



Efectos del ozono en la vegetación



Rocío Alonso, V. Bermejo, H. Calvete, S. Elvira, H. García-Gómez,
I. González-Fernández, I. Rábago, J. Sanz, F. Valiño
Ecotoxicología de la Contaminación Atmosférica - CIEMAT



Efectos del smog fotoquímico



Los Ángeles, 1943
California Air Resources Board (<http://www.arb.ca.gov>)

Efectos del ozono en la vegetación

Efectos directos

Individuo

Población/Comunidad

Ecosistema



Efectos indirectos

Formación de smog fotoquímico

Predisposición a otros estrés



Tipos de daños en función de concentración y tiempo:

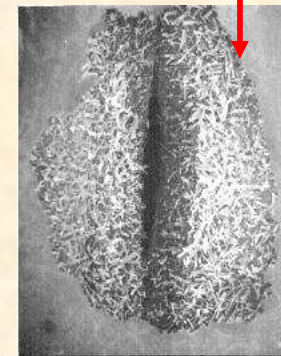
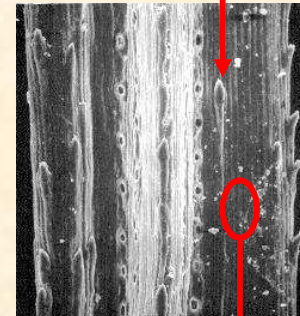
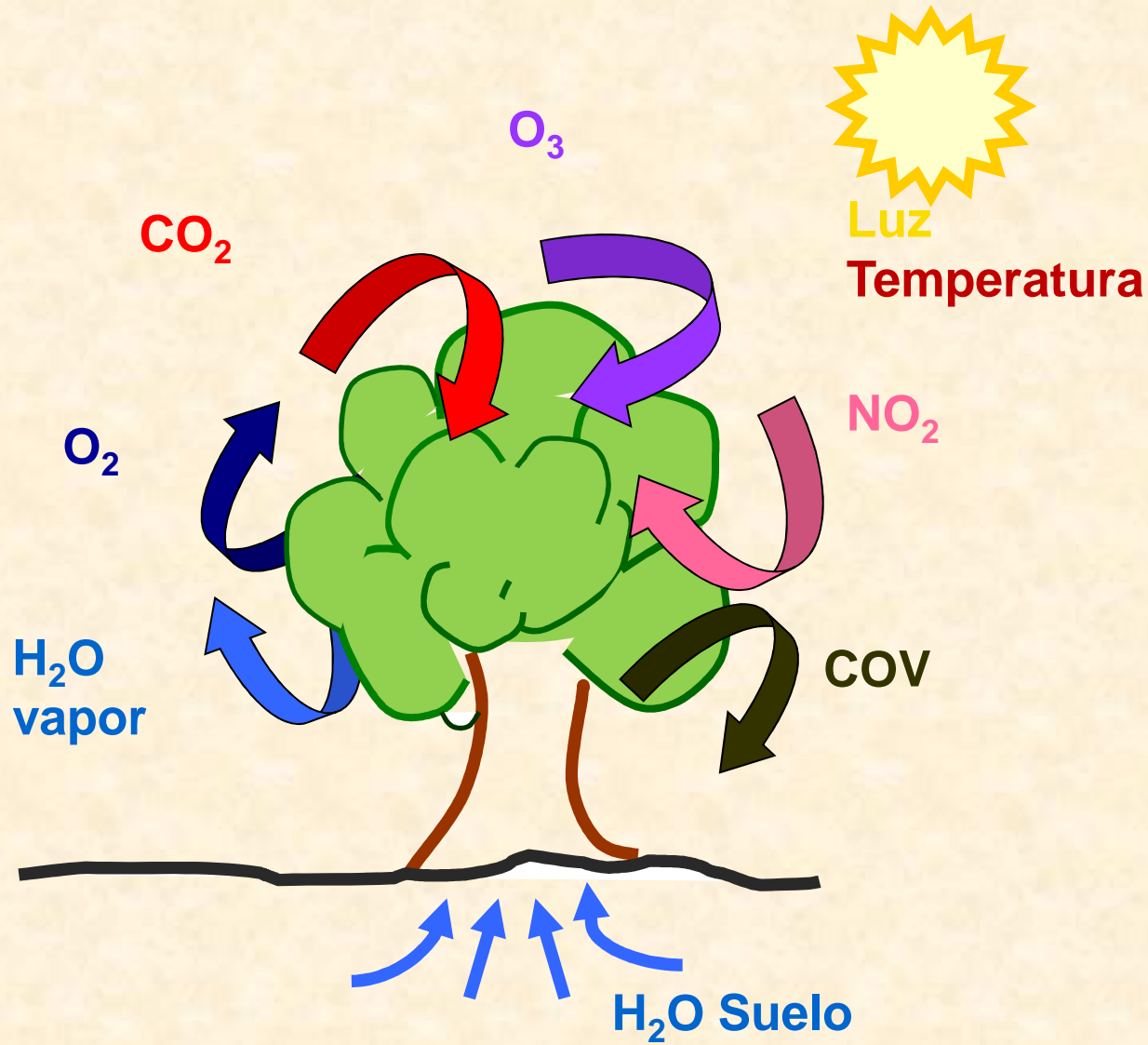
DAÑOS AGUDOS

- Concentración alta
- Tiempo corto

DAÑOS CRÓNICOS

- Concentración moderada
- Tiempo largo

Intercambio gaseoso en las plantas



Estoma

Intercambio gaseoso en las plantas

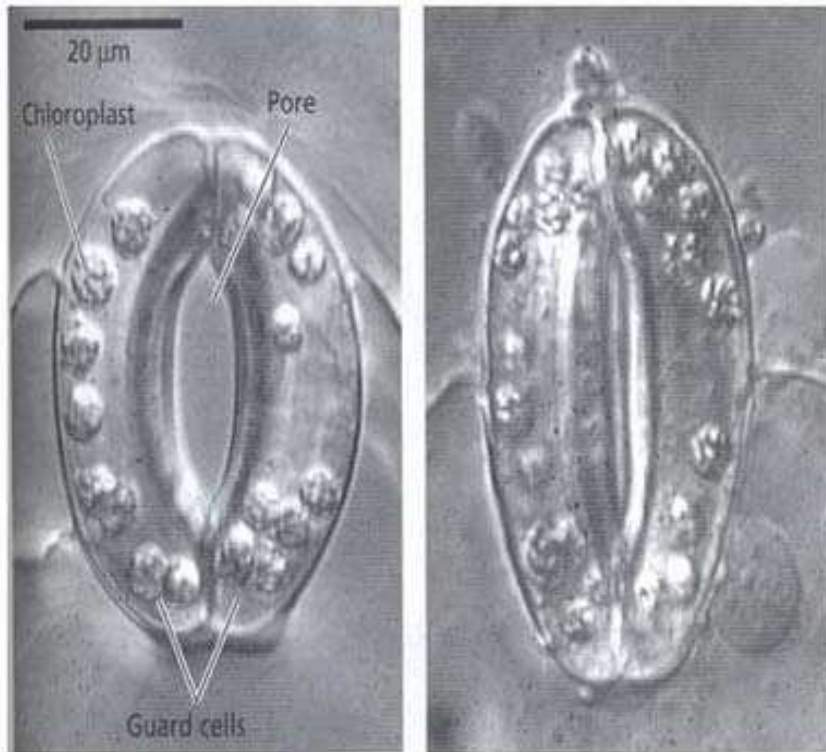


Image reproduced from Plant Physiology, Eds: L. Taiz and E. Zeiger, 2nd edition, Sinauer Associates, Inc. Publisher, Sunderland MA, USA. p. 523

Concentración gas:

Gradiente de concentración
Variación temporal

Condiciones ambientales:

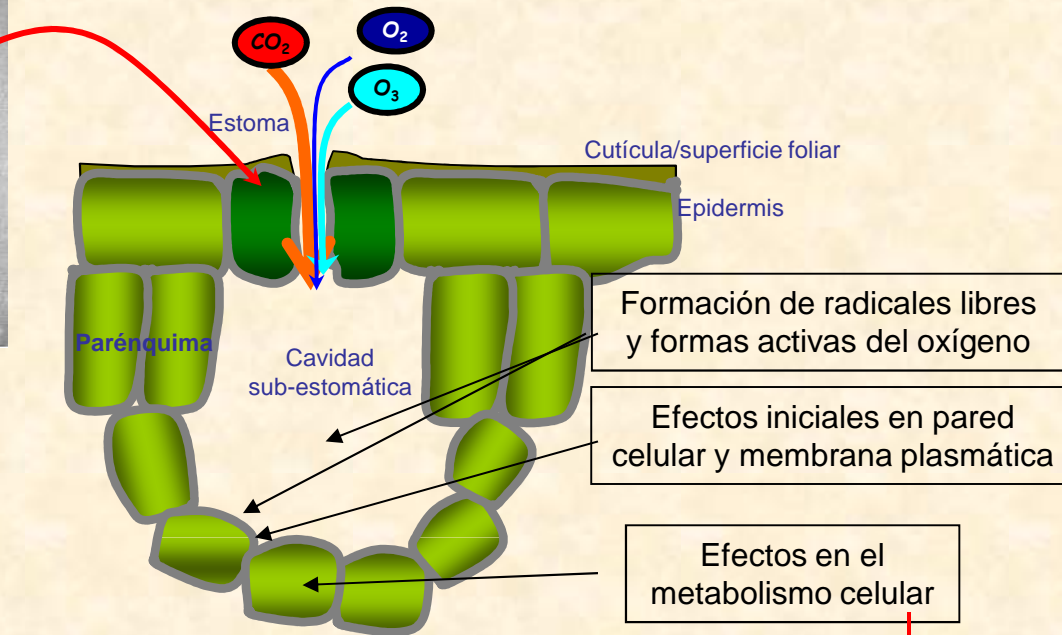
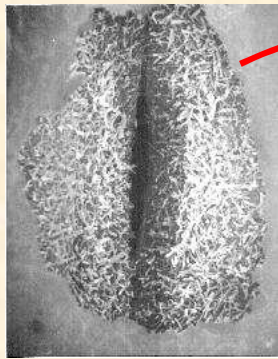
Luz
Humedad del suelo
Temperatura del aire
HR del aire, etc.

