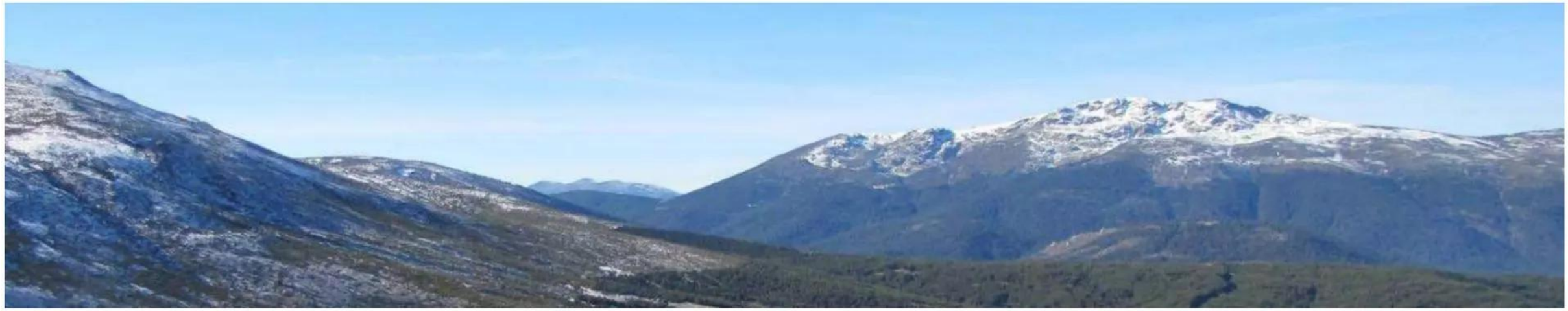
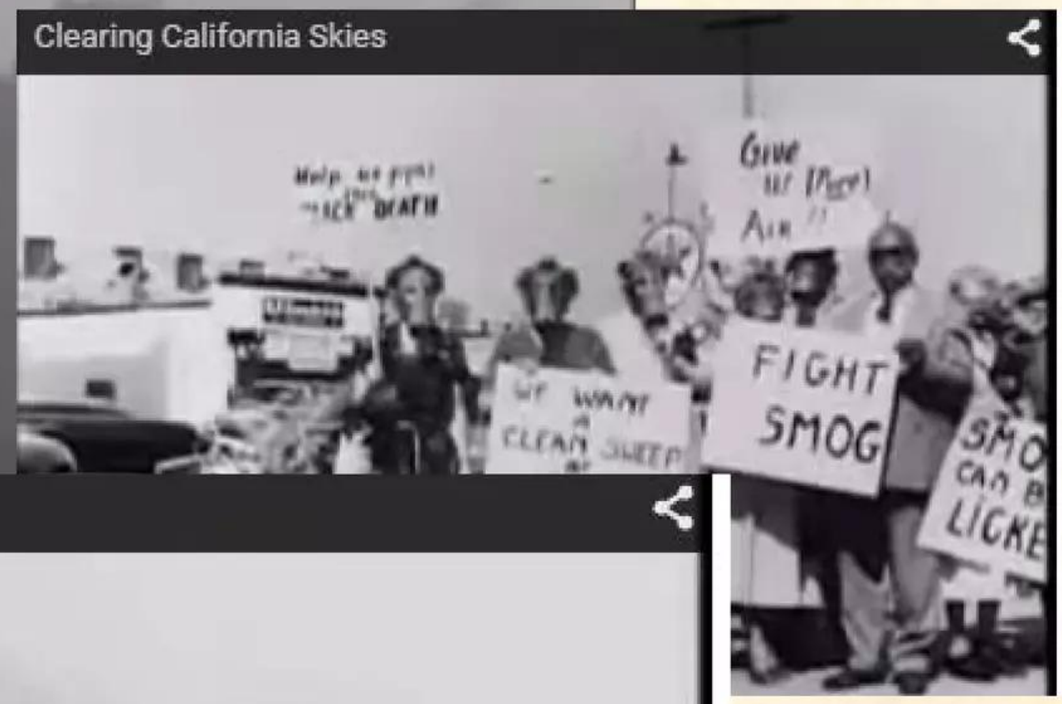


Efectos del ozono troposférico en la vegetación y los ecosistemas

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

Jornada Contaminación por Ozono en Extremadura, Mérida –21 junio 2017

Efectos del smog fotoquímico



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

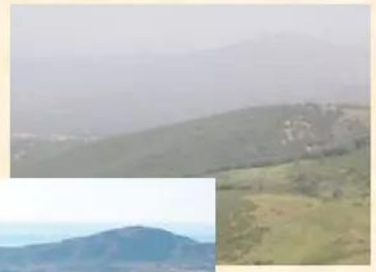
Efectos del ozono en la vegetación

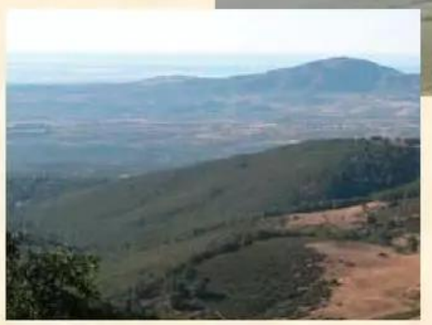
Efectos directos

- Individuo
- Población/Comunidad
- Ecosistema

Efectos indirectos

- Formación de smog fotoquímico
- Predisposición a otros estrés
- Cambios en ciclos biogeoquímicos

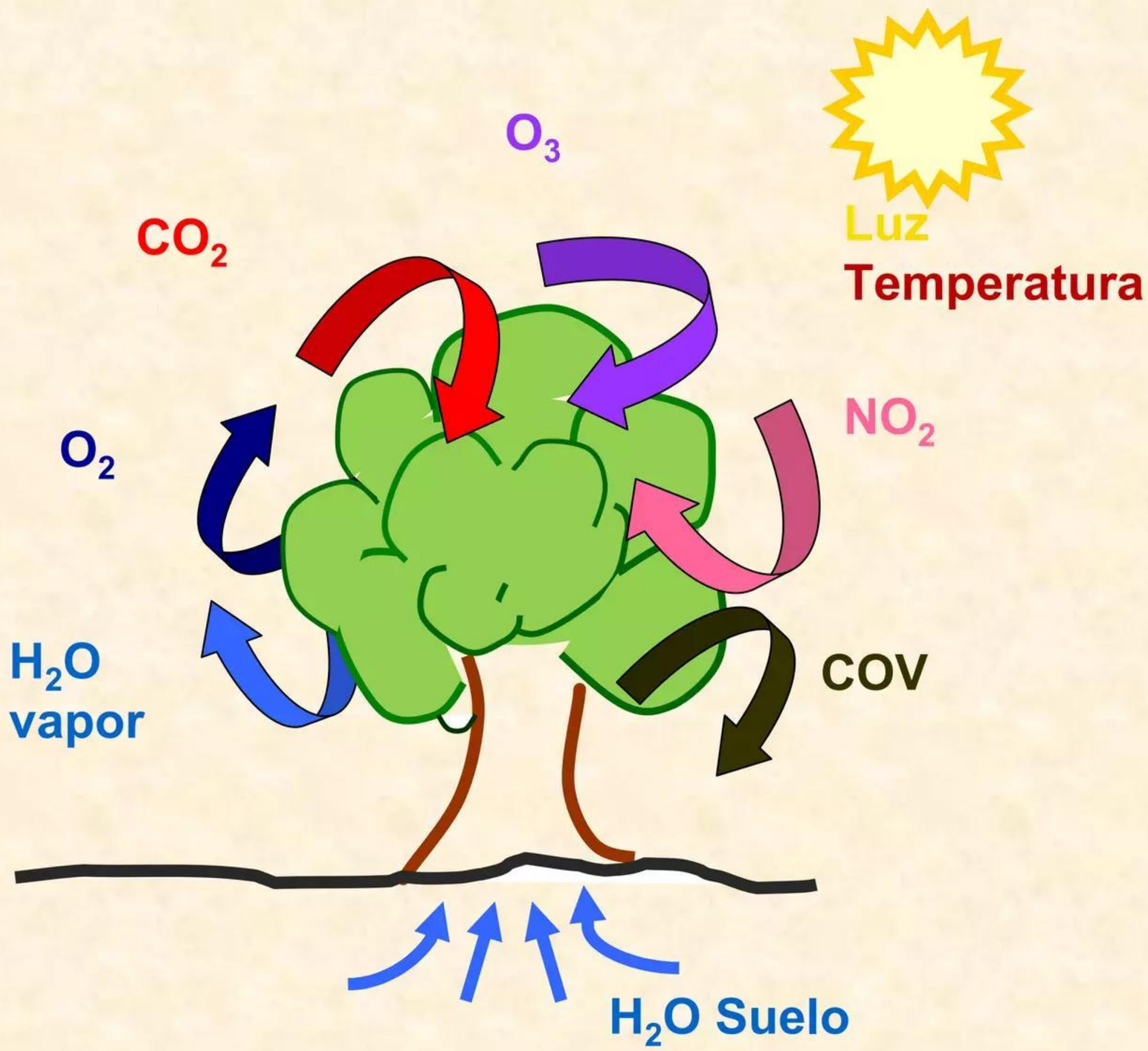


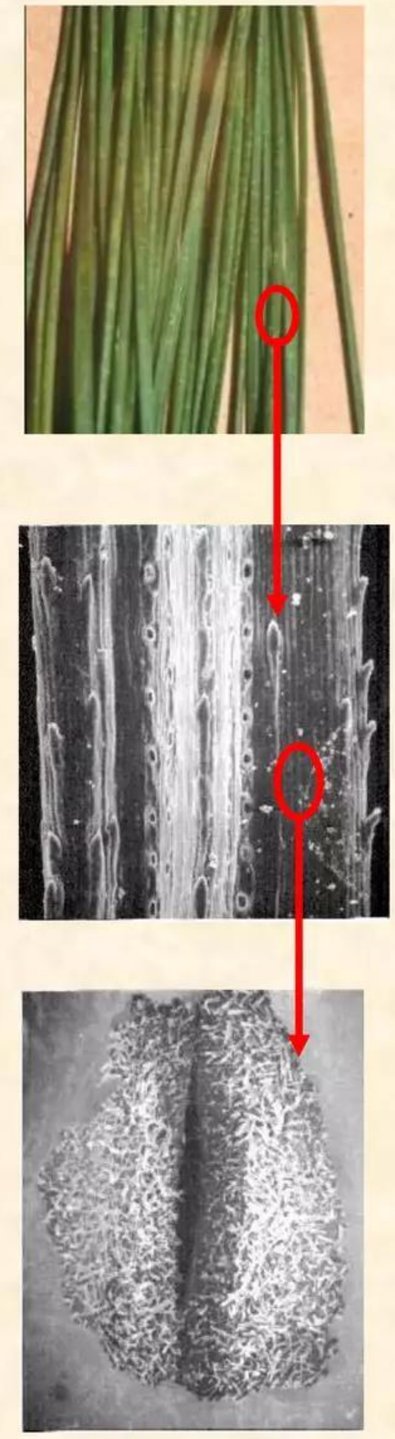


Tipos de daños en función de concentración y tiempo:

DAÑOS AGUDOS	**DAÑOS CRÓNICOS**
- Concentración alta	- Concentración moderada
- Tiempo corto	- Tiempo largo

