



Efectos de la contaminación atmosférica en la vegetación y los ecosistemas

Rocío Alonso, V. Bermejo, I. González-Fernández, S. Elvira,
H. García-Gómez, J. Sanz, I. Rábago

Ecotoxicología de la Contaminación Atmosférica - CIEMAT



VIII SEMINARIO: SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA RED DE PARQUES NACIONALES
Valsaín 24-26 septiembre 2018

Air Pollution

News about Air Pollution, including commentary and archival articles published in The New York Times.

CHRONOLOGY OF COVERAGE

AUG. 17, 2014

Editorial welcomes fact that Chinese government has indicated strong desire to reduce its reliance on coal; cautions not a lot is known about Beijing's strategy and whether it will be bold enough to have meaningful effect on air quality and climate

MULTIMEDIA



USA TODAY
A GANNETT COMPANY

NEWS

WEY TECH TRAVEL OPINION CROSSWORDS YOUR TAKE ELECTIONS

Search

51°

Bad news/bad news for U.S. air quality

9:33 a.m. EDT April 30, 2014

million people live in areas where air pollution levels to breathe, an increase from a previous American 'ion report.

f 399 CONNECT

100

in

ESPAÑA

BUYPO

MAIL MORE

America

ay

s in

Capital

La boina de contaminación ahoga Madrid: dos semanas 'sin respirar'

EcoDiario.es / EP

1 comentario

Puntúa la noticia : 10 Nota de los usuarios: 10.0 (2votos)

Más noticias sobre: [Legislación](#) [Contaminación](#) [Calidad del aire](#)

30/10/2014 - 18:13

Wow!

Share

g+

Compartir

Tweet

Madrid se enfrenta desde hace dos semanas a una fuerte oleada de contaminación. La boina está ahogando Madrid, según denunció el Ayuntamiento el 17 de octubre: "Va a ser un año en el que la capital incumpla la legislación sobre la calidad del aire en el año 2014".

Las superaciones permitidas por la legislación de dióxido de nitrógeno se están sucediendo día tras día.

La ONG presentará una demanda ante los Juzgados de Instancia de Madrid. Ana Botella, y el delegado del gobierno en Madrid...

EL PAÍS

ANDALUCÍA CATALUÑA C.VALENCIANA GALICIA MADRID PAÍS VASCO MÁS COMUNIDADES TITULARES

La contaminación asfixia las grandes ciudades

Casi una veintena de municipios españoles ha sobrepasado los límites de contaminación en la última semana

UK failed to meet NO2 limits for 2013, latest figures show

September 29, 2014

UK Government's submission to European Commission shows that only five out of 43 zones met limits set for last year.

Only five of the UK's 43 air quality zones were compliant with EU annual mean limits for nitrogen dioxide in 2013, according to the UK government's submission on air quality to the European Commission.

The five zones which met the annual mean limit for NO2 of 40 micrograms per cubic metre (ug/m3) in 2013 were: Blackpool Urban Area; Preston Urban Area; South East of London; South West of London; Northern Ireland.

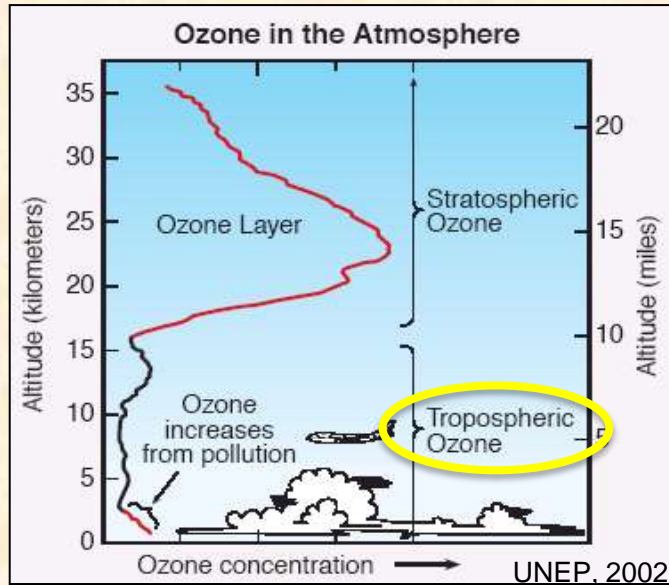
Calidad del aire en España

«Contaminación atmosférica»: La presencia en la atmósfera de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad o la salud de las personas, el **medio ambiente** y demás bienes de cualquier naturaleza. (Ley de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera, Ley 34/2007)

Contaminante	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ozono (O ₃)	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
SO ₂	Red	White	White	Red	White	White	White	White	White
NO ₂	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
PM10	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
PM _{2.5}	White	White	White	White	White	White	White	Red	White
CO	White	White	White	White	White	White	White	White	White
Benzene	White	White	White	White	White	White	White	White	White
Benzo(a)pyrene)	White	White	White	White	White	Red	White	Red	White
Pb	White	White	White	White	White	White	White	White	White
Arsénico (As)	Red	Red	White	White	White	White	White	White	White
Cadmio (Cd)	White	White	Red	White	White	White	White	Red	White
Niquel (Ni)	White	Red	Red	White	Red	White	Red	White	White



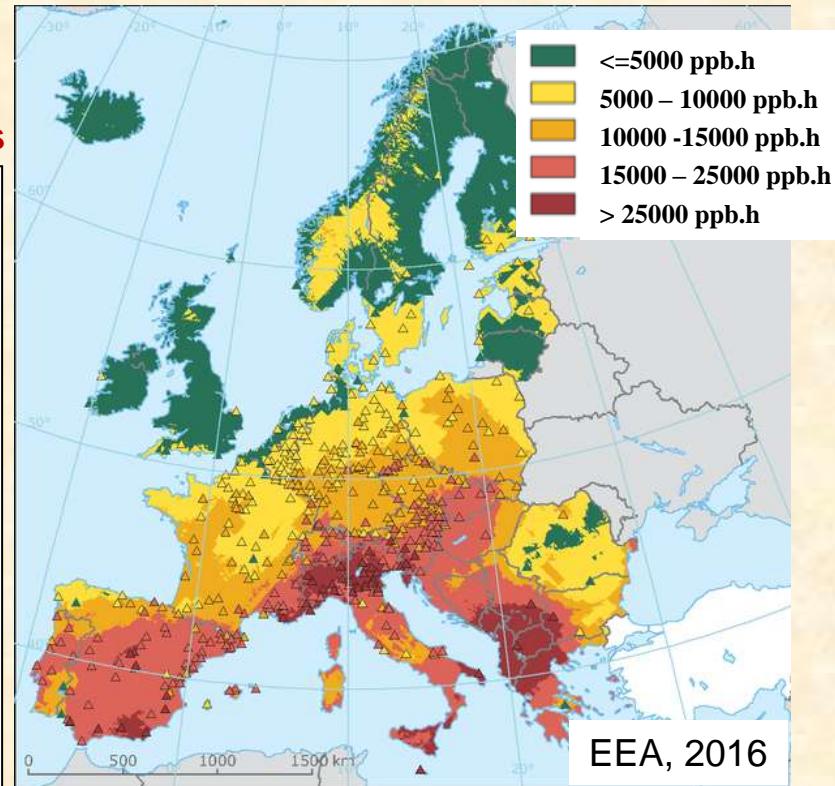
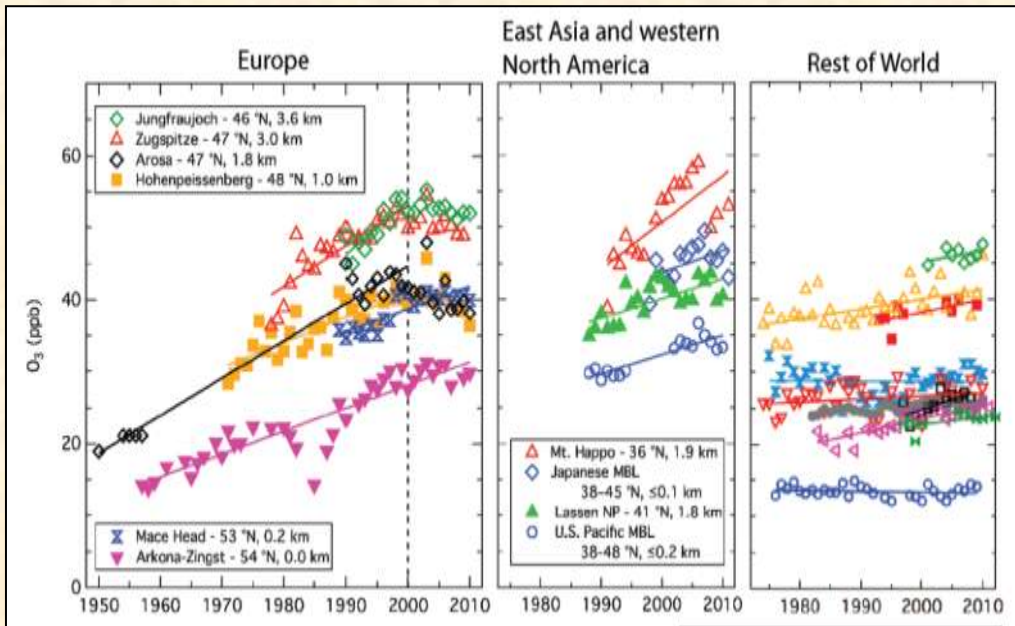
Ozono troposférico (O₃)



- ✓ Contaminante secundario
- ✓ Gas efecto invernadero
- ✓ Continuo aumento de los niveles de fondo
- ✓ Afecta amplias zonas rurales / forestales
- ✓ Elevada capacidad oxidante: alta fitotoxicidad

O₃ AOT40 for forests (Apr-Sep) 2013

Tropospheric O₃ annual avg in mountains and rural sites



Efectos del ozono en la vegetación

Ozono (O_3)



oxidante



Fisiología y metabolismo celular



Fisiología y metabolismo hoja



Individuo



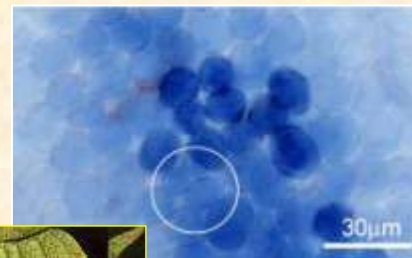
Población/Comunidad



Ecosistema



Servicios ecosistémicos



Cómo estudiar los efectos del ozono

Estudios en condiciones semi-naturales

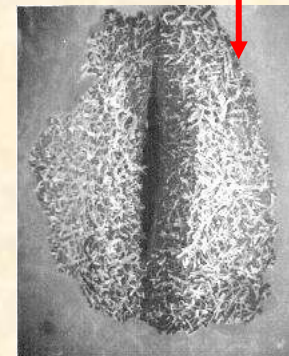
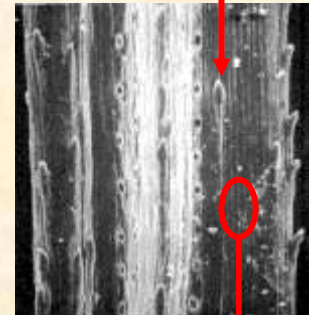
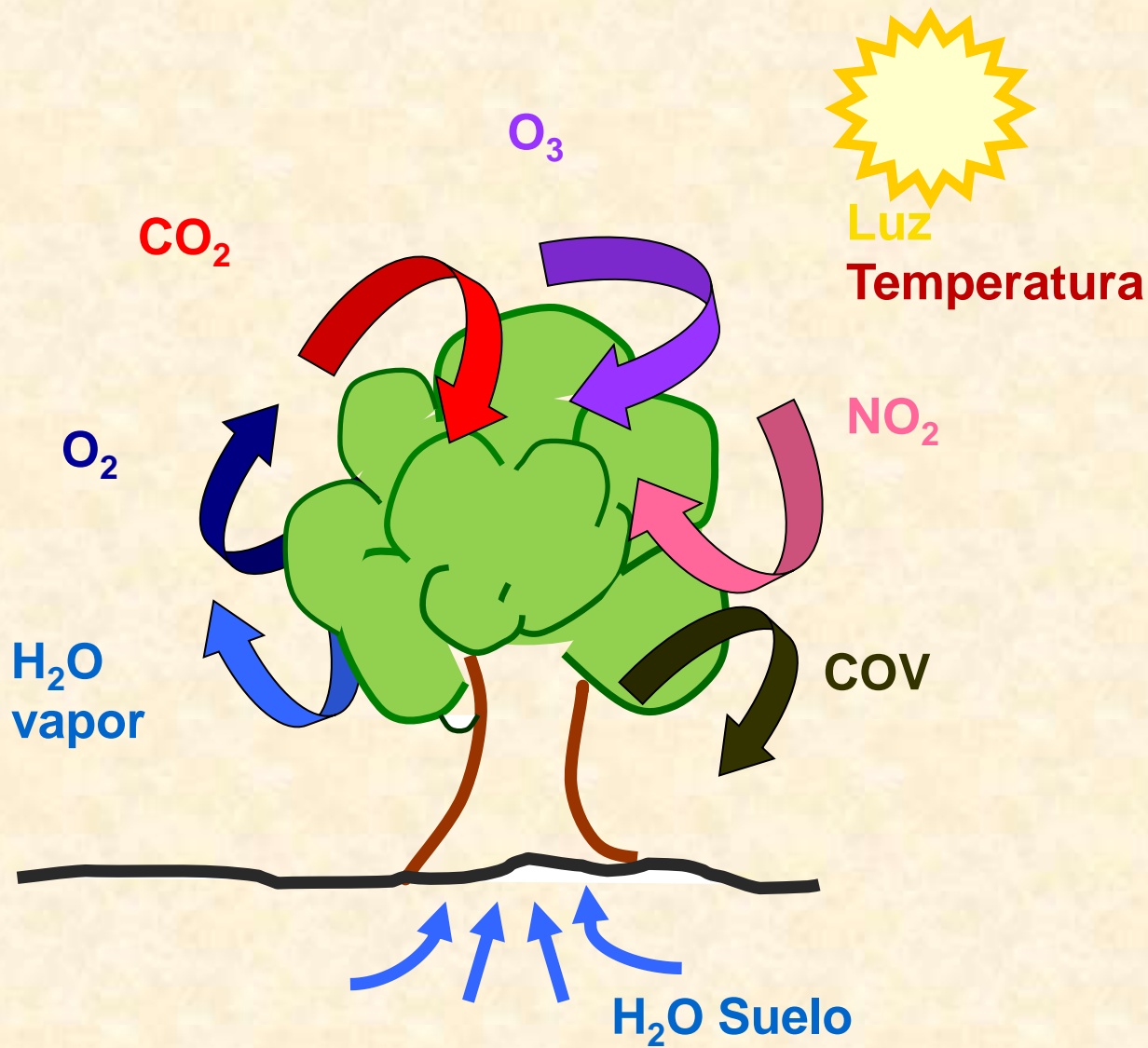
- Se controlan algunas variables
- Reproducibles y replicables
- Escala pequeña-media
- Resultados más extrapolables a la realidad que en condiciones controladas
- Permite obtener relaciones dosis-respuesta

Cámaras de Techo Descubierta (OTC- Open Top Chamber)



Finca experimental La Higuera (Toledo)
CIEMAT/CSIC-MNCN

Intercambio gaseoso en las plantas



Estoma

Intercambio gaseoso en las plantas

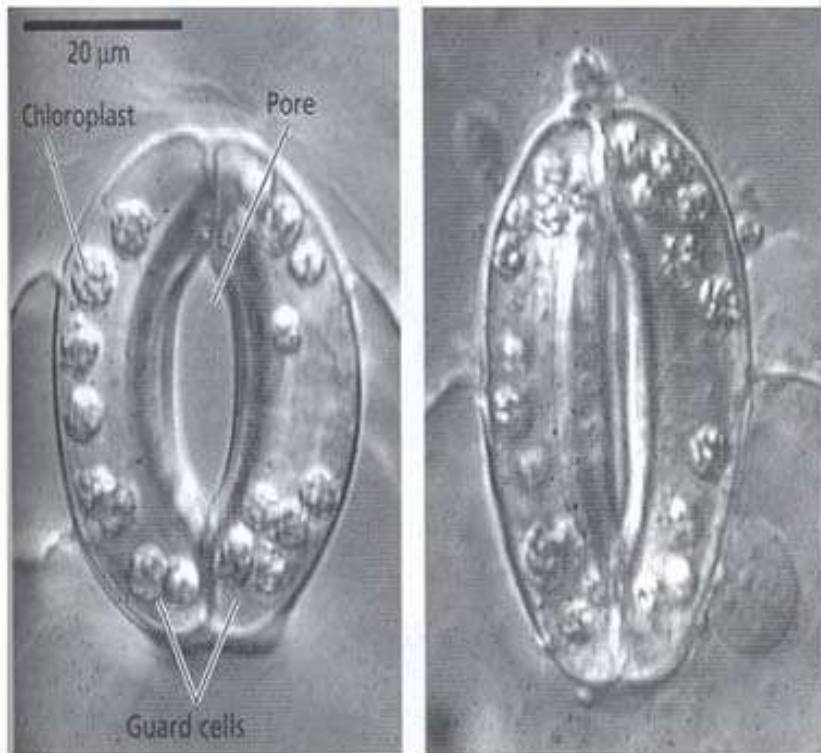


Image reproduced from Plant Physiology, Eds: L. Taiz and E. Zeiger, 2nd edition, Sinauer Associates, Inc. Publisher, Sunderland MA, USA. p. 523

