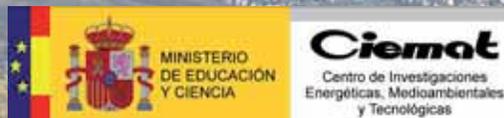


# Efectos del ozono y del depósito de nitrógeno atmosférico en los bosques

R. Alonso, I. González, V. Bermejo, S. Elvira, J. Sanz, H. García,  
H. Calvete, F. Valiño, I. Rábago  
Ecotoxicidad de la Contaminación Atmosférica - CIEMAT





**Convention on Long- Range  
Transboundary Air Pollution (UN-ECE) -  
Convenio de Ginebra**



**Investigación científica**

Efectos contaminantes  
atmosféricos

**Política ambiental**

Protocolos control de emisiones  
para prevenir efectos

**Indicadores ambientales**

Cargas críticas y Niveles  
críticos

**Directivas  
europeas**



# Cambios en la composición química de la atmósfera

## Principales contaminantes atmosféricos:

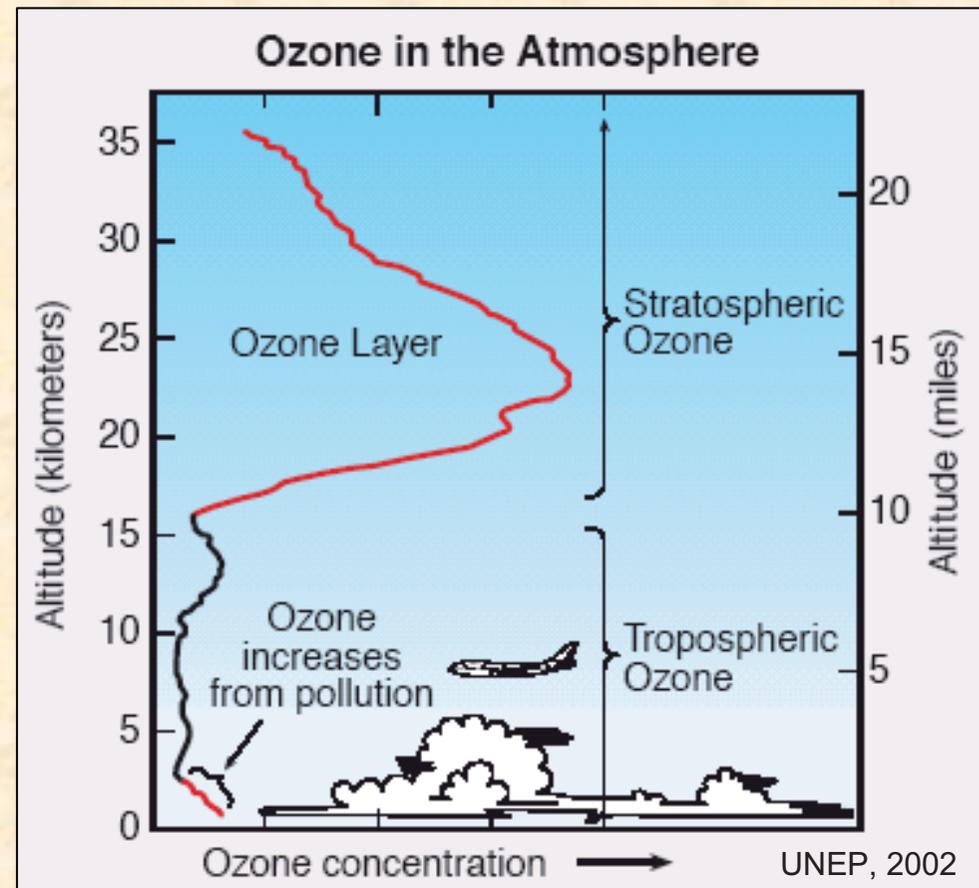
- $\text{CO}_2$
- Compuestos nitrogenados
- Ozono y contaminantes fotoquímicos
- Compuestos azufrados
- Compuestos orgánicos volátiles (VOCs)
- Metales pesados
- Compuestos orgánicos persistentes (POPs)

# Ozono troposférico ( $O_3$ )

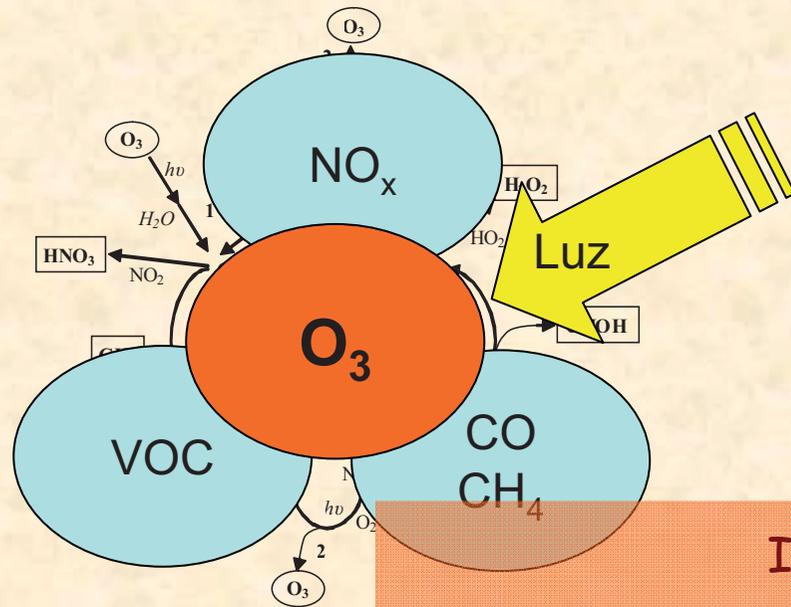
Componente natural de la atmósfera:  
90% estratosfera  
10% troposfera

$O_3$  ESTRATOSFÉRICO  
PROTECCIÓN RAYOS UV

$O_3$  TROPOSFÉRICO  
GAS ALTAMENTE OXIDANTE  
GAS DE EFECTO INVERNADERO

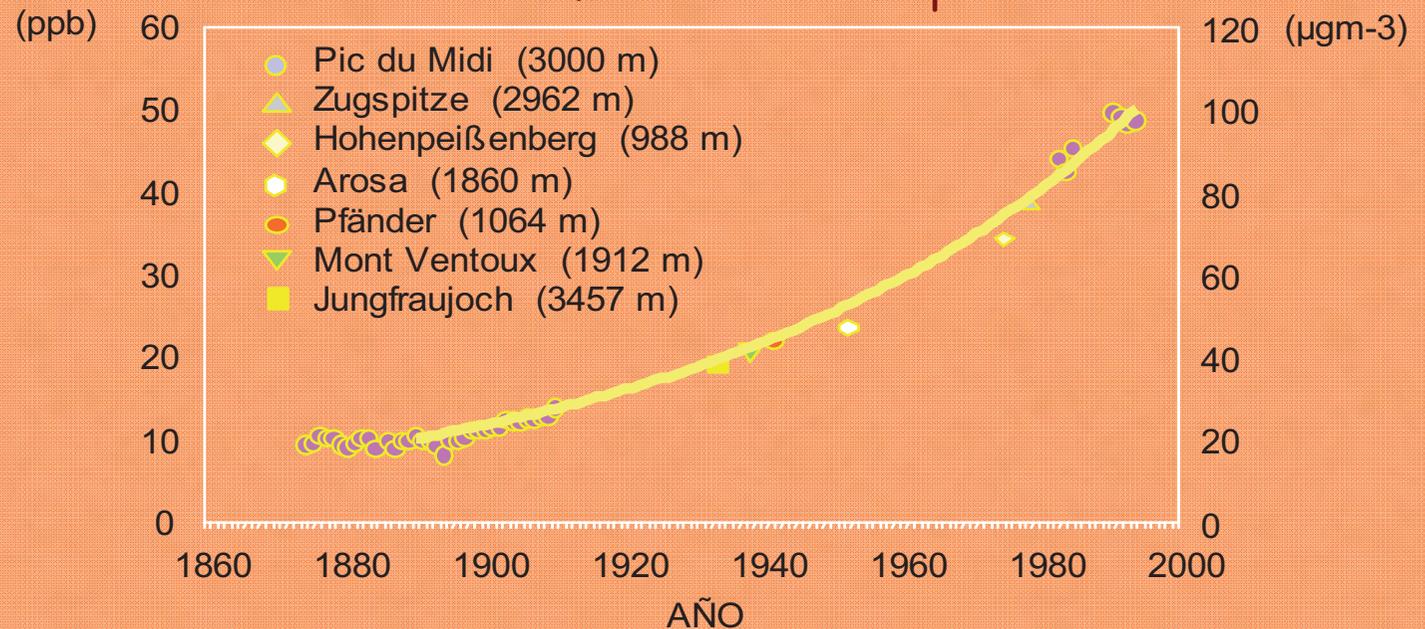


# Ozono troposférico ( $O_3$ )



- Contaminante secundario
- Dificultad de control
- Aumenta a una tasa anual del 1%