Fisiología de la planta:

Edad de la hoja
Fenología
Potencial hídrico
[CO₂] intercelular

Efectos del ozono en la vegetación

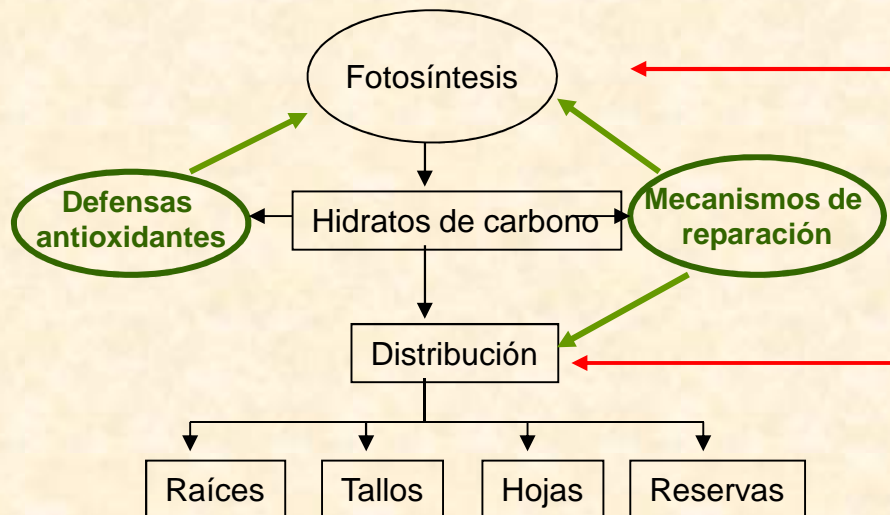
Estoma



Alteración en la permeabilidad y funcionalidad de las membranas celulares

Alteración en la regulación estomática

Estrés oxidativo celular

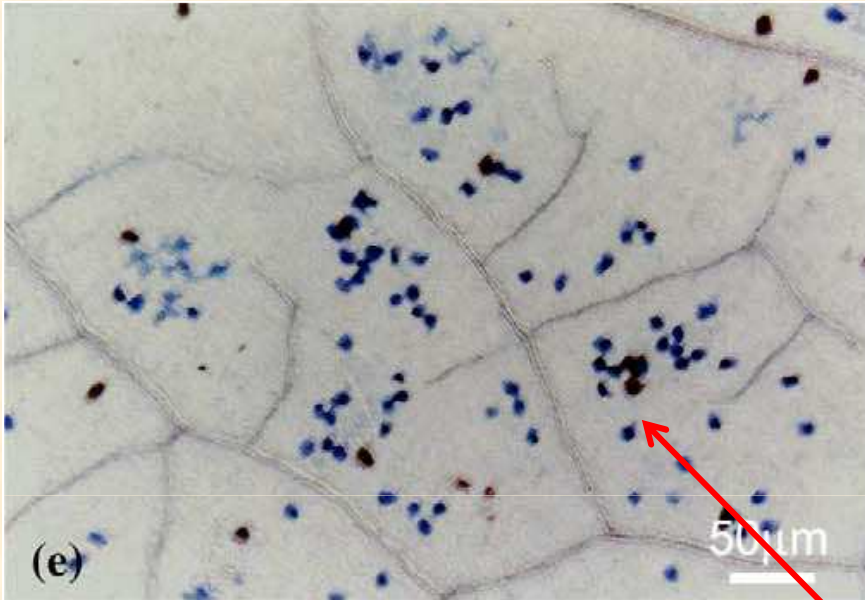


Alteración metabolismo del C y N

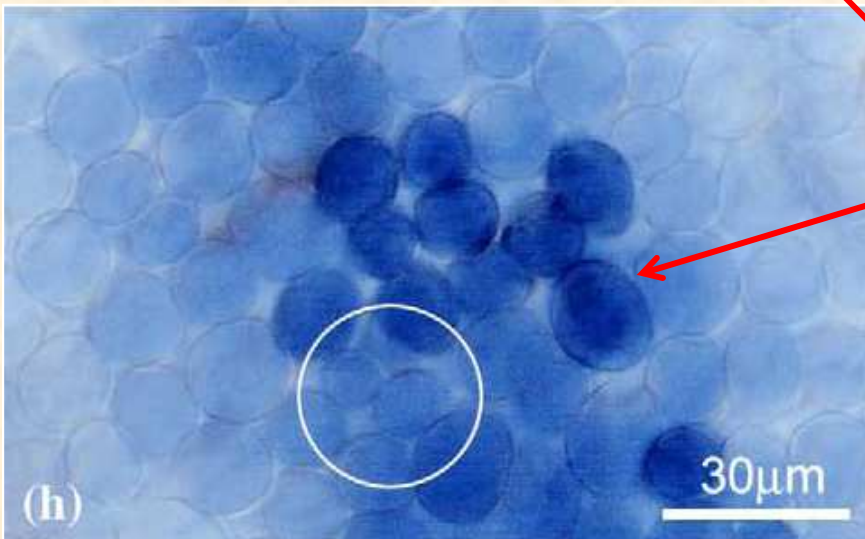
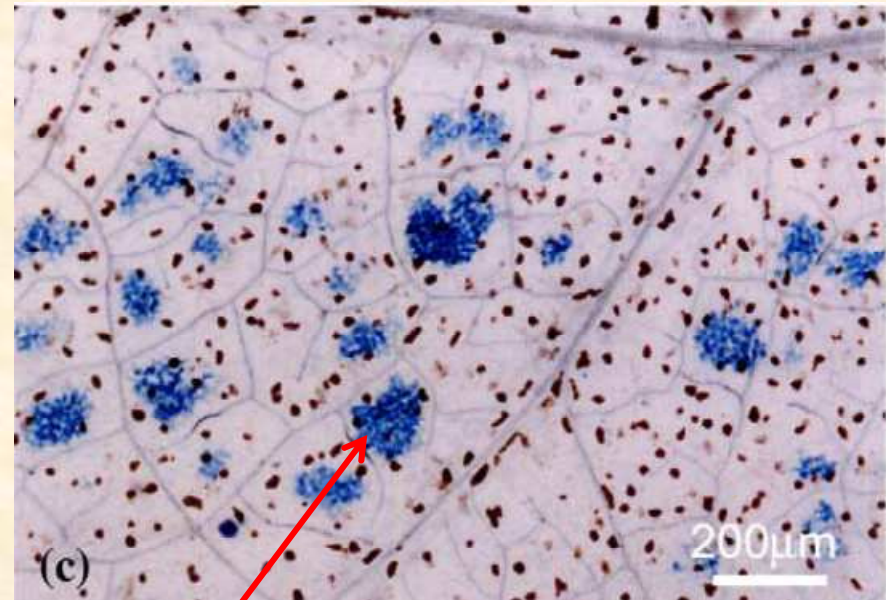
Alteración de la asimilación, distribución-translocación y almacenamiento