Intercambio gaseoso en las plantas





Estoma

Intercambio gaseoso en las plantas

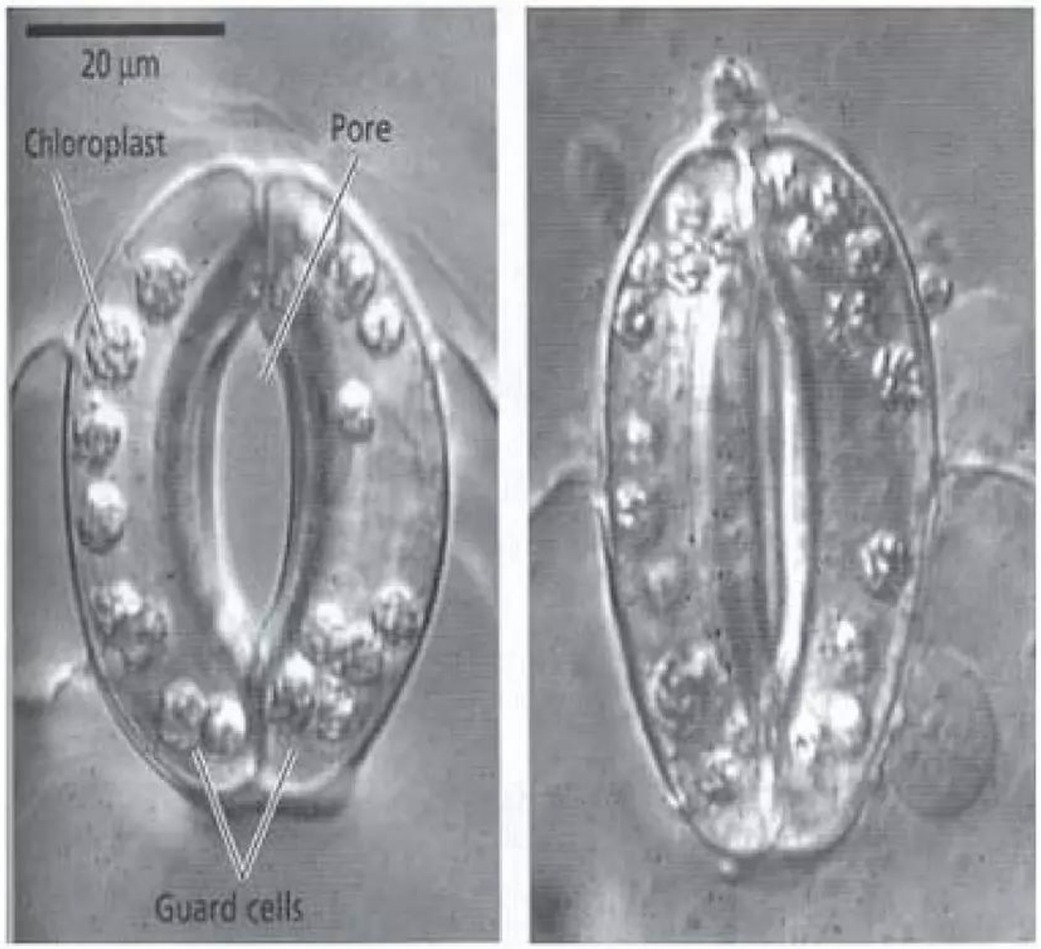


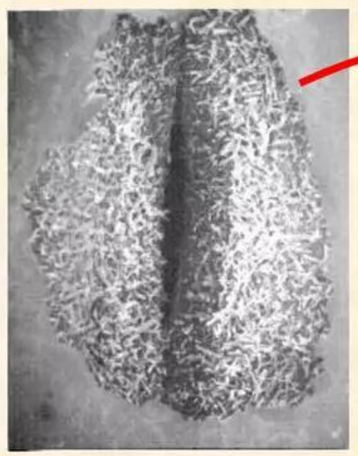
Image reproduced from Plant Physiology, Eds: L. Taiz and E. Zeiger, 2nd edition, Sinauer Associates, Inc. Publisher, Sunderland MA, USA. p. 523

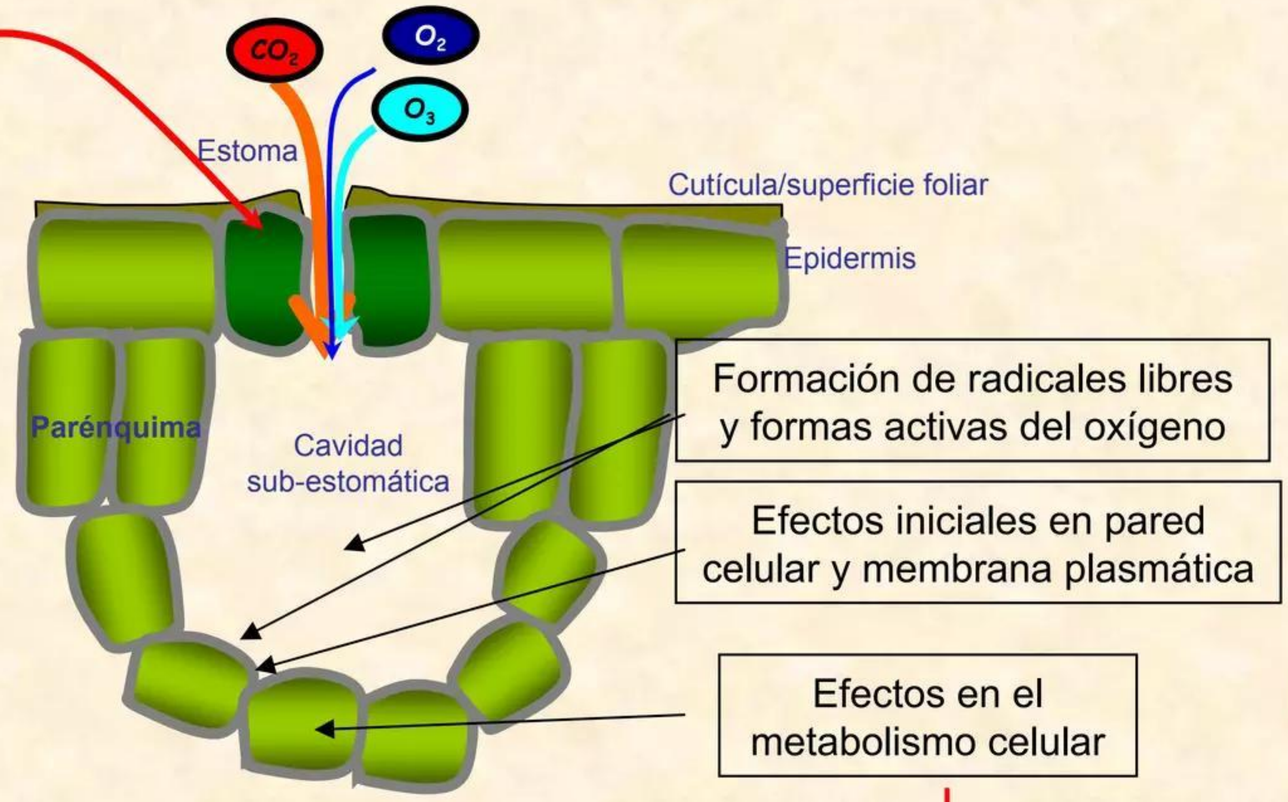
Concentración gas:
Gradiente de concentración
Variación temporal

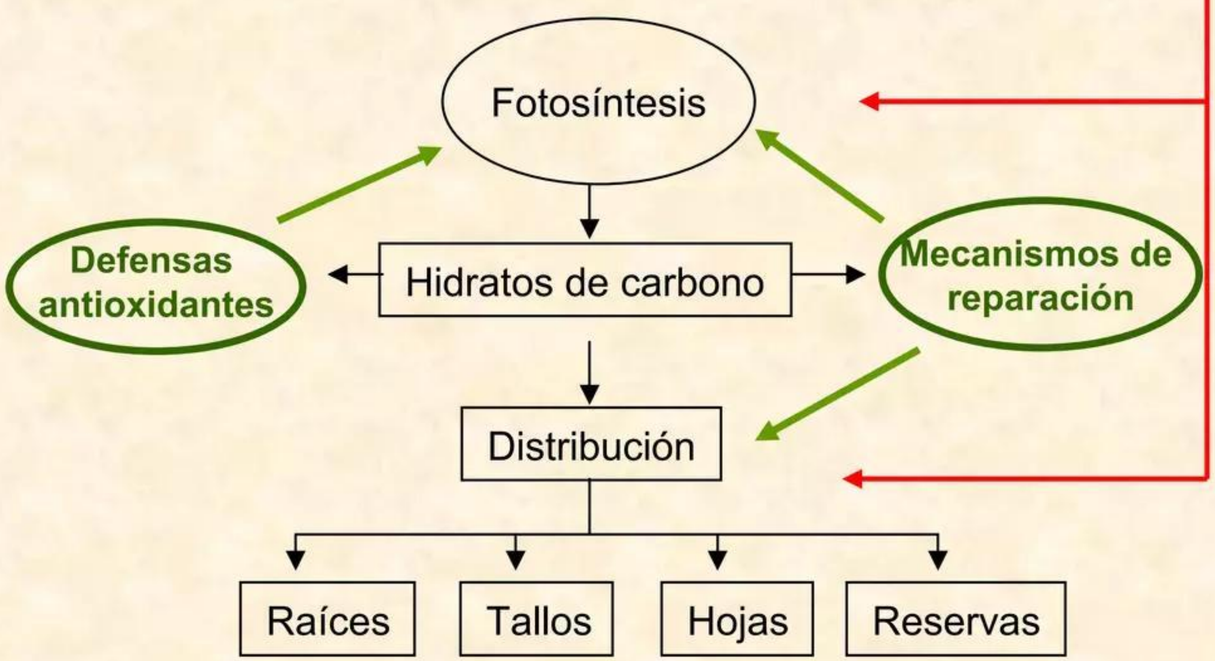
Condiciones ambientales:
Luz
Humedad del suelo
Temperatura del aire
HR del aire, etc.

Fisiología de la planta:
Edad de la hoja/planta
Fenología
Potencial hídrico
[CO_2] intercelular

Efectos del ozono en la vegetación







Alteración en la permeabilidad y funcionalidad de las membranas celulares

Alteración en la regulación estomática

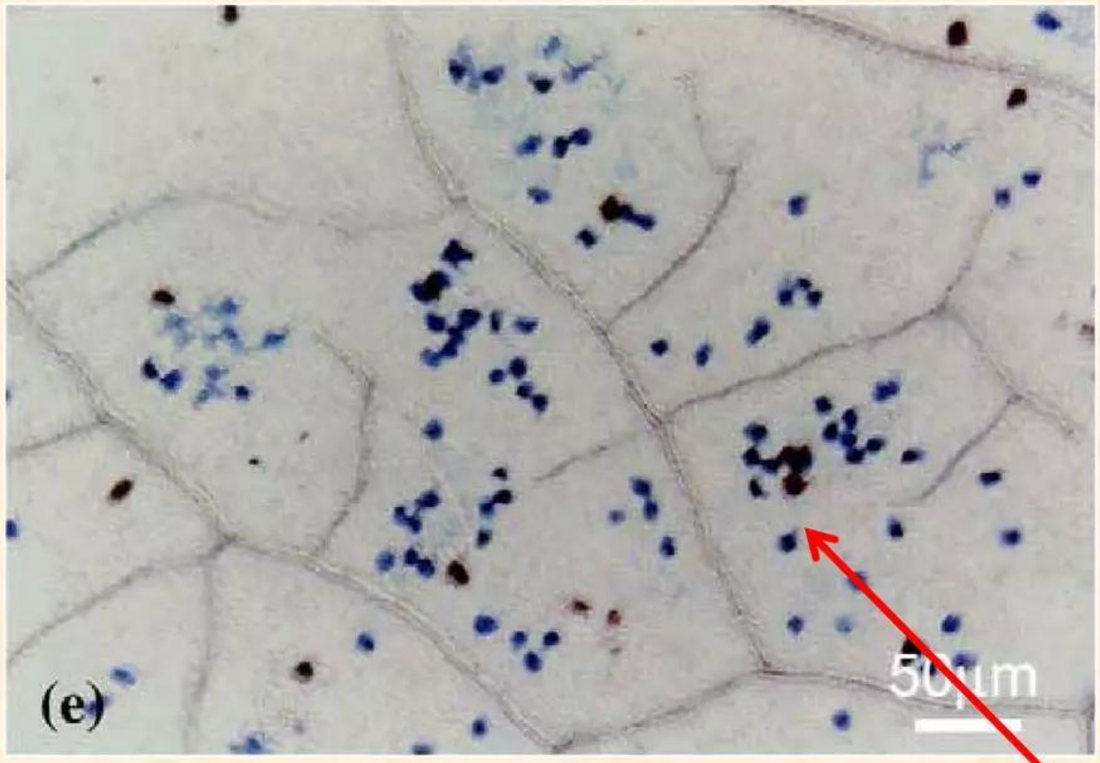
Estrés oxidativo celular

Alteración metabolismo del C y N

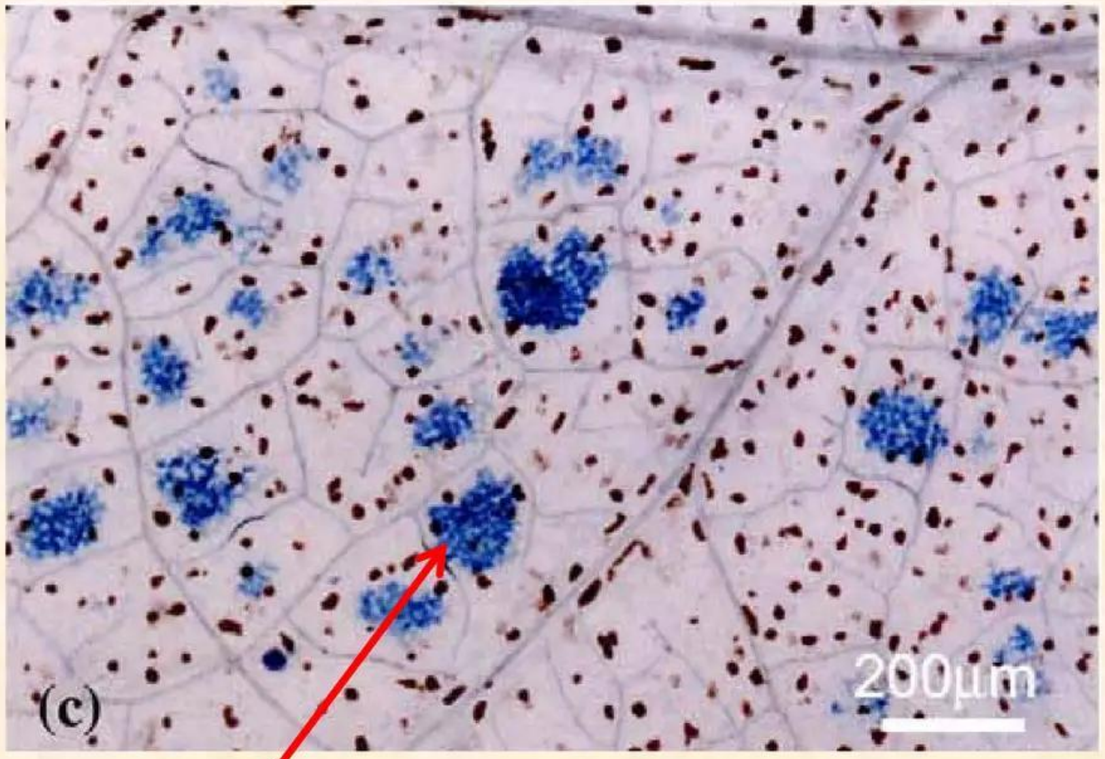
Alteración de la asimilación, distribución-translocación y almacenamiento