## Incremento del fondo de $O_3$ en zonas montañosas europeas



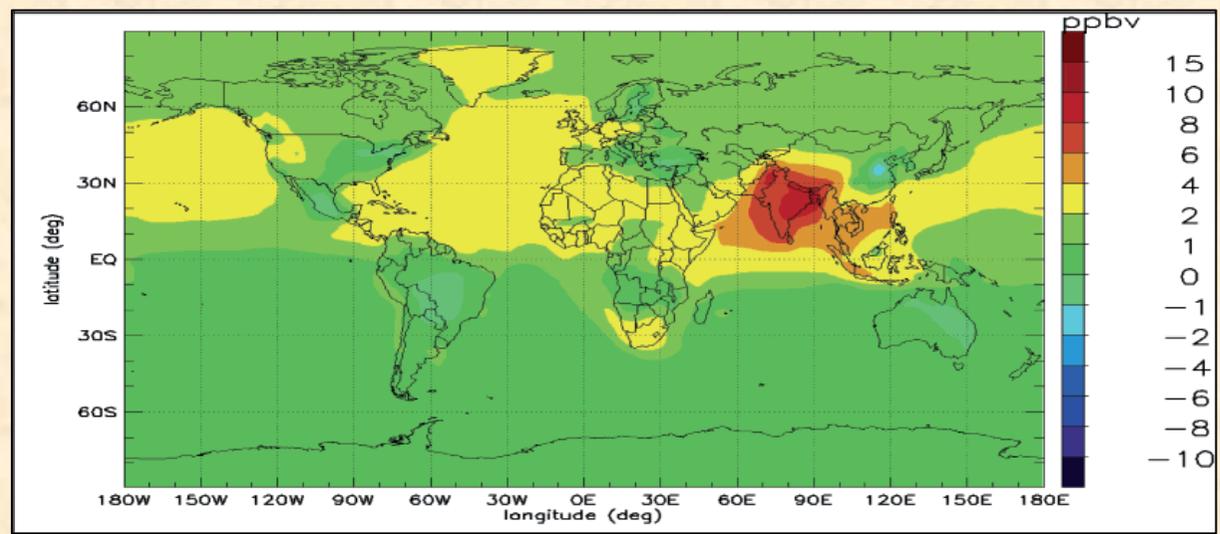
Adaptado de Marengo et al. (1994)