Concentración gas:

Gradiente de concentración
Variación temporal

Condiciones ambientales:

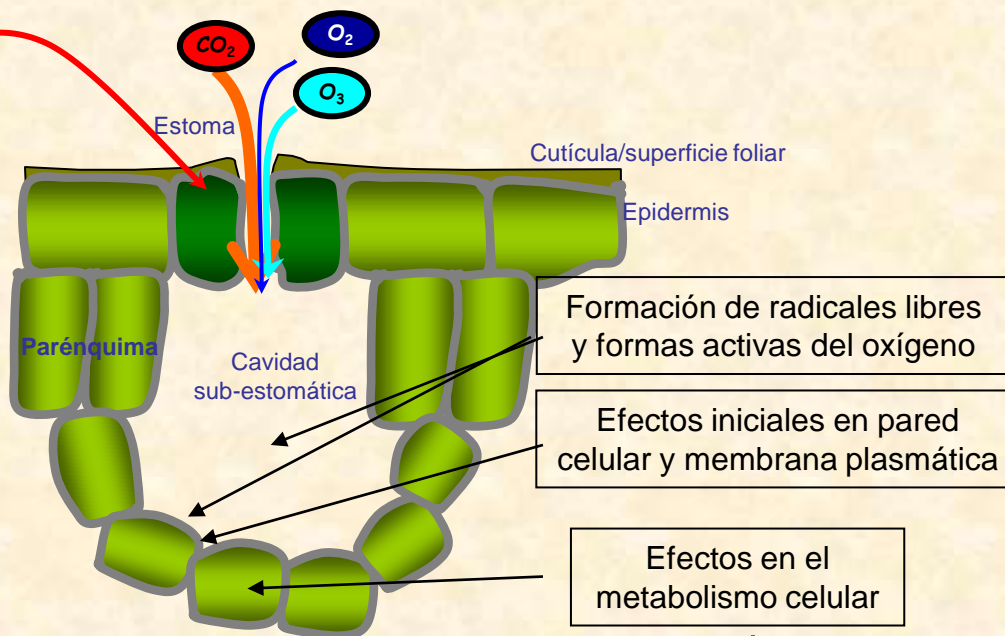
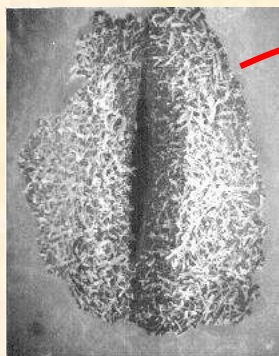
Luz
Humedad del suelo
Temperatura del aire
HR del aire, etc.

Fisiología de la planta:

Edad de la hoja/planta
Fenología
Potencial hídrico
[CO₂] intercelular

Efectos del ozono en la vegetación

Estoma



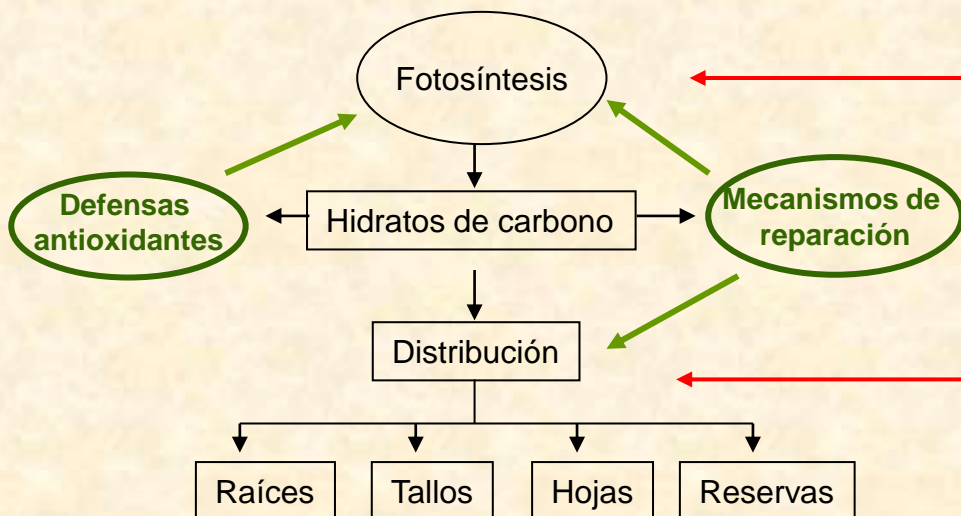
Alteración en la permeabilidad y funcionalidad de las membranas celulares

Estrés oxidativo celular

Alteración en la regulación estomática

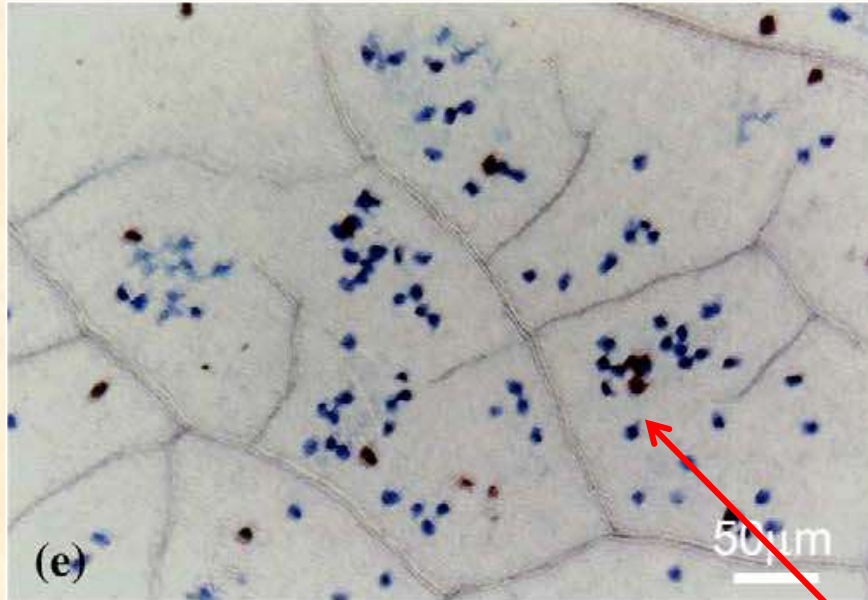
Alteración metabolismo del C y N

Alteración de la asimilación, distribución-translocación y almacenamiento

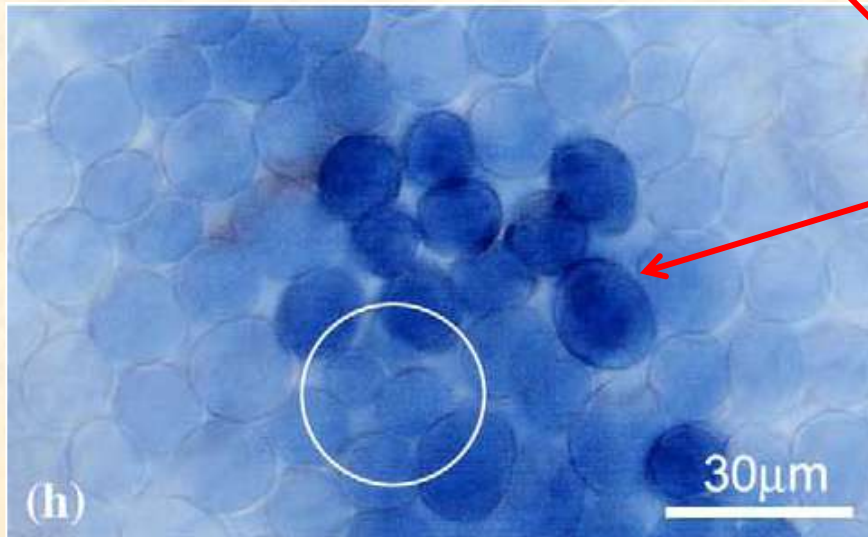
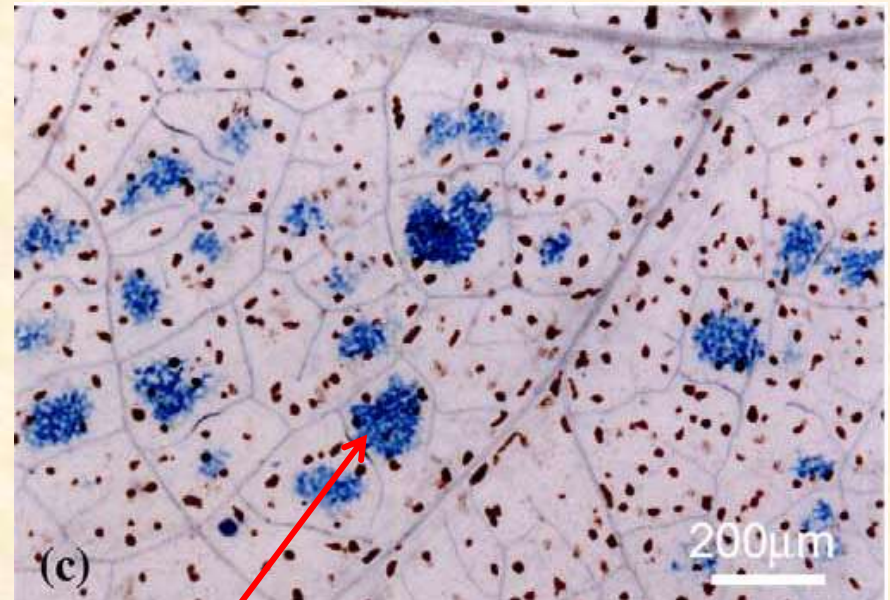


Efectos microscópicos del ozono en los tejidos

50 ppb O₃



80 ppb O₃



Muerte celular

Lycopersicon pimpinellifolium

Iriti et al., 2006, *Env. Pol.*

Síntomas visibles de daños por ozono



Tabaco var. Well W3



Lechuga var. Romana



Judía var. Lit



Espinaca



Pino carrasco

Trébol



→ + Ozono

Aceleración de la senescencia



Ambiente
+ 40 ppb O₃

Ambiente
+ 20 ppb O₃

Aire
Ambiente

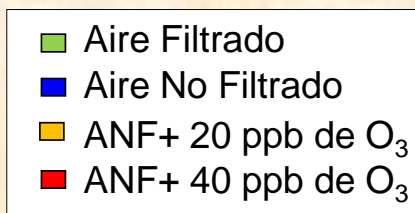
Aire
filtrado

Higueruela 2015

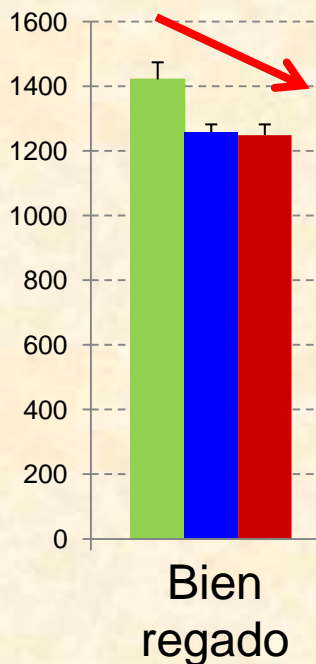


Efectos del ozono en la vegetación

Reducción del crecimiento de especies naturales



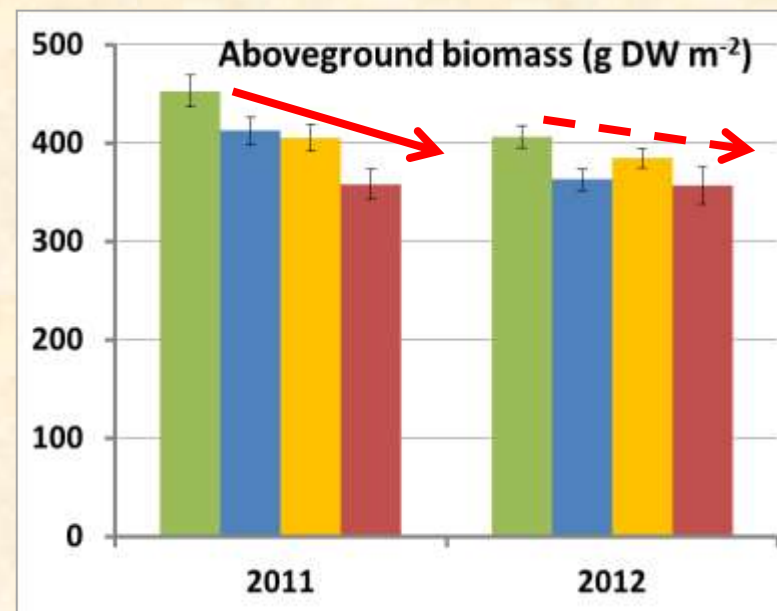
Pino carrasco



Encina



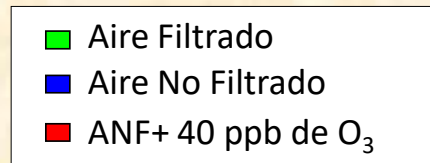
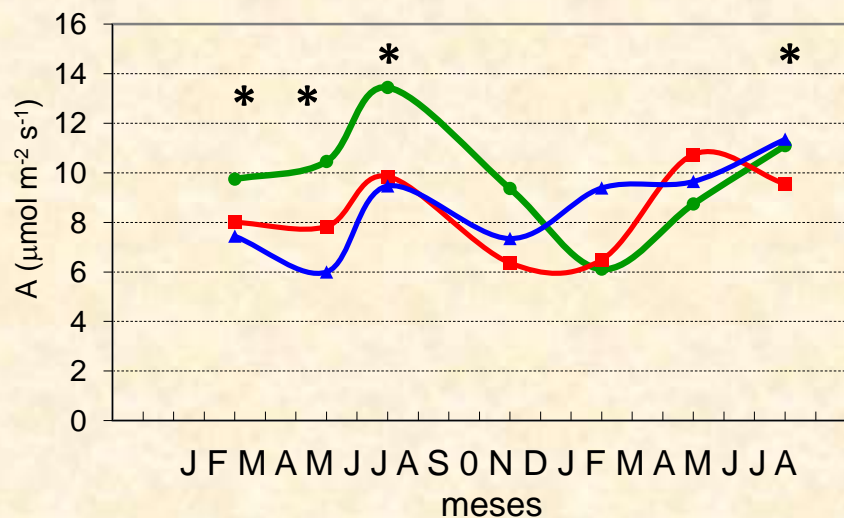
Pastos anuales de dehesa



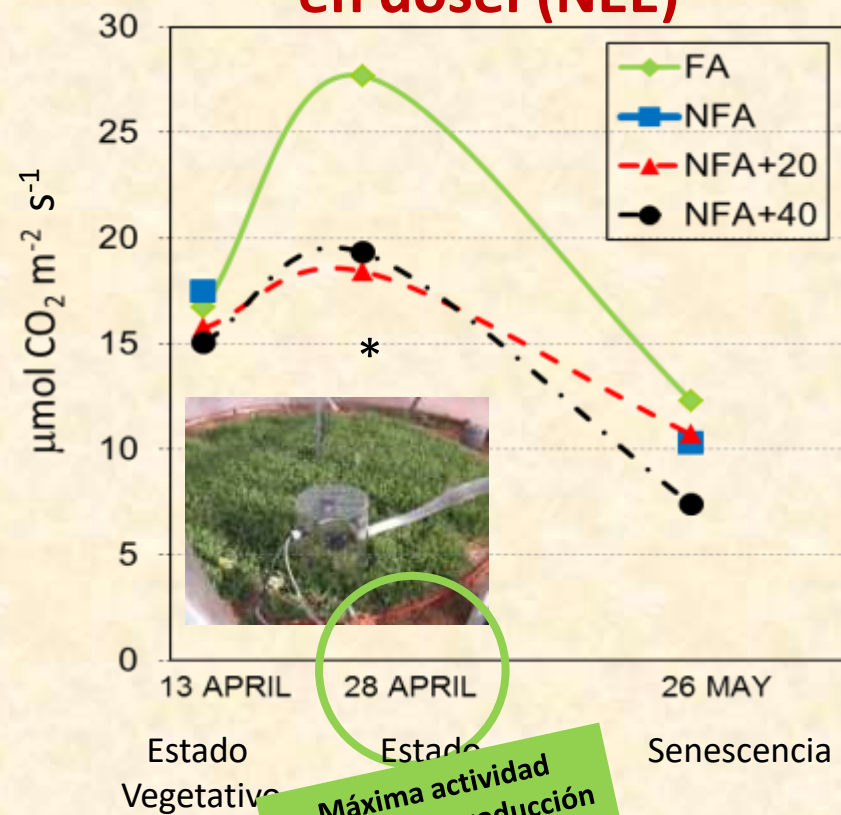
Efectos del ozono en la vegetación

Reducción en la actividad fotosintética

Encina: fotosíntesis foliar



Pastos anuales de dehesa: intercambio neto de CO_2 en dosel (NEE)