Efectos microscópicos del ozono en los tejidos

50 ppb O₃



80 ppb O₃



Muerte celular

Lycopersicon pimpinellifolium

Iriti et al., 2006

Síntomas visibles de daños por ozono



Tabaco var. Well W3



Lechuga var. Romana



Judía var. Lit



Espinaca



Pino carrasco

Trébol



→ + Ozono

Efectos del ozono en la vegetación

Aceleración de la senescencia



Ambiente
+ 40 ppb O₃

Ambiente
+ 20 ppb O₃

Aire
Ambiente

Aire
filtrado

+ Ozono



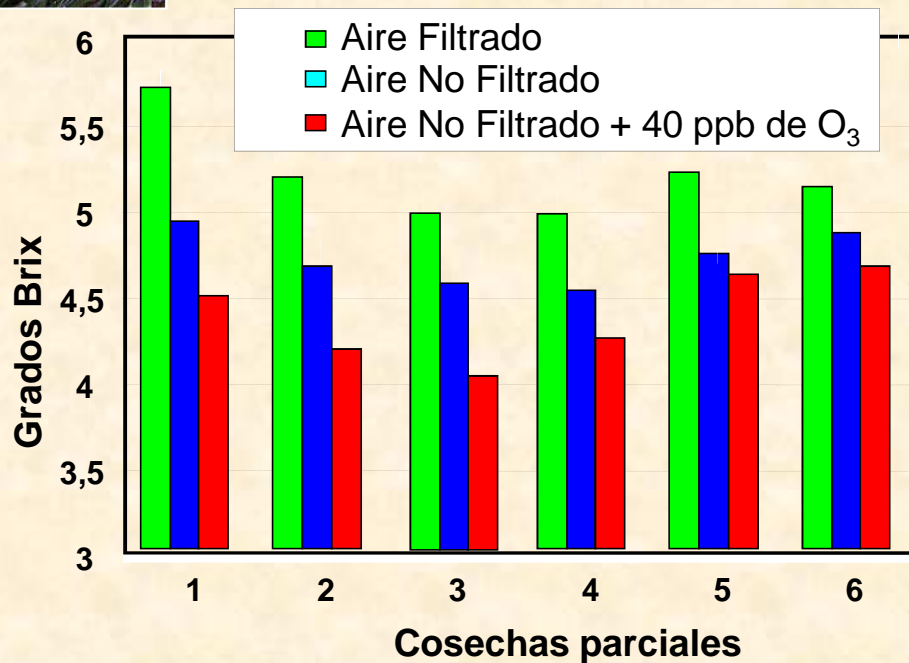
- Ozono

Efectos del ozono en la vegetación

Pérdidas en calidad de cultivos



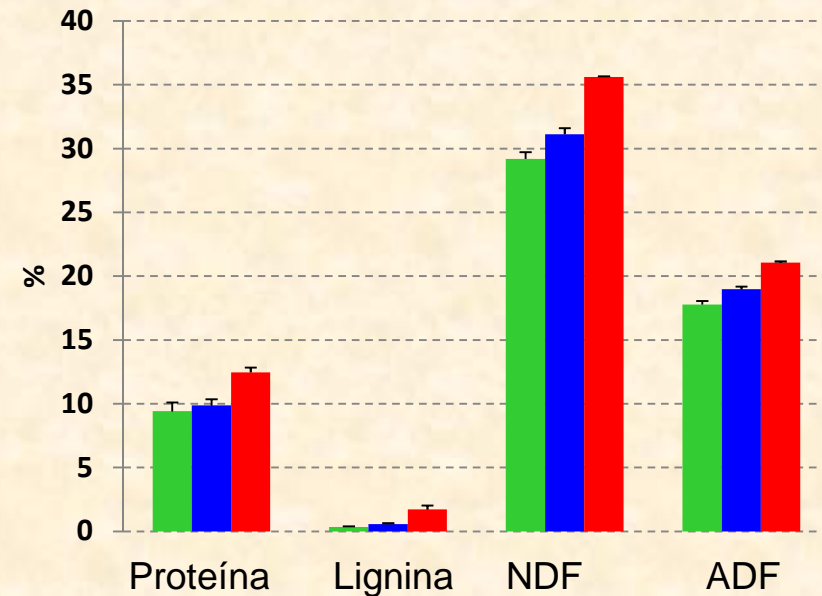
Tomate – grados Brix



Bermejo, 2002



Trifolium subterraneum



↓ digestibilidad

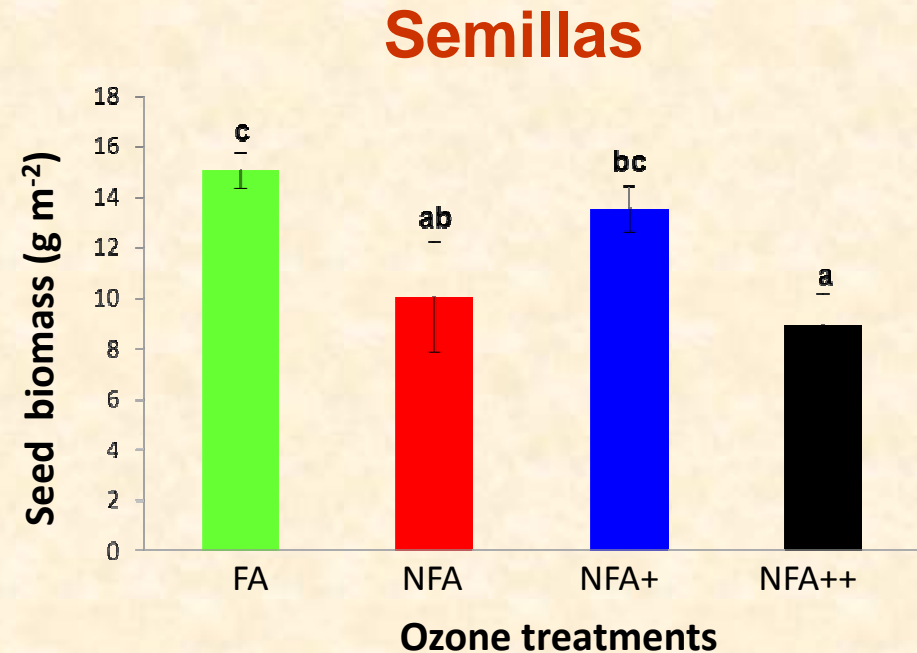
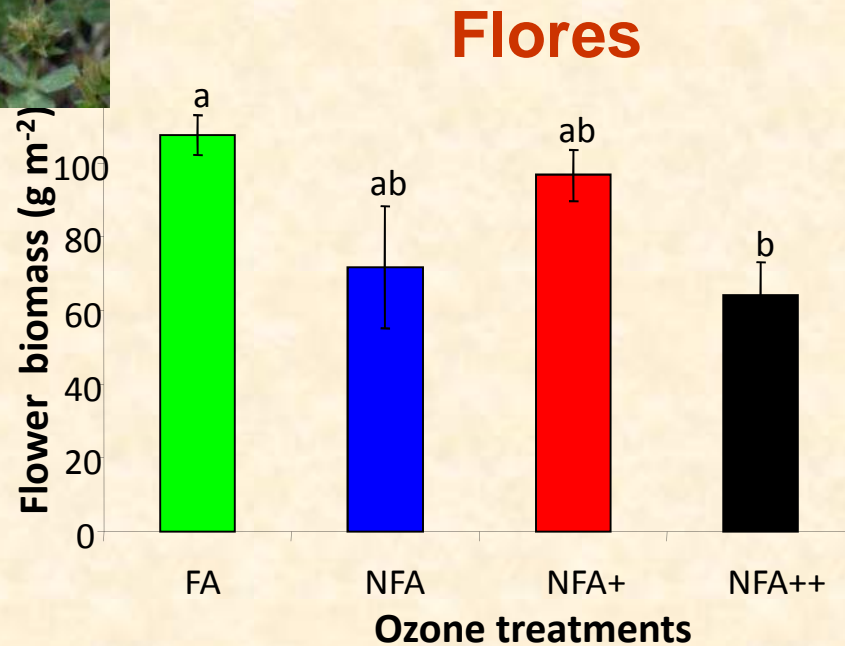
Sanz et al., 2005, *Atm. Env.*

Efectos del ozono en la vegetación

Disminución en la producción de flores y semillas



Trifolium striatum



-O₃ → +O₃

-O₃ → +O₃

Calvete et al., 2015, *submit.*



Cambios en las poblaciones y comunidades

Efectos del ozono en la vegetación

Reducción del crecimiento de especies naturales



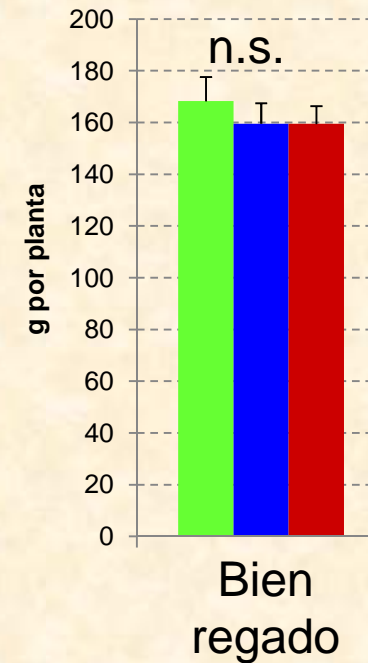
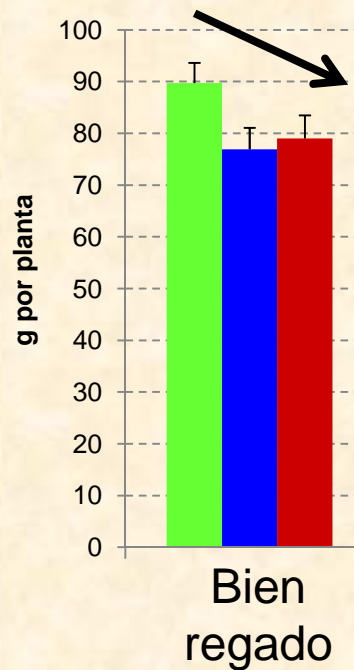
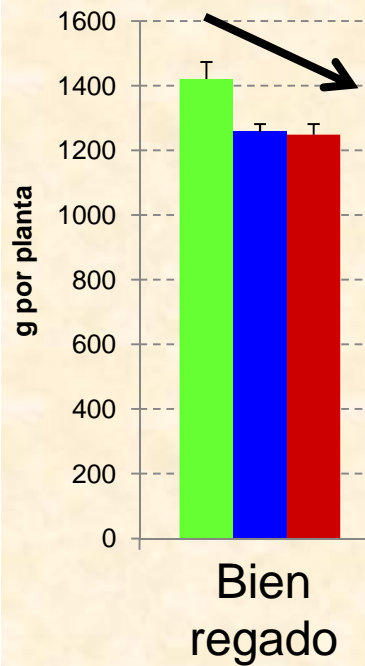
- Aire Filtrado
- Aire No Filtrado
- ANF+ 40 ppb de O₃



Pino carrasco

Encina

Coscoja



Inclán et al., 2005, *Env. Pol.*

Alonso et al., 2014, *Plant Biol.*

Elvira et al., 2004, *Atm. Env.*

Efectos indirectos del ozono en la vegetación

Interacciones ozono / sequía



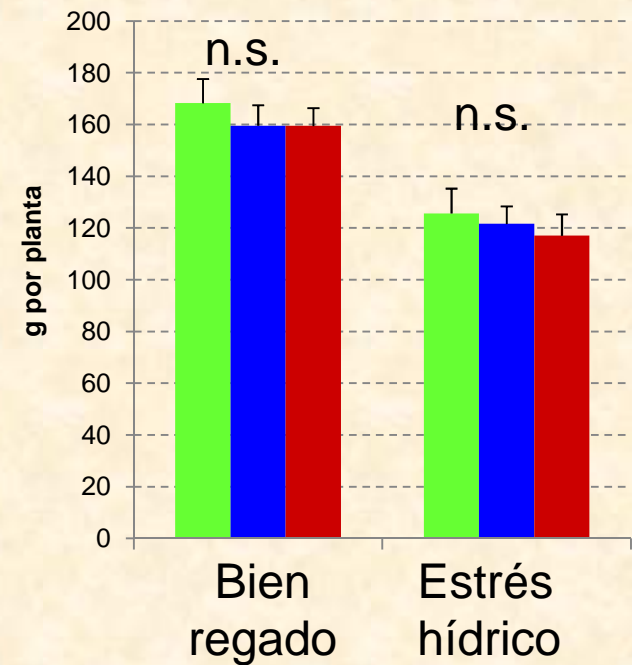
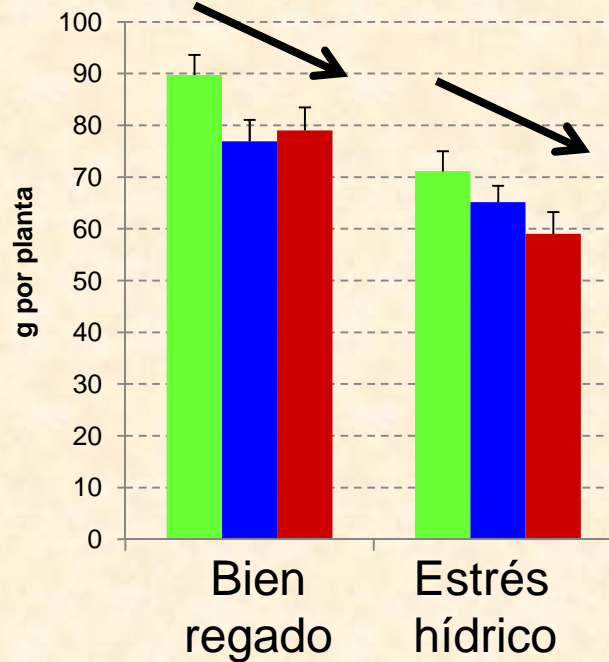
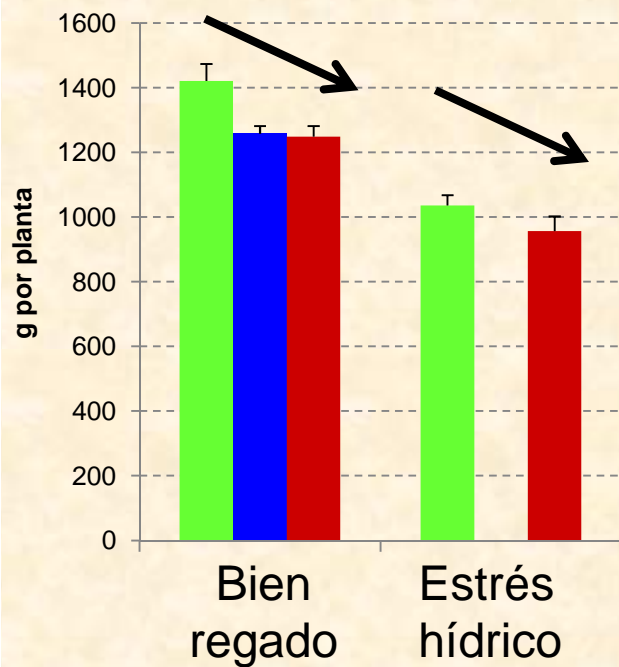
- Aire Filtrado
- Aire No Filtrado
- ANF+ 40 ppb de O₃