# Tendencias en la concentración de O<sub>3</sub> para 2030

Aumento  
previsto

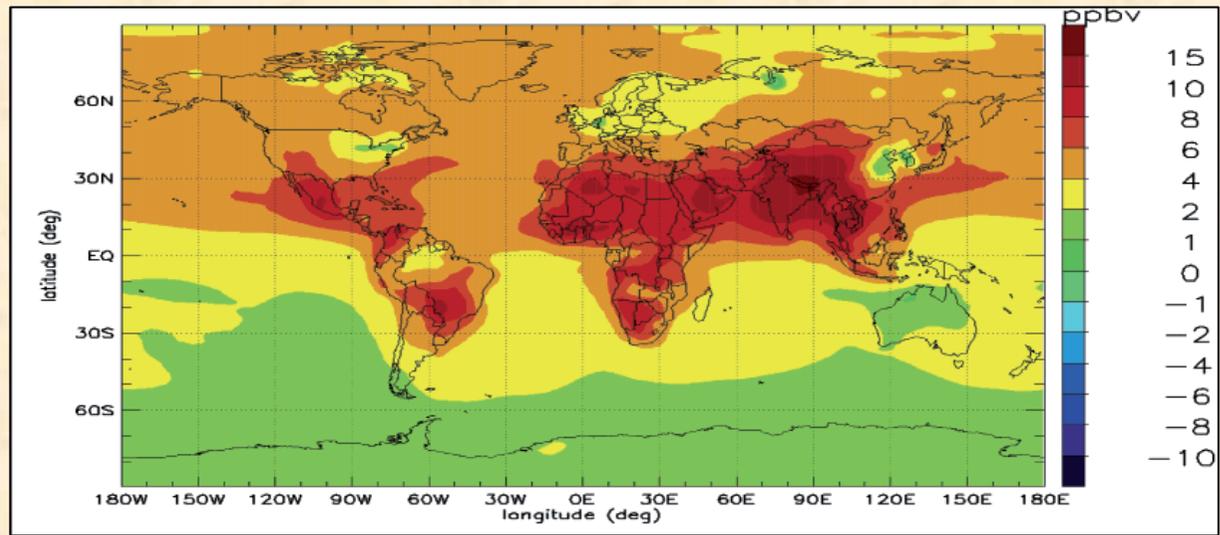
$1,5 \pm 1,2$  ppb

Escenario Legislación actual

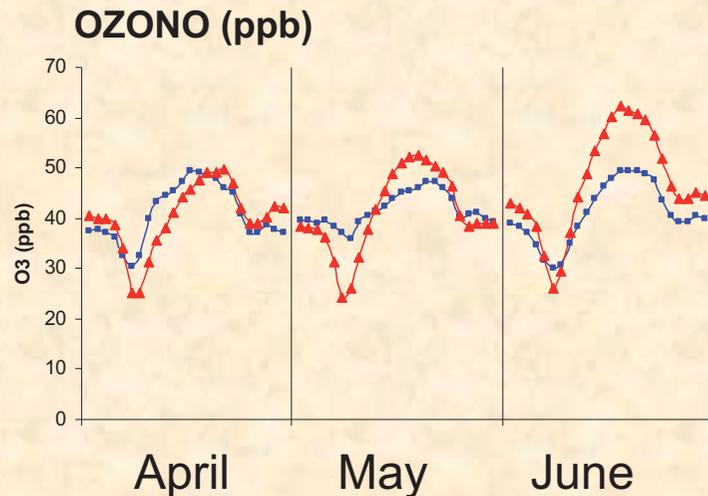


Escenario aumento emisiones de precursores

$4,5 \pm 2,2$  ppb



# Variabilidad temporal y espacial en [O<sub>3</sub>]

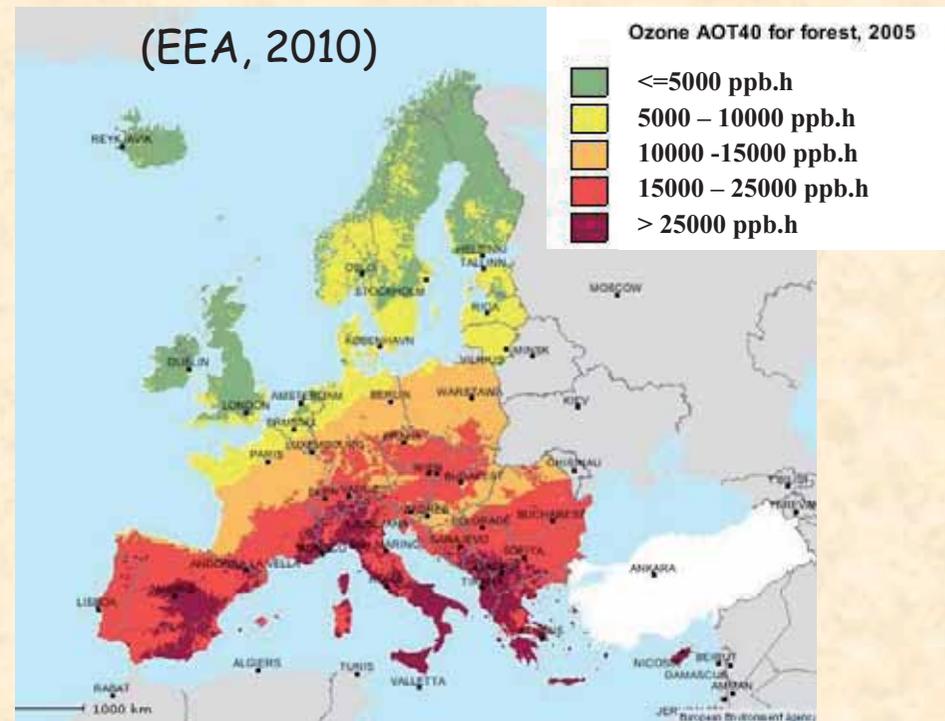


## Elevada variabilidad temporal

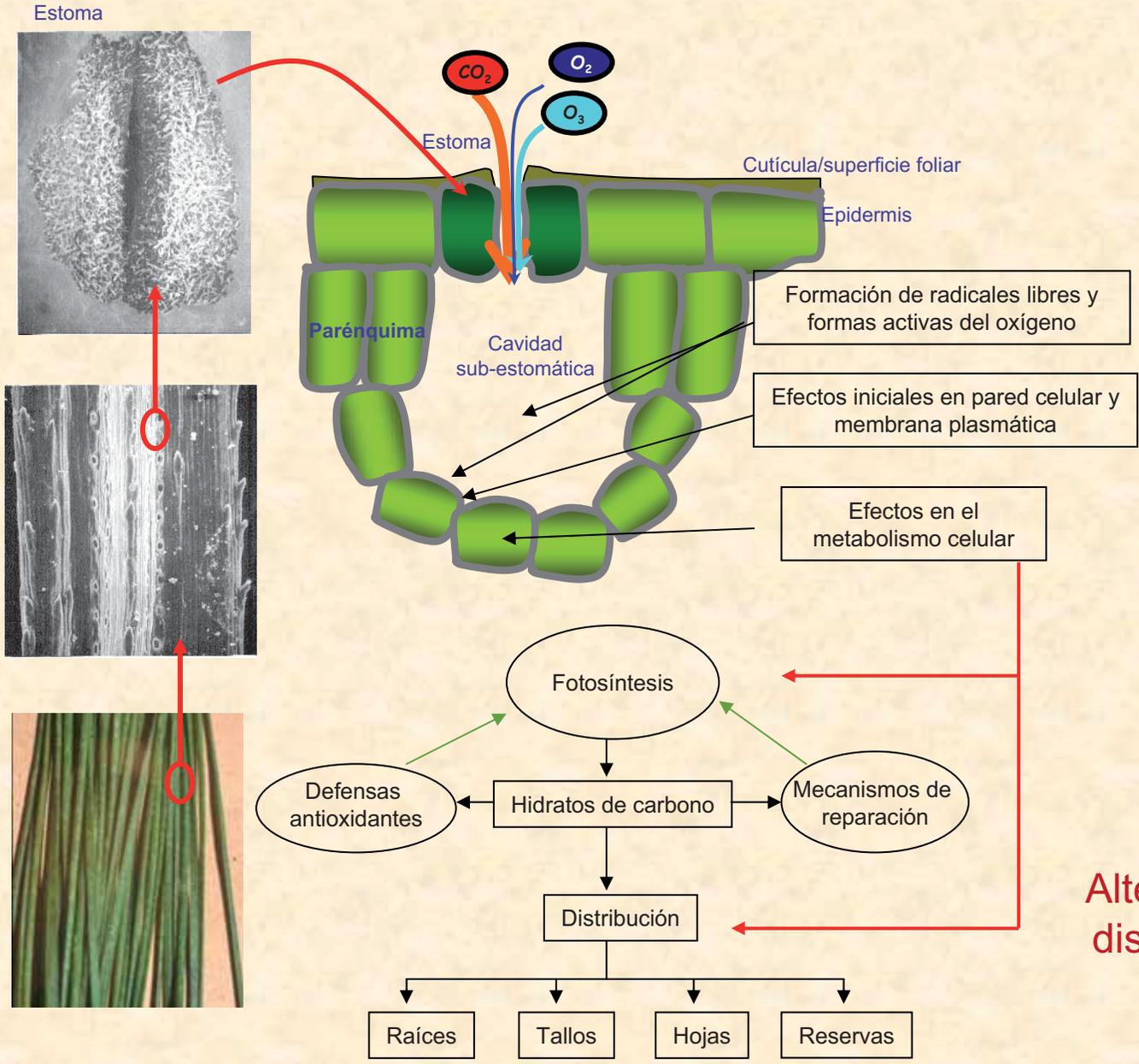
- Máximos a mediodía en primavera/verano
- Mínimos nocturnos y en invierno

## Variabilidad espacial:

- Niveles elevados en el área mediterránea
- Niveles elevados en zonas rurales y montañosas



# Efectos del ozono en la vegetación



Alteración en la permeabilidad y funcionalidad de las membranas celulares

Estrés oxidativo celular

Alteración en la regulación estomática

Alteración metabolismo del C y N

Alteración de la asimilación, distribución-translocación y almacenamiento

# Efectos del ozono en la vegetación

---



- Desarrollo de síntomas foliares
- Aceleración de la senescencia
- Disminución del crecimiento (y producción)
- Efectos en la capacidad reproductiva
- Predisposición frente a otros factores de estrés
  
- Alteración de relaciones de competencia
- Pérdida de calidad nutritiva para herbívoros
- Alteración de los ciclos de nutrientes y agua
- Cambios en la biodiversidad



# Valores umbrales para la protección de la vegetación



## NIVELES CRÍTICOS - Convenio de Ginebra (1979)

	CULTIVOS	VEGETACIÓN-SEMINATURAL	ÁRBOLES
NIVEL CRÍTICO	<i>Cultivos agrícolas:</i> AOT40 of <b>3000</b> ppb.h <i>Hortícolas</i> AOT40 of <b>6000</b> ppb.h	AOT40 of <b>3000</b> ppb.h	AOT40 of <b>5000</b> ppb.h
Periodo de tiempo	<i>Cultivos agrícolas</i> 3 meses <i>Hortícolas</i> 3,5 meses	3 meses (o ciclo vital si es más corto)	Estación de crecimiento
Efecto	Reducción de la producción (5%)	Perennes: reducción crecimiento Anuales. Reducción de crecimiento y/ semillas (10%)	Reducción crecimiento (5%)



## Directiva Europea Calidad del Aire (2008/50/EC)

### Objetivos inmediatos (2010)

AOT40 **9000 ppb.h** acumulado durante 3 meses (Mayo-Julio) media de 5 años

### Objetivos a largo plazo (2020)

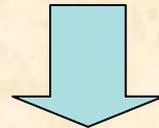
AOT40 **3000 ppb.h** acumulado 3 meses (Mayo-Julio)

La fitotoxicidad del ozono no está directamente relacionada con la exposición al contaminante sino con la dosis absorbida !!!

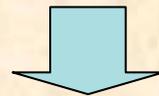


Considerar la influencia de las variables meteorológicas

**Cambio climático**

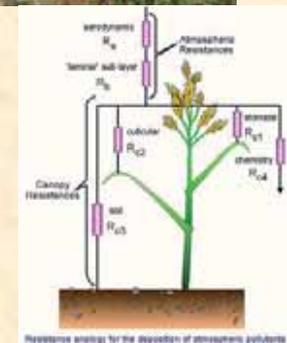


Estimar los flujos de absorción de ozono



**Niveles críticos basados en flujos**

(POD) Phytotoxic Ozone Dose

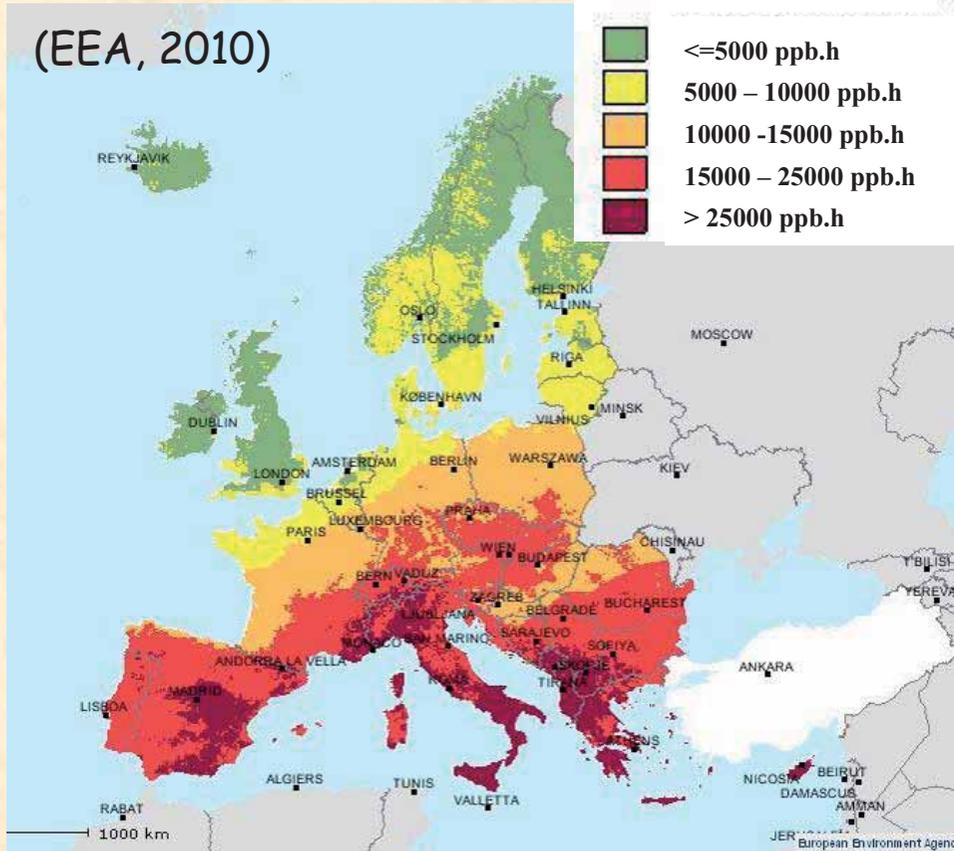


Revisión del Protocolo de Gothenburg para disminuir la acidificación, eutrofización y el ozono

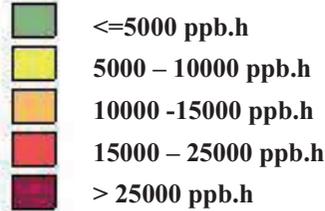
# Efectos del ozono en la vegetación

6 meses

(EEA, 2010)



Ozone AOT40 for forest, 2005



**Objetivos inmediatos (2010)**

AOT40 **9000 ppb.h** 3 meses

**Objetivos a largo plazo (2020)**

AOT40 **3000 ppb.h** 3 meses



CLe\_c: AOT40=5000 ppb.h

5% reducción biomasa

**Especies sensibles:** haya, abedul

**Países:** Suecia, Finlandia, Suiza

Región Mediterránea: >15000 - 25000 ppb.h

11-20% reducción en biomasa esperada



# Revisión de experimentos

- Especies mediterráneas perennifolias creciendo en clima Medit.
- Experimentos con efectos en crecimiento/biomasa