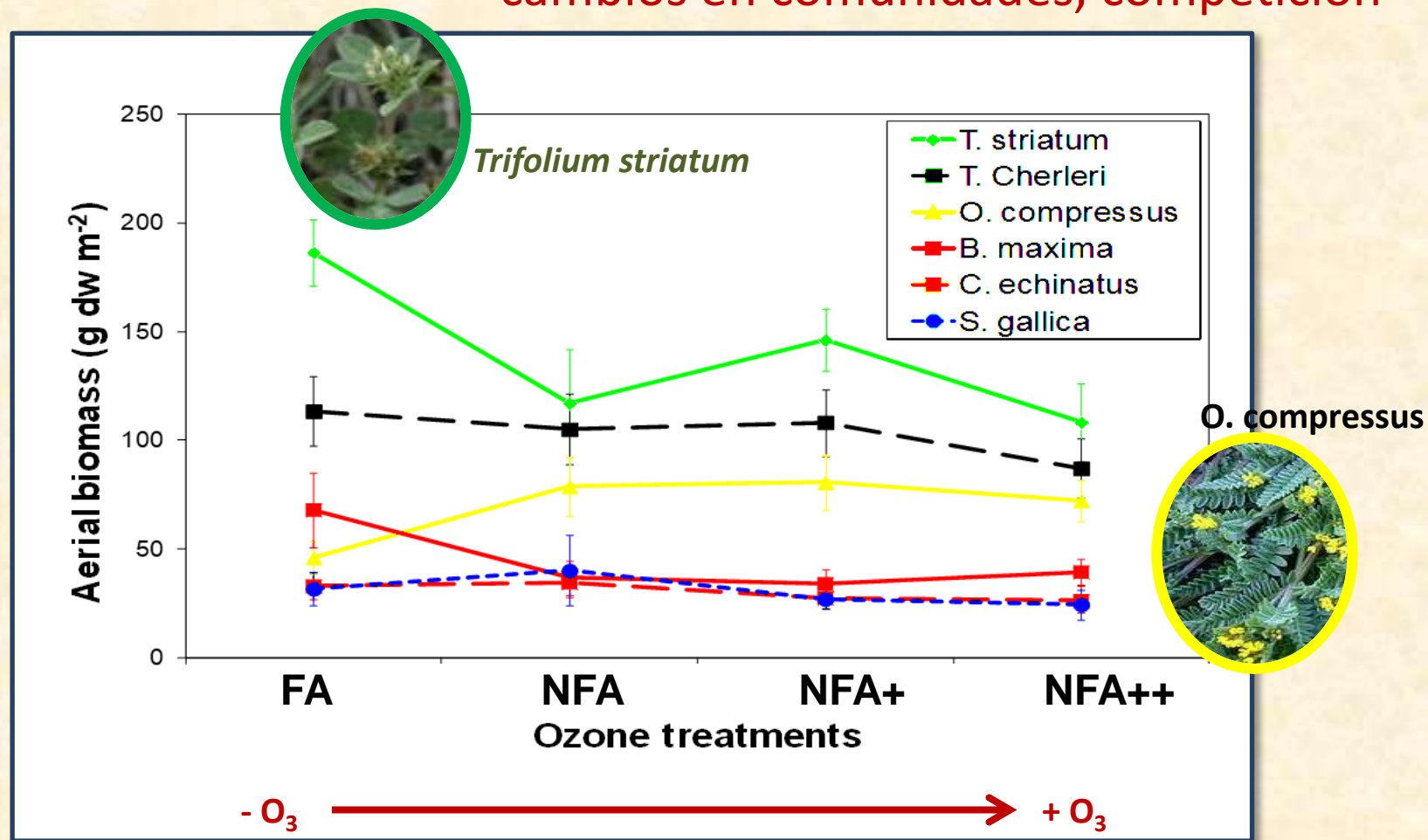


Máxima actividad fisiológica y producción de biomasa

Efectos del ozono en la vegetación

- Diferente sensibilidad entre distintas especies y entre genotipos dentro de una especie →

cambios en comunidades, competición

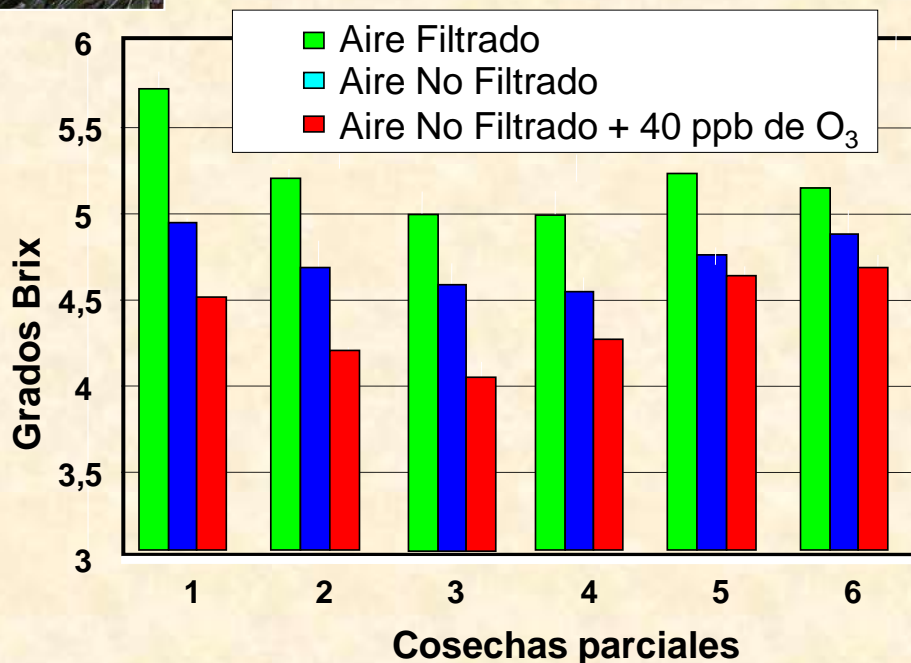


Efectos del ozono en la vegetación

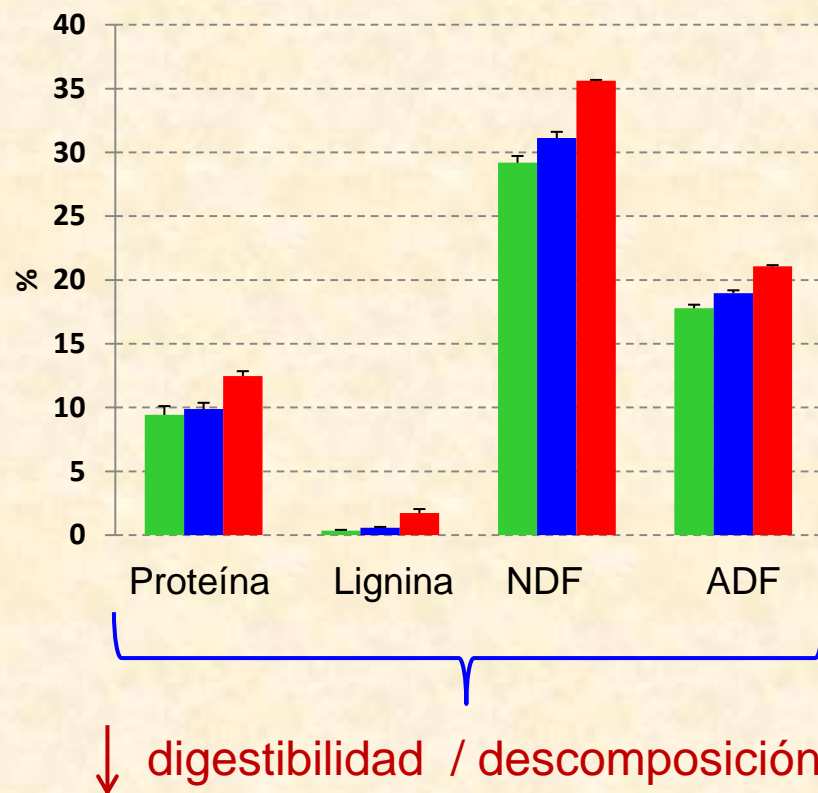
Alteraciones en calidad /composición de los tejidos



Tomate – grados Brix



Trifolium subterraneum



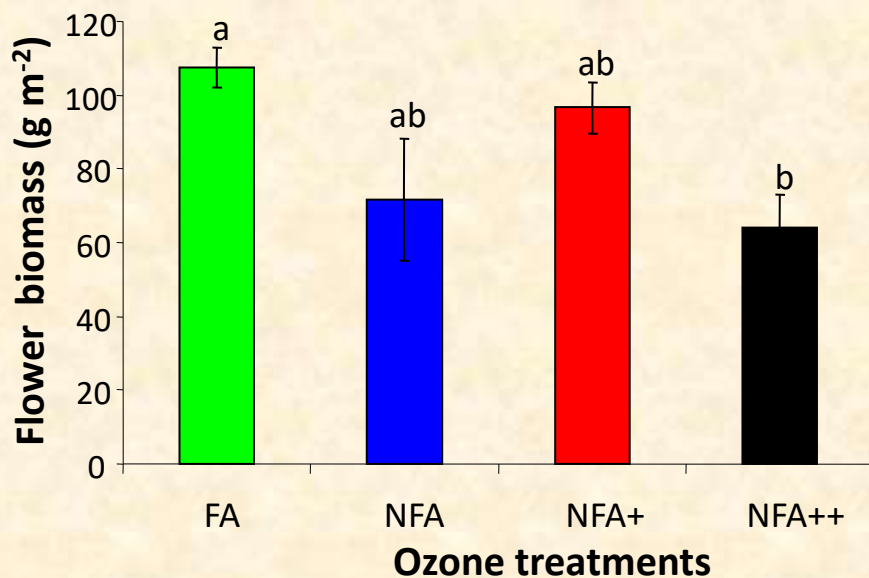
Efectos del ozono en la vegetación

Disminución en la producción de flores y semillas

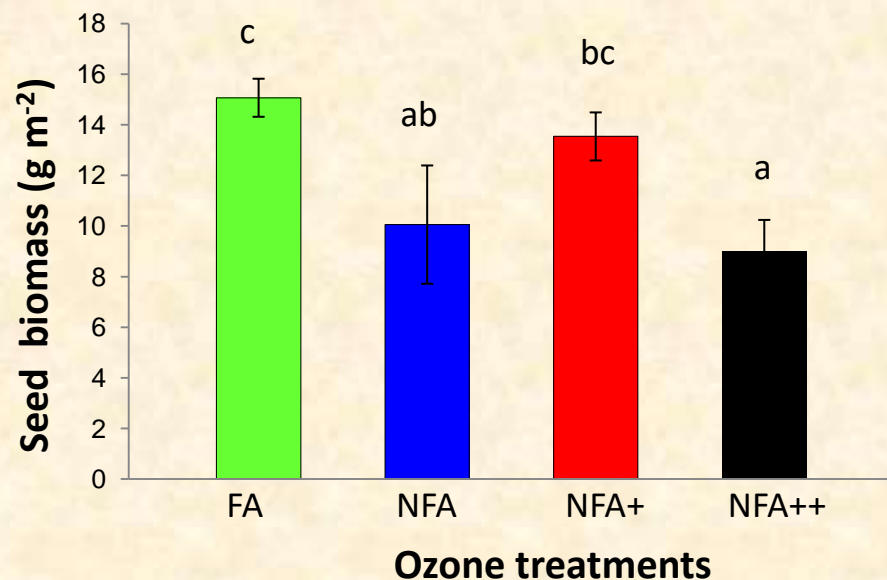


Trifolium striatum

Flores



Semillas



-O₃ → +O₃

-O₃ → +O₃

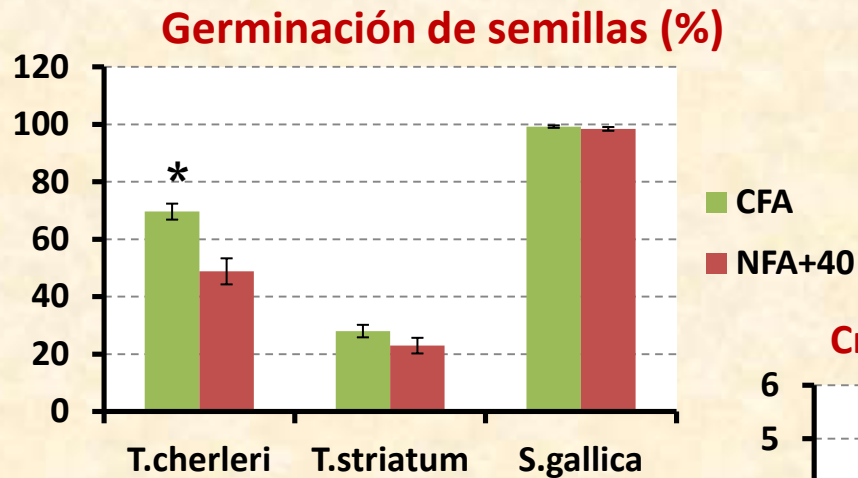


Calvete-Sogo, 2016, Tesis

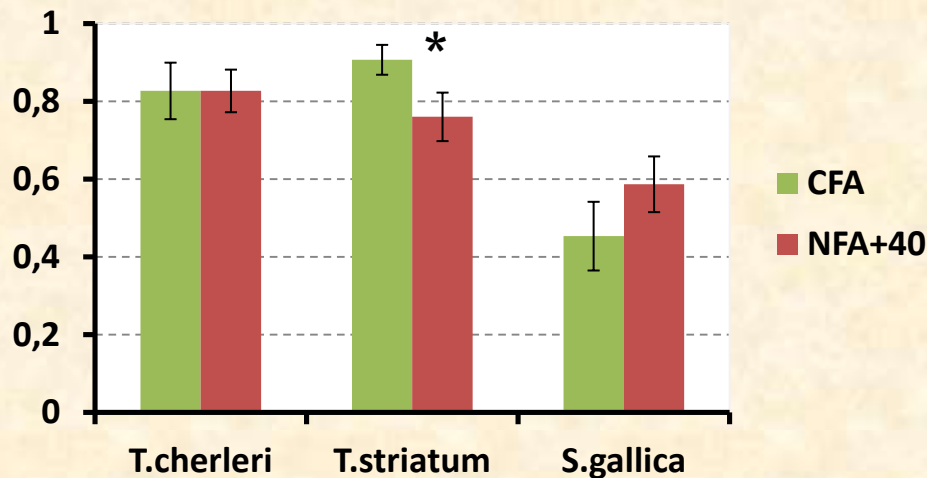
Cambios en las poblaciones y comunidades

Efectos del ozono en la vegetación

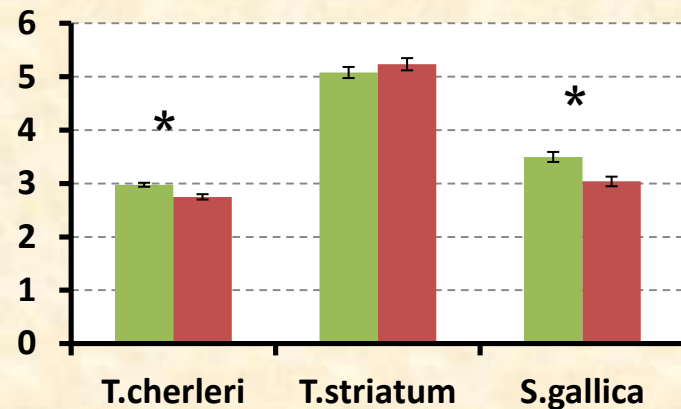
Disminución en germinación y emergencia de plantas



