplicación: Esprayado con pistola
- Formulación especial con  $\text{TiO}_2$  nanoparticulado y aditivos fijadores.
- Superficie probeta 300  $\text{cm}^2$



# NANOMATERIALES



## INSTALACIÓN EXPERIMENTAL

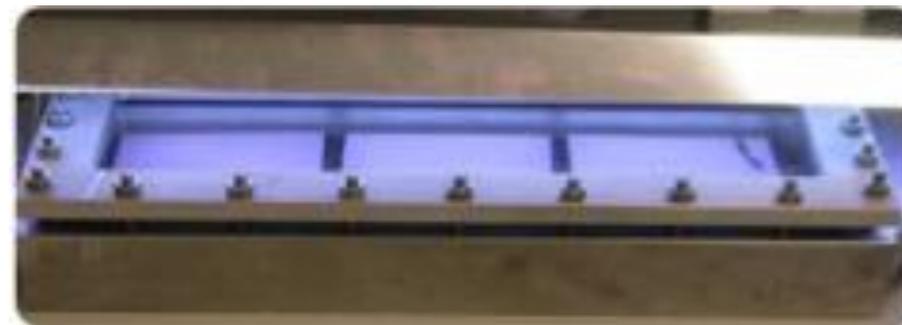


# NANOMATERIALES



## INSTALACIÓN EXPERIMENTAL: Condiciones operacionales

- Caudal 1 L/min
- Ensayo con 4 concentraciones diferentes. 0,2, 1, 2 y 4 ppm de NO a la entrada.
- Superficie probeta 300 cm<sup>2</sup>
- Tiempo de residencia = 18s
- Intensidad de radiación 1 mW/cm<sup>2</sup>



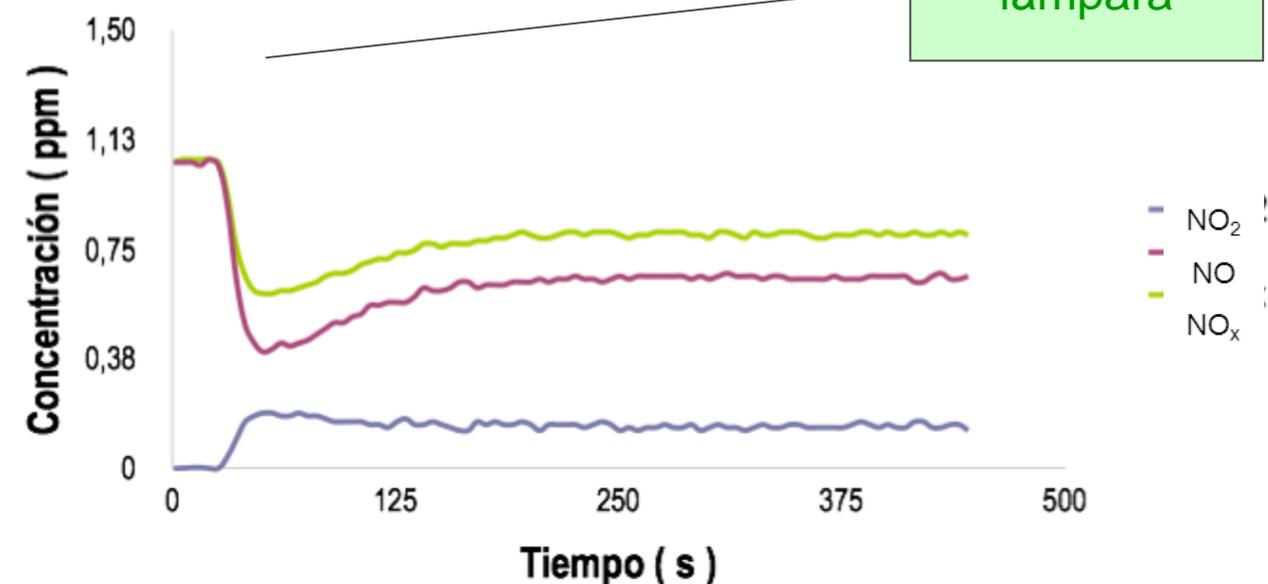
Encendido lámpara

Eliminación de NO<sub>x</sub>

$$\frac{[\text{NO}_x]_{\text{Ent.}} - [\text{NO}_x]_{\text{Sal.}}}{[\text{NO}_x]_{\text{Ent.}}}$$