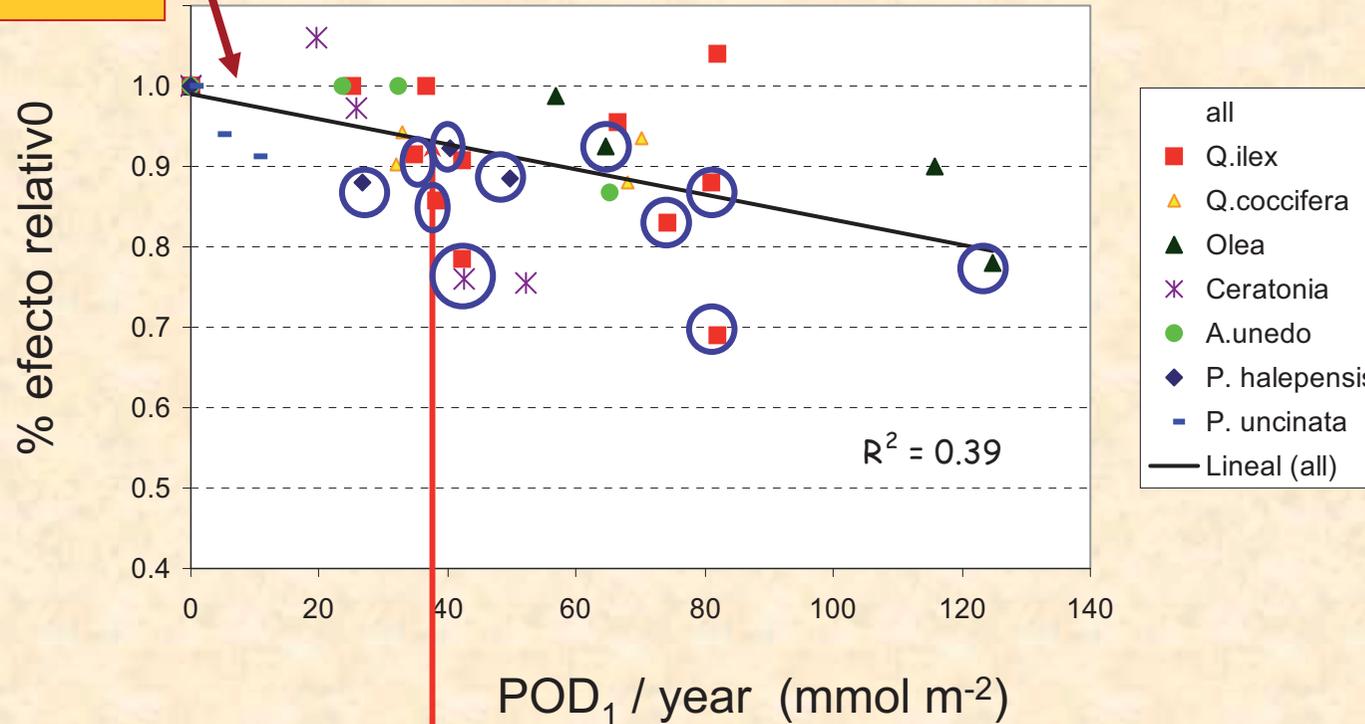
7 especies  
4 sitios



Species	Exposure system	Location	O <sub>3</sub> treatments	Other treatments	gs measurement	years
<i>Quercus ilex</i>	OTC	Ebro Delta (Spain)	CFA, NFA, NFA+40			1996-1997
	OTC	Ebro Delta (Spain)	CFA, NFA, NFA+40	WW/DS	+	1998-2000
	OTC	Valencia (Spain)	CFA, NFA+		+	2006-2007
	OTC	Curno (Italy)	CFA, NFA+	salt	+	2009
	OTC	Curno (Italy)	CFA, NFA+	salt	+	2010
<i>Quercus coccifera</i>	OTC	Ebro Delta (Spain)	CFA, NFA, NFA+40	WW/DS	+	1998-2000
<i>Ceratonia siliqua</i>	OTC	Ebro Delta (Spain)	CFA, NFA, NFA+40			1996-1997
	OTC	Ebro Delta (Spain)	CFA, NFA, NFA+40		+	1998-2000
<i>Olea europaea</i>	OTC	Ebro Delta (Spain)	CFA, NFA, NFA+40			1996-1997
	OTC	Ebro Delta (Spain)	CFA, NFA, NFA+40		+	1998-2000
<i>Arbutus unedo</i>	OTC	Ebro Delta (Spain)	CFA, NFA, NFA+40			1996-1997
	OTC	Curno (Italy)	CFA, NFA+	salt	+	2009
	OTC	Curno (Italy)	CFA, NFA+	salt	+	2010
<i>Pinus halepensis</i>	OTC	Ebro Delta (Spain)	CFA, NFA, NFA+40	WW/DS	+	1994-1996
<i>Pinus uncinata</i>	Open exposure	Switzerland	Control, O <sub>3</sub> +, O <sub>3</sub> ++		+	2009-2010

# Función dosis O<sub>3</sub>-respuesta

Actual POD<sub>1</sub>  
4-8 mmol m<sup>-2</sup>  
6 meses

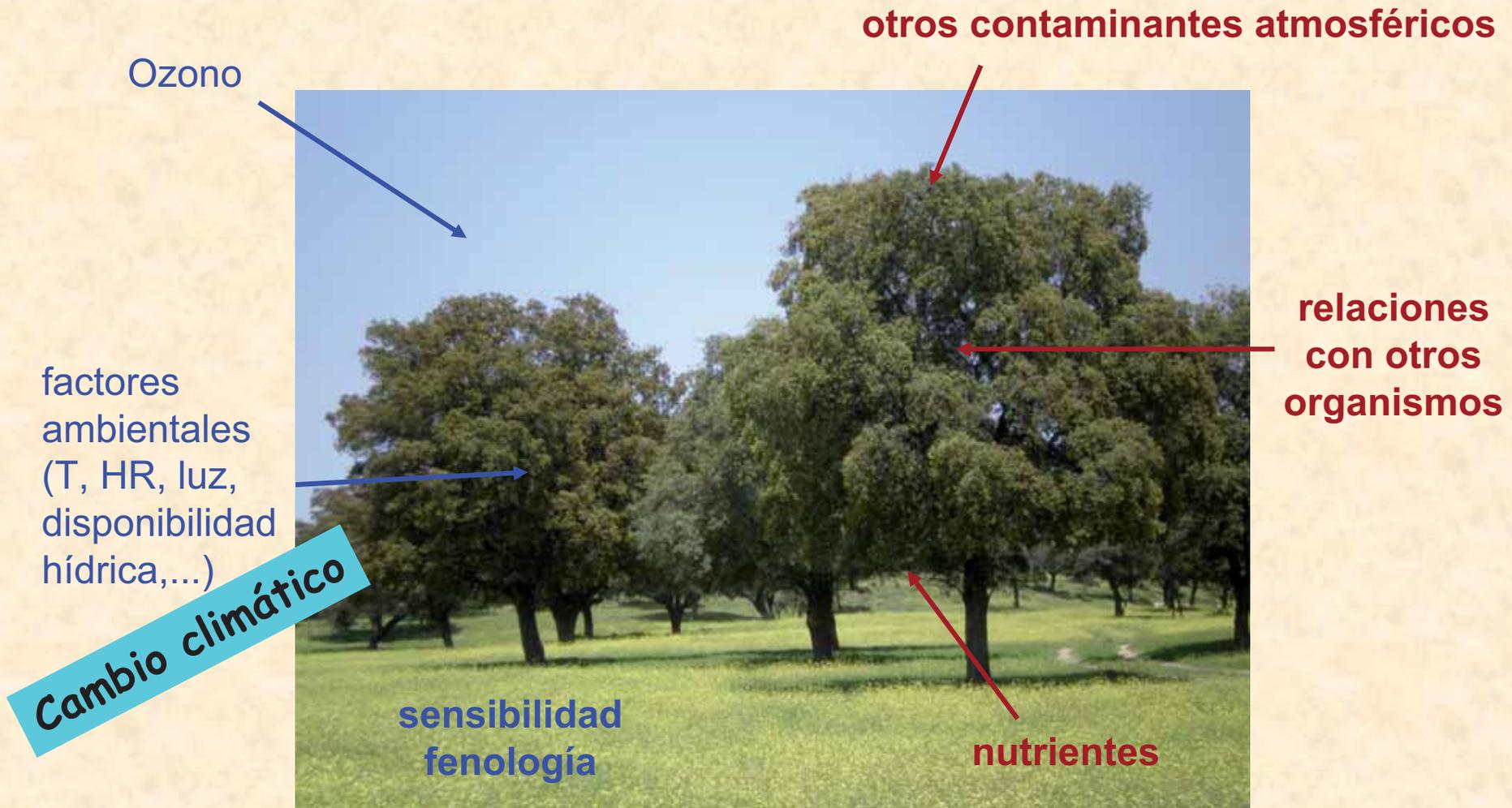


POD<sub>1</sub> up to 38.6 mmol m<sup>-2</sup> (5 meses)

Especies caducifolias  
(Calatayud et al., 2011)