Emergencia plantas (%) tras 30 días



Crecimiento radícula (cm) tras 21 días



Efectos del ozono en los ecosistemas



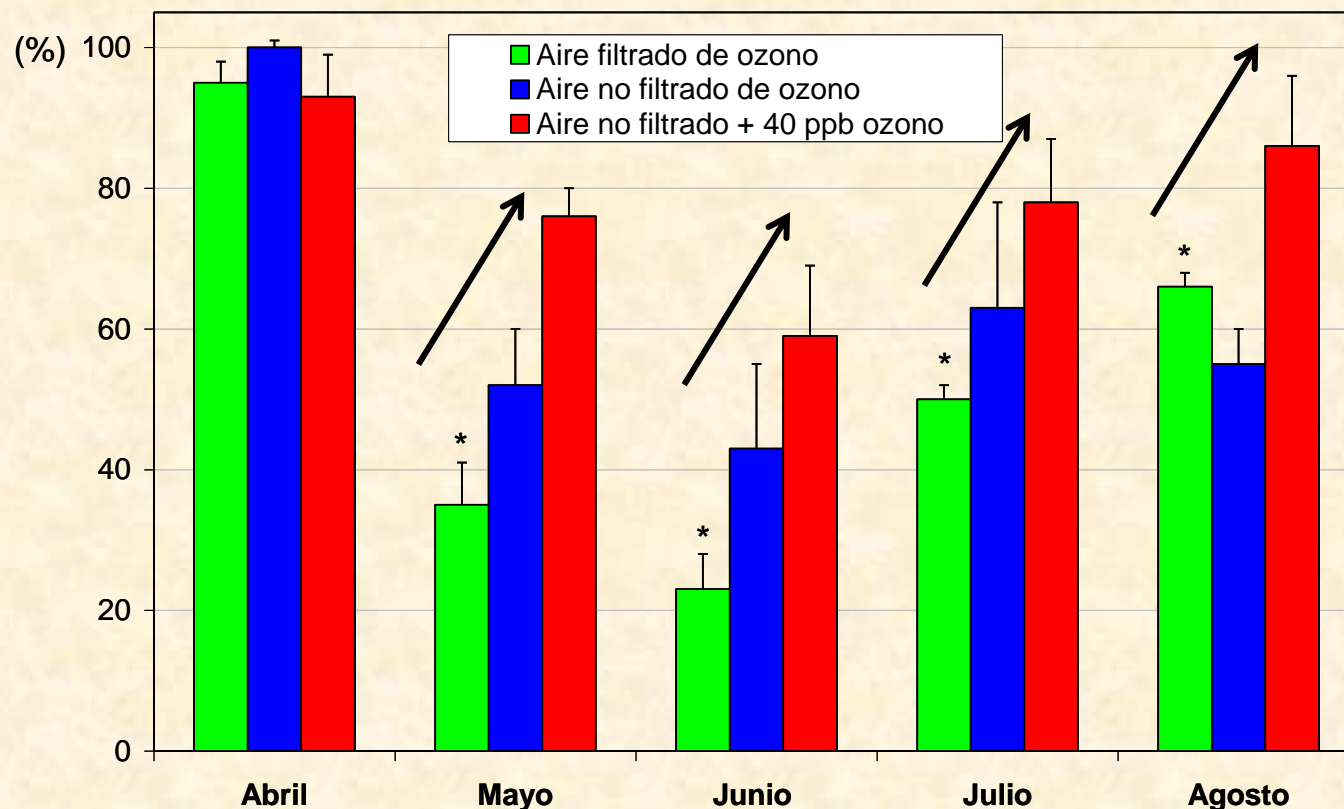
- Alteraciones en las emisiones de compuestos volátiles
- Reducción en la atracción de polinizadores mediante señales olfativas



Efectos indirectos del ozono en la vegetación

Predisposición a ataques de patógenos

% infección de plantas por el virus del mosaico en tomate



Efectos del ozono en los ecosistemas

Predisposición a ataques de patógenos

Otros receptores / interacciones



- Influencia del ozono en la infección del sapo partero común (*Alytes obstetricans*) por el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis*

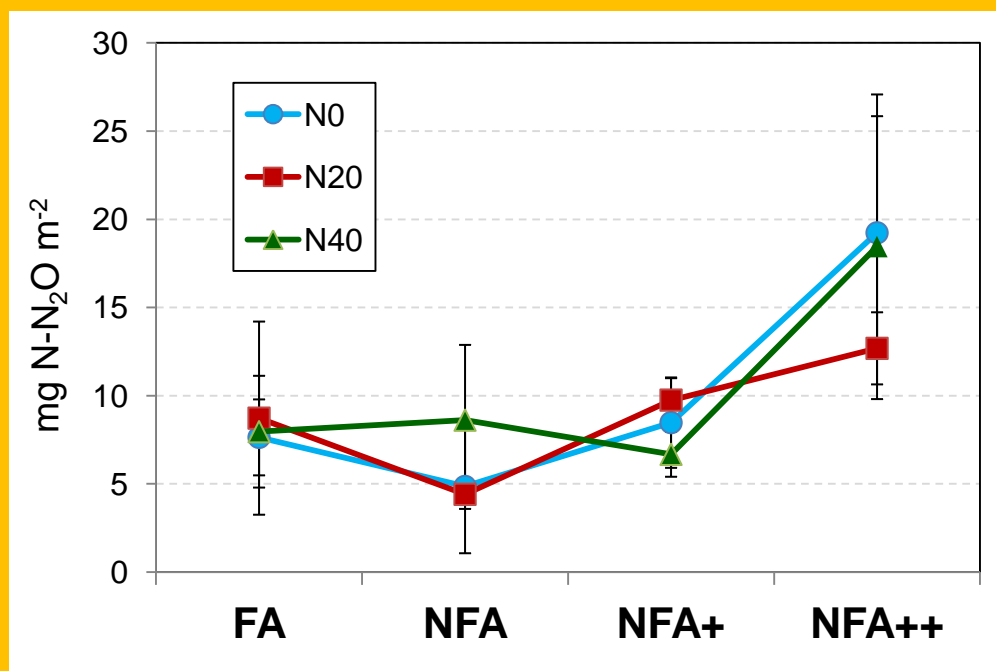
Bosch et al., en preparación

Efectos del ozono en los ecosistemas

Alteración de la composición química de la atmósfera

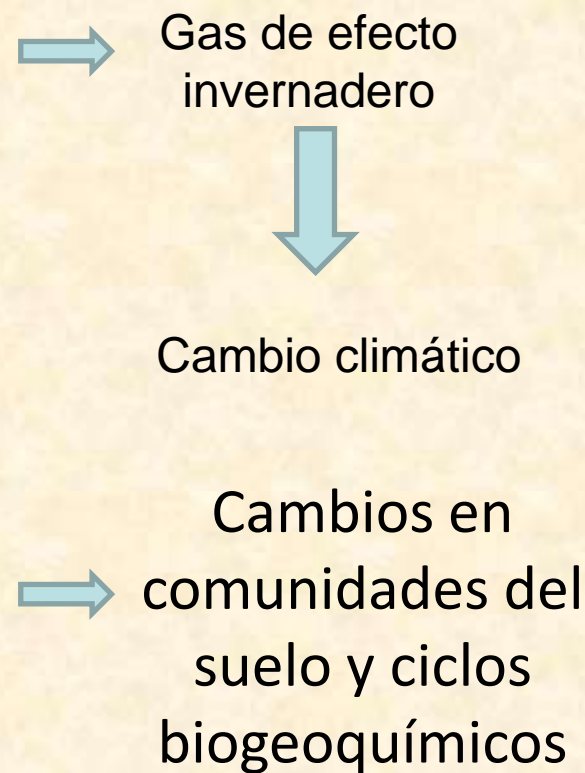


Emisiones de N₂O del suelo (pastizales anuales)



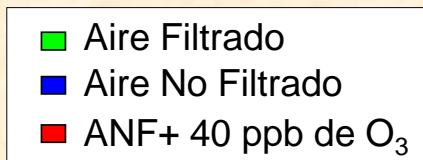
-O₃ → +O₃

Sánchez-Martín et al., 2017, *Atm. Env*



Efectos del ozono en la vegetación

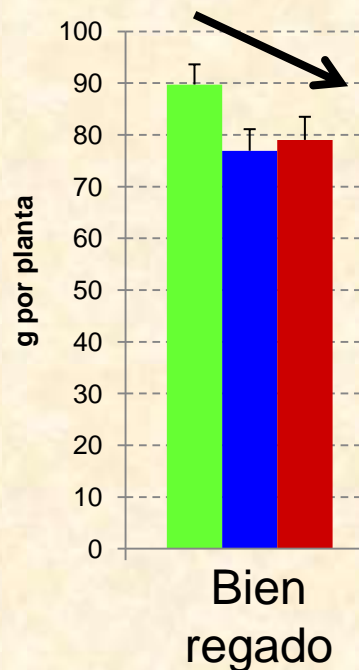
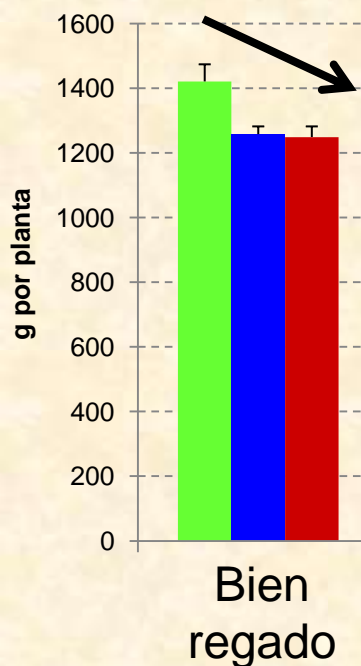
Reducción del crecimiento de especies naturales



Pino carrasco

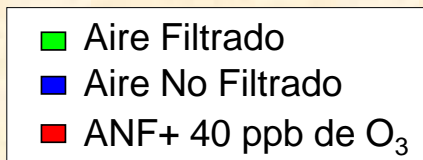
Encina

Coscoja



Efectos del ozono en la vegetación

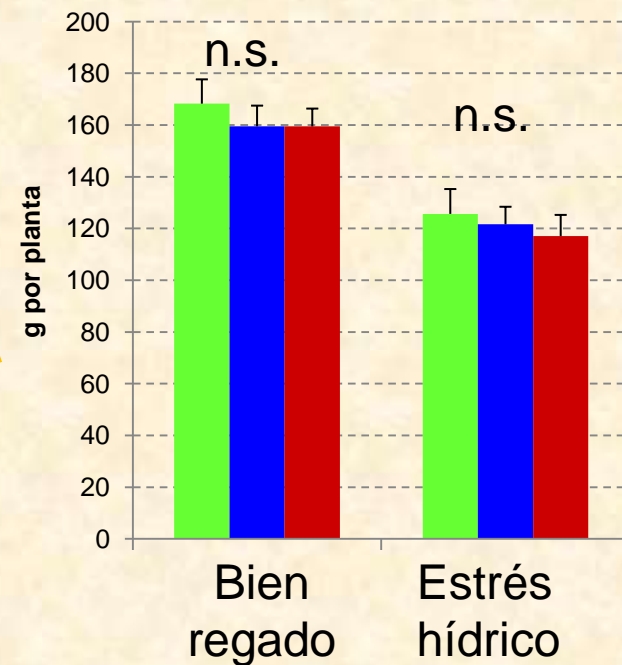
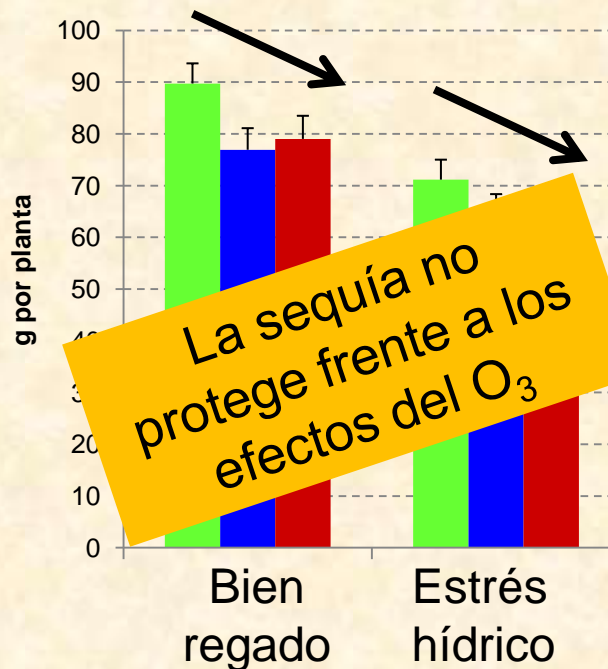
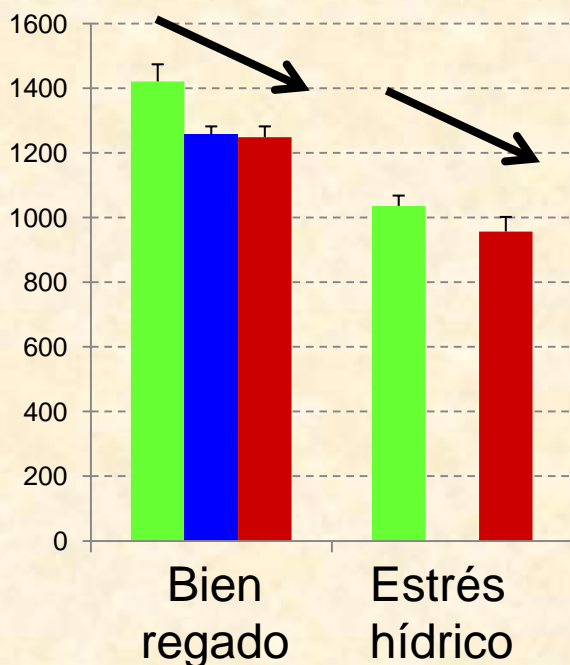
Interacciones ozono / sequía



Pino carrasco

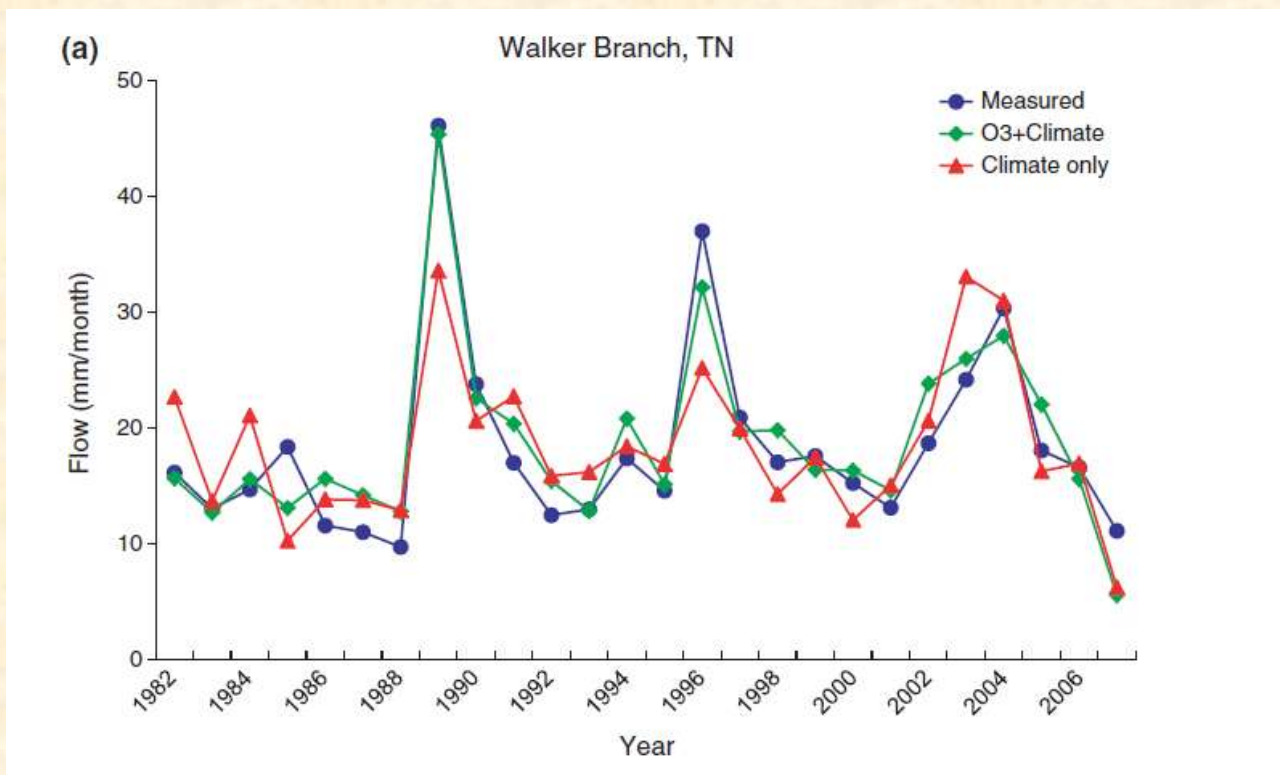
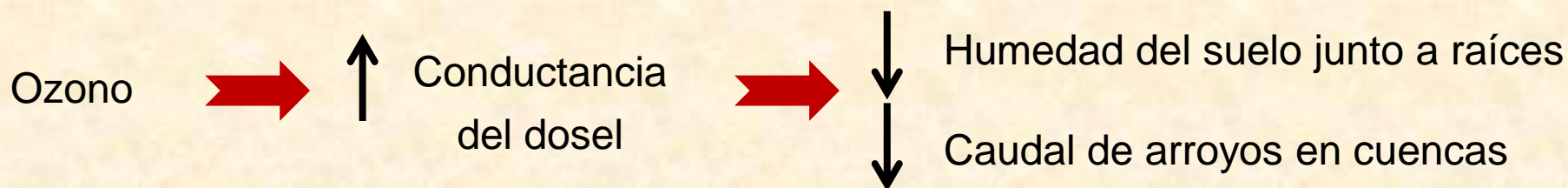
Encina

Coscoja



Efectos del ozono en los ecosistemas

Predisposición a la sequía / cambios en las relaciones hídricas del ecosistema



Efectos del ozono en vegetación y ecosistemas

- Síntomas foliares visibles
- Efectos crónicos en la fisiología
- Reducción en crecimiento / producción
- Cambios en calidad y composición de tejidos
- Cambios en la distribución de C, proporción raíz/tallo
- Predisposición a otros factores de estrés (temperatura, sequía, etc)
- Disminución de la producción de flores y semillas