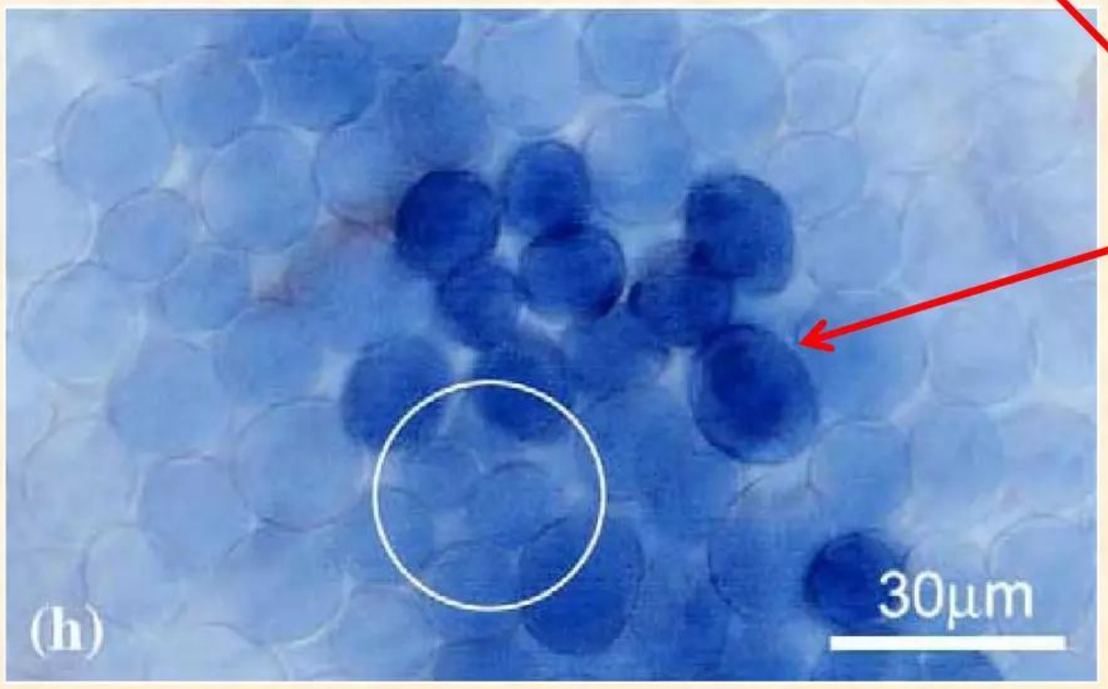
Efectos microscópicos del ozono en los tejidos

50 ppb O_3



80 ppb O_3



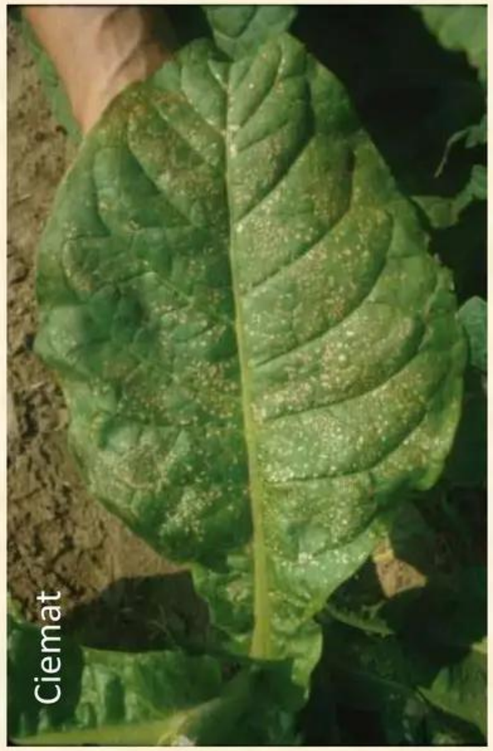


Muerte celular

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

Efectos del ozono en la vegetación

Aceleración de la senescencia

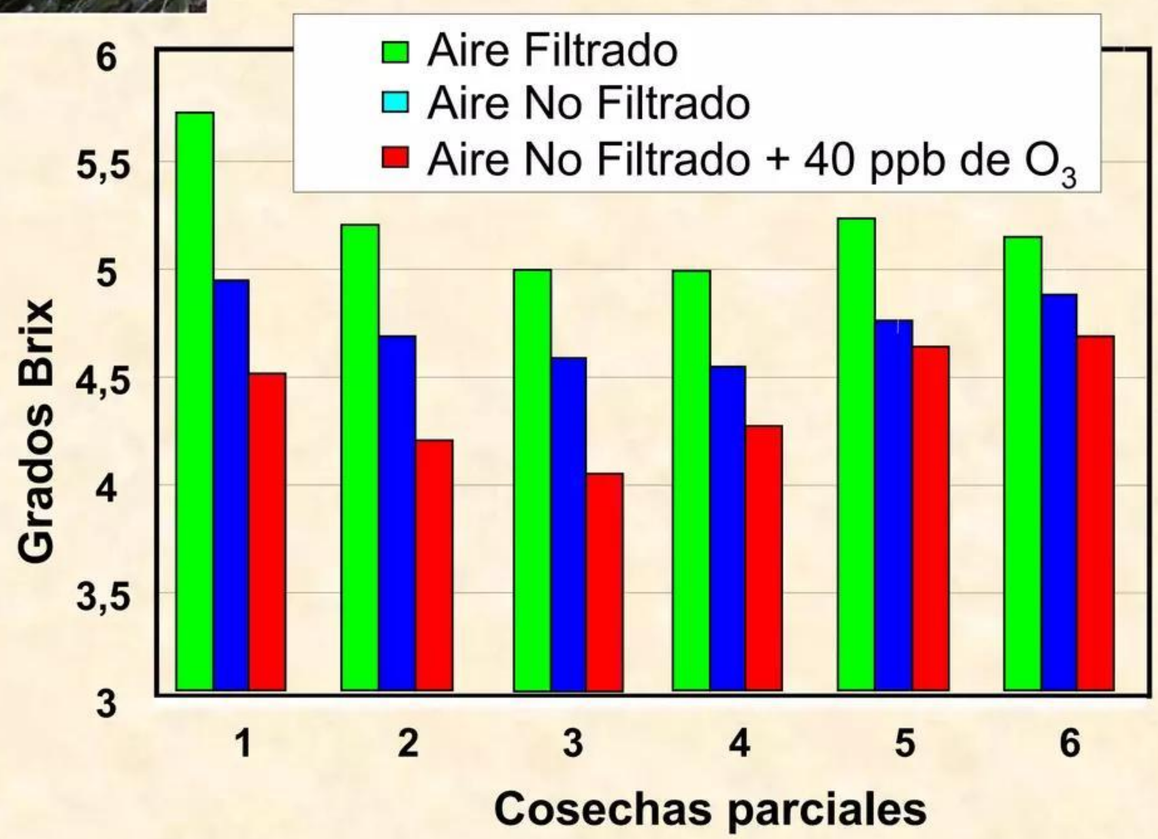
Ambiente + 40 ppb O_3	Ambiente + 20 ppb O_3	Aire Ambiente	Aire filtrado