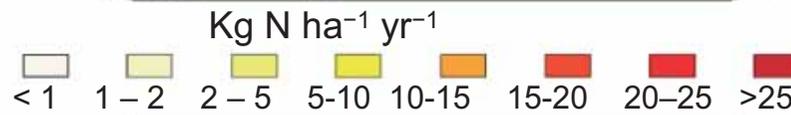
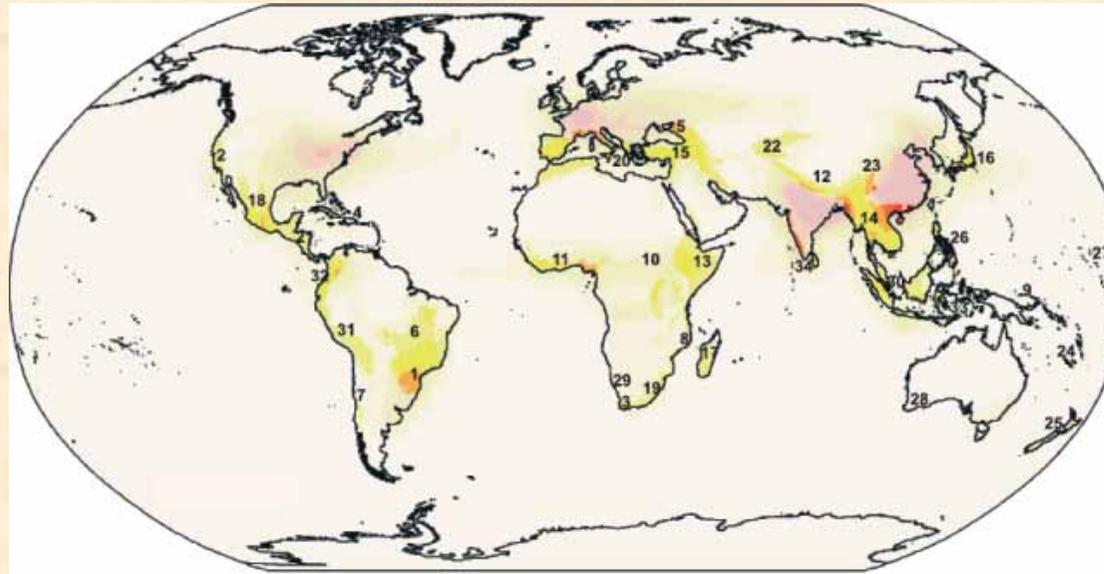
→ No hay efectos!

# Contaminación atmosférica y cambio global

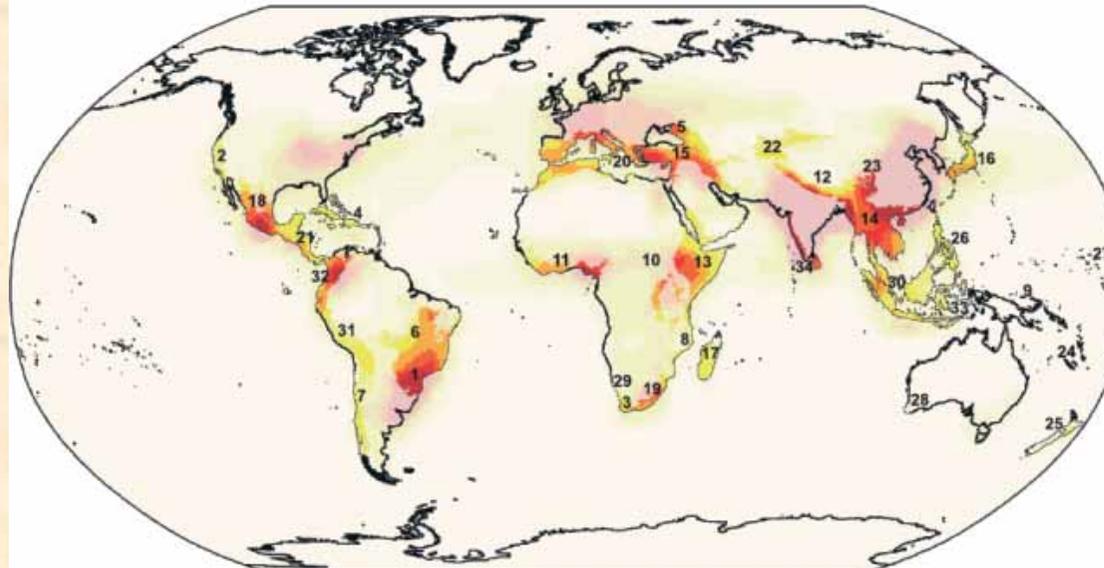


# Depósito de N atmosférico en las zonas de mayor biodiversidad

Mid - 1990s

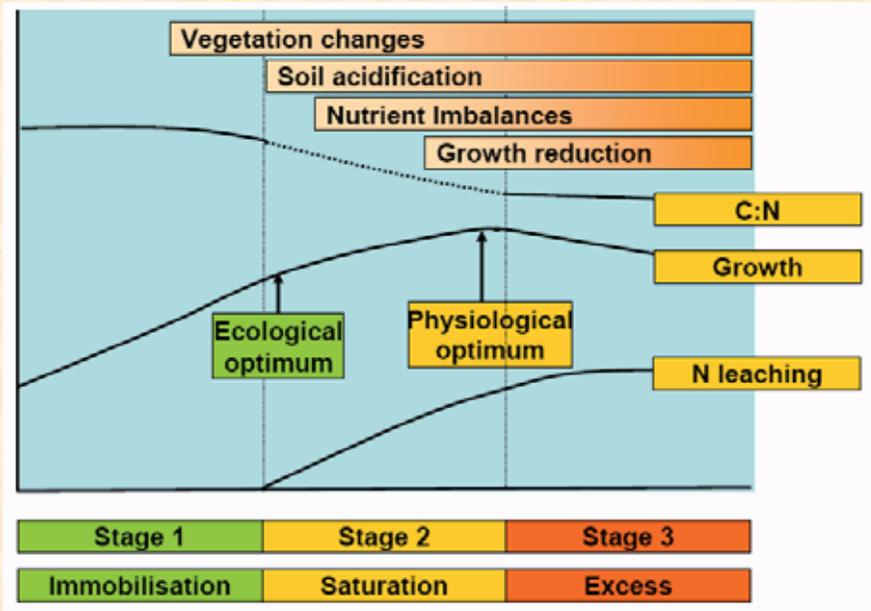


2050



Phoenix et al. (2006)

# Efectos del depósito de N en ecosistemas terrestres



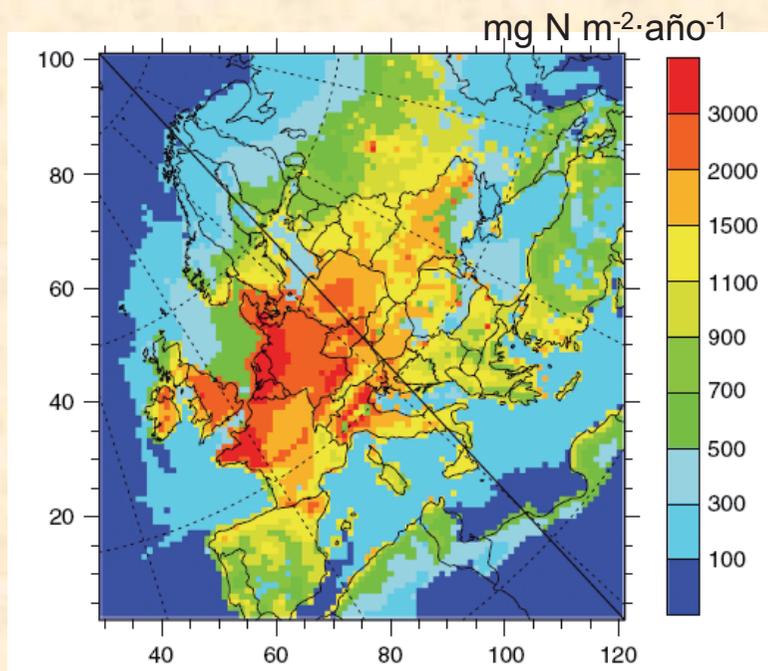
Emmett (2007)

- Toxicidad directa
- Fertilización y eutrofización
- Acidificación
- Visibilidad



- aumento del crecimiento
- acumulación de N orgánico en el suelo
- aumento de emisiones de  $N_2O$
- pérdidas de N en aguas subterráneas y escorrentía
- alteración de ciclos de nutrientes
- disminuye raíz/tallo
- menor resistencia a otros factores de estrés
- cambios en la composición de especies ( $\downarrow$  n° sp)
- aumenta el riesgo de incendios