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

- ✓ Productividad del ecosistema
- ✓ Disminución almacenamiento de C
- ✓ Alteración ciclos nutrientes
- ✓ Alteración ciclo del agua
- ✓ Cambios en biodiversidad

Legislación de control del ozono troposférico



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

Objetivos inmediatos para protección de la vegetación (2010)

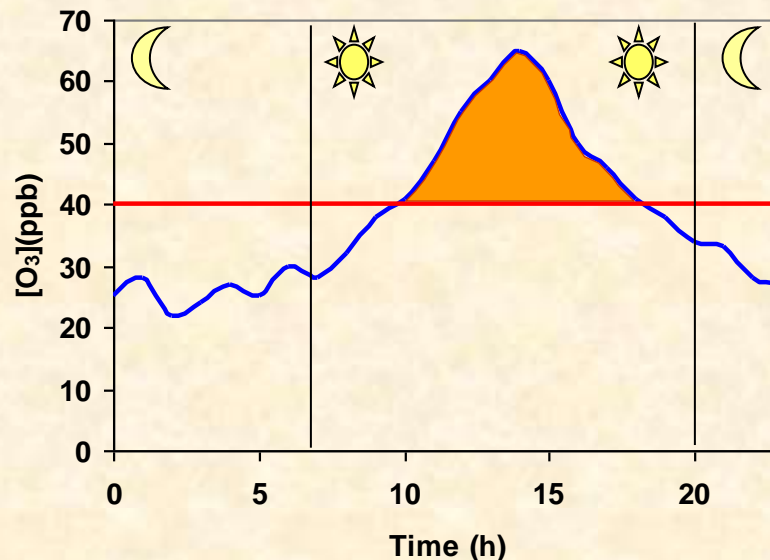
AOT40 **9000 ppb.h** acumulado durante 3 meses (Mayo-Julio) media de 5 años

Objetivos a largo plazo para protección de la vegetación (2020)

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

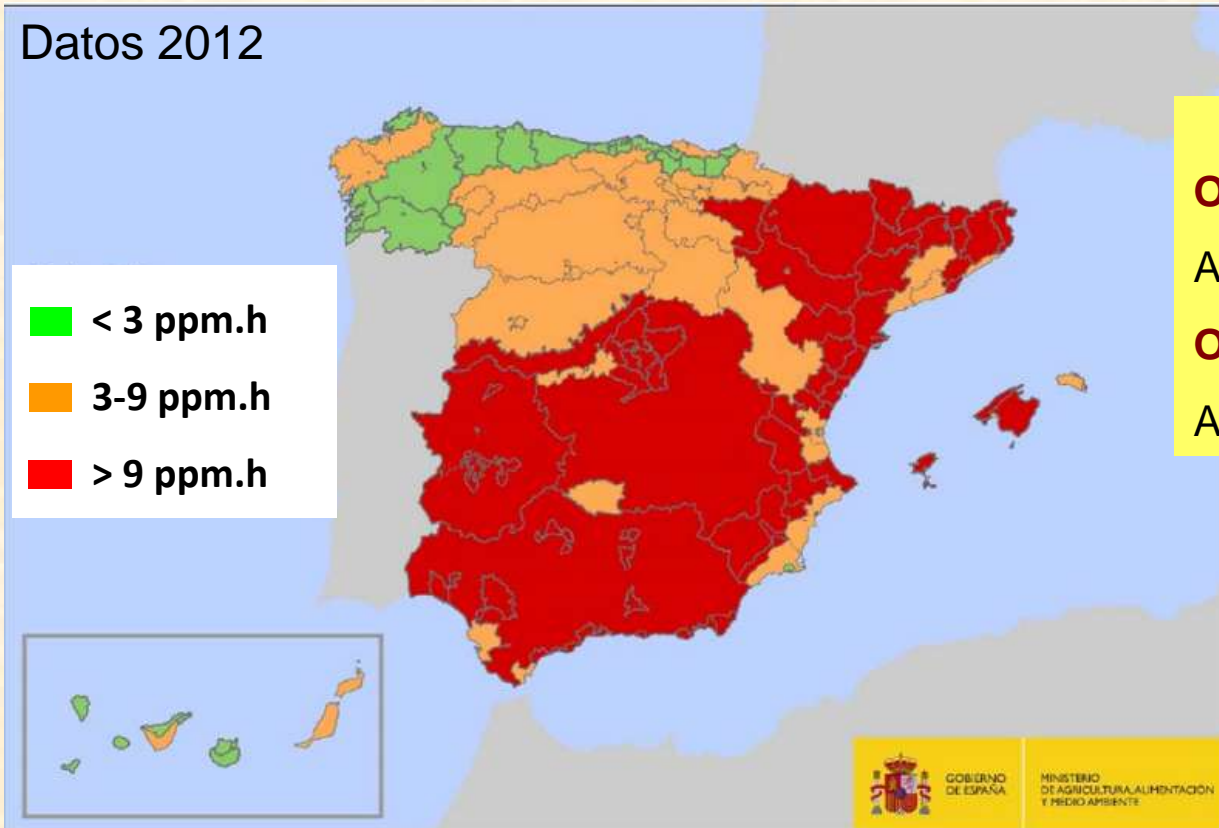
Índice de exposición acumulada AOT40:

Concentración de ozono acumulada por encima de 40 ppb durante las horas diurnas (de 8:00h a 20:00h) durante el periodo de crecimiento (mayo-julio)



Límites de ozono para la protección de la vegetación

Valor objetivo de O₃ para la protección de la vegetación



Objetivos inmediatos (2010)

AOT40 **9000 ppb.h** 3 meses

Objetivos a largo plazo (2020)

AOT40 **3000 ppb.h** 3 meses

- ✓ Los valores límite de ozono para la protección de la vegetación de acuerdo a la Directiva de Calidad del Aire se sobrepasan de forma crónica
- ✓ El ozono es un factor de riesgo para la salud de los ecosistemas y agrosistemas de la península Ibérica



Información sobre calidad del aire:

O₃ - 18 de 454 estaciones de O₃ > 1000m

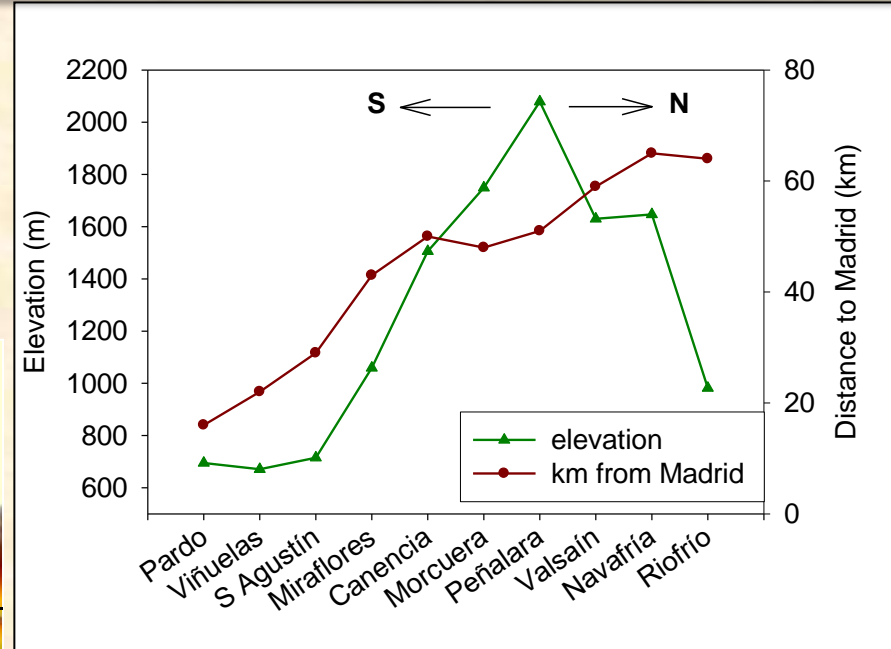
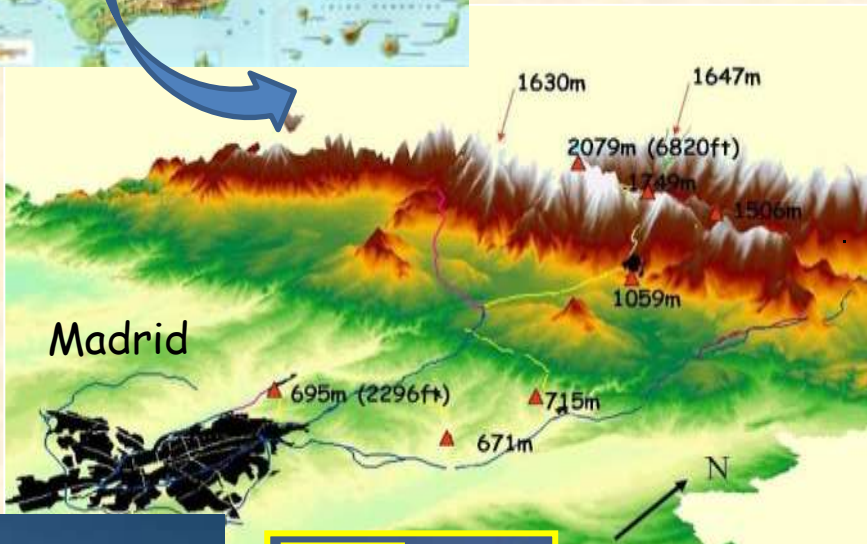
- No hay estaciones O₃ > 2000 m

(Proyecto CONOZE, CEAM - MAPAMA, 2014)

Gradiente de contaminación: Madrid - Sierra de Guadarrama



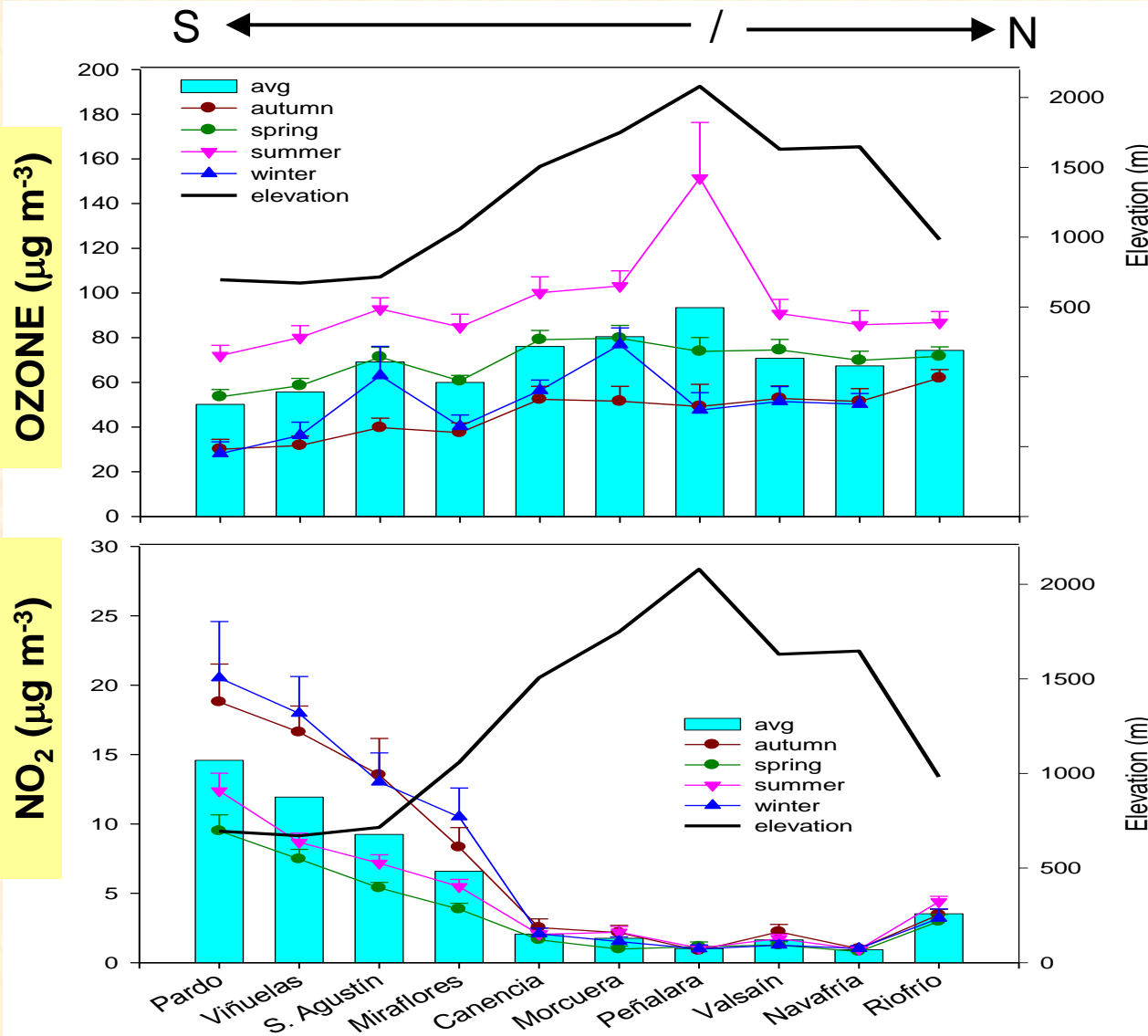
2004-2006



Alonso et al., 2009

Gradiente de contaminación: Madrid - Sierra de Guadarrama

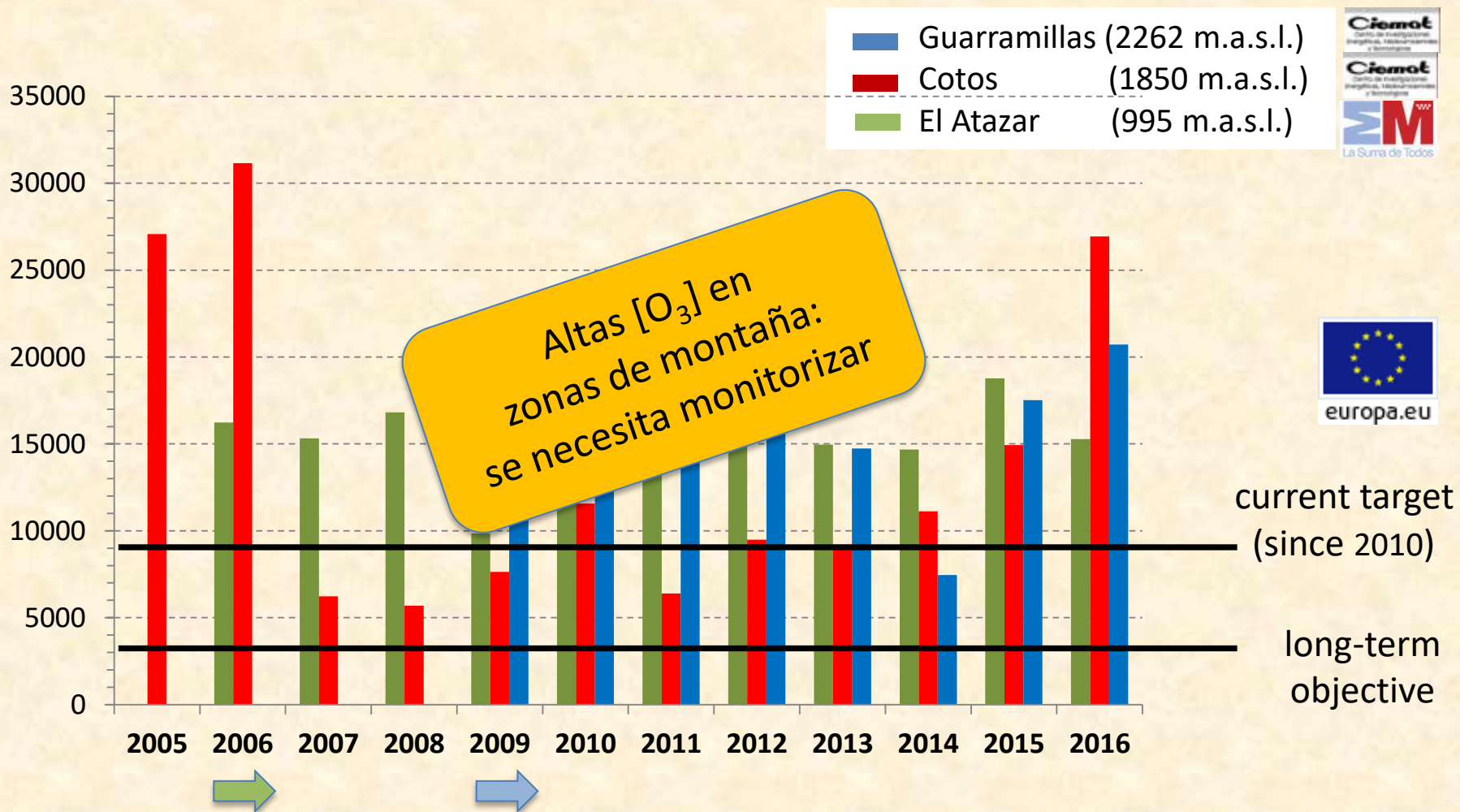
Medias estacionales 2004-2006, pasivos



Alonso et al., 2009
Elvira et al., 2016

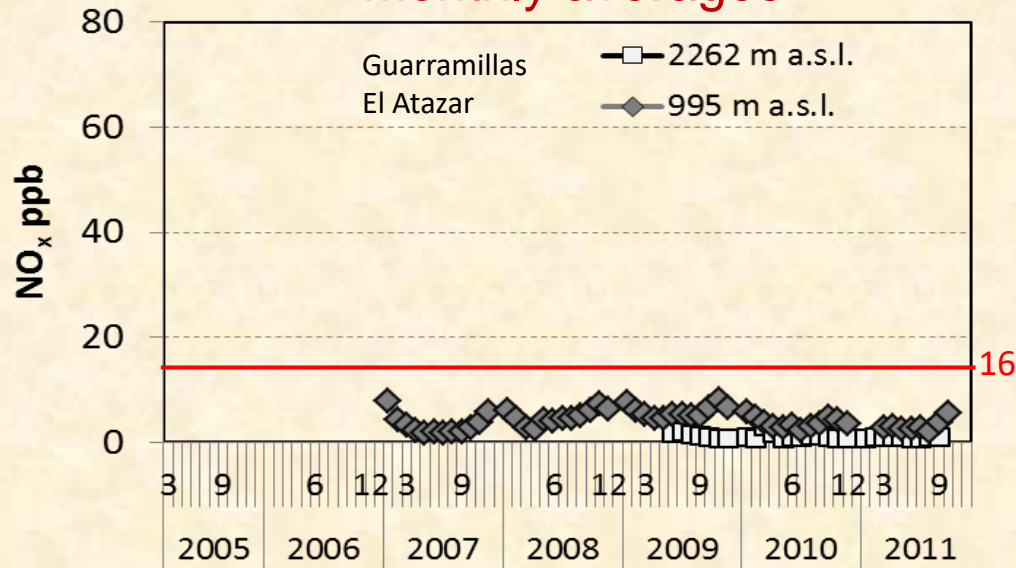
Riesgo de efectos del ozono en la vegetación en sierra de Guadarrama