Pino carrasco

Encina

Coscoja



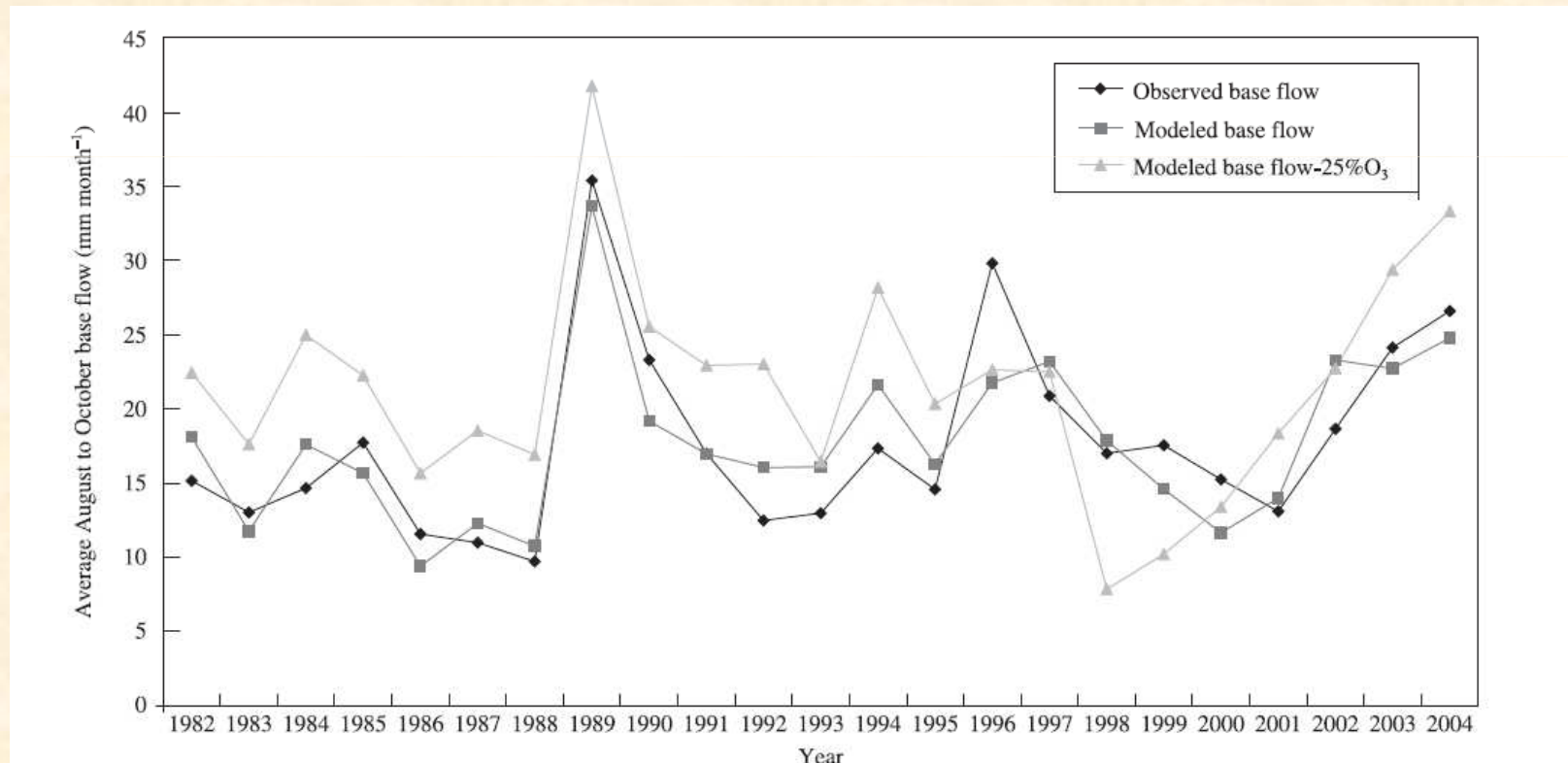
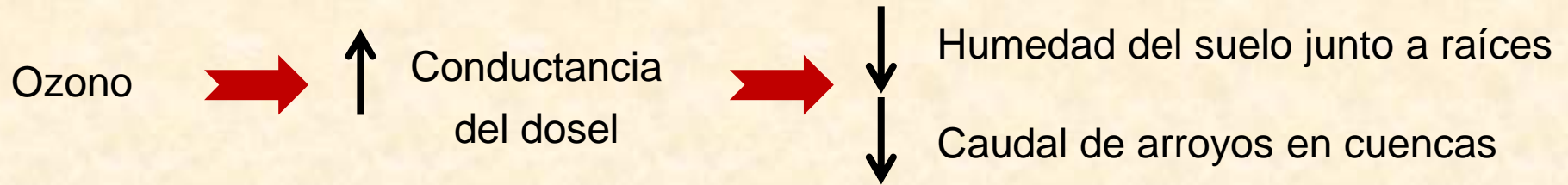
Inclán et al., 2005, *Env. Pol.*

Alonso et al., 2014, *Plant Biol.*

Elvira et al., 2004, *Atm. Env.*

Efectos indirectos del ozono en los ecosistemas

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



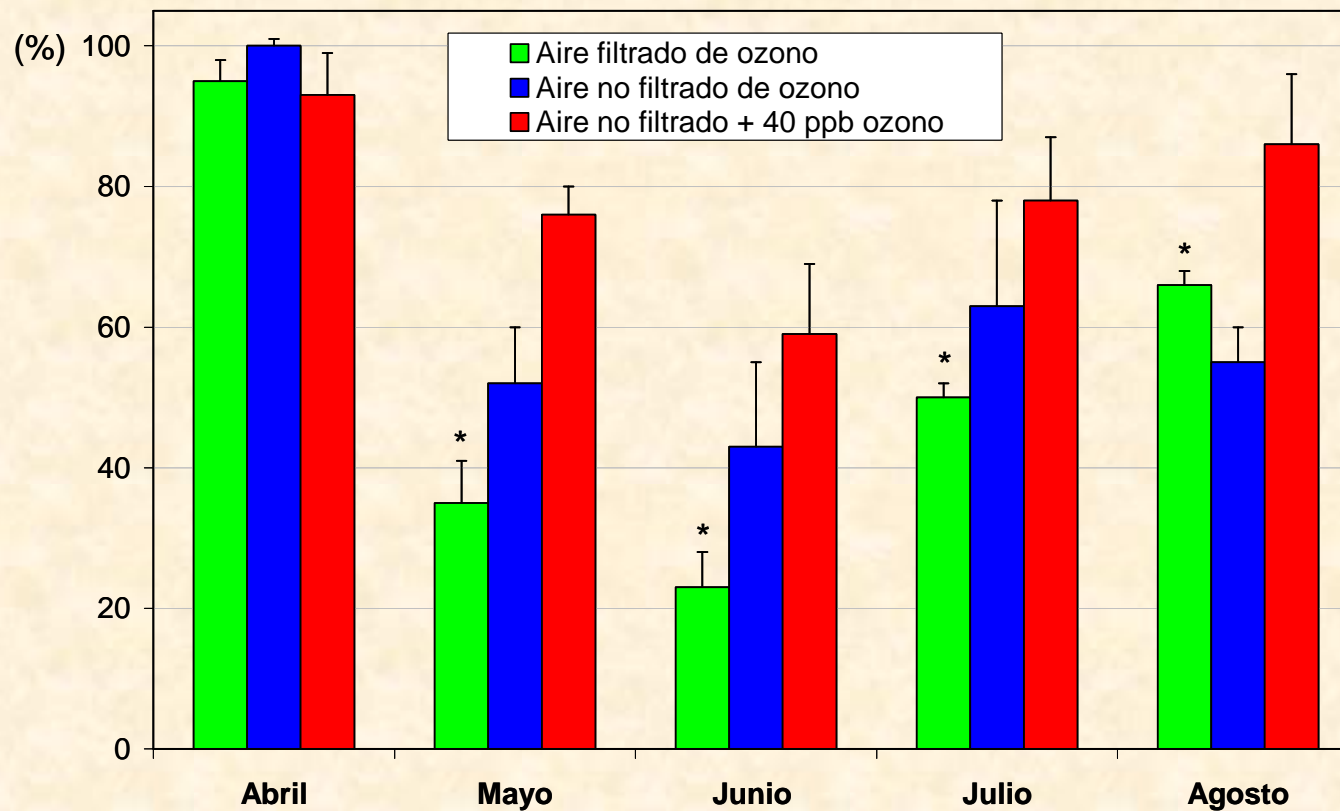
Bosques mixtos en Apalaches (EEUU)

McLaughlin et al., 2007, *New Phytol.*

Efectos indirectos del ozono en la vegetación

Predisposición a ataques de patógenos

% infección de plantas por el virus del mosaico en tomate



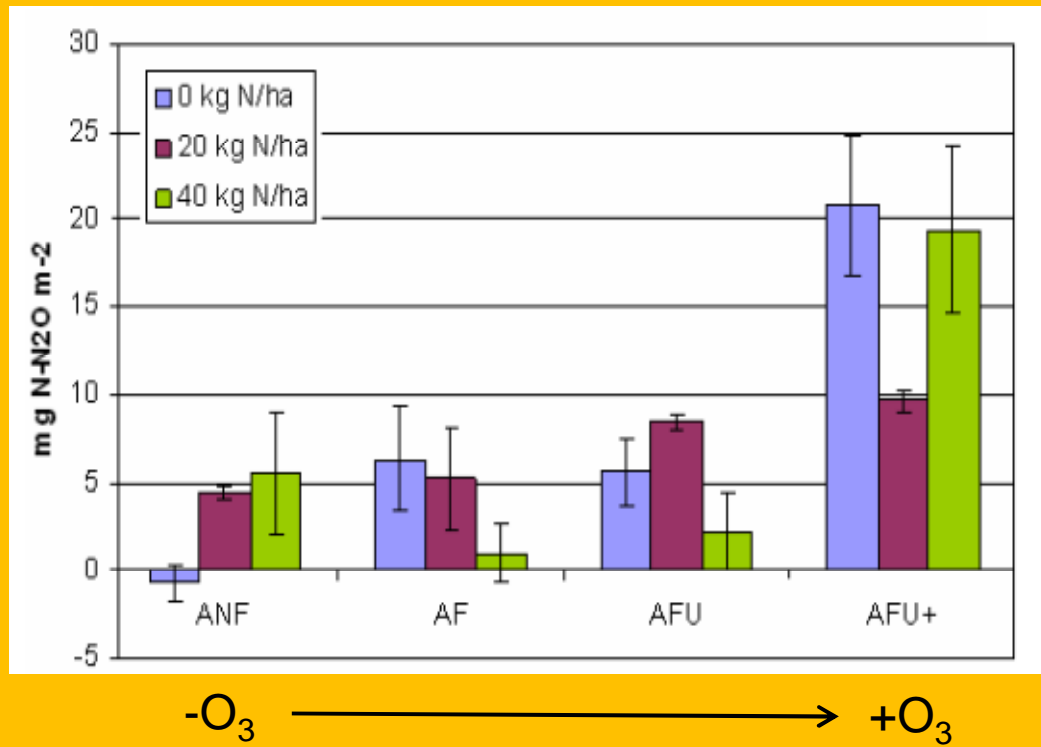
Porcuna, 1997

Efectos indirectos del ozono en los ecosistemas

Alteración de la composición química de la atmósfera



Emisiones de N₂O del suelo (pastizales anuales)



(Sánchez-Martín et al., submit.)