+ Ozono ← **- Ozono**

Efectos del ozono en la vegetación

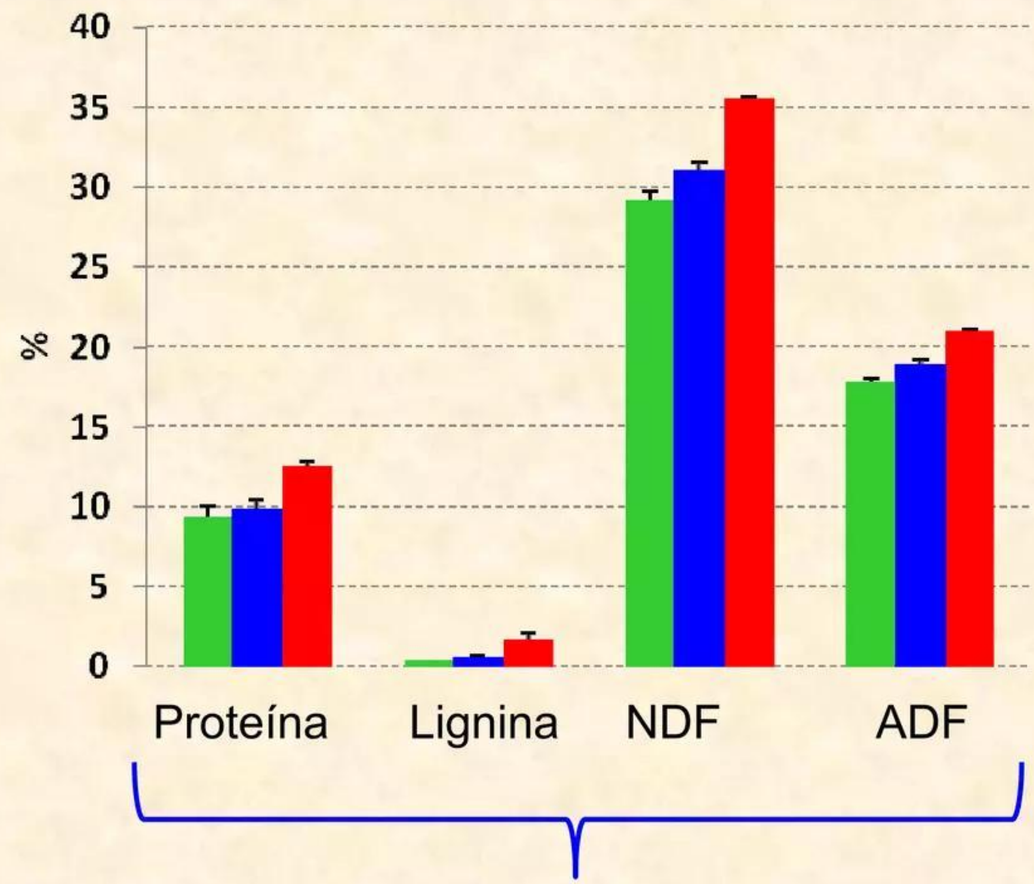
Pérdidas en calidad de cultivos

Tomate – grados Brix



Bermejo, 2002, Tesis

Trifolium subterraneoum



↓ digestibilidad

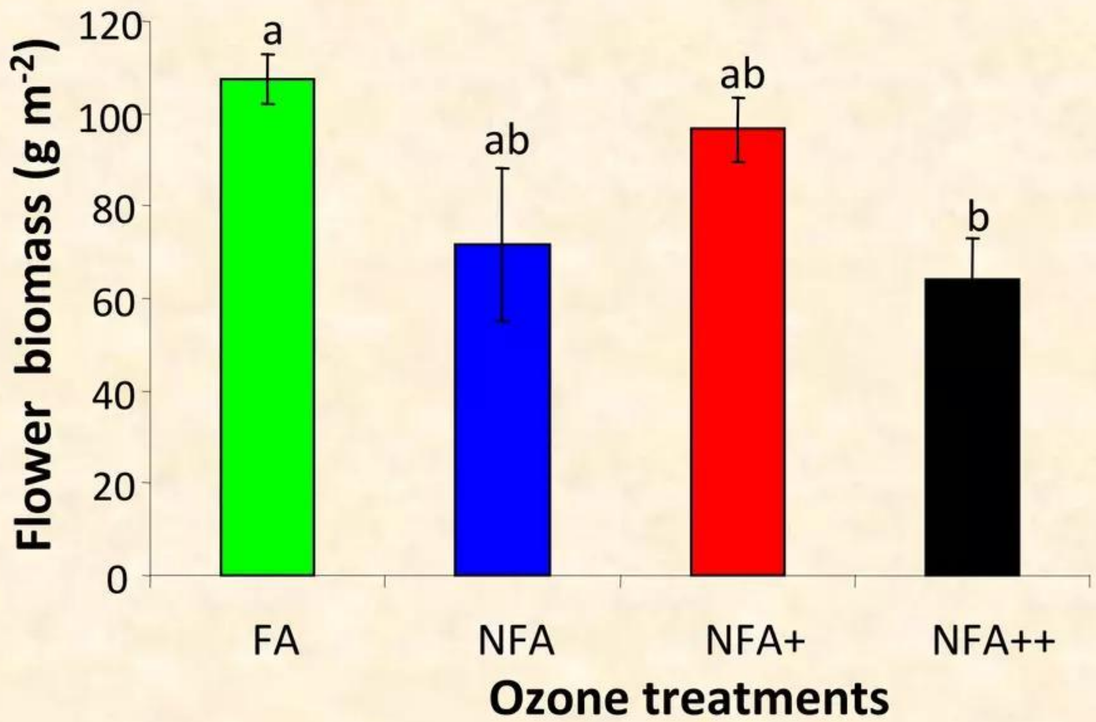
Sanz et al., 2005, *Atm. Env.*

Efectos del ozono en la vegetación

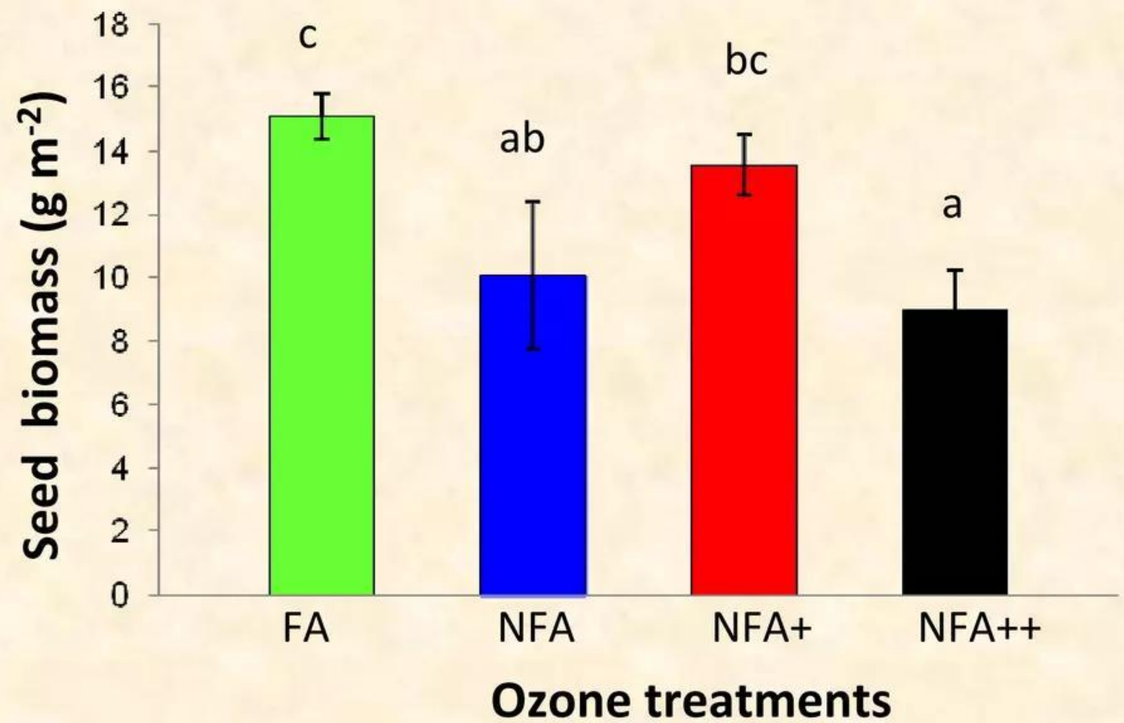
Disminución en la producción de flores y semillas

Trifolium striatum

Flores



Semillas



$-O_3 \longrightarrow +O_3$

$-O_3 \longrightarrow +O_3$

Calvete-Sogo, 2016, Tesis

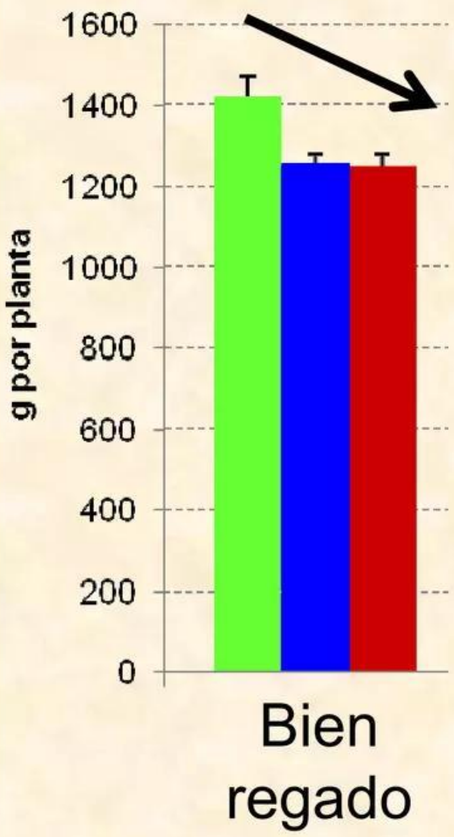
Cambios en las poblaciones y comunidades

Efectos indirectos del ozono en la vegetación

Reducción del crecimiento de especies naturales

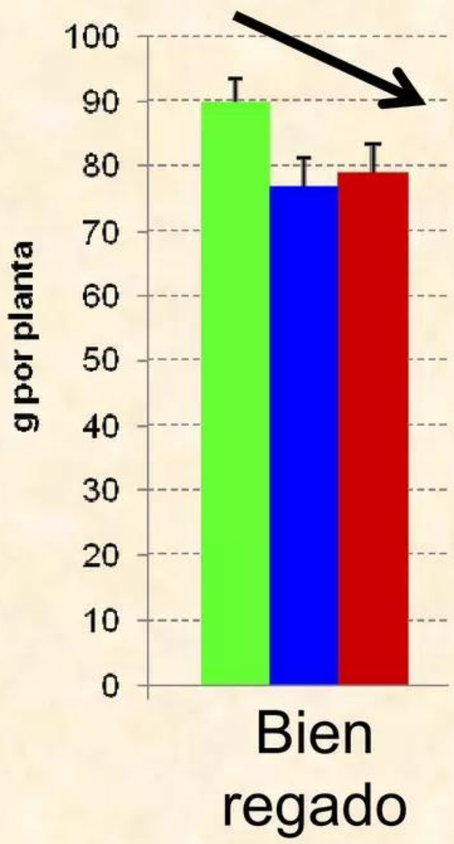
Aire Filtrado
Aire No Filtrado
ANF+ 40 ppb de O_3