Ozone AOT40 3-meses Mayo-Julio (ppm h)

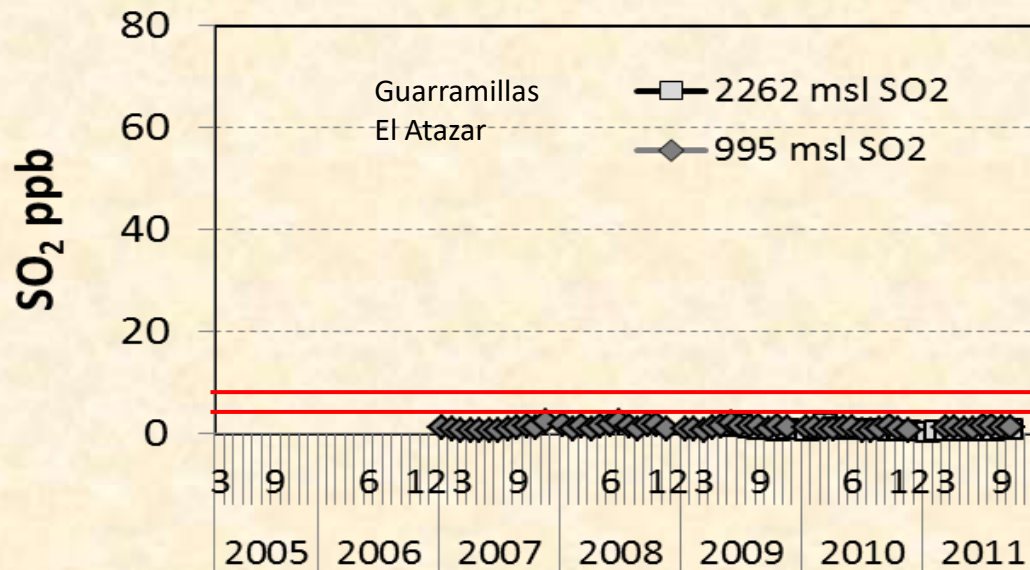


Riesgo de efectos de contaminación atmosférica en sierra de Guadarrama

Monthly averages



Critical level for the protection of vegetation ($30 \mu\text{g m}^{-3}$)



Critical level for the protection of vegetation ($20 \mu\text{g m}^{-3}$)

7,6 Forest and semi-natural vegetation

3,8 Cyanobacterial lichens



Efectos del ozono en la vegetación y ecosistemas

- Los valores límite de ozono para la protección de la vegetación de acuerdo a la Directiva de Calidad del Aire y a la Convención del Aire (CLRTAP) se sobrepasan de forma crónica
- El ozono es un factor de riesgo para la salud de los ecosistemas de la península Ibérica
- Es necesario monitorizar las concentraciones de ozono como un componente del cambio global y realizar análisis de riesgos

Contaminantes atmosféricos nitrogenados

Valor límite anual de NO₂ para la protección de la salud - 2016



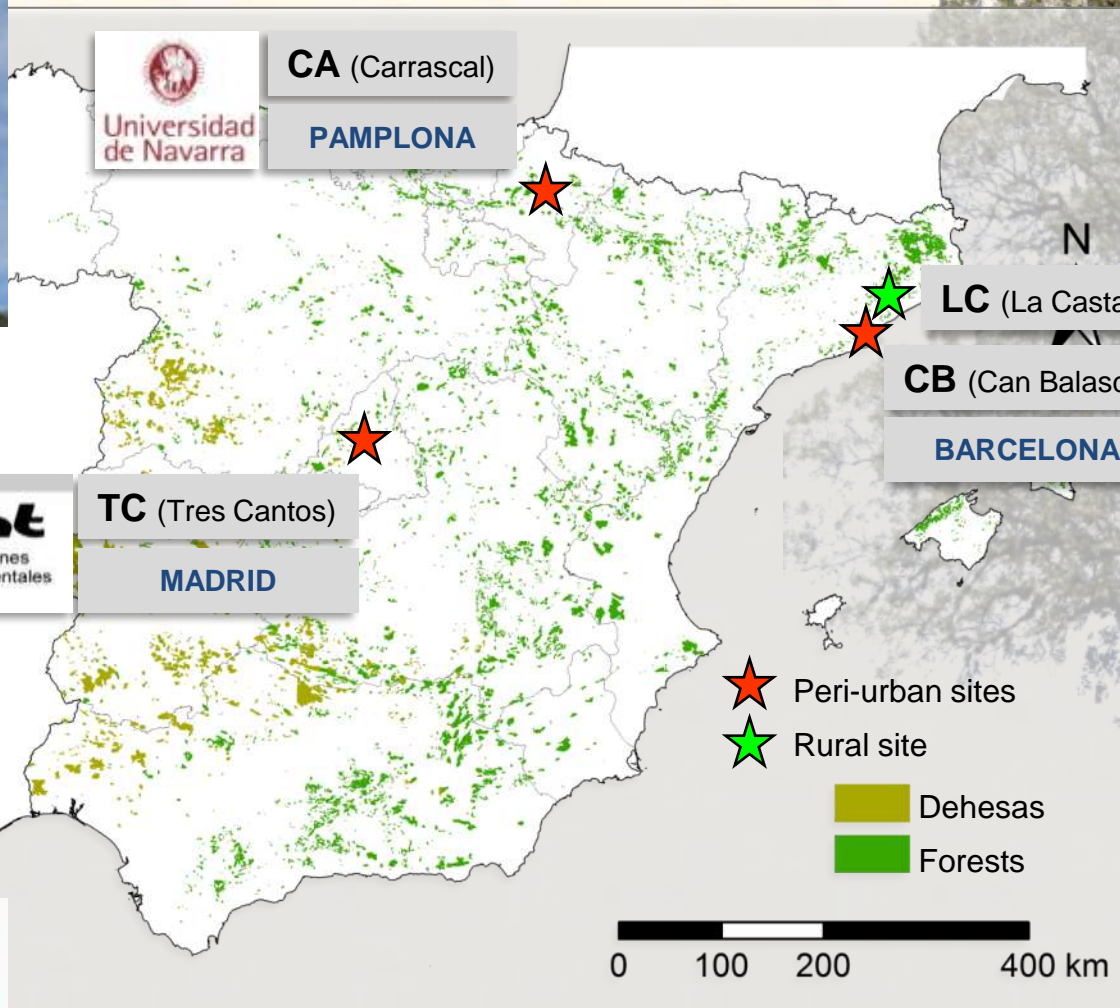
Efectos del depósito atmosférico de N



2010-2013

PROYECTO EDEN:

Efectos del depósito de N en encinares mediterráneos



Ciemat
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

TC (Tres Cantos)

MADRID



CONCENTRACIÓN ATMOSFÉRICA DE CONTAMINANTES

MEDIAS ANUALES Y EVALUACIÓN DEL RIESGO

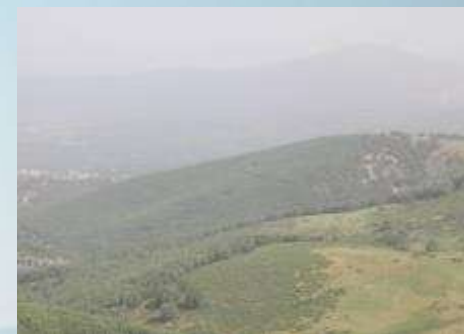
		MEDIA ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Niveles críticos
NO ₂	CB	16.2	< 30 $\mu\text{g m}^{-3}$ (2008/50/EC; CLRTAP protección de la vegetación)
	TC	11.1	
	CA	10.6	
	LC	4.3	
NH ₃	CB	1.0	< 3 $\mu\text{g m}^{-3}$ (CLRTAP: plantas superiores) > 1 $\mu\text{g m}^{-3}$ (CLRTAP: líquenes, briófitos)
	TC	0.7	
	CA	2.5	
	LC	0.7	
HNO ₃	CB	2.7	No existen niveles críticos < 7–25 $\mu\text{g m}^{-3}$: pérdida riqueza líquenes, daños fisiológicos)
	TC	1.5	
	CA	2.3	
	LC	3.3	
O ₃	CB	57.0	Niveles críticos basados en exposiciones acumulativas
	TC	69.1	
	CA	77.4	
	LC	78.2	

El O₃ es el único contaminante con riesgo de causar daños directos

Monitorización continua		MAY-JUL 2008/50/EC
AOT40 2011 – 2012	CB	3.7 – 9.4
	TC	17.4 – 28.3
	CA	15.5 – 16.5
	LC	12.5 – 18.3

> 5 ppm h (CLRTAP)
> 9 ppm h (2008/50/EC)

Efectos del depósito de N atmosférico en ecosistemas



- Toxicidad directa
- Reducción de visibilidad
- Química atmosférica: formación de $PM_{2.5}$ y smog fotoquímico (O_3 , HNO_3)
- Calentamiento global
- Acidificación
- Fertilización y eutrofización

Efectos del depósito de N atmosférico en ecosistemas

Ecosistemas terrestres:

- aumento transitorio de productividad
- pérdidas de N en aguas subterráneas y escorrentía
- pérdida de nutrientes (K, Mg, Ca, P, etc)
- movilización de elementos tóxicos (Al, metales pesados)
- disminuye relación raíz/tallo
- **menor resistencia a otros factores de estrés**
- **cambios en la composición de especies (vegetación, fauna)**
- **aumento de emisiones de N₂O**

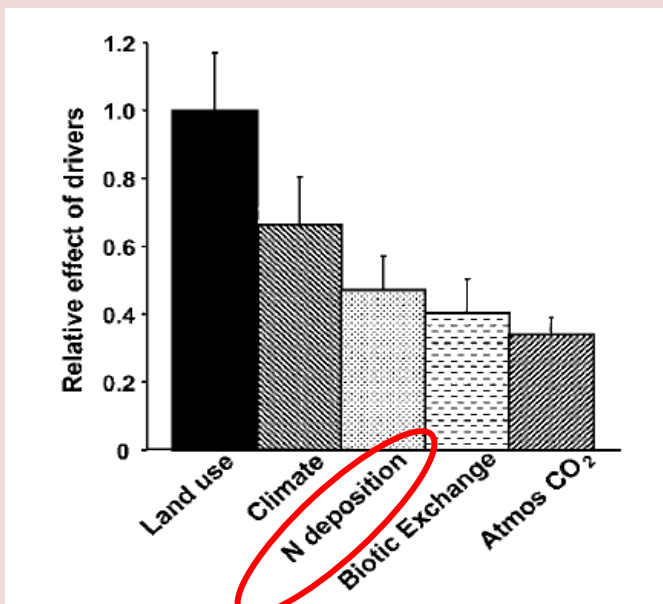
Múltiples efectos
Cascada de efectos

Ecosistemas acuáticos:

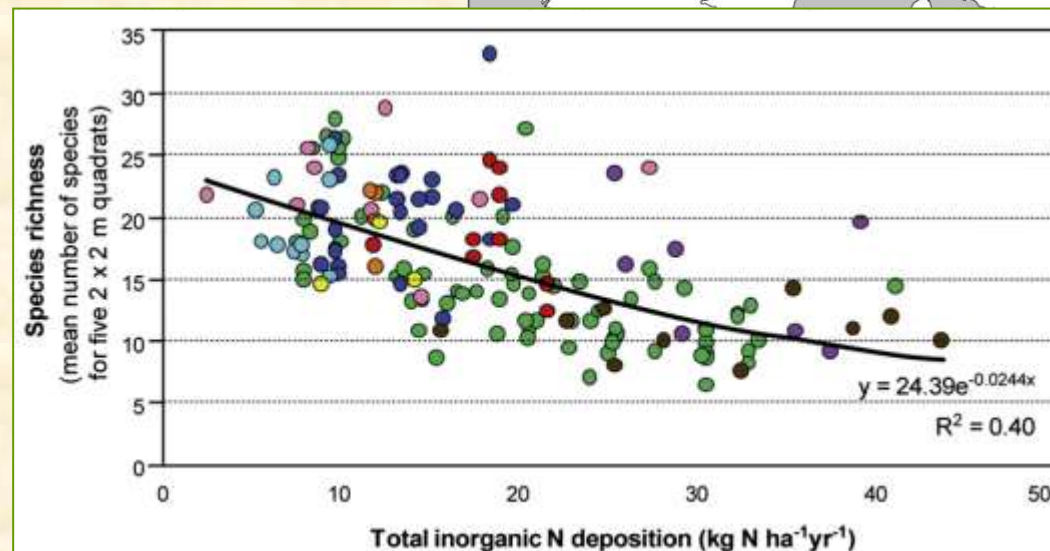
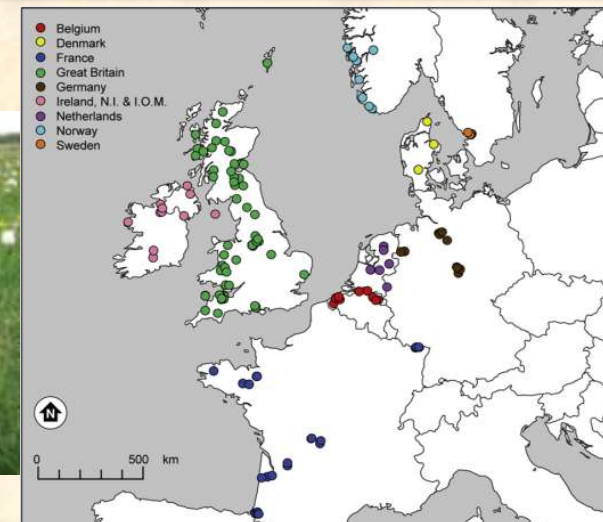
- acumulación de algas (blooms)
- condiciones de anoxia
- reducción de la calidad del agua
- disminución del pH del agua
- movilización de elementos tóxicos (Al, metales pesados)
- efectos en la fauna (especialmente peces) y flora