¿Cómo se estudian los efectos de la contaminación atmosférica?

Métodos de estudio

→ Escala espacial y temporal

→ Control variables ambientales

→ Número especies estudiadas

Cómo estudiar los efectos de la contaminación atmosférica

Estudios en condiciones controladas



- Se controlan todas las variables
- Reproducibles y replicables
- Escala pequeña
- Mecanismos de acción, bioquímica, fisiología
- Difícil de extrapolar a las condiciones naturales



Cómo estudiar los efectos de la contaminación atmosférica

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 CIEMAT/CSIC

Cómo estudiar los efectos de la contaminación atmosférica

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

Sistemas de fumigación a cielo abierto



Cómo estudiar los efectos de la contaminación atmosférica

Sistemas de fumigación a cielo abierto



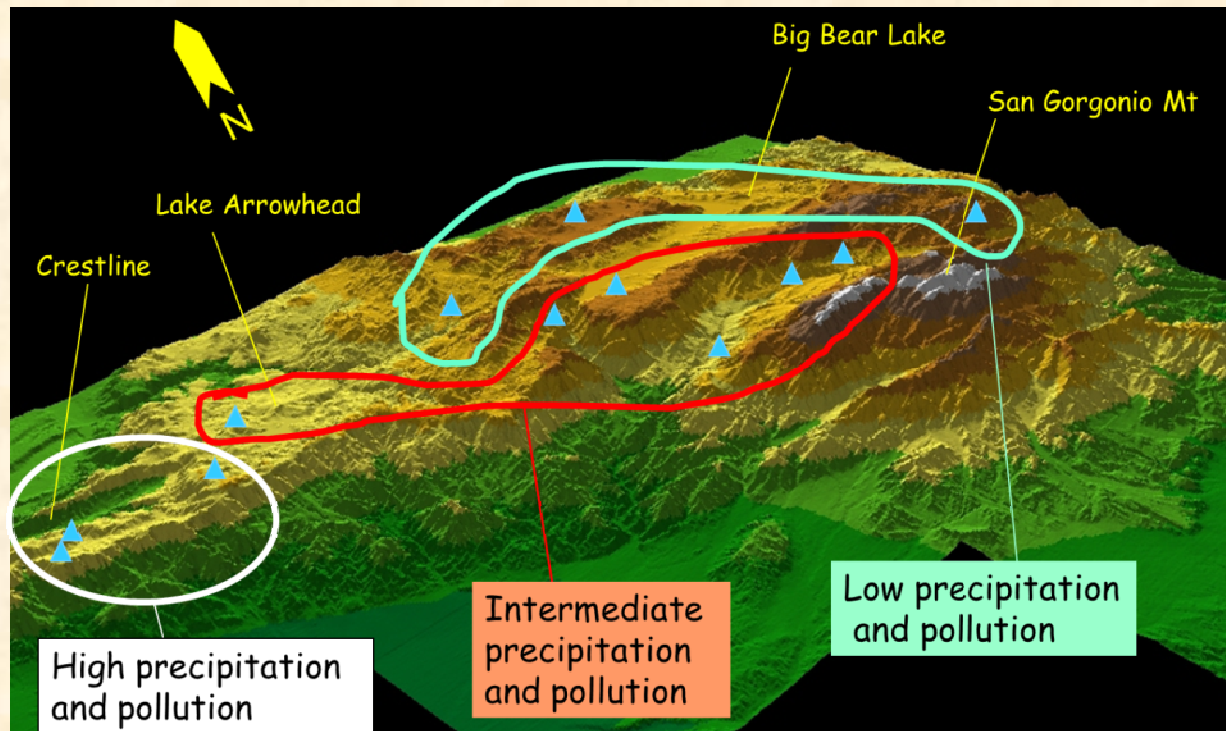
Aspen FACE (Free-Air Carbon Dioxide Enrichment), Rhinelander, Wisconsin (EEUU)

Cómo estudiar los efectos de la contaminación atmosférica

Estudios en condiciones naturales

- No se controla ninguna variable
- No reproducibles
- Escala media-grande
- Resultados representan la realidad
- Difícil establecer relaciones dosis-respuesta

Estudios de gradiente



San Bernardino
Mountains
California

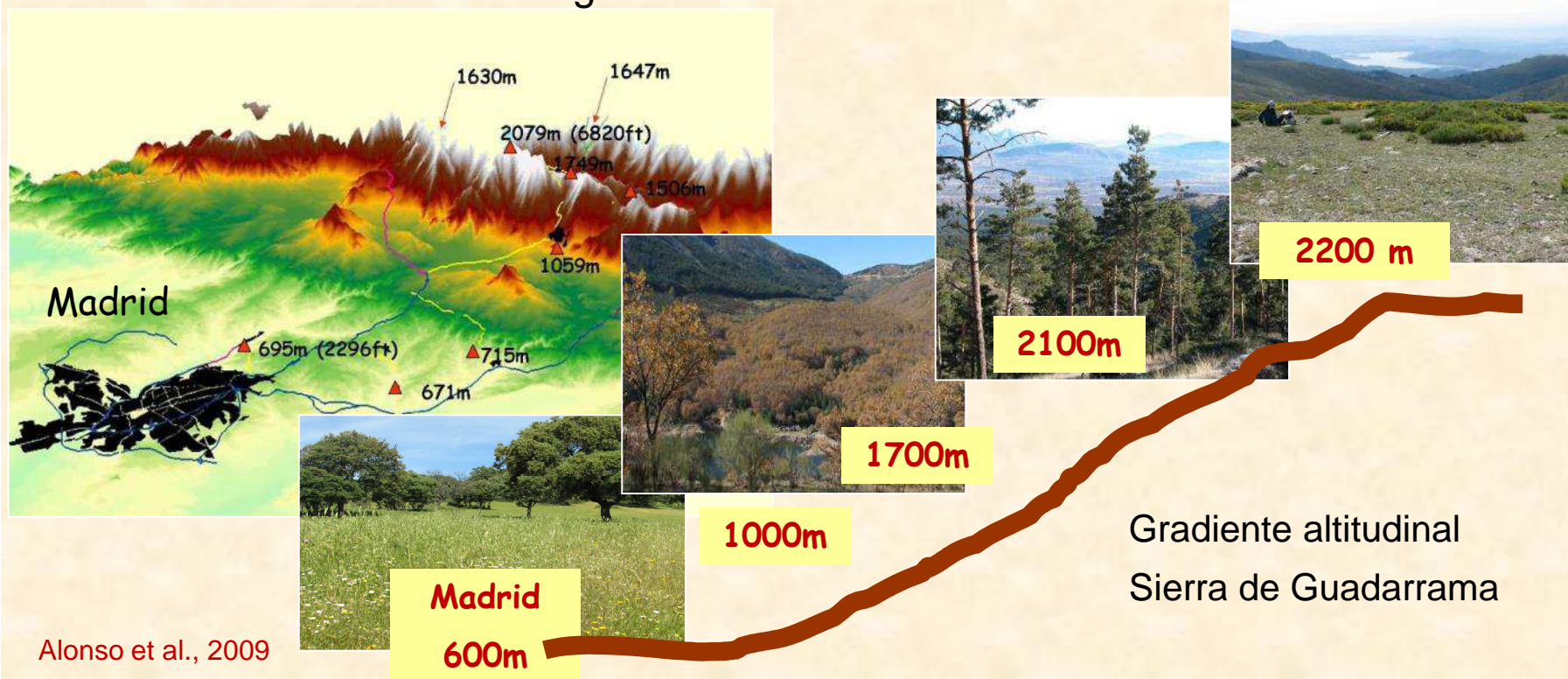
Arbaugh et al., 2012

Cómo estudiar los efectos de la contaminación atmosférica

Estudios en condiciones naturales

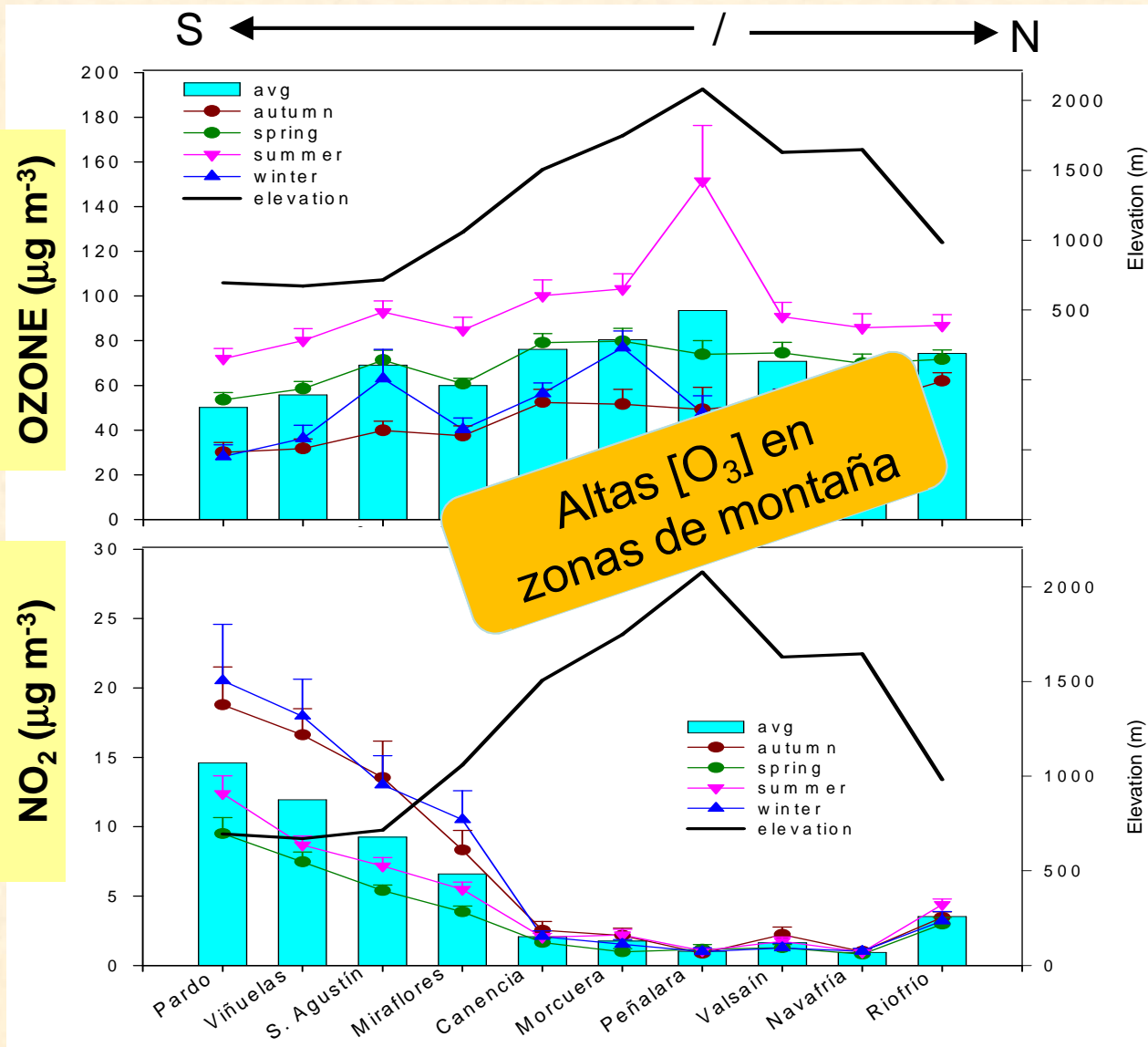
- No se controla ninguna variable
- No reproducibles
- Escala media-grande
- Resultados representan la realidad
- Difícil establecer relaciones dosis-respuesta