Pino carrasco



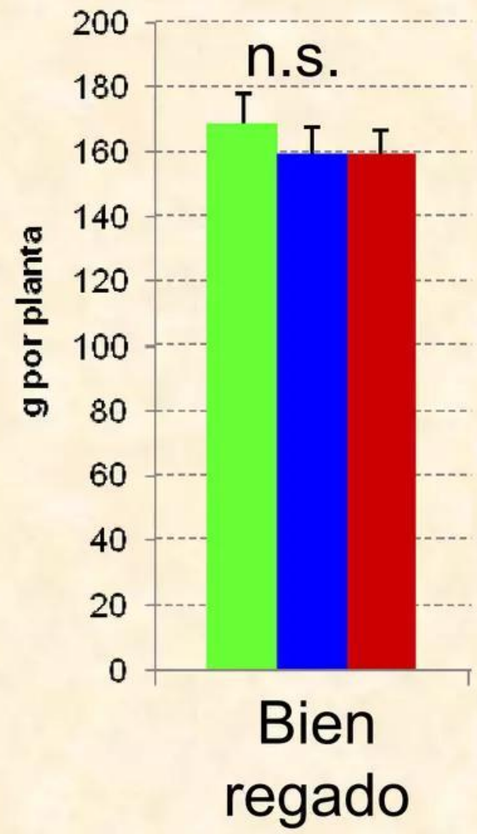
Inclán et al., 2005, *Env. Pol.*

Encina



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

Coscoja



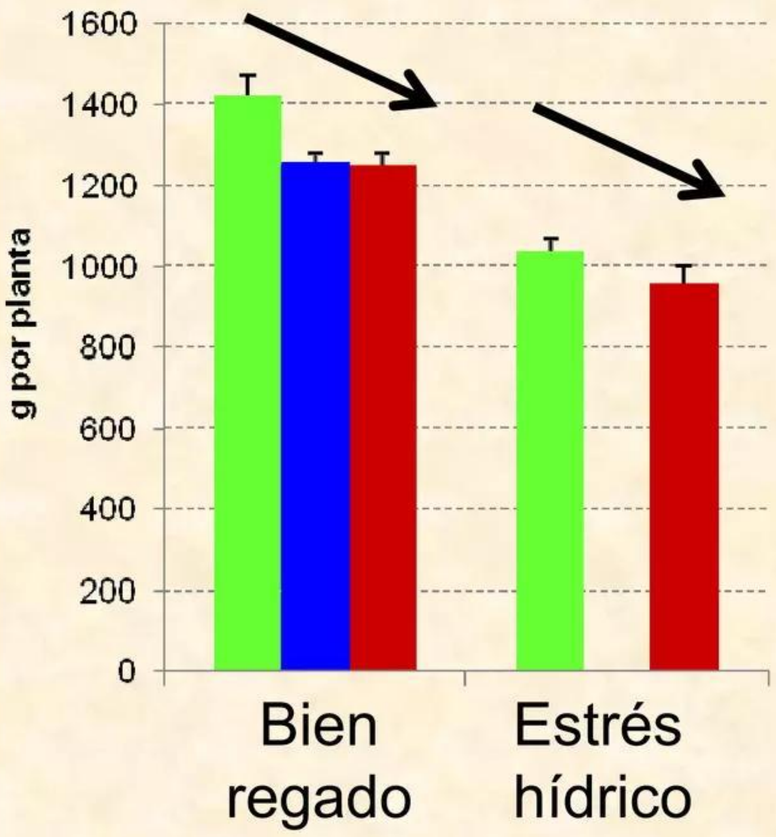
Elvira et al., 2004, *Atm. Env.*

Efectos indirectos del ozono en la vegetación

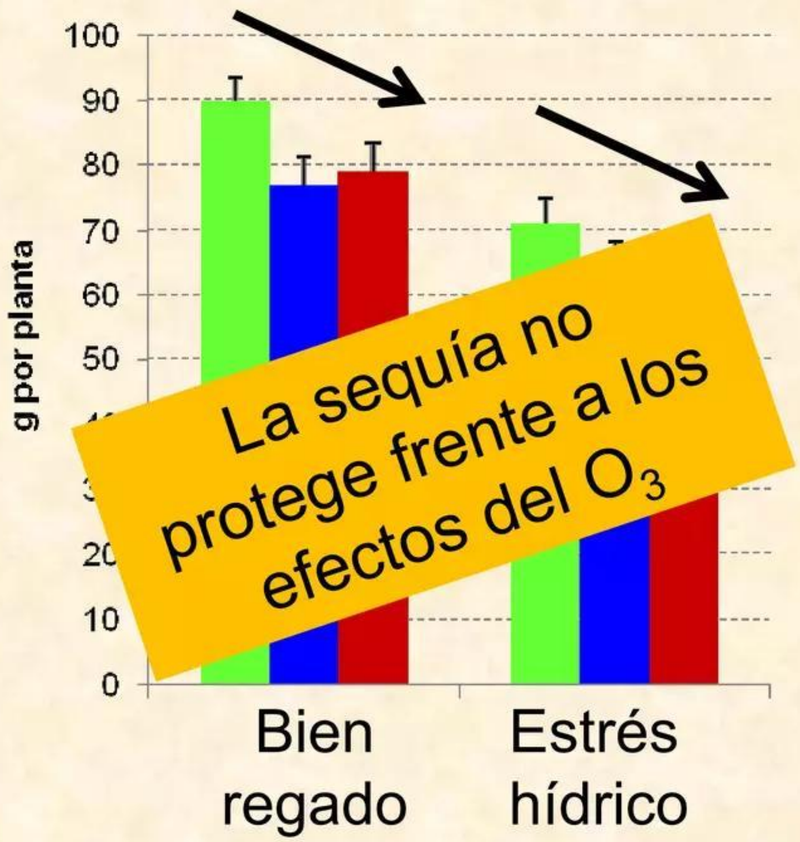
Interacciones ozono / sequía

- Aire Filtrado
- Aire No Filtrado
- ANF+ 40 ppb de O_3

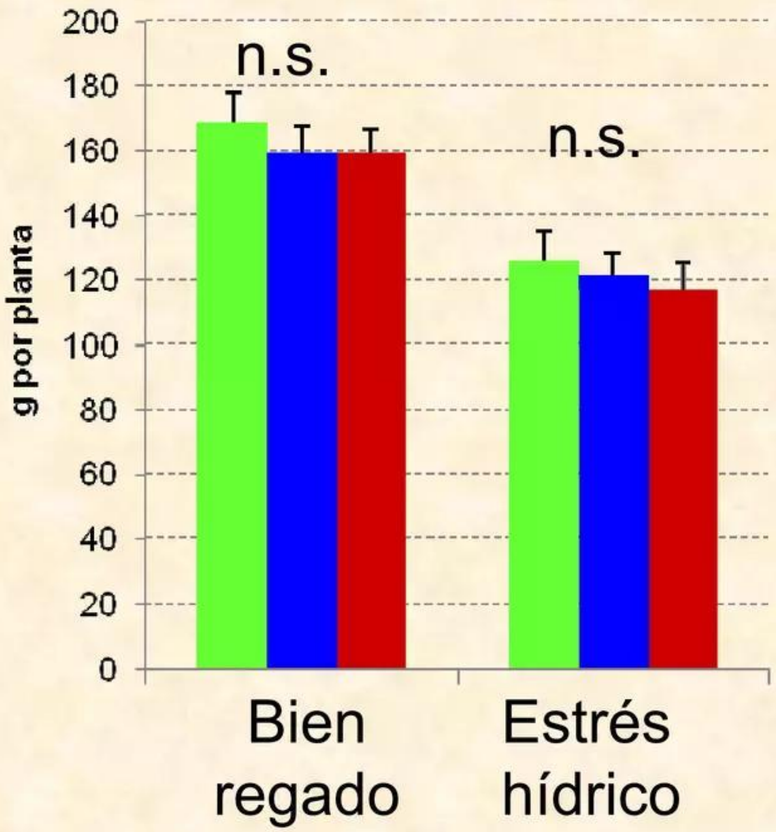
Pino carrasco



Encina



Coscoja



Inclán et al., 2005, *Env. Pol.*

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

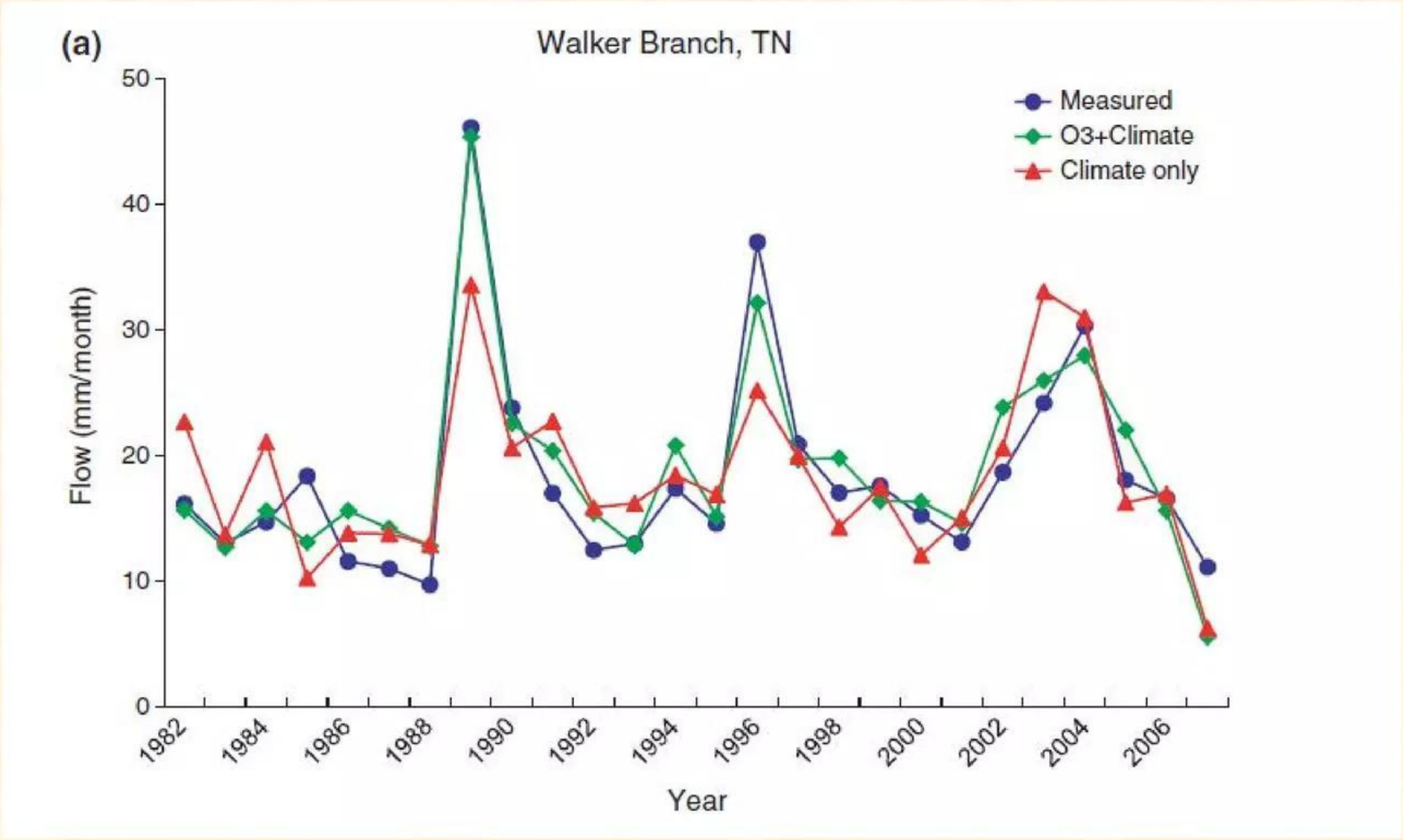
Elvira et al., 2004, *Atm. Env.*

Efectos indirectos del ozono en la vegetación

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

Ozono → ↑ Conductancia del dosel → ↓ Humedad del suelo junto a raíces

↓ Caudal de arroyos en cuencas



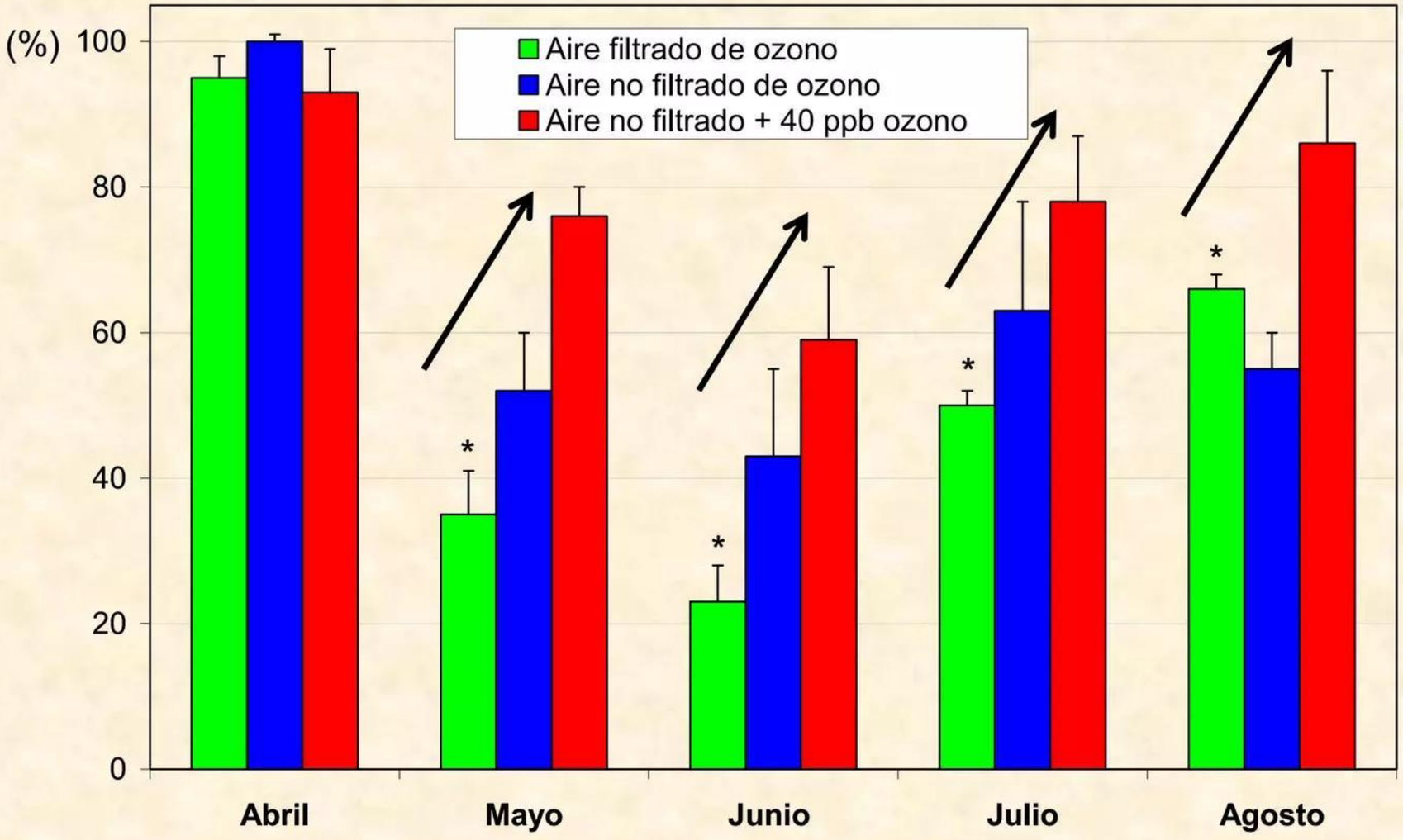
Bosques mixtos en Apalaches (EEUU)

Sun et al., 2012, *GCB*

Efectos indirectos del ozono en la vegetación

Predisposición a ataques de patógenos

% infección de plantas por
el virus del mosaico en tomate

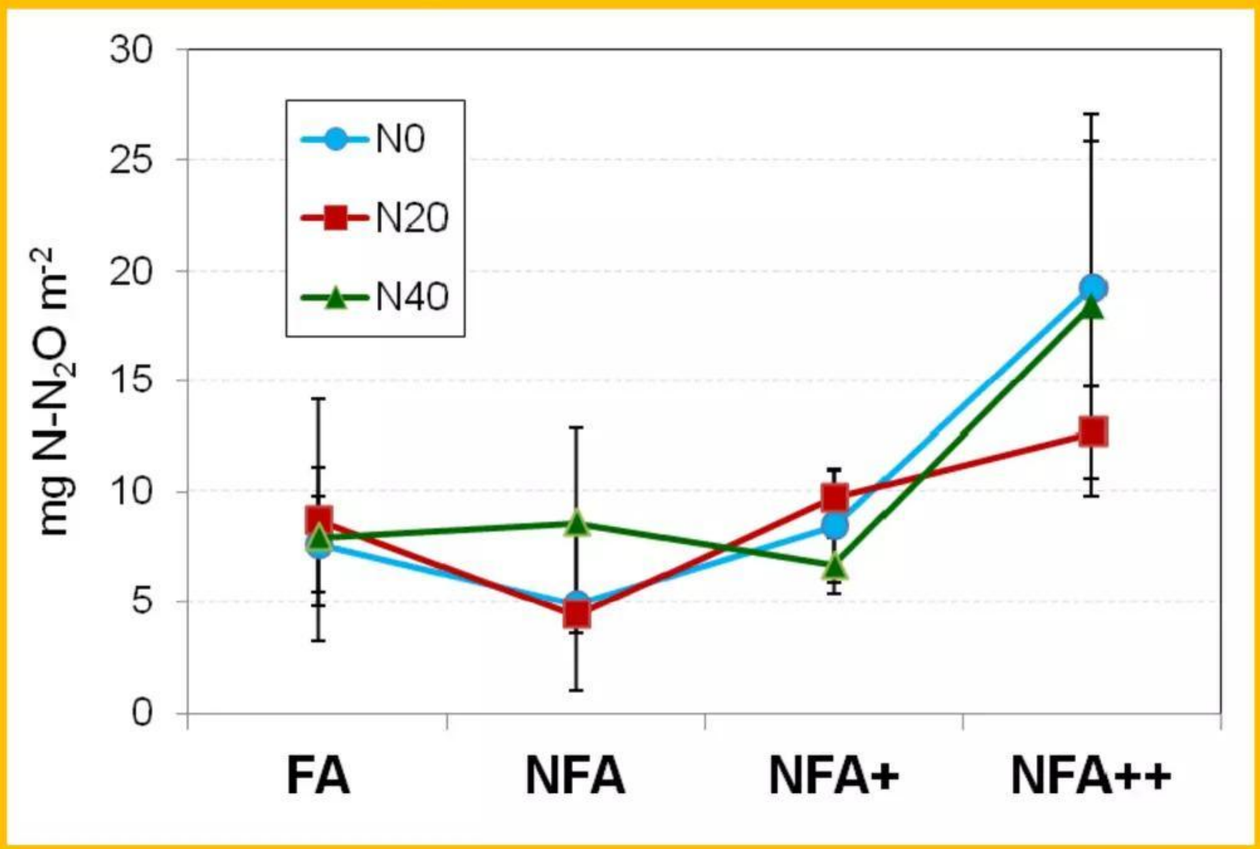


Porcuna, 1997, Tesis

Efectos indirectos del ozono en la vegetación

Alteración de la composición química de la atmósfera

Emisiones de N_2O del suelo (pastizales anuales)



$-O_3$ ⟶ $+O_3$

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

Compuestos orgánicos volátiles biogénicos

Farré-Armengol et al.,2015, New Phy..