Efectos del depósito de N atmosférico en biodiversidad

Effect of major drivers on biodiversity for the year 2100



Sala et al. (2000) *Science*



AICHI BIODIVERSITY TARGETS

Contaminación, exceso de nutrientes



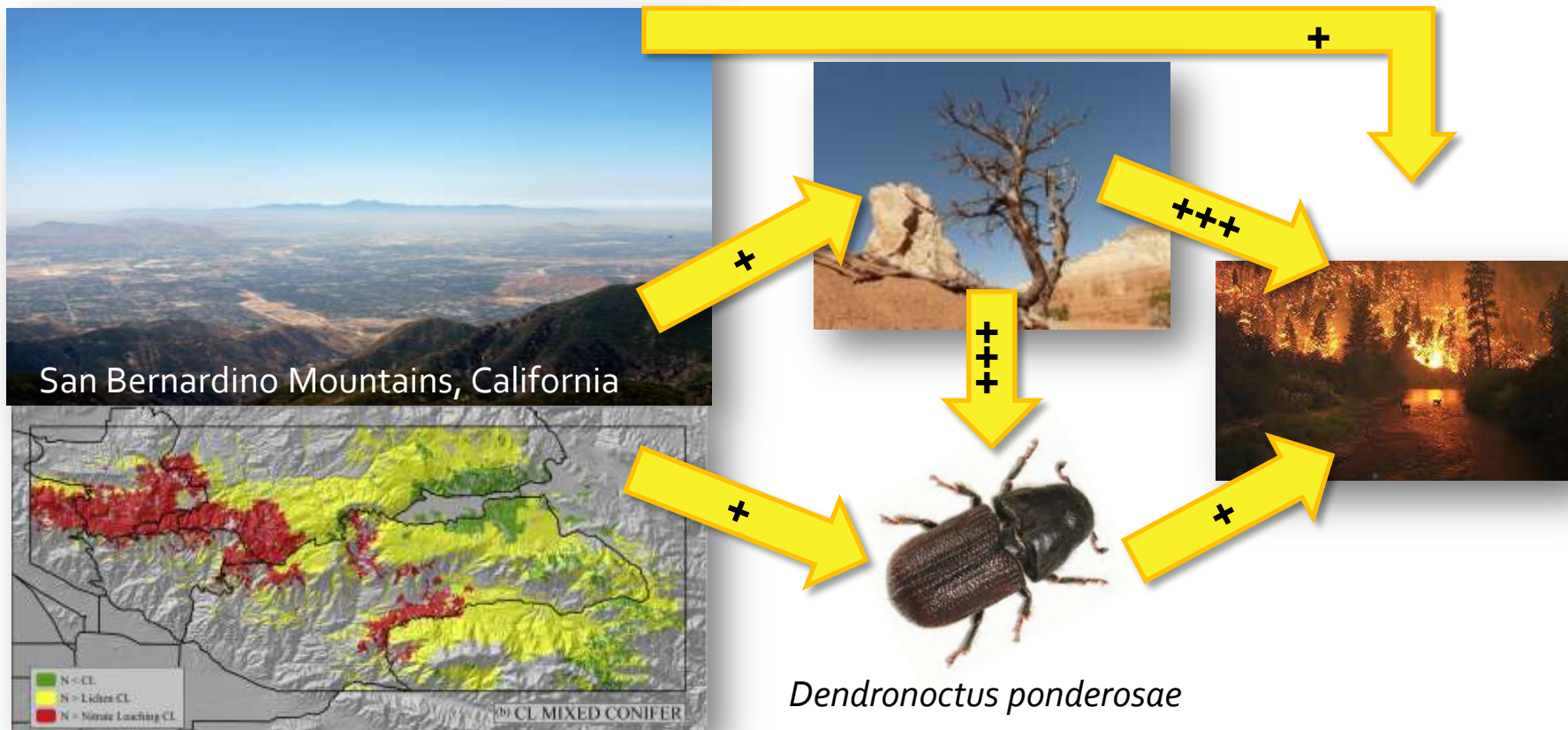
El depósito crónico de N atmosférico disminuye la riqueza de los pastizales acidófilos de centro Europa

Stevens et al. (2010)

Efectos del depósito de N atmosférico en ecosistemas

Eutrofización y cascada de nitrógeno

Cambios en el funcionamiento del ecosistema

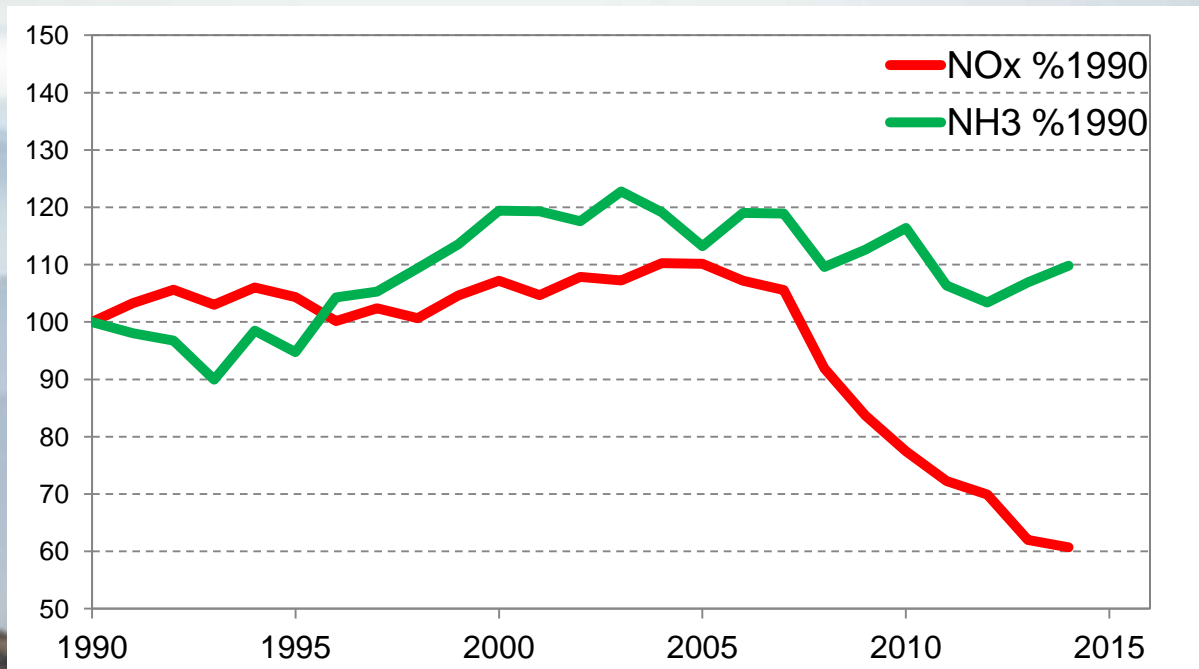


Aumento del riesgo de incendio en los Montes San Bernardino, California

Emisiones y depósito de N en España

Emisiones de gases con N 1990-2014

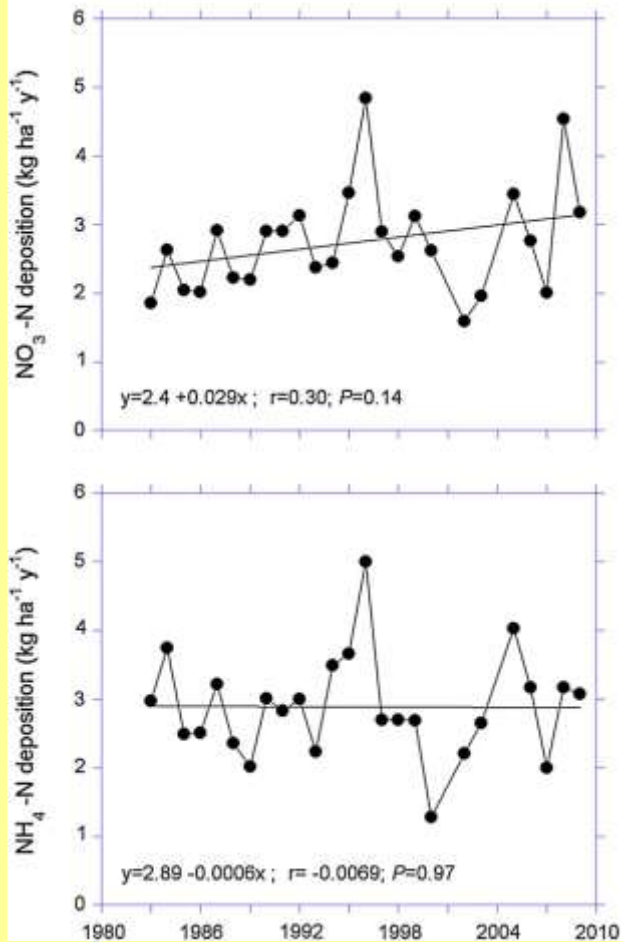
100%= Emissions in 1990



(MAGRAMA, 2015)

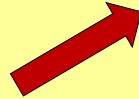
Emisiones y depósito de N en España

N wet deposition in La Castanya (Catalonia NE-Spain) 1983-2009



NO₃⁻

incr. trend



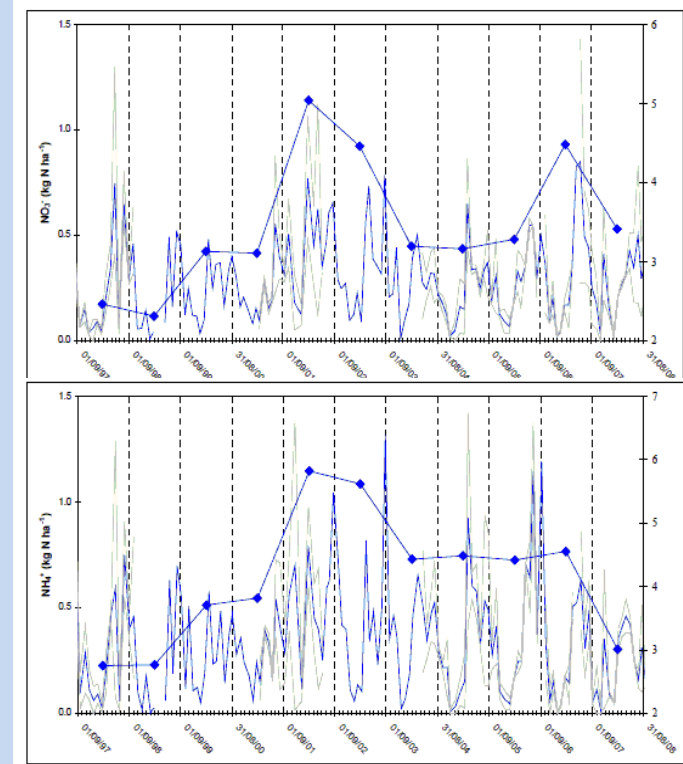
NH₄⁺

no trend



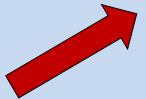
(Ávila & Rodà, 2012)

N wet deposition in the Pyrenees 1997-2007



NO₃⁻

incr. trend



NH₄⁺

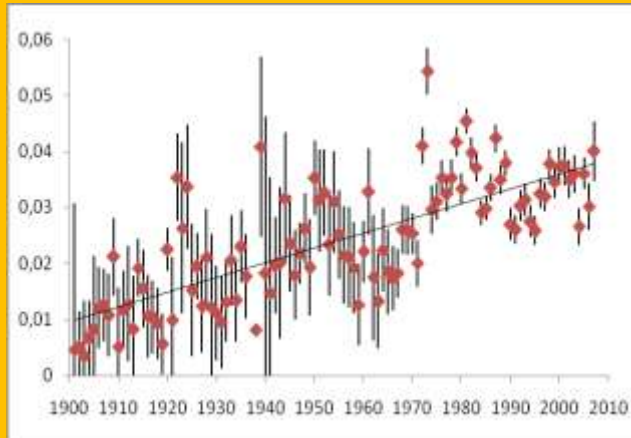
no trend



Camarero & Aniz (2010)

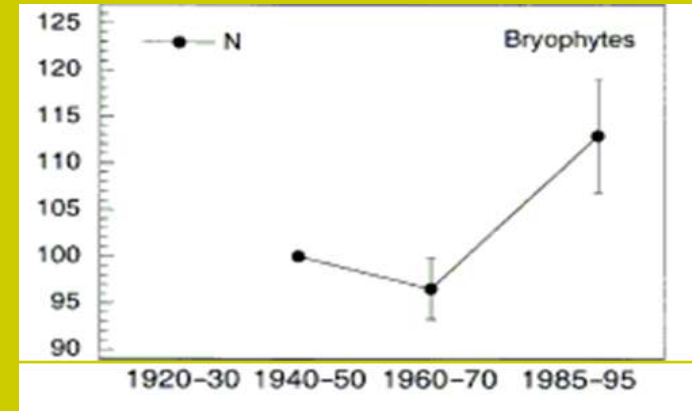
Evidencias del enriquecimiento en N en ecosistemas españoles

Aumento nº especies nitrófilas en herbarios 1900-2008



Ariño et al., 2010

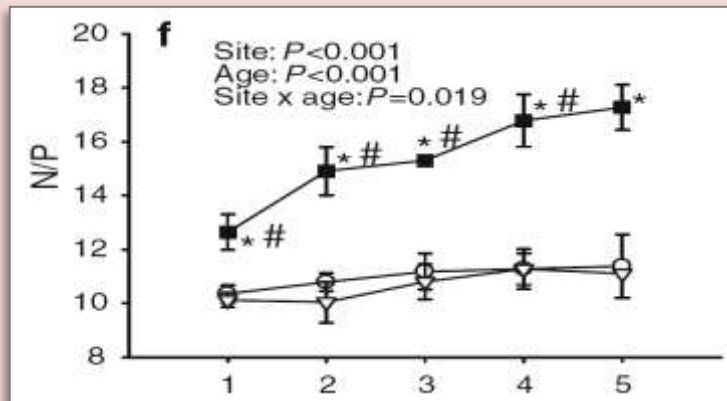
Cambios relativos (%) en contenido foliar de N en herbarios



Recerca
Ecològica i
Aplicacions
Forestals
CREAF

Peñuelas & Filella (2001)

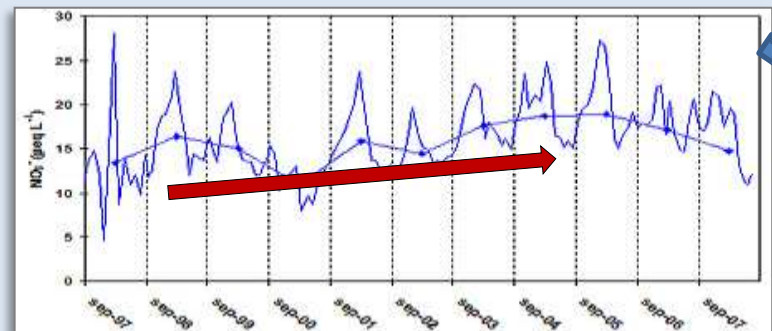
Desequilibrios nutricionales en *Abies pinsapo*



Blanes et al., 2013

Aumento NO_3^- en ríos en NE-peninsular:

- Montseny (Ávila & Rodá, 2012)
- Pirineos (Camarero & Catalá, 2012)



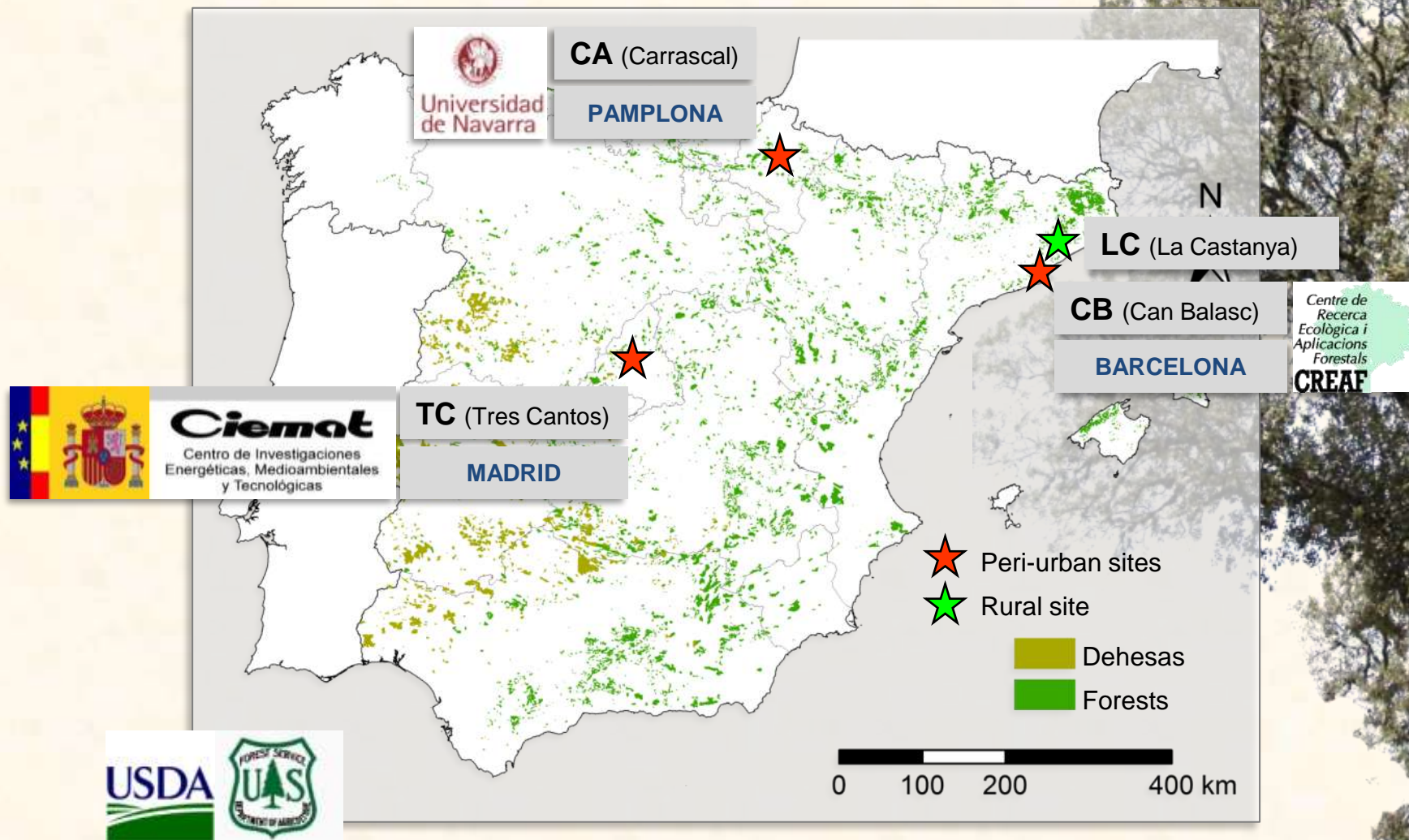
Efectos del depósito atmosférico de N



2010-2013

PROYECTO EDEN:

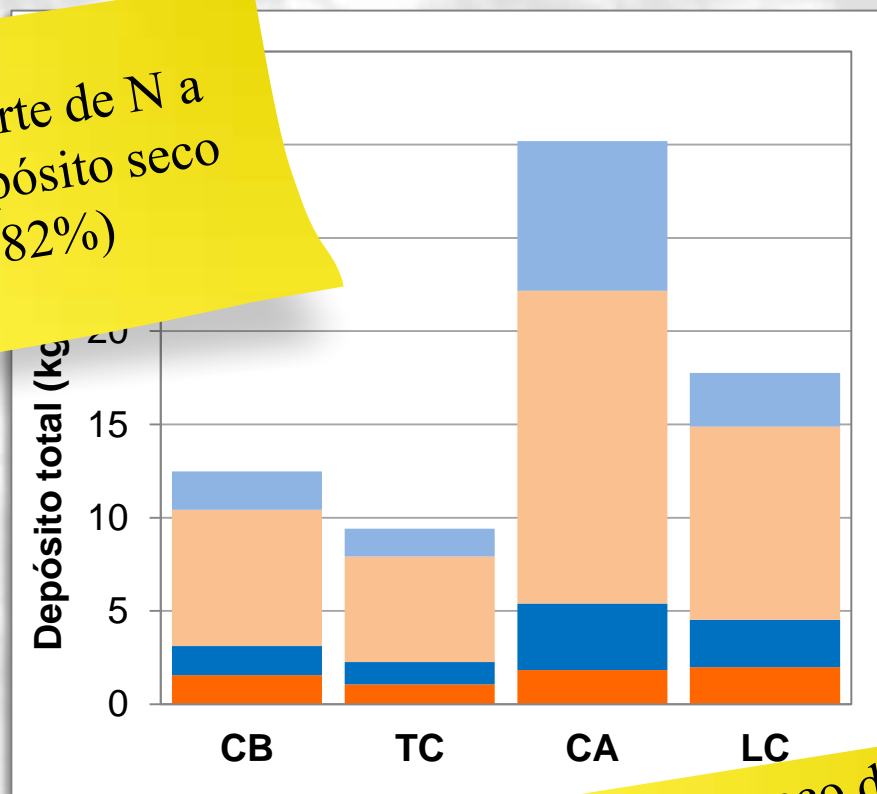
Efectos del depósito de N en encinares mediterráneos



DEPÓSITO ATMOSFÉRICO DE NITRÓGENO

Depósito total: seco + húmedo

Principal aporte de N a través del depósito seco (74% - 82%)



Depósito seco

$\text{NH}_3 \text{ NH}_4^+$

$\text{NO}_2 \text{ HNO}_3 \text{ NO}_3^-$

Depósito húmedo

NH_4^+

NO_3^-

Valores anuales

Húmedo

3.8 kg N ha⁻¹ yr⁻¹

58% $\text{NH}_4\text{-N}$

(2.2 kg N ha⁻¹ yr⁻¹)

Seco

13.5 kg N ha⁻¹ yr⁻¹

74% N oxid.

(10.0 kg N ha⁻¹ yr⁻¹)

Depósito seco de compuestos oxidados de N domina sobre compuestos reducidos (56% - 60%)

Análisis de riesgo de efectos del depósito de N atmosférico

Medidas

Concentración y depósito seco

Depósito húmedo (lluvia, nieve)

Modelos de
calidad del aire

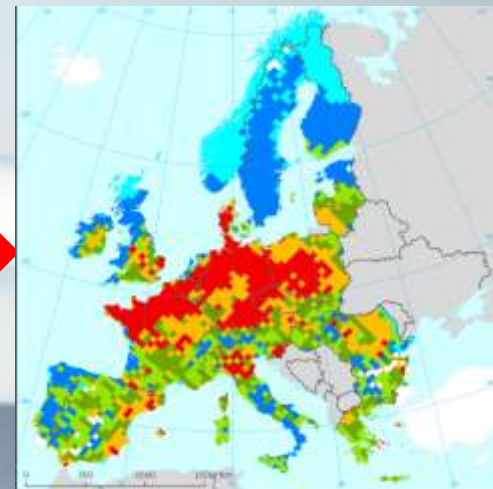
Depósito de N

Exceso de carga
crítica = riesgo

Indicadores de efectos:
cargas críticas

Cargas críticas modelizadas

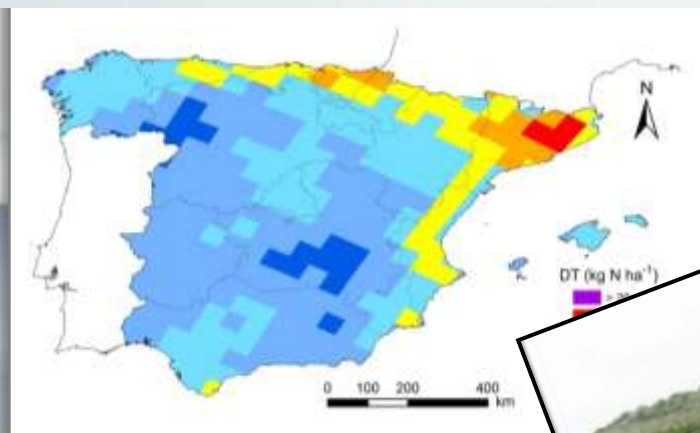
Cargas críticas empíricas



Análisis de riesgo de efectos del depósito de N atmosférico

Depósito total de N modelizado (2008)

EMEP MODEL (50x50 km)

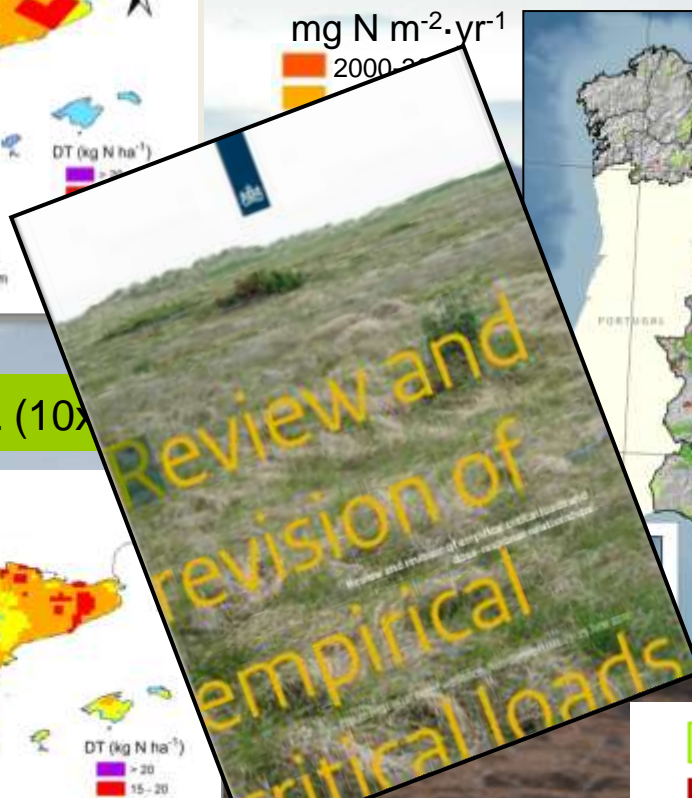
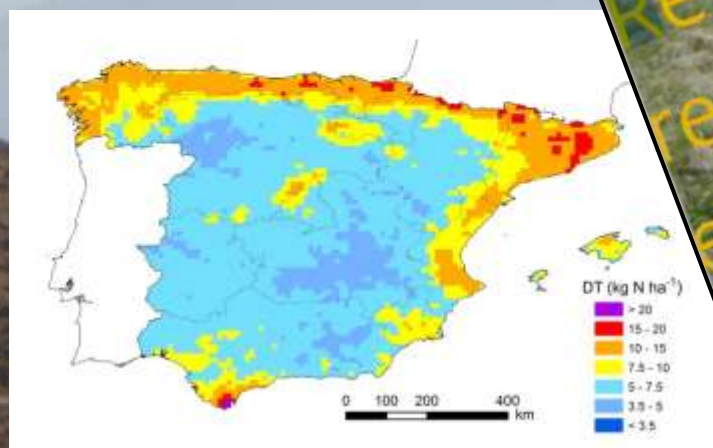


Depósito total de N en España:
2 - 30 kg N ha⁻¹ año⁻¹

Red Natura 2000



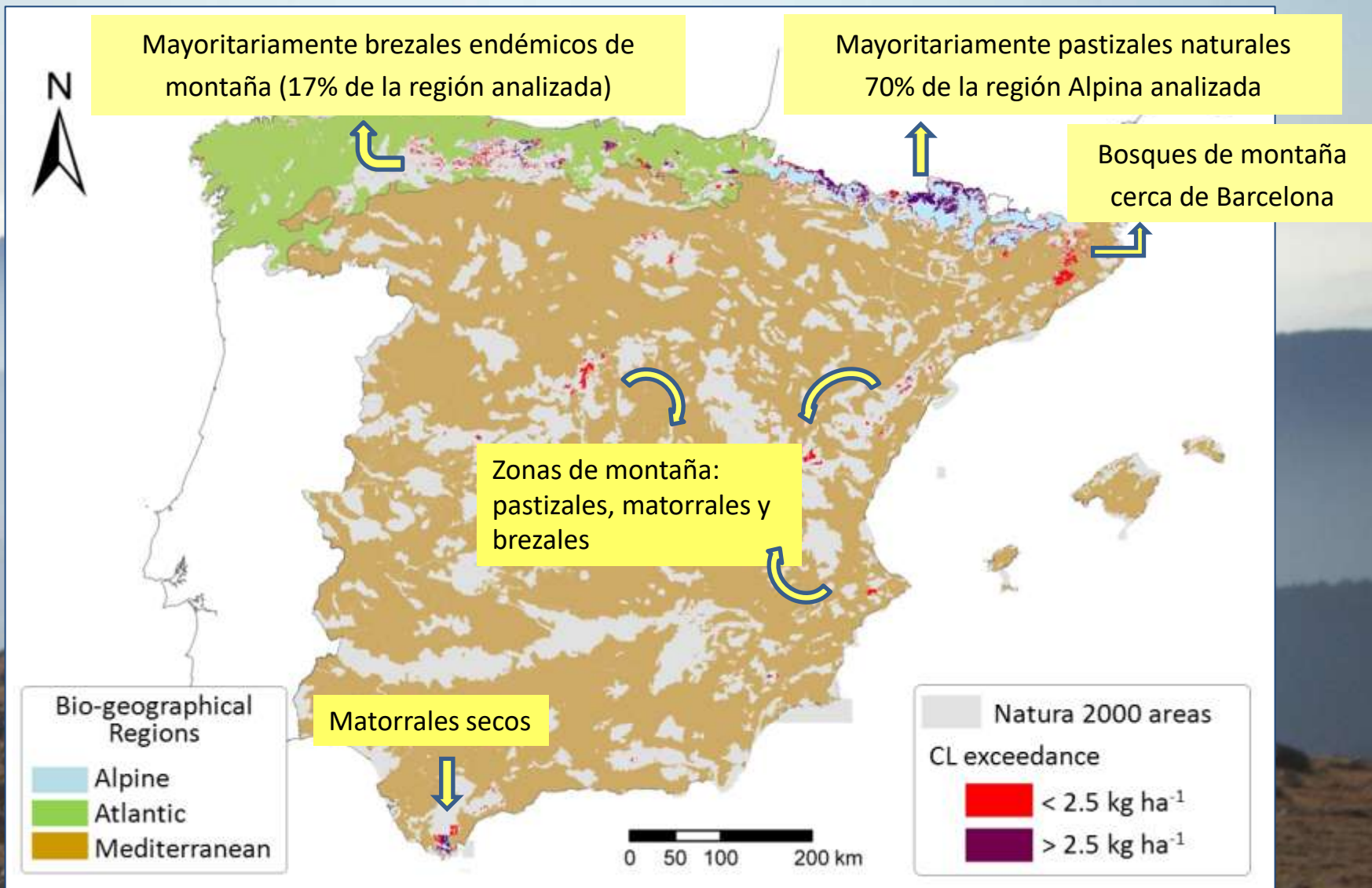
CHIMERE MODEL (10x10 km)



- LIC - Habitats
- ZEPA - Aves
- LIC y ZEPA

Análisis de riesgo de efectos del depósito de N atmosférico

Exceso de cargas críticas empíricas (Bobbink and Hettelingh, 2011)



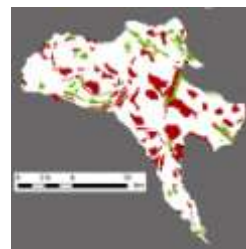
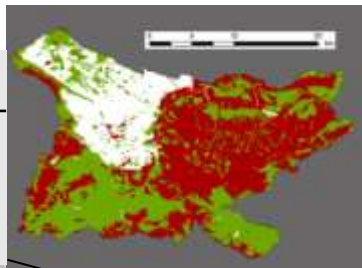
Análisis de riesgo de efectos del depósito de N atmosférico

Exceso de cargas críticas empíricas (Bobbink and Hettelingh, 2011)



Análisis de riesgo de efectos del depósito de N atmosférico

Hábitats	Superficie evaluada (km ²)	Superficie en riesgo	CC _{sup} (kg N ha ⁻¹ año ⁻¹)
40	127.3	70%	2.2
51	8.4	98%	2.3
61	53.6	100%	
62	61.6	2%	0.4



Hábitats	Superficie evaluada (km ²)	Superficie en riesgo	CC _{sup} (kg N ha ⁻¹ año ⁻¹)
40	1.5	100%	1.2
61	11.9	100%	4.0
94	1.7	100%	1.5
95		100%	0.4

Islas Atlánticas de Galicia

Picos de Europa

Hábitats	Superficie evaluada (km ²)	Superficie en riesgo	CC _{sup} (kg N ha ⁻¹ año ⁻¹)
40	11.1	21%	
51	92.1	64%	
61	6.7	100%	



ABC SOCIEDAD

ES NOTICIA Directo Independencia Cataluña

ESPAÑA INTERNACIONAL ECONOMÍA OPINIÓN DEPORTES CONOCER MOTOR FAMILIA GENTE SUMMUM CULTURA & OCIO SERVICIOS EDICIONES MADRID ABC/SEVILLA

Buscar en ABC

Acceso / Registro

La contaminación atmosférica también afecta a la salud

Los más amenazados por la huella de nitrógeno son Aigüestortes, Ordesa, Guadarrama y Picos de Europa

any de Sant Maurici

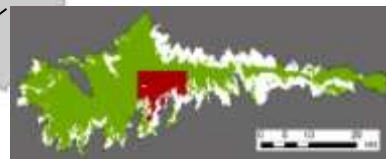
Superficie en riesgo	CC _{sup} (kg N ha ⁻¹ año ⁻¹)
100%	7.7
100%	6.4
100%	9.9
100%	10.2
100%	6.3

Cabañeros

Tablas de Daimiel

Doñana

Sierra Nevada



Hábitats	Superficie evaluada (km ²)	Superficie en riesgo	CC _{sup} (kg N ha ⁻¹ año ⁻¹)
61	85.7	13%	< 0.1
64	0.4	3%	< 0.1

Principales ideas:

- La contaminación atmosférica es un componente del cambio global que provoca efectos perjudiciales en la vegetación y en los ecosistemas
- La monitorización de la contaminación atmosférica debería incluirse en las redes de seguimiento del cambio global en los parques nacionales y hábitats de alto valor natural
- Para la monitorización de riesgos y efectos es necesario combinar medidas con modelos
- Necesario participar en los grupos de trabajo que establecen las metodologías de análisis de riesgos para asegurar su adecuación a ecosistemas y condiciones mediterráneas



¡Gracias!

rocio.alonso@ciemat.es

Agradecimientos:

Cargas y Niveles Críticos, MITECO

CONcumbres- Fundación Biodiversidad

AGRISOST, Com. Madrid

Entrada nutrientes en lago de Sanabria, CEDEX

OAPN