Oxidación a NO<sub>2</sub>

$$\frac{[\text{NO}_2]_{\text{Sal.}}}{[\text{NO}]_{\text{Ent.}}}$$

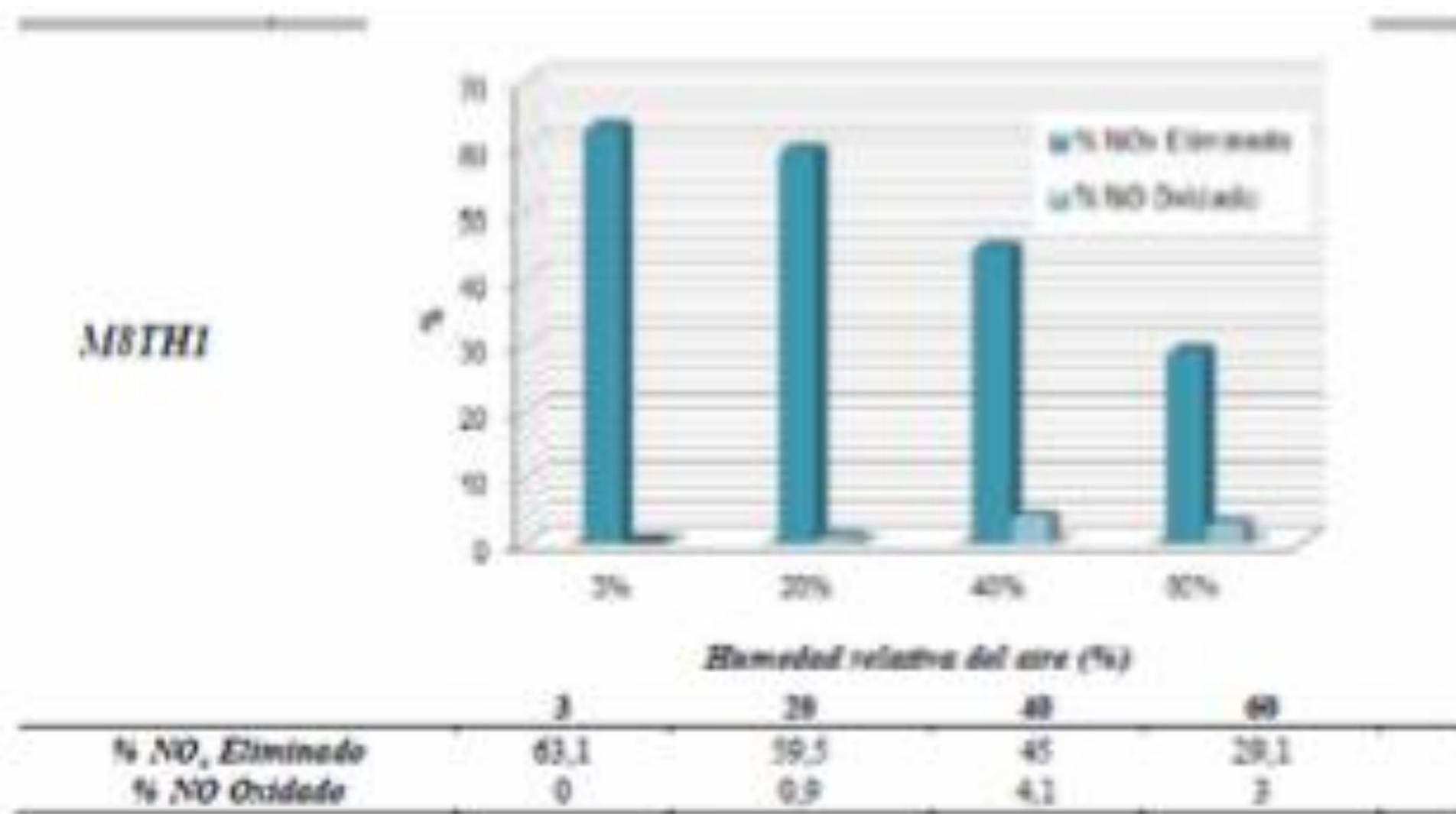


Cofinanciado por:

# NANOMATERIALES



## RESULTADOS EXPERIMENTALES: Eliminación de $\text{NO}_x$



# NANOMATERIALES



## TRAMO DE PRUEBA.

### APARCAMIENTO TRASERO DE CARTIF

Longitud 16 m

Anchura 3,5 m

Superficie 56 m<sup>2</sup>



### DISPERSIÓN APLICADA

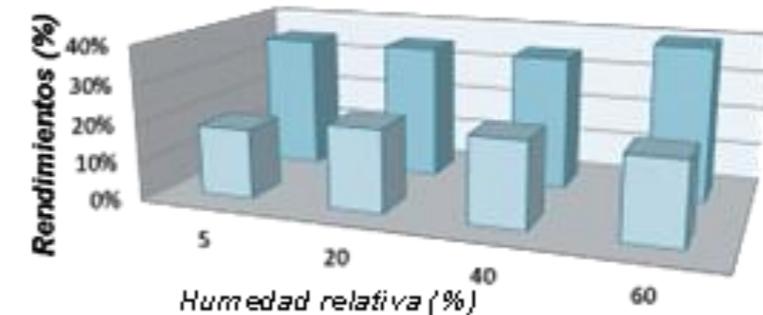
Volumen aplicado 14 L

Catalizador Degussa P25

112 g de TiO<sub>2</sub>

350 mL de resina

### RESULTADOS ACTIVIDAD INICIAL

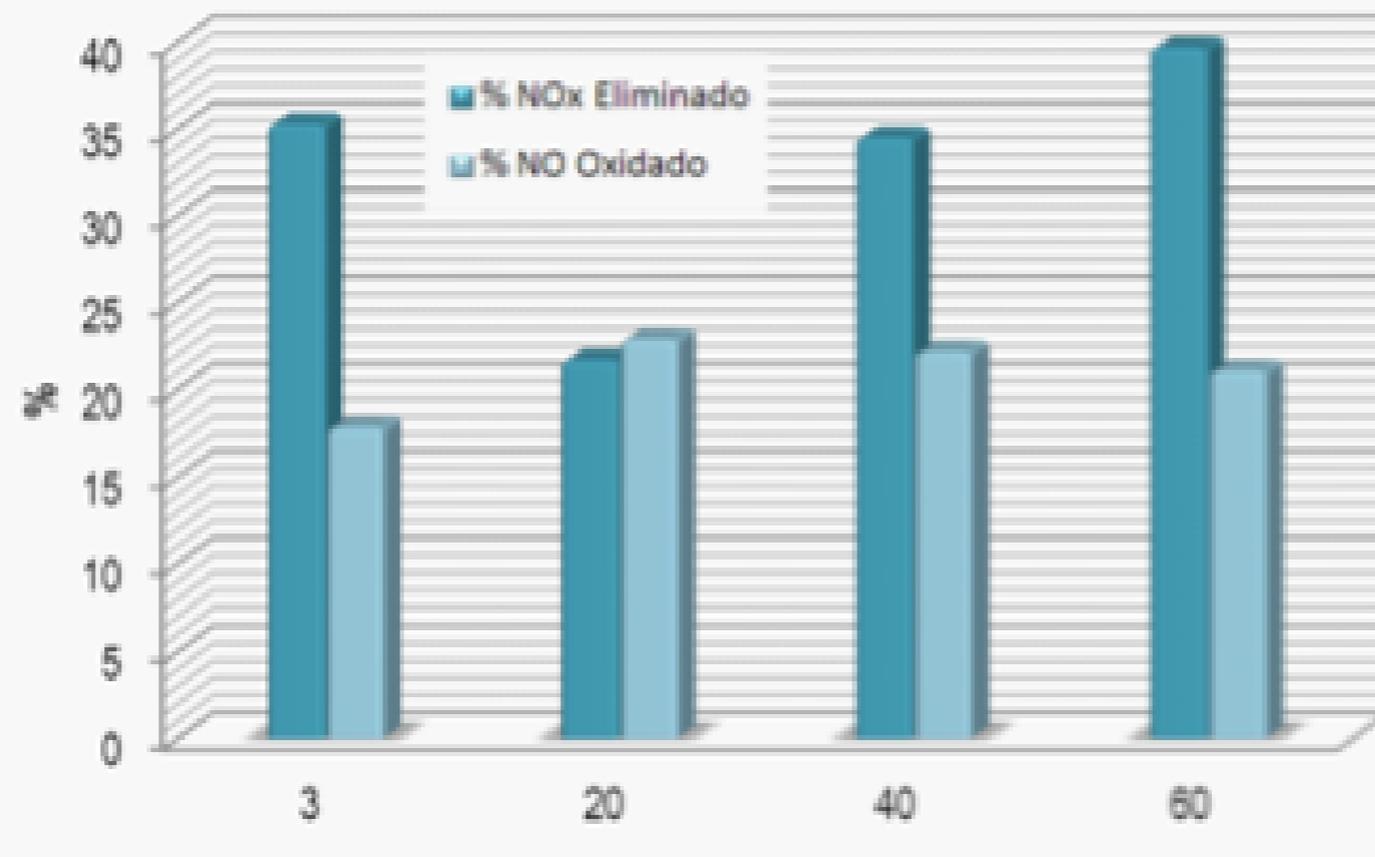