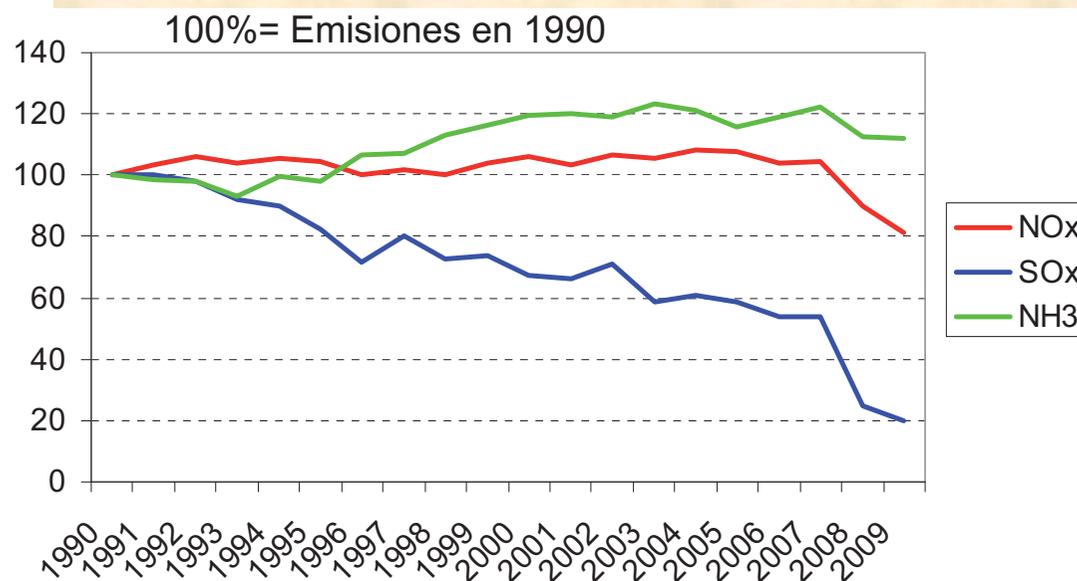
# Depósito de N atmosférico



Depósito de N total en 2009 estimado con modelo EMEP 5-20 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>

**Depósito de N total medido en España:**  
**-10-20 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en Cataluña**  
(Ávila et al., 2010)  
**-6.5-10 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en Levante**  
(Sanz et al., 2002)

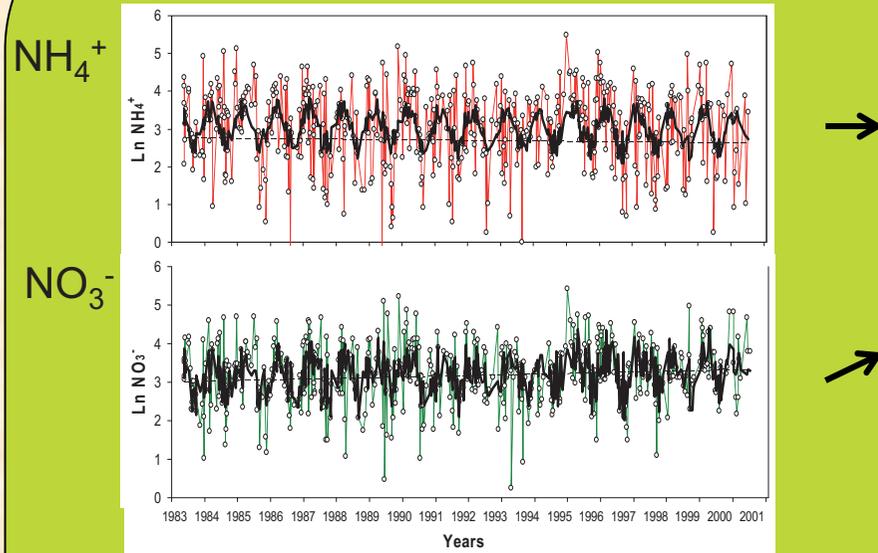
Emisiones en España respecto a 1990



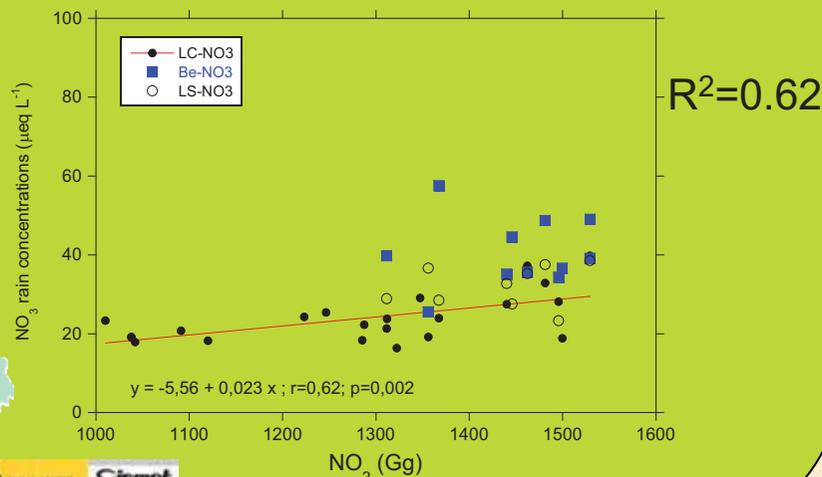
(MARM, 2011)

# Evidencias del enriquecimiento en N de los ecosistemas en España

Depósito húmedo de N en Cataluña  
1983-2007

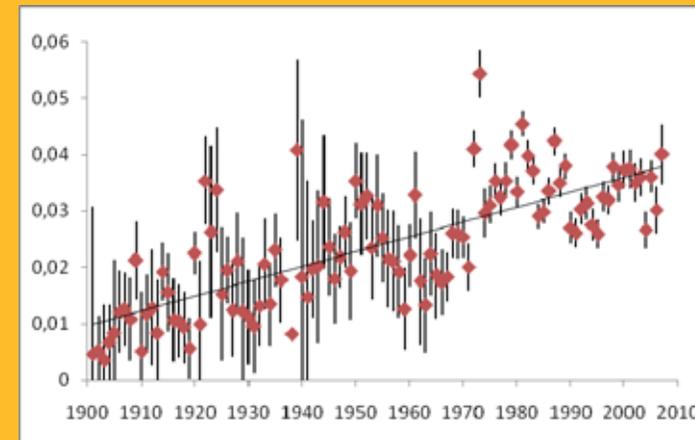


Relación  $[\text{NO}_3^-]$  en lluvia y emisiones de  $\text{NO}_2$   
1983-2006



(Ávila et al., 2010)

Aumento del nº sp nitrófilas  
1900-2008

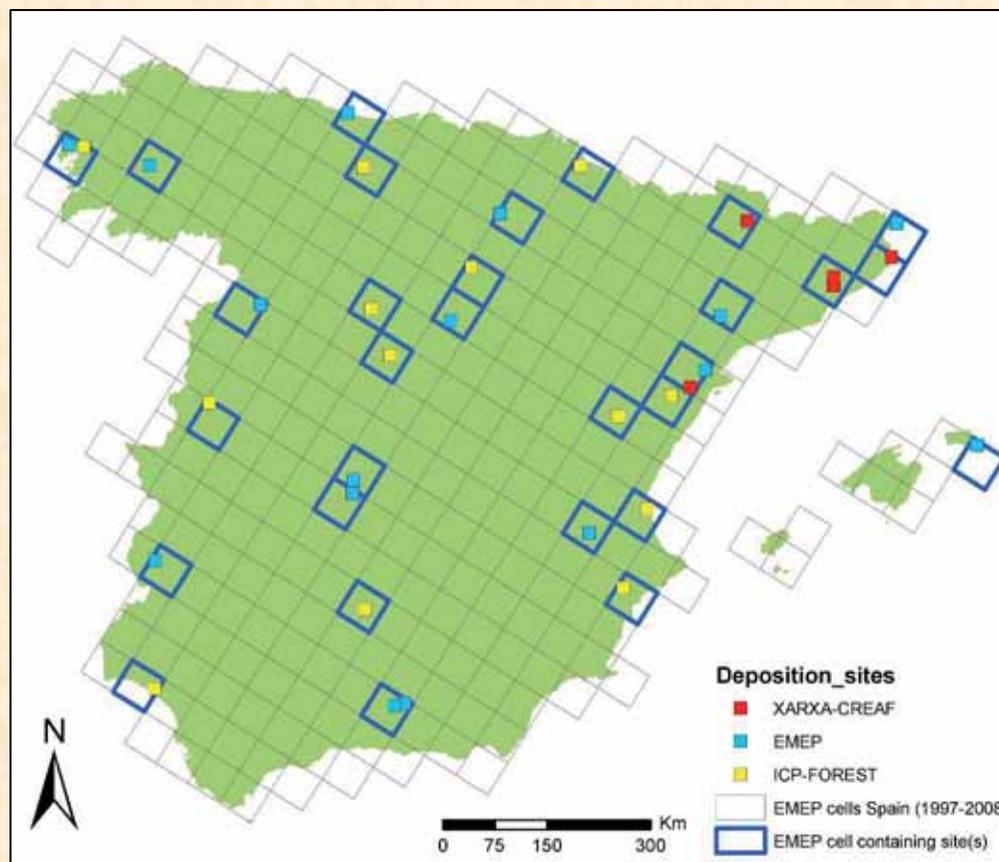


(Ariño et al., 2010)

Otras evidencias:

- Aumento de  $[\text{N}]$  en briófitos en herbarios en s. XX (Peñuelas & Filella, 2001)
- Aumento de N en ríos de Pirineos (Camarero et al., 2010) y en el Montseny (Ávila y Rodá, 2011)

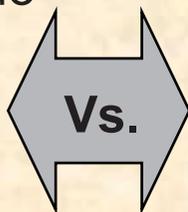
# Depósito de N: comparación medidas y modelos