¿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

Metabolismo celular

Tejidos

Individuos

Comunidades

Ecosistemas

Estudios en condiciones naturales

Modelos

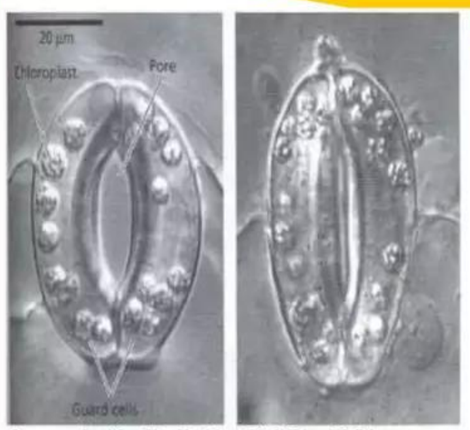
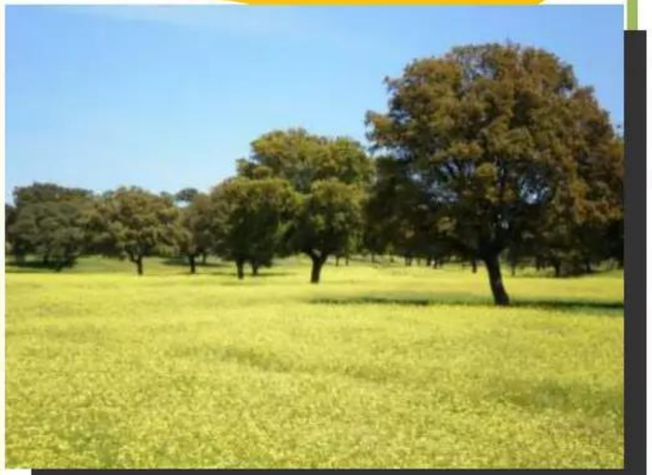


Image reproduced from Plant Physiology, Eds: L. Taiz and E. Zeiger, 2nd edition, Sinauer Associates, Inc. Publisher, Sunderland MA, USA. p. 523

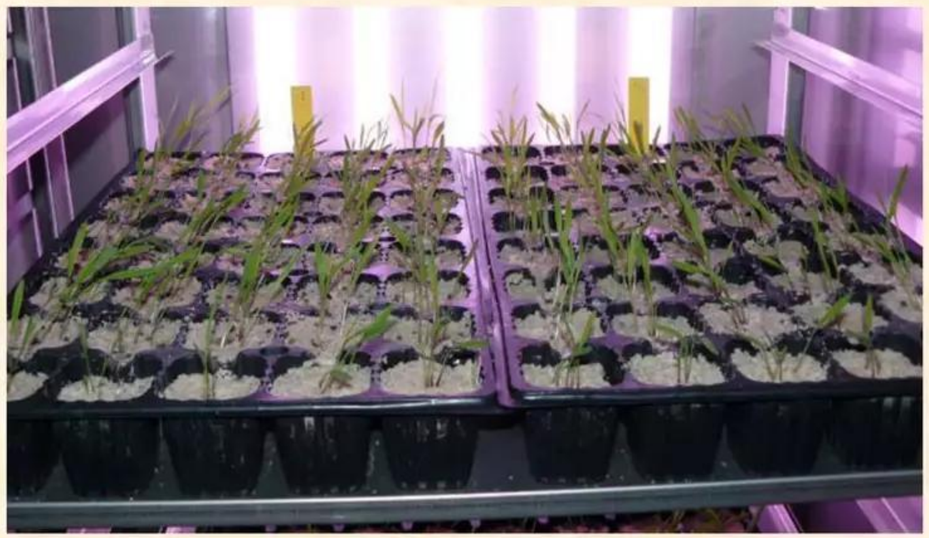


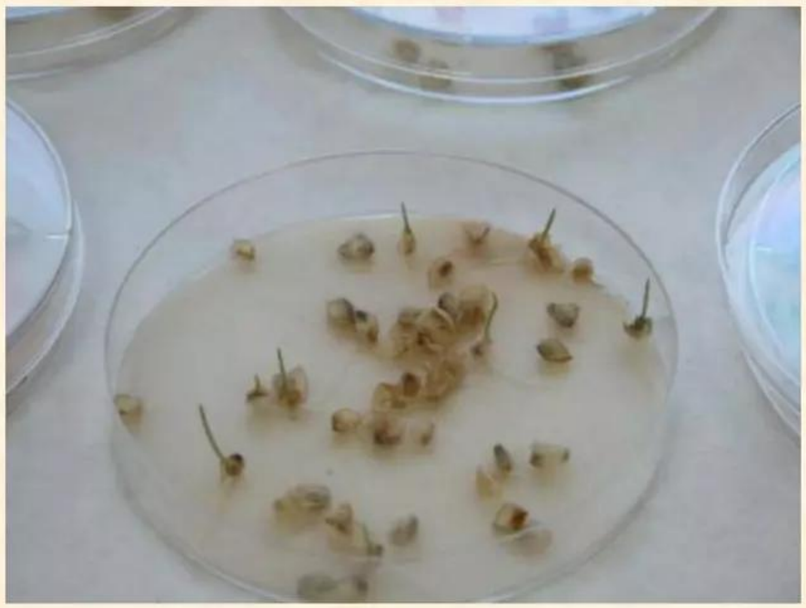
Estudios experimentales

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 Descubierto (OTC- Open Top Chamber)

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

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

1997-2009

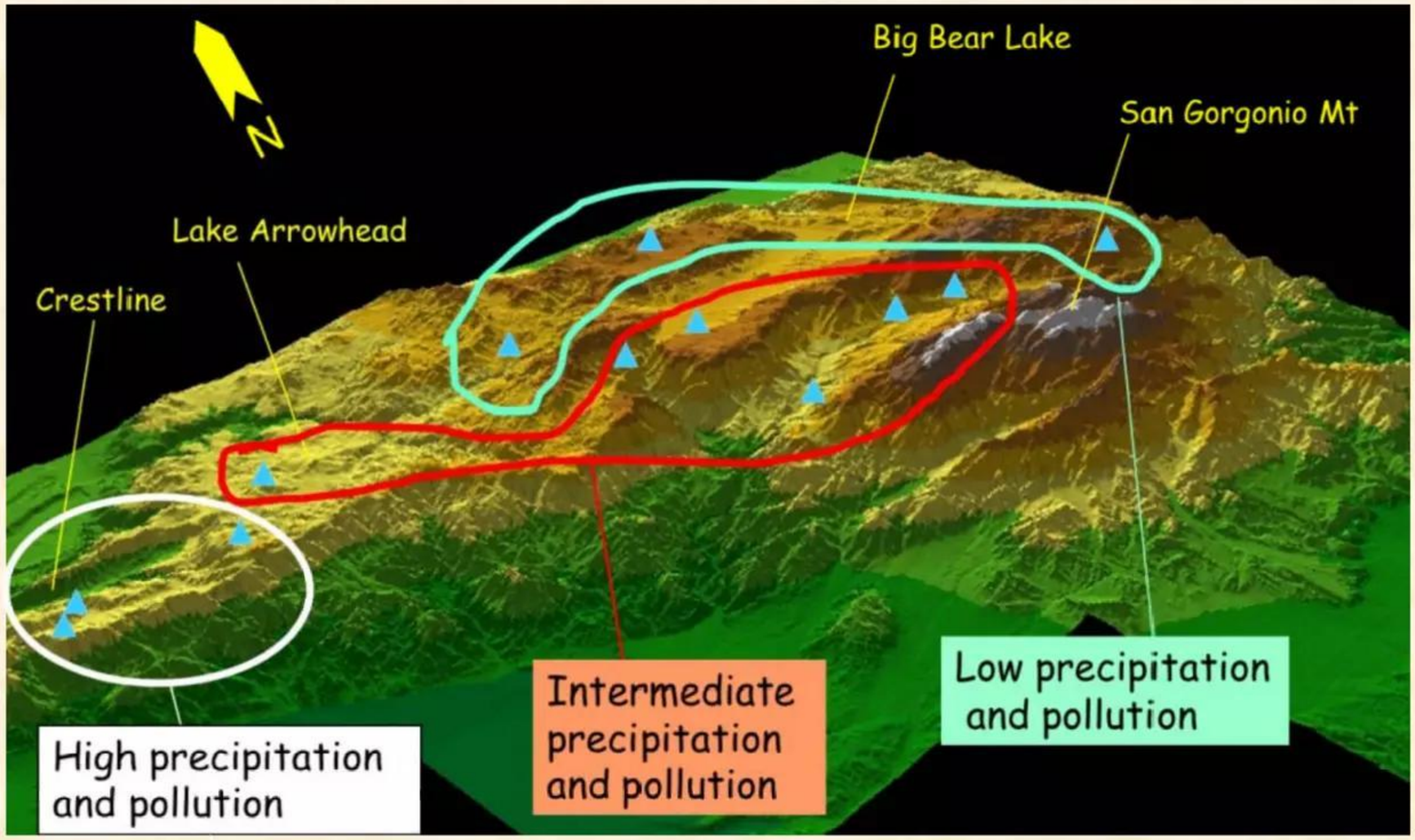
Aspen FACE (Free-Air Carbon Dioxide Enrichment), Rhinelander, Wisconsin (EEUU)