Estudios de gradiente



Gradiente de contaminación: Madrid - Sierra de Guadarrama

Medias estacionales 2004-2006, pasivos



Alonso et al., 2009

Cómo estudiar los efectos de la contaminación atmosférica

Estudios en condiciones naturales

Sistemas de biomonitorización de ozono

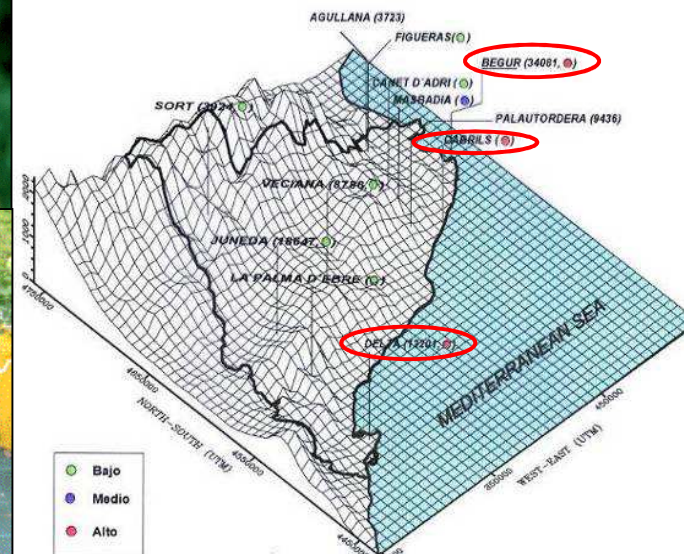
Tabaco (*N. tabaccum*)

Trébol (*T.r epens*)

Judía (*P. vulgaris*)

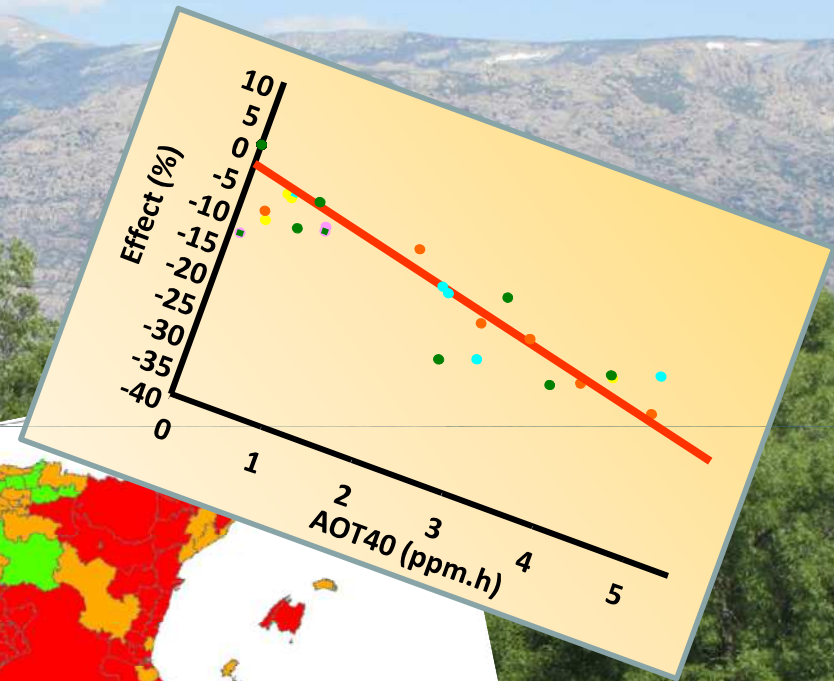
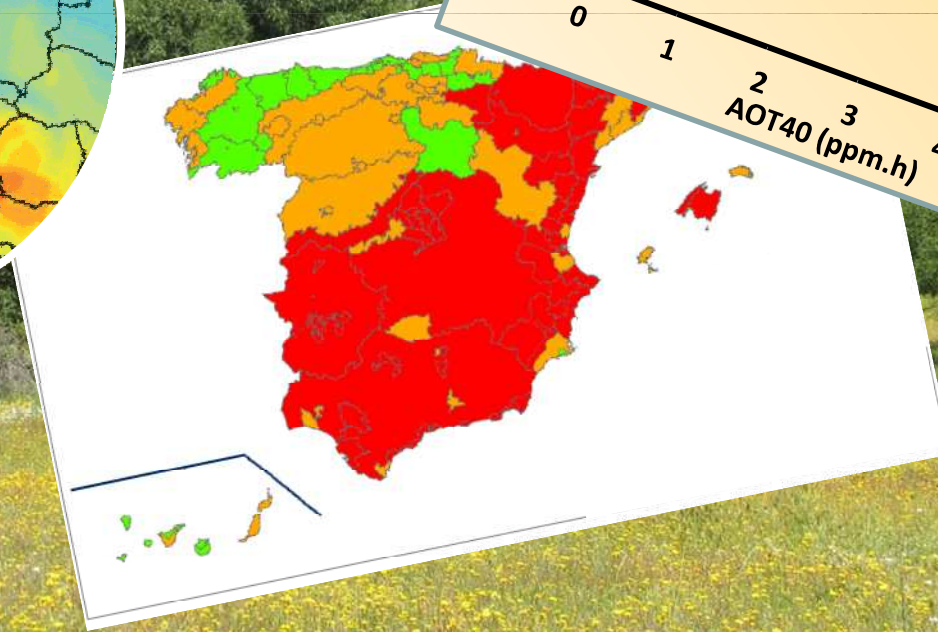
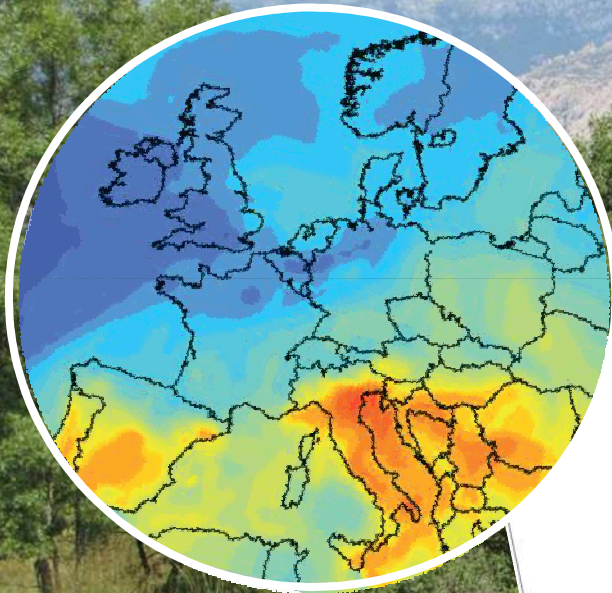


Bermejo et al., 2002



Gimeno et al., 1995, WASP

Control de la contaminación por ozono



Legislación de control del ozono troposférico



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

Objetivos inmediatos (2010)

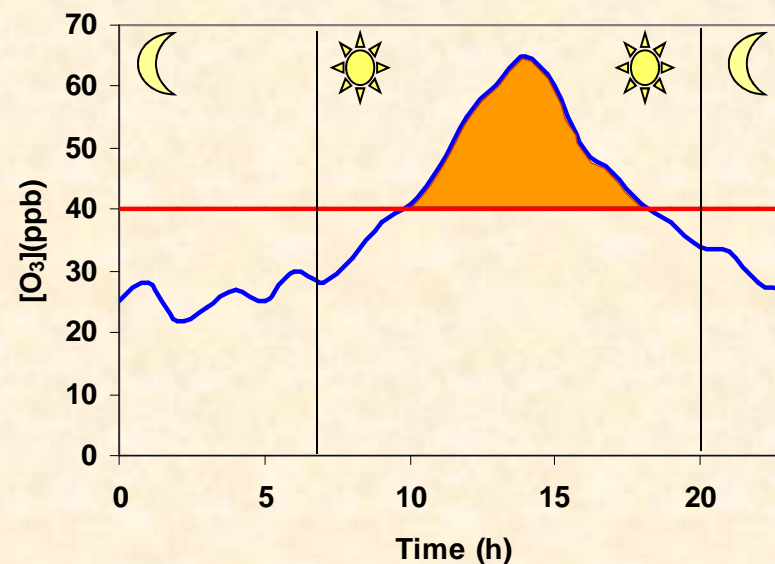
AOT40 **9000 ppb.h** acumulado durante 3 meses (Mayo-Julio) media de 5 años

Objetivos a largo plazo (2020)

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

Índice de exposición acumulada AOT40:

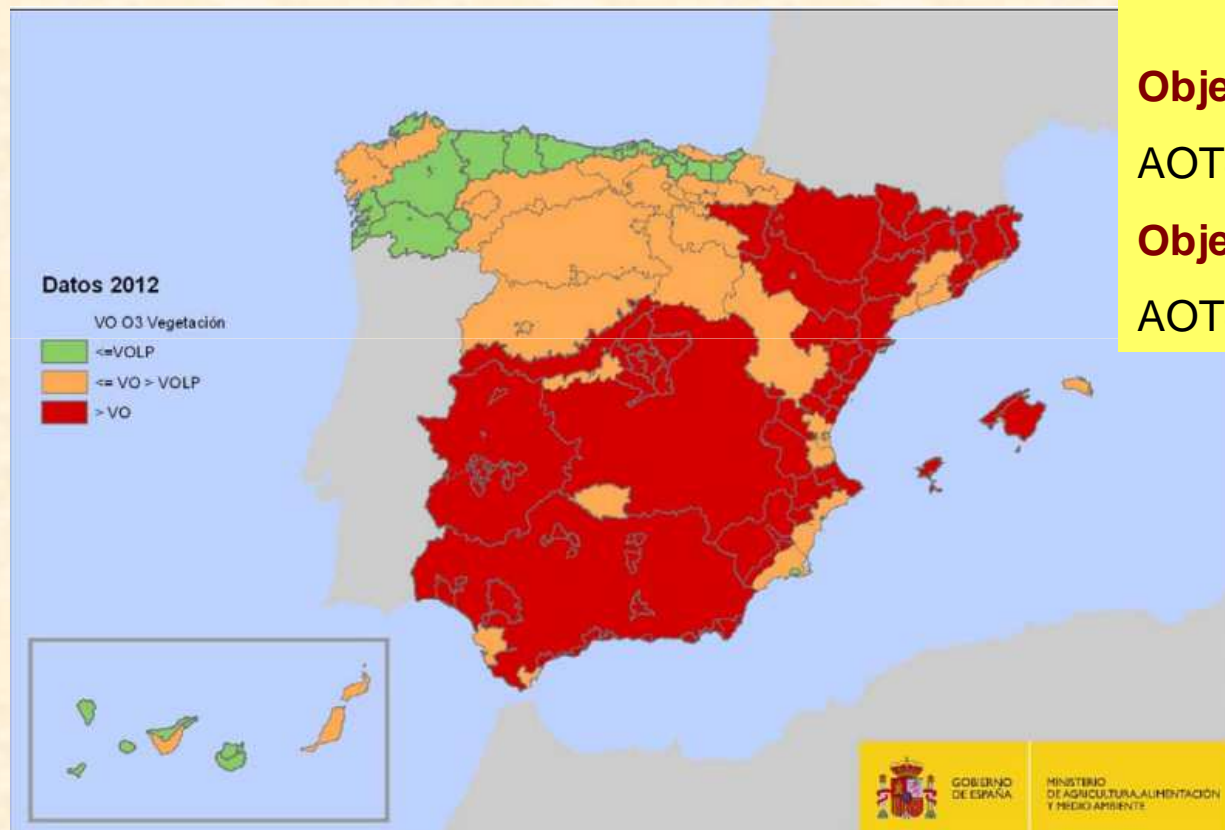
Concentración de ozono acumulada por encima de 40 ppb durante las horas diurnas (de 8:00h a 20:00h) durante el periodo de crecimiento (mayo-julio)



Control del ozono troposférico

Valor objetivo de O₃ para la protección de la vegetación

Datos 2102



Objetivos inmediatos (2010)

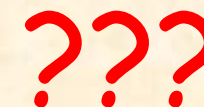
AOT40 **9000 ppb.h** 3 meses

Objetivos a largo plazo (2020)

AOT40 **3000 ppb.h** 3 meses

Región Mediterránea: >15000 - 25000 ppb.h

11-20% reducción en biomasa esperada



Control del ozono troposférico

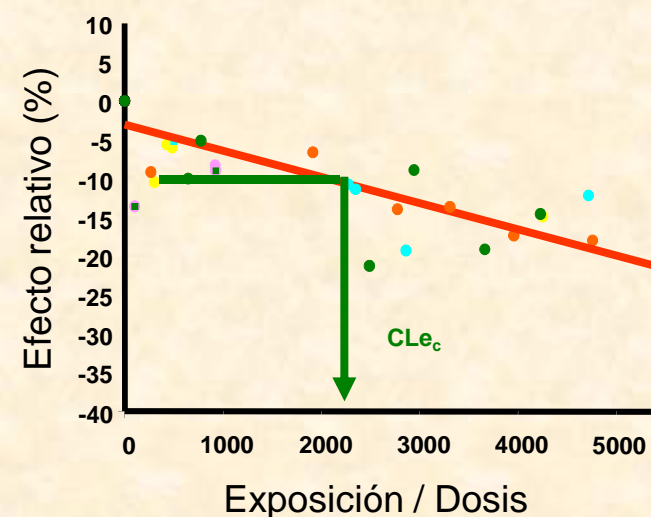
Convenio de contaminación atmosférica transfronteriza y a larga distancia (CLRTAP, UNECE)



- Establecido en 1979. Comprende 51 países.
- Limitar y reducir gradualmente la contaminación atmosférica, incluida la contaminación transfronteriza.
- Los países desarrollan políticas y estrategias para combatir la contaminación del aire a través del intercambio de información, la investigación y la monitorización.
- Adopción de una estrategia basada en **EFFECTOS** para controlar la emisión de contaminantes atmosféricos

Niveles y cargas críticas

Concentración o depósito umbral por encima del cual se pueden producir efectos negativos de acuerdo al conocimiento científico actual



Control del ozono troposférico



NIVELES CRÍTICOS DE OZONO

	CULTIVOS	VEGETACIÓN-SEMINATURAL	ÁRBOLES
NIVEL CRÍTICO	<i>Cultivos agrícolas:</i> AOT40 of 3000 ppb.h <i>Hortícolas</i> AOT40 of 6000 ppb.h	AOT40 of 3000 ppb.h	AOT40 of 5000 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%)

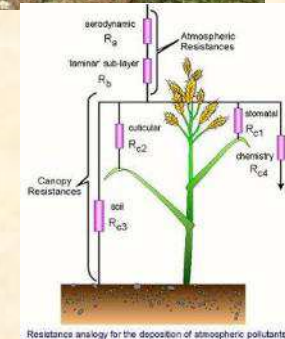
La fitotoxicidad del ozono no está directamente relacionada con la exposición al contaminante sino con la dosis absorbida !!!

variables meteorológicas
cambio climático

Estimar los flujos de absorción de ozono

Funciones dosis-respuesta

Niveles críticos basados en flujos
(POD) Phytotoxic Ozone Dose





O₃

Table III.5 : Critical levels for ozone.

(a) Flux-based critical levels (see Mills et al., 2011b)				
Receptor	Effect (per cent reduction)	Parameter	Critical level (mmol m ⁻² PLA)	Scientific basis in Section
Wheat	Grain yield (5%)	POD ₆	1	3.5.2.1
Wheat	1000 grain weight (5%)	POD ₆	2	3.5.2.1
Wheat	Protein yield (5%)	POD ₆	2	3.5.2.1
Potato	Tuber yield (5%)	POD ₆	5	3.5.2.1
Tomato	Fruit yield (5%)	POD ₆	2	3.5.2.1
Norway spruce	Biomass (2%)	POD ₁	8	3.6.2.1
Birch and beech	Biomass (4%)	POD ₁	4	3.6.2.1
Productive grasslands (clover)	Biomass (10%)	POD ₁	2	3.7.2.1
Conservation grasslands (clover)	Biomass (10%)	POD ₁	2	3.7.2.1
Conservation grasslands (<i>Viola</i> spp), provisional	Biomass (15%)	POD ₁	6	3.7.2.1
(b) Concentration-based critical levels				
Receptor	Effect	Parameter	Critical level (ppm h)	Scientific basis in Section
Agricultural crops	Yield reduction	AOT40	3	3.5.3.1
Horticultural crops	Yield reduction	AOT40	6	3.5.3.1
Forest trees	Growth reduction	AOT40	5	3.6.3.1
(Semi-)natural vegetation communities dominated by annuals	Growth reduction and/or seed production	AOT40	3	3.7.3.1
(Semi-)natural vegetation communities dominated by perennials	Growth reduction	AOT40	5	3.7.3.1
(c) VPD-modified concentration-based critical level				
Receptor	Effect	Parameter	Critical level (ppm h)	Scientific basis in Section
Vegetation (derived for clover species)	Visible injury on leaves	AOT30 _{VPD}	0.16	3.5.4.1



Niveles críticos basados en flujos

Revisión del Protocolo de Gotemburgo (2012)

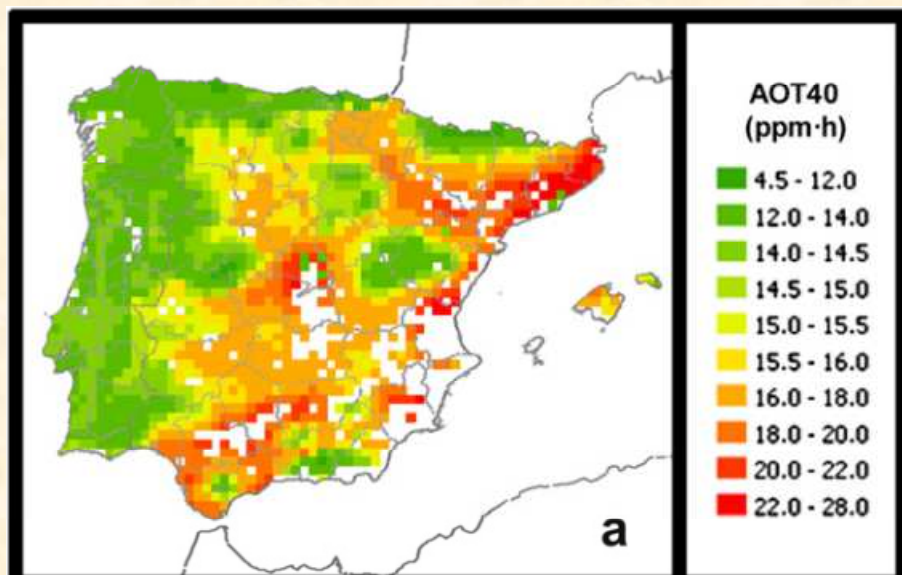
Niveles críticos basados en exposición



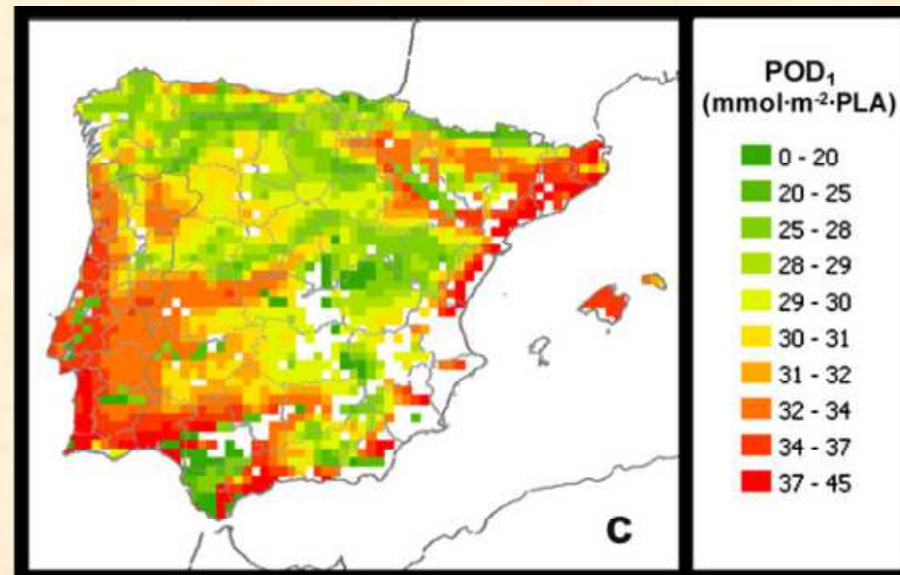
Riesgo de daños por ozono troposférico

Diferente interpretación del riesgo en función del índice escogido para encina (año 2007, modelo CMAQ)