	5	20	40	60
NO oxidado	18%	21%	22%	21%
NOx eliminado	35%	35%	35%	40%

# NANOMATERIALES



*Probeta  
inicial  
tramo de  
ensayo*



*Humedad relativa del aire (%)*

	<b>3</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>60</b>
<b>% NO<sub>x</sub> Eliminado</b>	35,3	21,7	34,5	39,7
<b>% NO Oxidado</b>	17,9	22,9	22,2	21,1

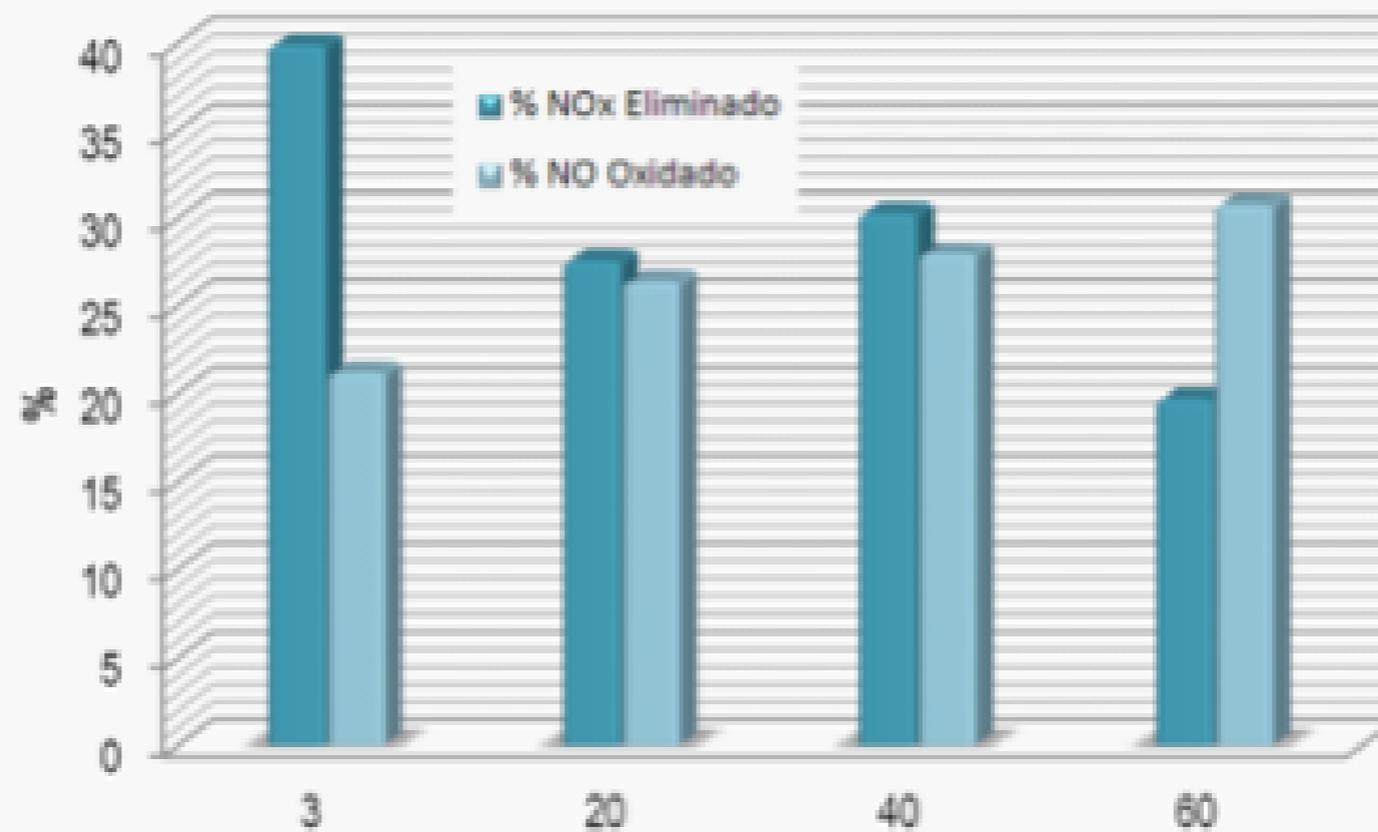
Cofinanciado por:



# NANOMATERIALES



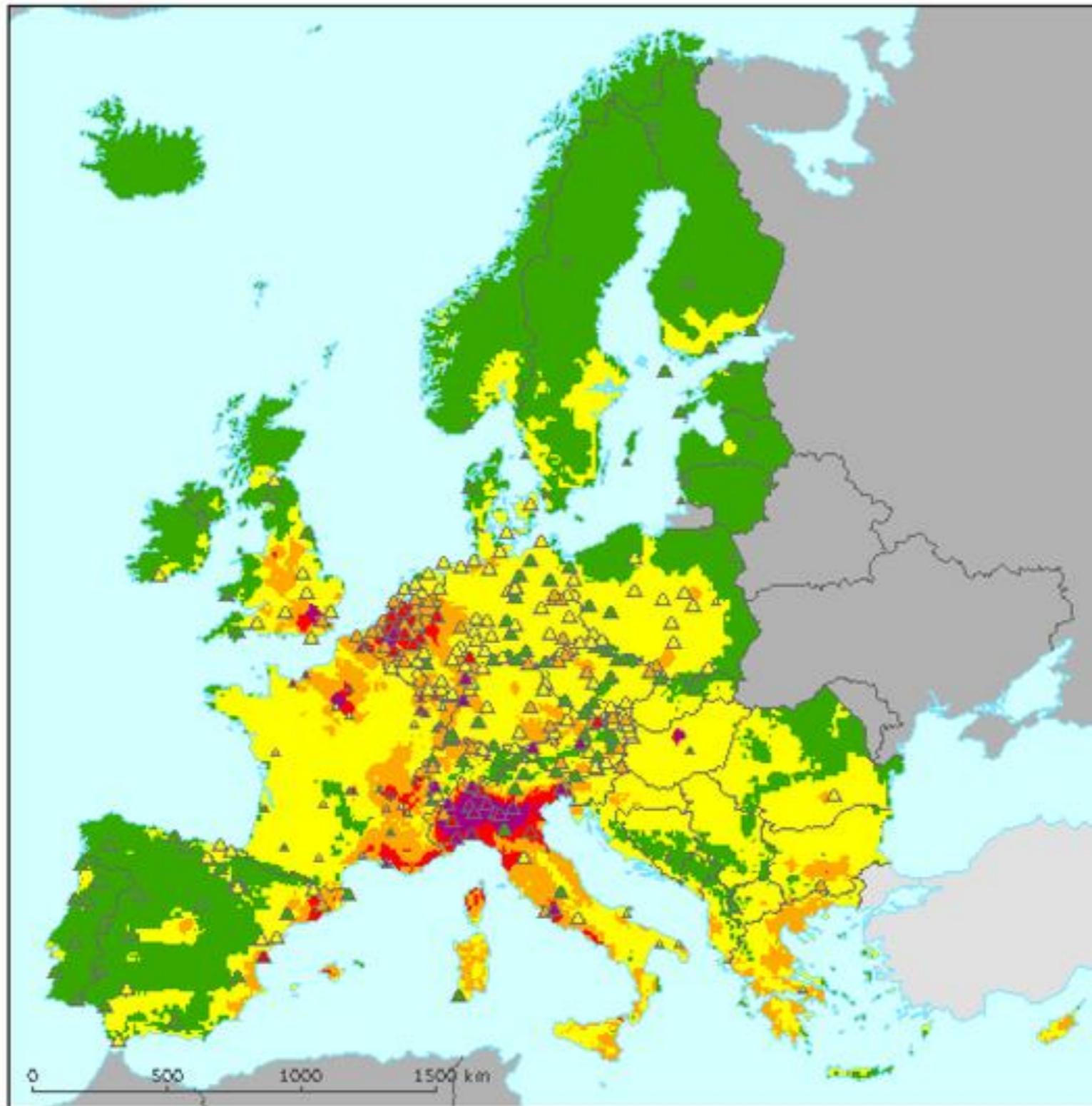
*Testigo  
extraído  
del tramo  
de ensayo  
(3 meses)*