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

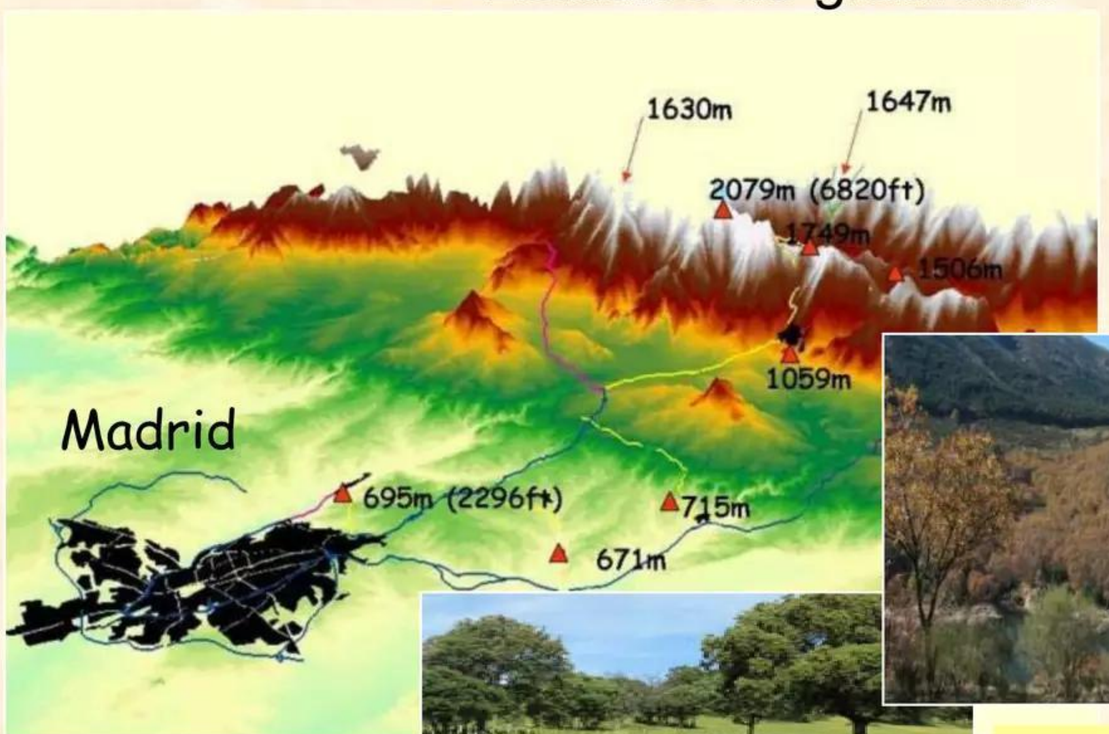
Arbaugh et al., 2012

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



Madrid
600m

1000m

1700m

2100m

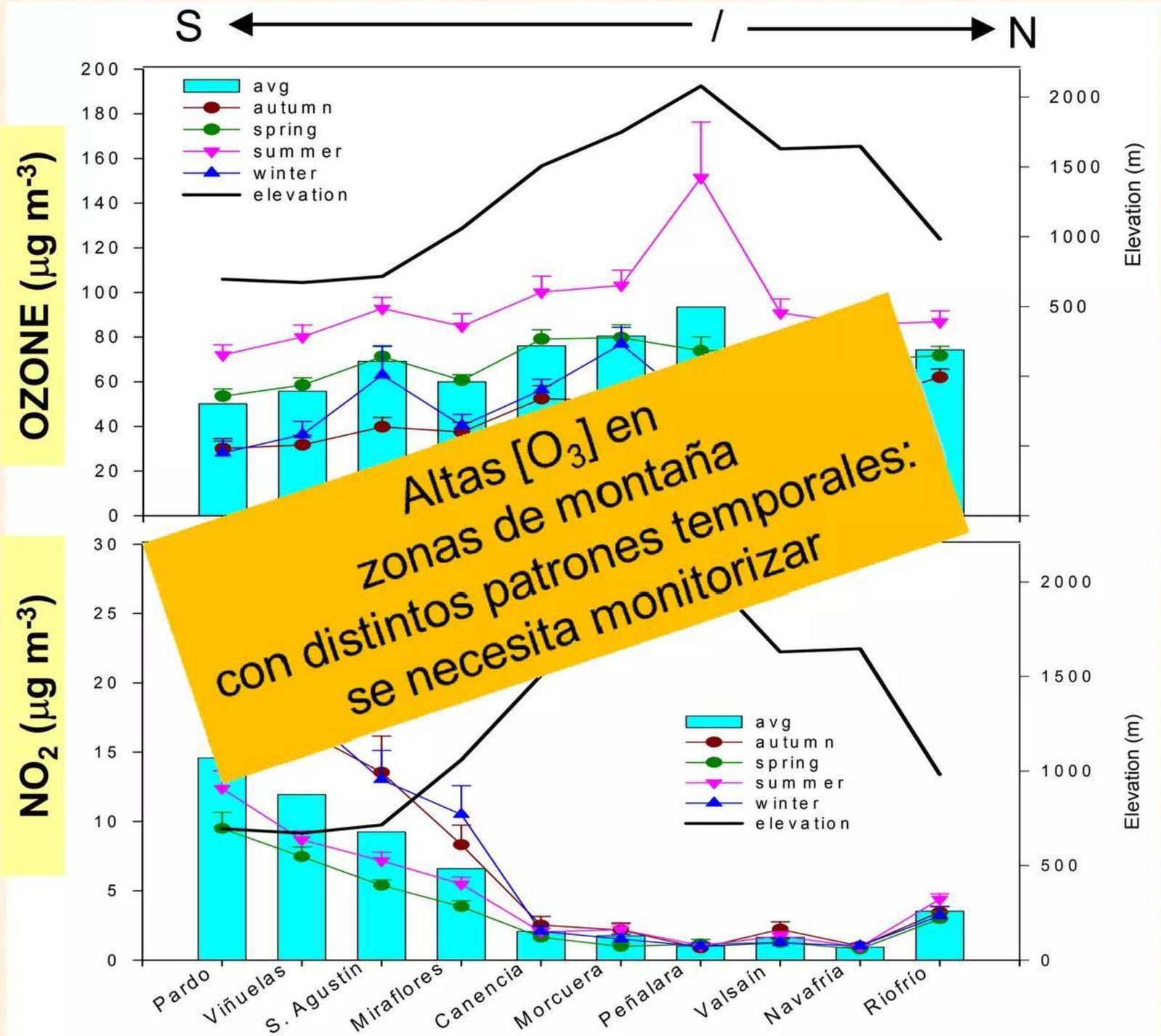
2200 m

Gradiente altitudinal
Sierra de Guadarrama

Alonso et al., 2009

Gradiente de contaminación: Madrid - Sierra de Guadarrama

Medias estacionales 2004-2006, pasivos



Altas [O_3] en zonas de montaña con distintos patrones temporales: se necesita monitorizar

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

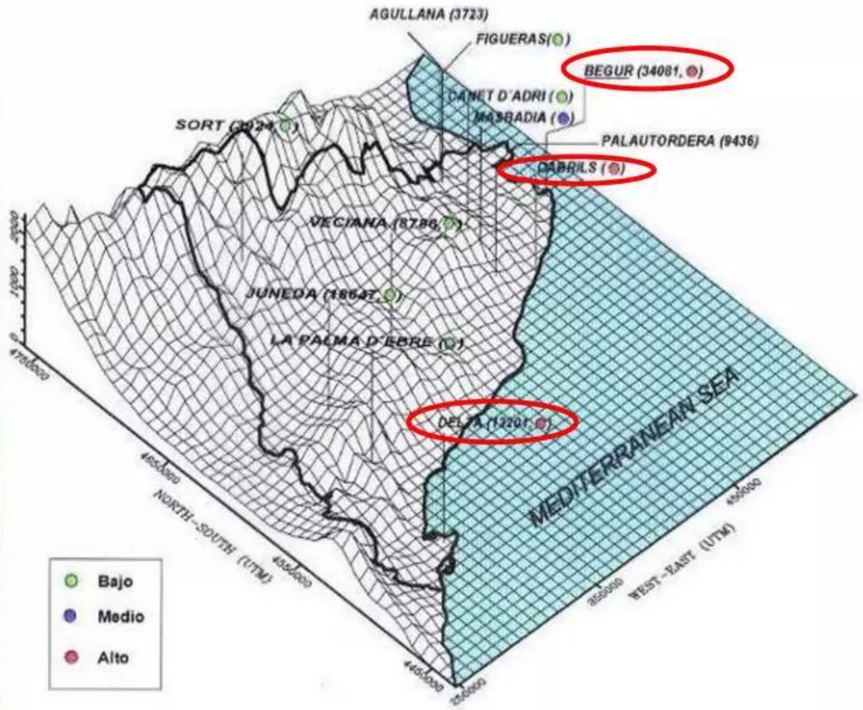
Cómo estudiar los efectos de la contaminación atmosférica

Estudios en condiciones naturales

Sistemas de biomonitorización de ozono

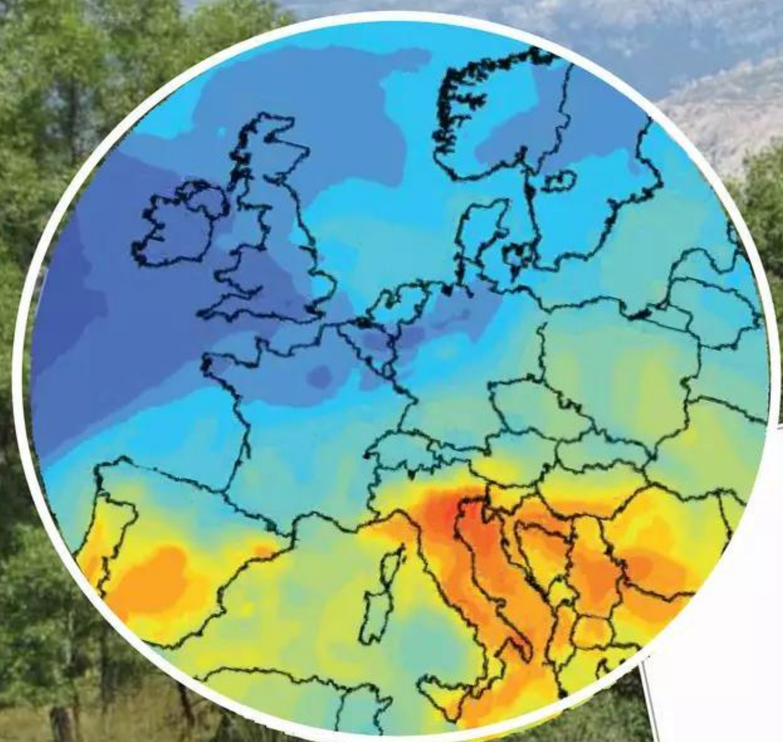
- Tabaco (*N. tabaccum*)
- Trébol (*T. repens*)
- Judía (*P. vulgaris*)