Exposición



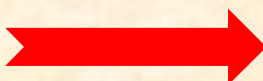
Dosis



De Andrés et al., 2012, Environmental Pollution



POD₁ > 20-45 mmol m⁻²



5-11% reducción anual
de biomasa

Control del ozono troposférico

Niveles críticos para bosques basados en flujos (POD) Phytotoxic Ozone Dose



picea $POD_1 = 8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ PLA}$
2% reducción anual de biomasa



haya } $POD_1 = 4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ PLA}$
abedul } 4% reducción anual de biomasa



Control del ozono troposférico



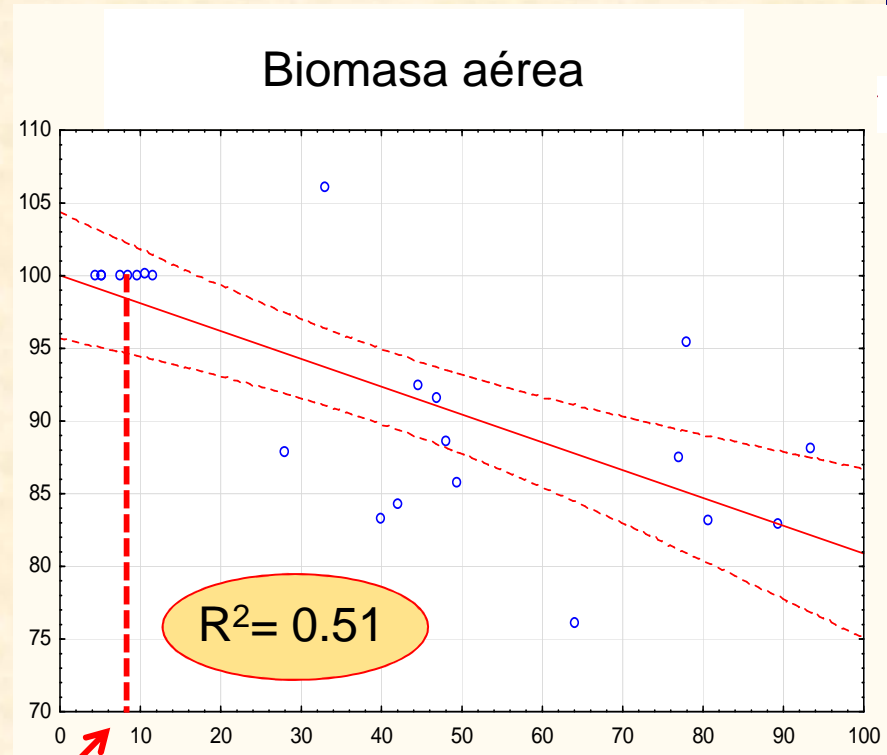
7 species
3 sites



Revisión estudios con especies mediterráneas

- pino carrasco
- encina ssp ilex
- encina ssp ballota
- coscoja
- madroño
- olivo
- algarrobo

Current POD_1
4-8 $mmol\ m^{-2}$
6 months



POD_1 / year ($mmol\ m^{-2}$)

POD_1 en aire filtrado: 4-12 $mmol\ m^{-2}$ local

Otros experimentos con especies caducifolias:

POD_1 en AF = 4-8 $mmol\ m^{-2}$

Calatayud et al. (2011)

Control del ozono troposférico

Propuesta de nuevas funciones dosis-respuesta para vegetación mediterránea

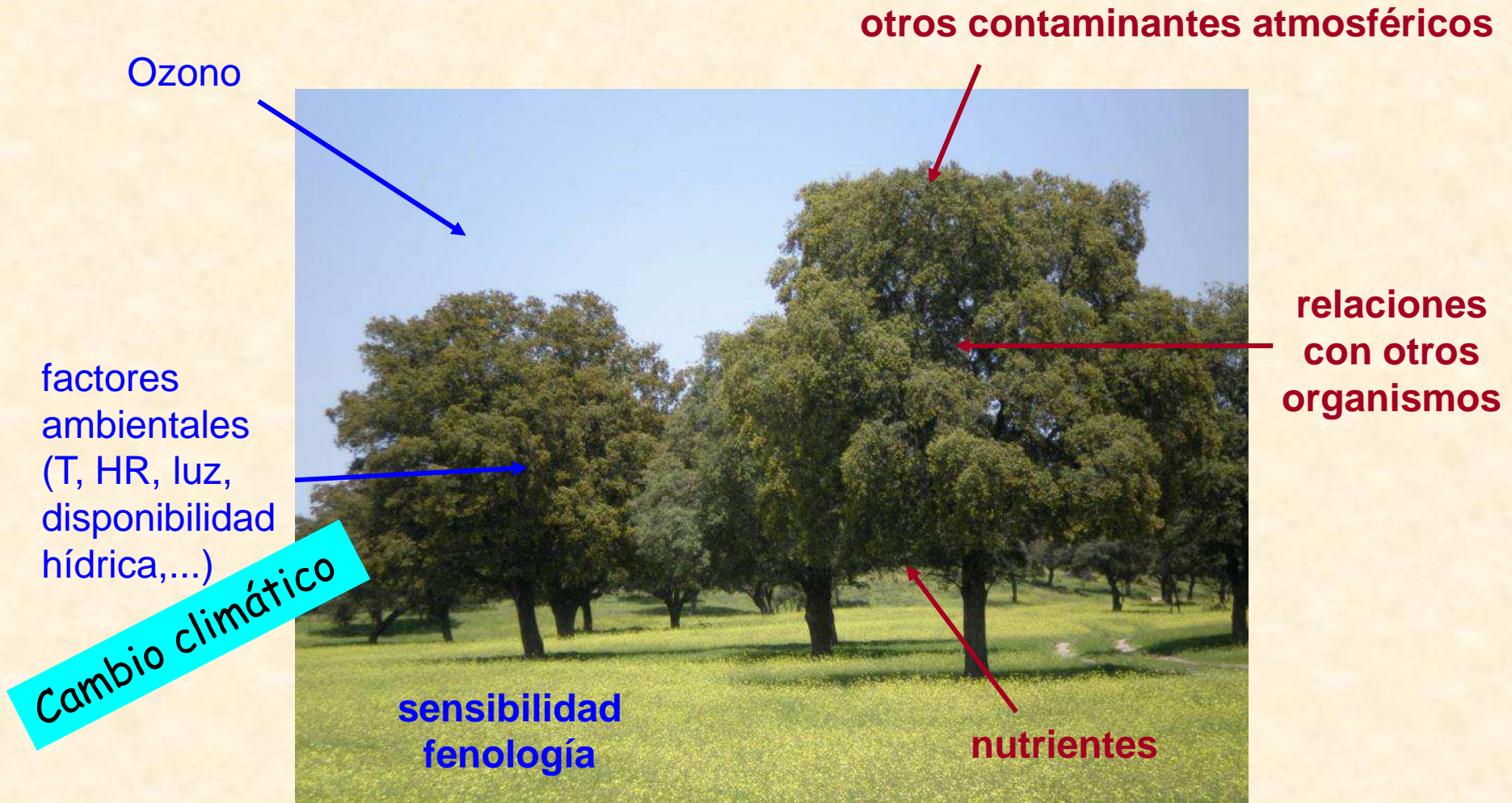
	R ²	Response function	P value	Suggested CL for a 5% effect with 95% CI*
AOT40	0.39	$y=96.5688-0.1263x$	<0.005	12.4 (0, 38.3) ppm.h
POD₀ -local	0.51	$y=102.1603-0.1832x$	<0.001	39.1 (23.6, 54.5) mmol m ⁻²
POD₁ -local	0.51	$y=100.025-0.1913x$	<0.001	26.3 (11.4, 41.1) mmol m ⁻²



Revisión de niveles críticos de ozono: reunión Madrid oct 2016

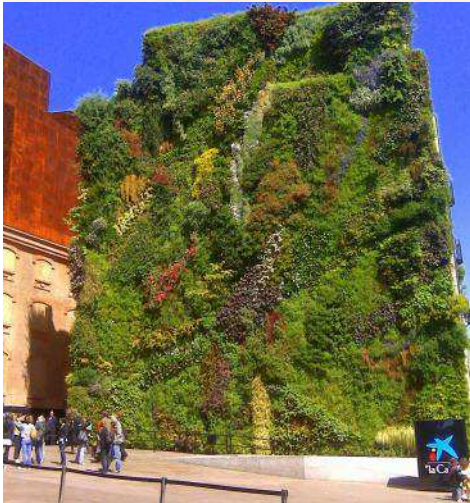
- Unificar metodología para definir los niveles críticos
- Diferentes NC para diferentes zonas en Europa

Contaminación atmosférica y cambio global



Importante estudiar interacciones!!

Influencia de la vegetación urbana en la calidad del aire



Producen oxígeno

Secuestran CO₂

Disminuyen el ruido

Absorben contaminantes atmosféricos

Reducen indirectamente la contaminación atmosférica modificando el microclima



sombra

evapotranspiración

Cambio de albedo

Cambio en la capa límite



Temp. interiores



Temp. ambiente



Uso de energía



Fotoquímica



Emiten VOCs

Emiten alergenosen

Cambian ventilación de las calles

Emisiones relacionadas con mantenimiento

Principales ideas:

- El ozono provoca efectos perjudiciales en la vegetación y en los ecosistemas
- Las concentraciones de ozono son altas en las zonas de montaña donde se encuentran áreas protegidas de gran valor ambiental
- Es necesario participar en los foros científicos-técnicos donde se desarrollan las metodologías para definir los valores objetivo para la protección de la vegetación
- Es necesario investigar los efectos del ozono en un contexto de cambio global

¡Gracias!

rocio.alonso@ciemat.es

Cargas y Niveles Críticos, MAGRAMA

EDEN, NEREA, MINECO

AGRISOST, Com. Madrid

ECLAIRE, EU-FP7