	3	20	40	60
% NO <sub>x</sub> Eliminado	39,9	27,6	30,3	19,7
% NO Oxidado	21,2	26,4	28,0	30,8

Cofinanciado por:





**Nitrogen Oxides (NO<sub>x</sub>)  
Annual Average**

Reference Year: 2006  
Rural Map

- < 10 µg.m<sup>-3</sup>
- 10 - 20 µg.m<sup>-3</sup>
- 20 - 30 µg.m<sup>-3</sup>
- 30 - 40 µg.m<sup>-3</sup> >LV
- > 40 µg.m<sup>-3</sup>
- non-mapped countries
- poor data coverage
- △ rural background station - NO<sub>x</sub>
- ▲ rural backgr. stat. - NO<sub>2</sub> recalc.



# Madrid, sept 2.012



# Equinox®



# NANOMATERIALES



## • CONCLUSIONES

- El Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ) empleado como fotocatalizador, es un producto limpio, fotoestable y sin repercusión negativa sobre el Medio Ambiente.
- Las propiedades fotocatalíticas del  $\text{TiO}_2$  dependen tanto de la morfología del material (granulometría, porosidad, superficie específica, etc...) como de su naturaleza química y cristalina (pureza, estructura de anatasa o rutilo, etc...).
- Los ensayos realizados durante el proyecto demuestran que el producto aplicable al asfalto desarrollado permite eliminar óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles.
- La formulación desarrollada permite fijar convenientemente el fotocatalizador sobre el asfalto de forma que la rodadura de los vehículos no retire una parte apreciable del material aplicado. La formulación se ha desarrollada en fase acuosa y se ha definido la composición en material fotocatalítico y en un aditivo fijador polimérico.

# NANOMATERIALES



- Este trabajo ha sido realizado gracias a (entre otros colaboradores) :
  - Christian Cortés, Juan Manuel Cadenas, Carolina Rios (Servià Cantó)
  - Antonio Pérez Lepe, Antonio Páez (Repsol)
  - Andrés Costa, Javier Loma (Elsan)
  - Jacinto Garcia Santiago, Francisco Guisado (Sacyr)
  - José Fermoso, Olga Prieto y Victor Reguero (CARTIF)
  - Jordi Esquena, Alex Vílchez (IIQAB-CSIC)
  - Juan José Potti (FENIX)



Gracias por su atención