Modelo EMEP depósito húmedo

1997-2008

2000-2008 unified model version rv3.6  
1997-2000 previous versions



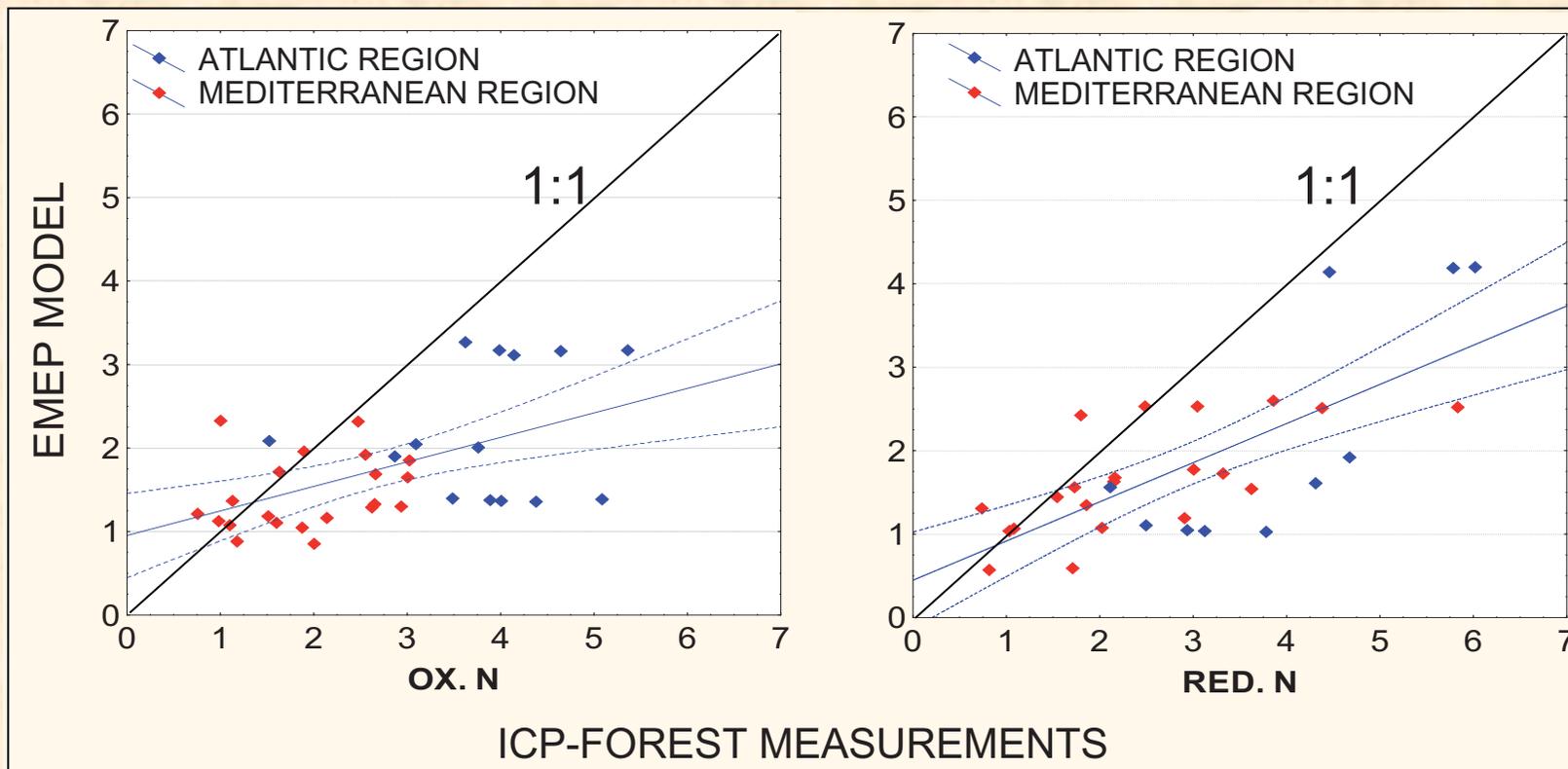
 EMEP red de medidas- **Wet-only**  
1997-2008; **sites** n = 6 -10

 ICP-Forest Level II - **Bulk deposition**  
1998-2006, **sites** n = 11-13

 Red Calidad Aire Cataluña - **Wet-only**  
1997-2008, **sites** n = 4 - 5

# Depósito de N: comparación medidas y modelos

## EMEP model vs. ICP-Forest measurements



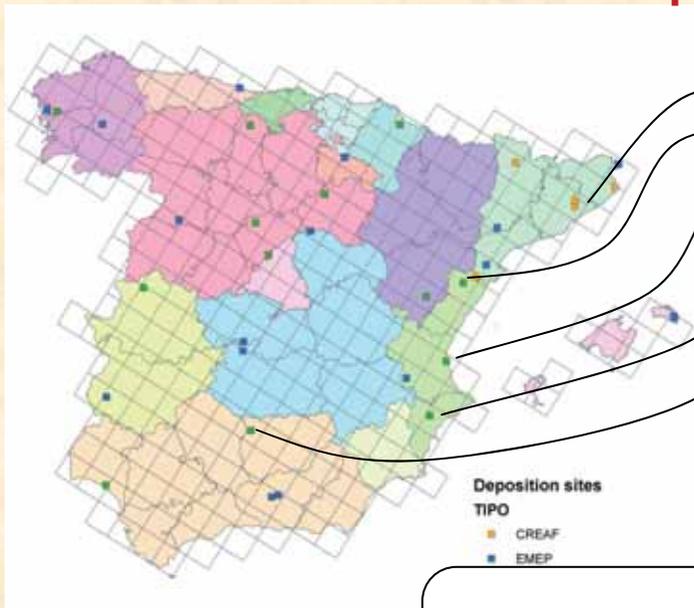
$N_{ox}$  :  $R^2 = 0.27$ ,  $p = 0.001$

$N_{red}$  :  $R^2 = 0.50$ ,  $p = 0.000$

**Funcionamiento del modelo similar en España y Europa**  
**Modelo subestima el depósito de N  $\approx 30\%$**

# Depósito de N: comparación medidas y modelos

## Depósito seco vs total



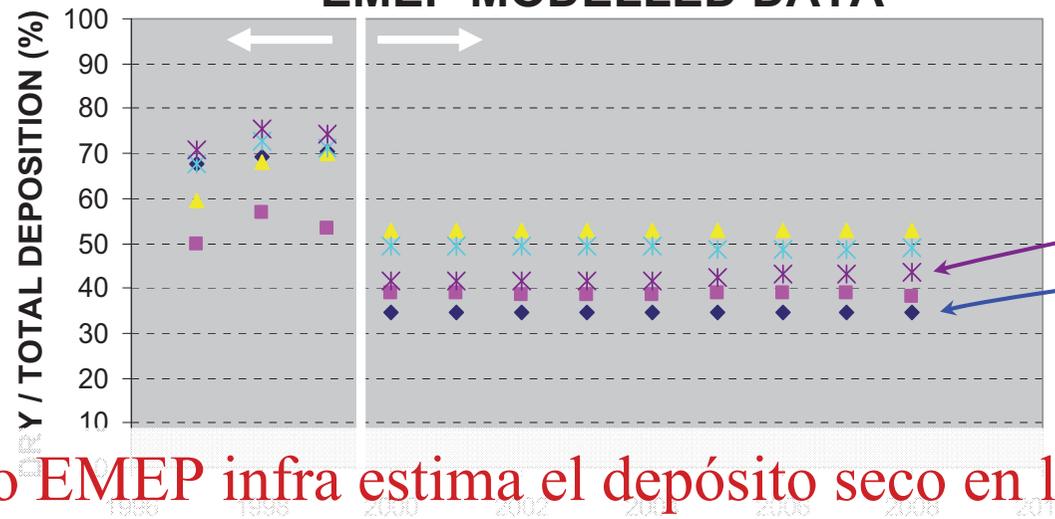
- ◆ *Q. ilex*
- *Q. ilex*
- \* *P. halepensis*
- x *P. halepensis*
- ▲ *Q. ilex*

### DATOS MEDIDOS

La Castanya - *Q. ilex*  
Dry dep. / Total dep.= 62-67%  
(Avila et al., 2002; Rodà et al., 2002)

Valencia - *P. halepensis*  
Dry dep. / Total dep.= 40-75%  
(Sanz et al., 2002)

### EMEP MODELLED DATA



El modelo EMEP infra estima el depósito seco en la región mediterránea

# Medida de depósito de contaminantes atmosféricos nitrogenados (seco/húmedo)

## Dinámica del N en el bosque mediterráneo: aire-planta-suelo



Finca de Tres Cantos (Tres Cantos, Madrid)  
Acuerdo Ayuntamiento de Madrid-CIEMAT

## Instalación experimental de Cámaras Descubiertas (OTCs): OZONO/NITRÓGENO



Finca "La Higuera" (Santa Olalla, Toledo)  
Acuerdo CSIC-CIEMAT



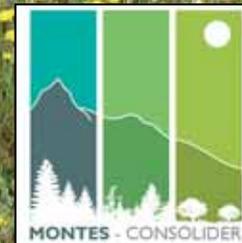
# Adaptación y gestión frente al O<sub>3</sub> y N

---

- **Políticas de control de calidad del aire y control de emisiones**
- Asegurar alta variabilidad genética en los programas de reforestación
- Asegurar el vigor de las masas forestales
- Disminuir el N acumulado:
  - retirar biomasa
  - disminuir la densidad de las masas forestales
  - (quemadas prescritas)*

# ¡ GRACIAS !

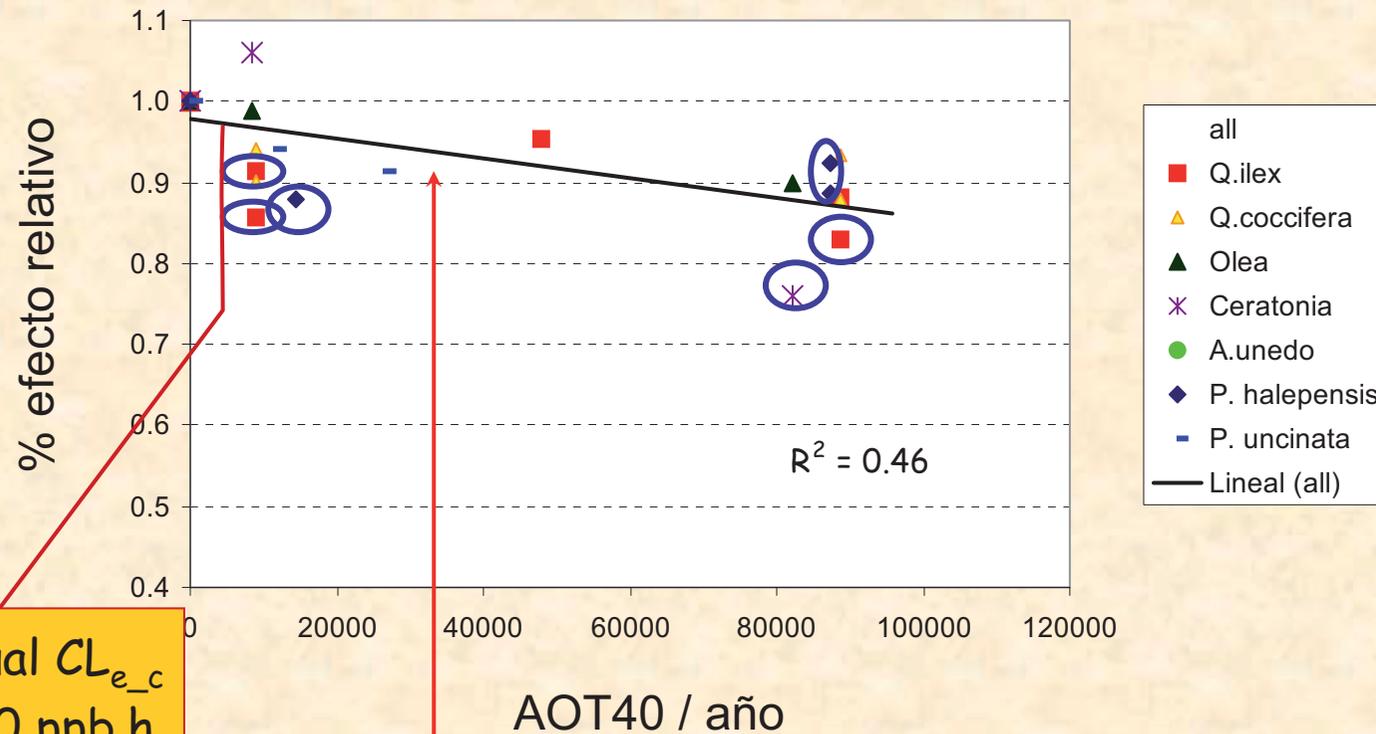
Cargas y Niveles Críticos, MARM  
Consolider-MONTES, MICINN  
EDEN, MICINN  
AGRISOST, Com. Madrid  
ECLAIRE- FP7





# Función exposición-respuesta

## Sólo experimentos con biomasa aérea



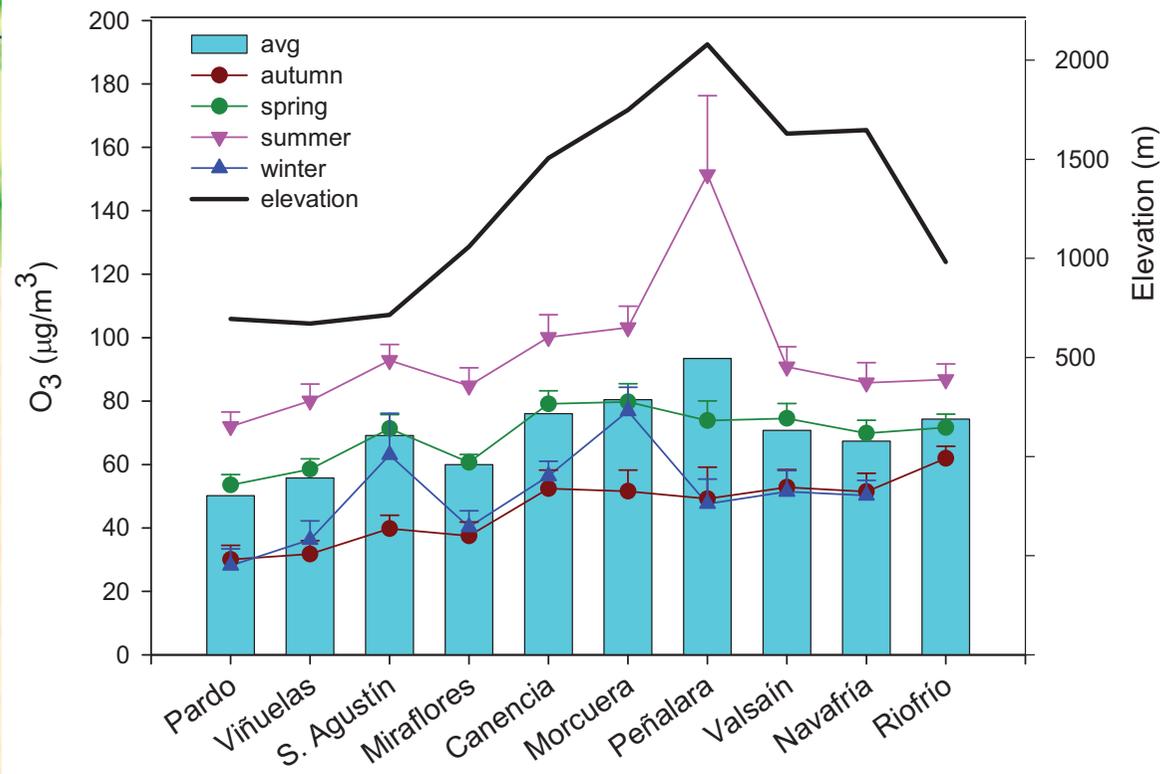
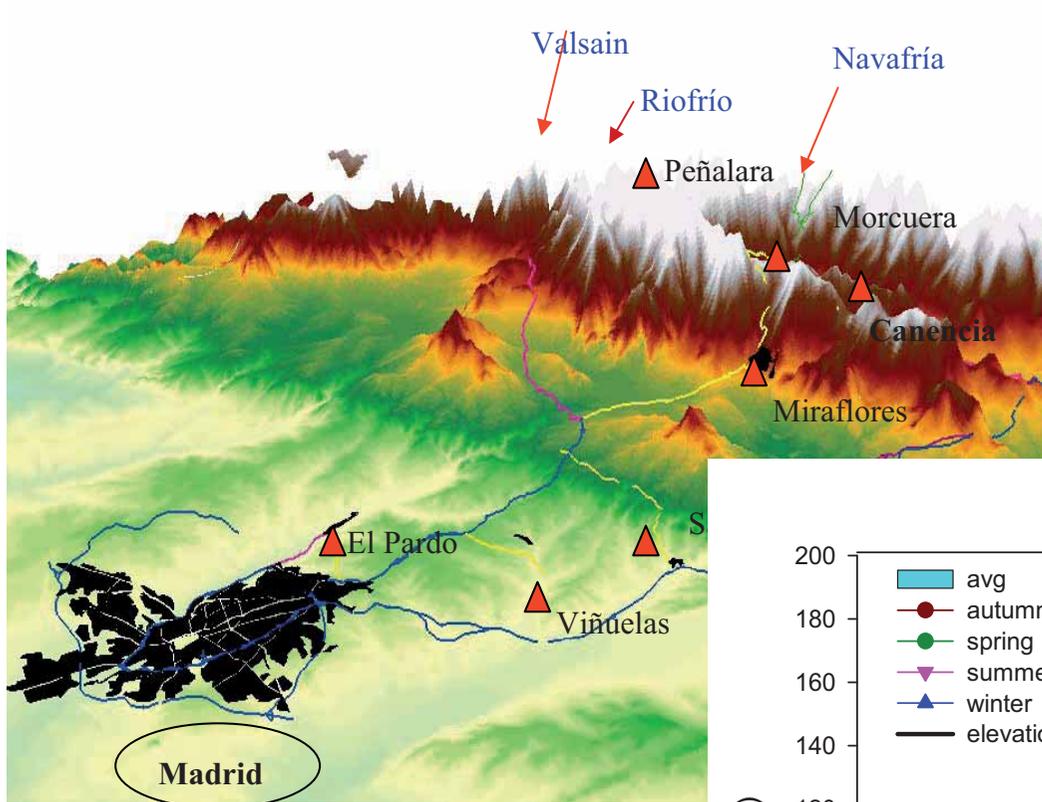
Actual  $CL_{e_c}$   
5000 ppb.h  
6 meses

AOT40= 33405 ppb.h (5 meses)  
Especies caducifolias  
(Calatayud et al., 2011)

→ No hay efectos!

# Ozono ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Medias estacionales 2004-2006 pasivos



S ← / → N