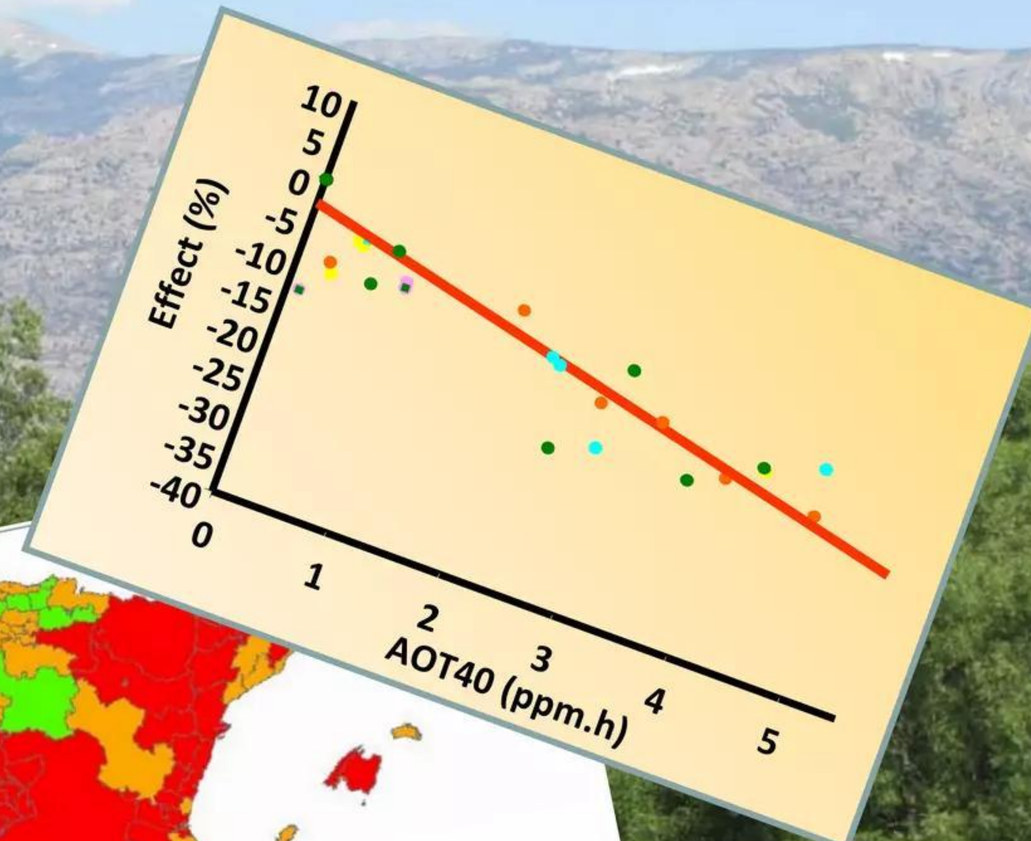
Bermejo et al., 2002

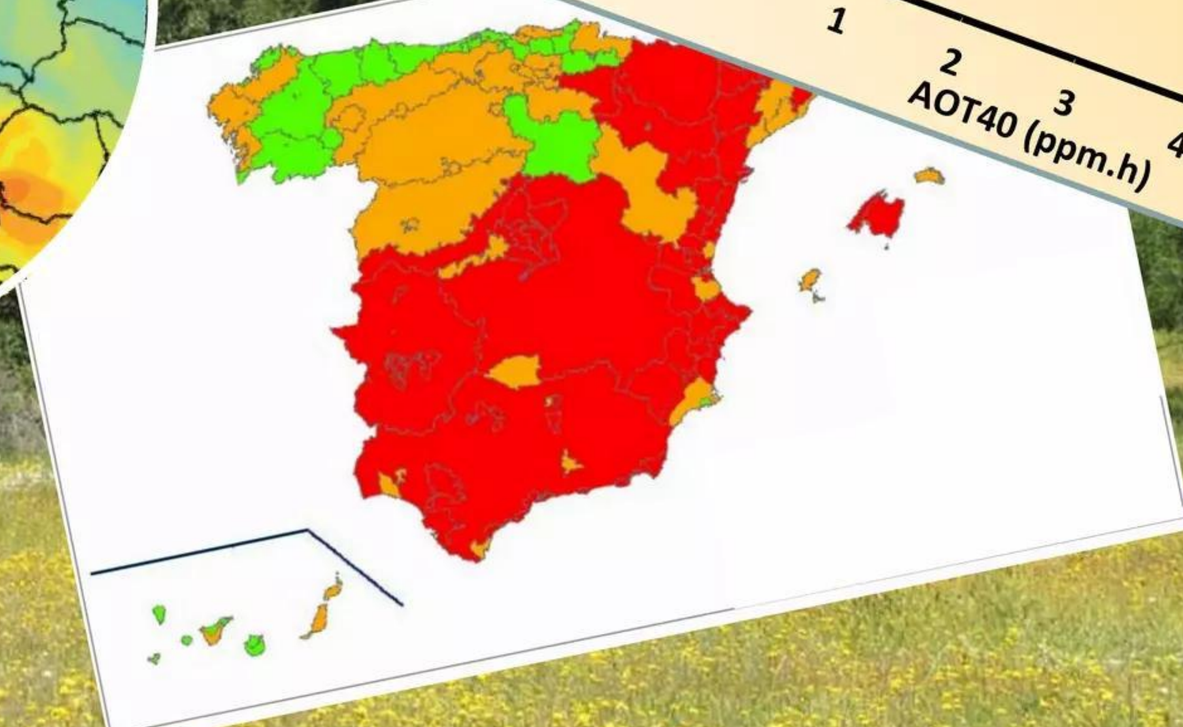


Gimeno et al., 1995, WASP

Control de la contaminación por ozono

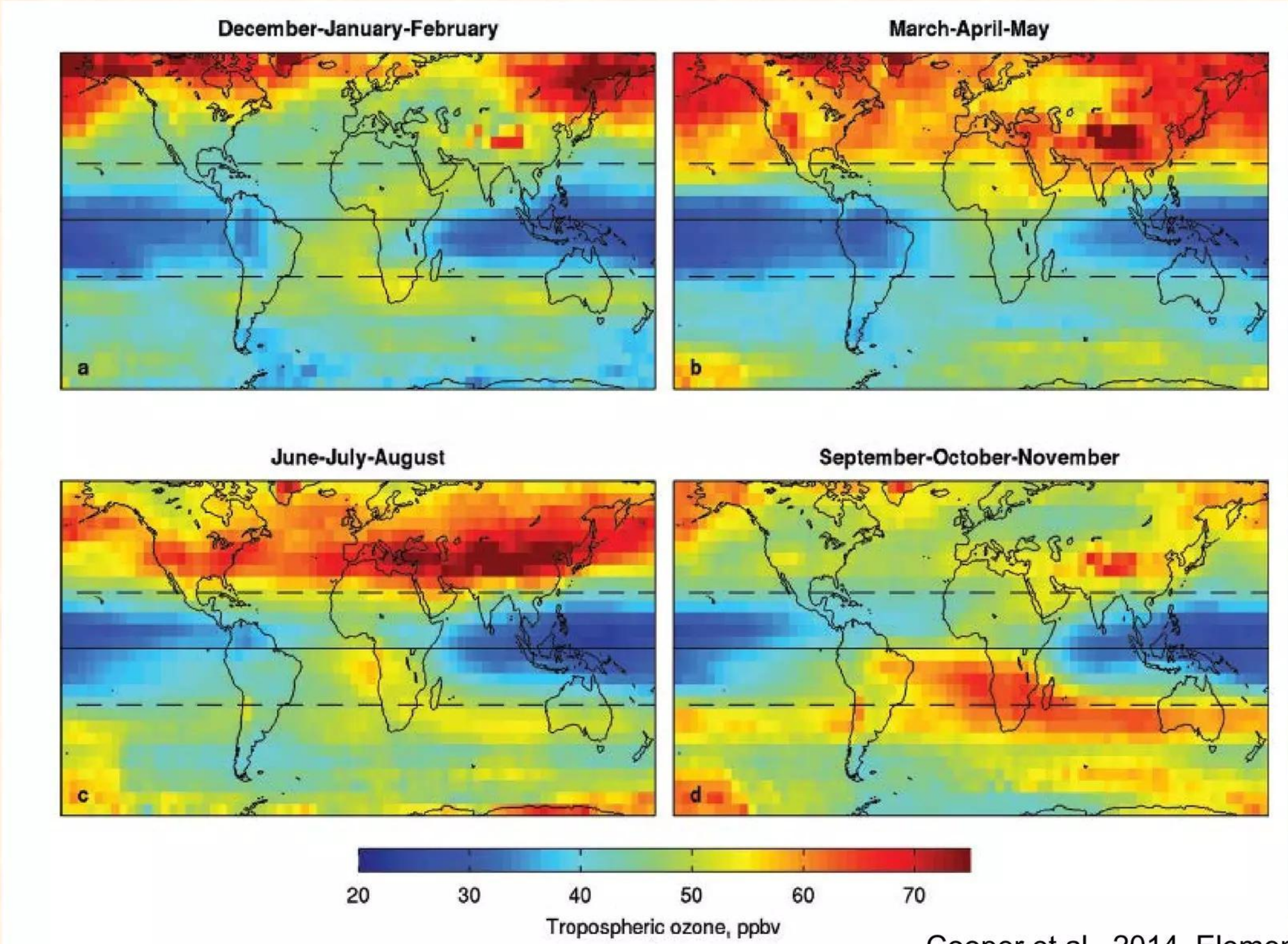






El ozono (O_3) troposférico

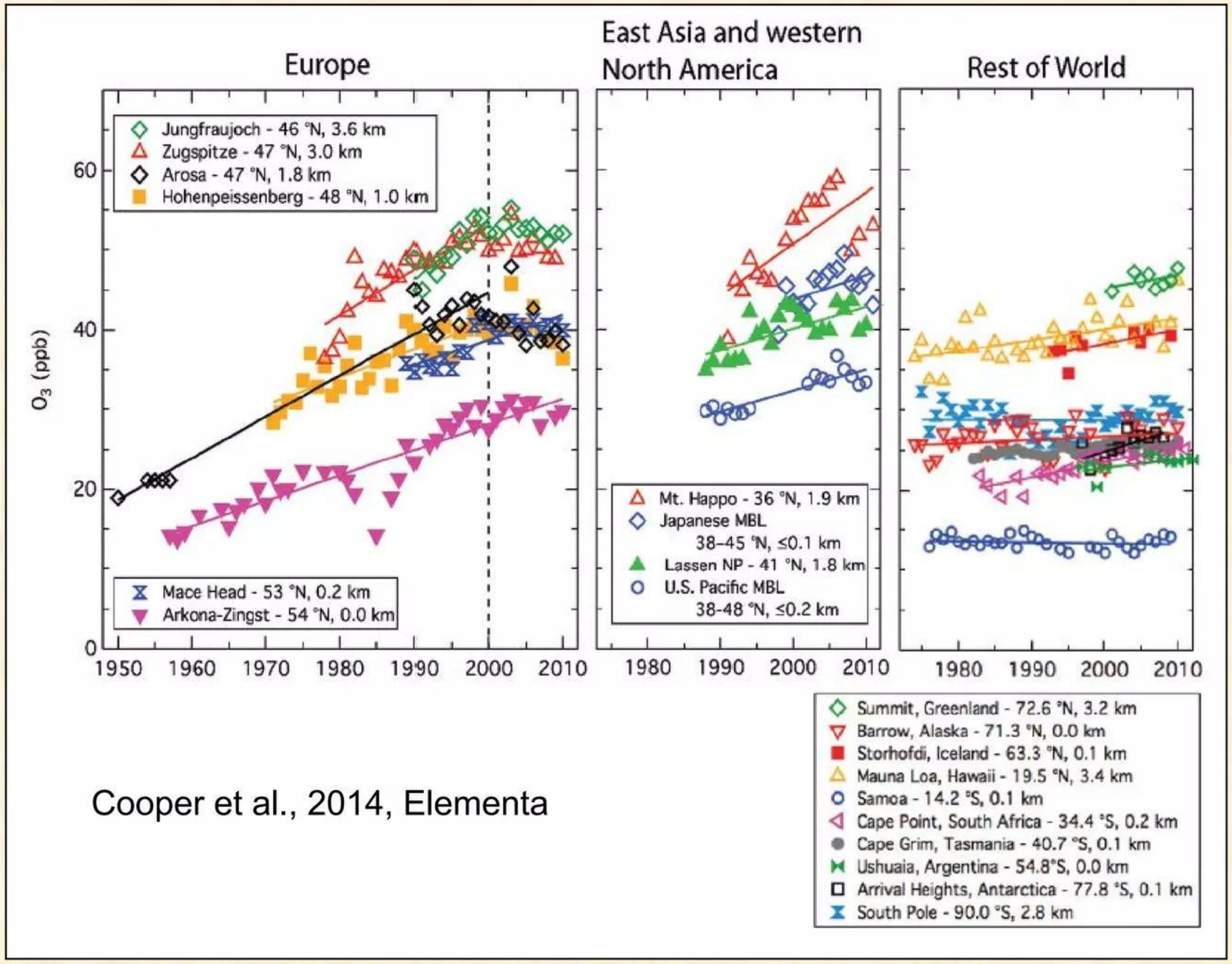
Distribución espacial y variaciones estacionales



Cooper et al., 2014, Elementa

El ozono (O_3) troposférico

Medias anuales de concentraciones de O_3 en zonas rurales y de montaña



Cooper et al., 2014, Elementa

Legislación de control del ozono troposférico

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

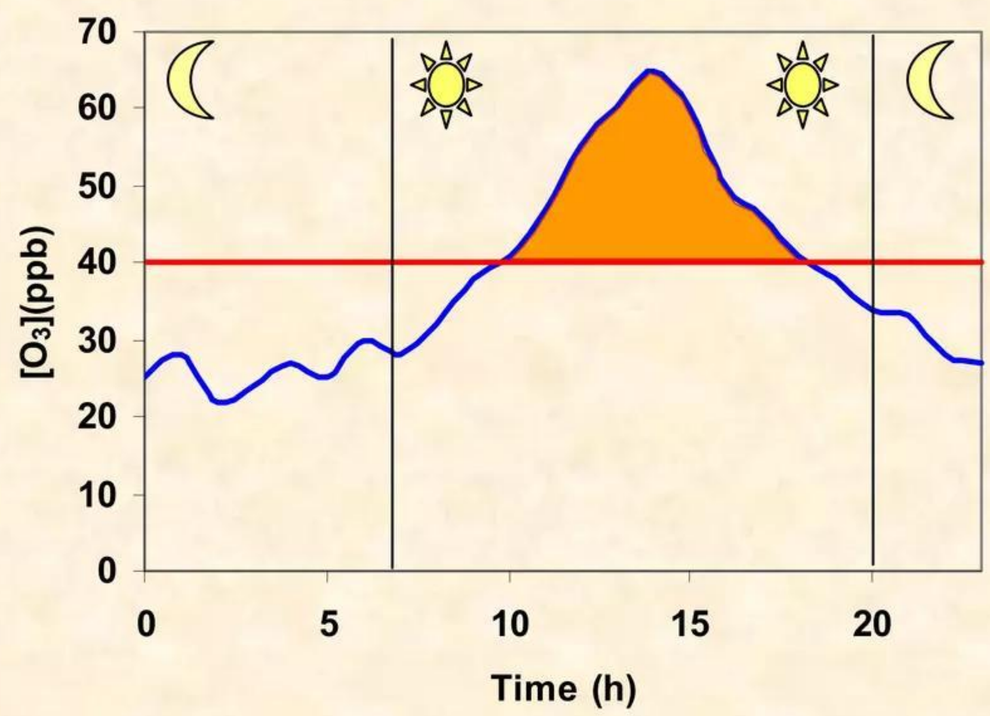
Objetivos inmediatos para protección de la vegetación (2010)

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

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

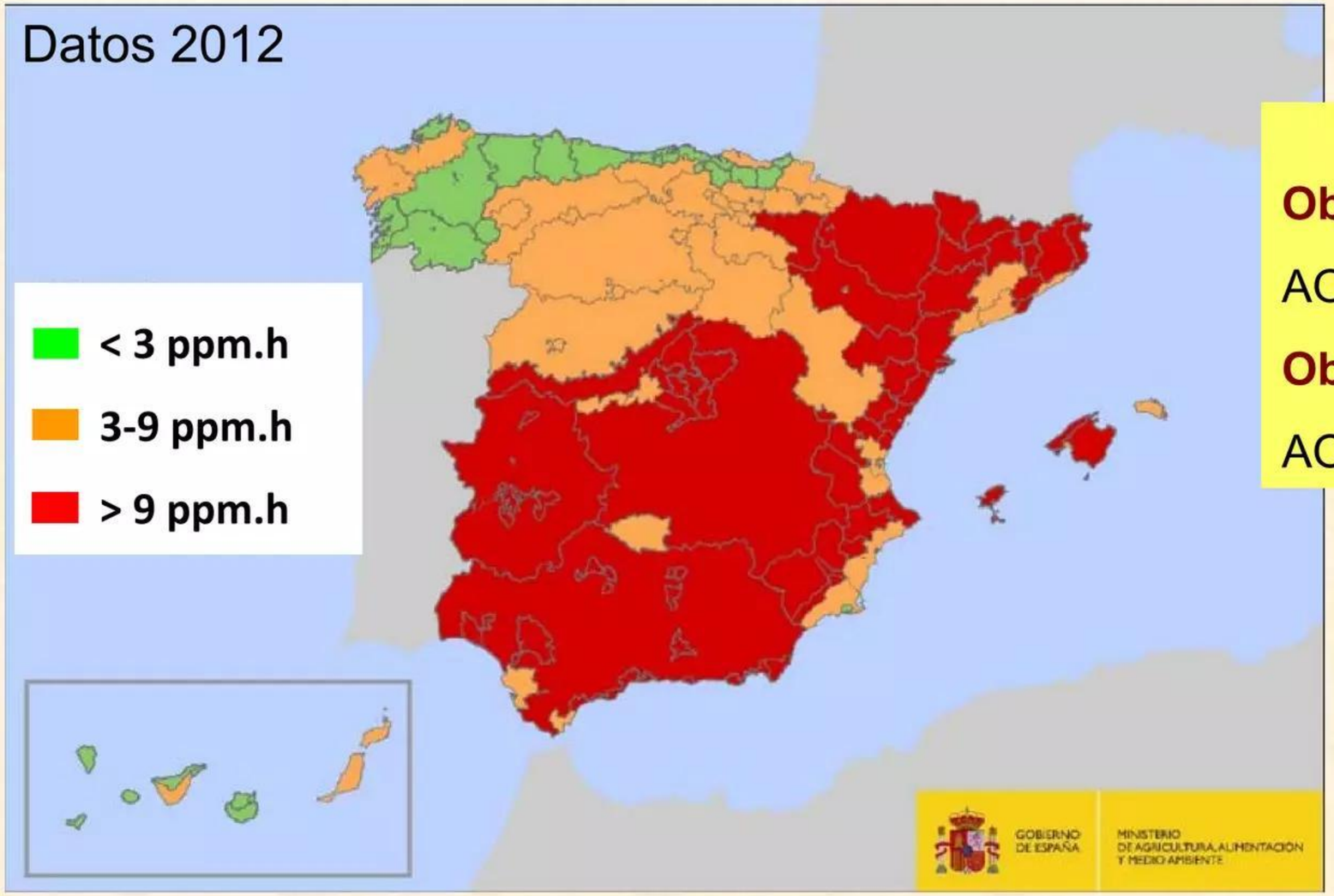
AOT40 **3000 ppb.h** acumulado 3 meses (Mayo-Julio)

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 O_3 para la protección de la vegetación



Objetivos inmediatos (2010)

AOT40 **9000 ppb.h** 3 meses

Objetivos a largo plazo (2020)

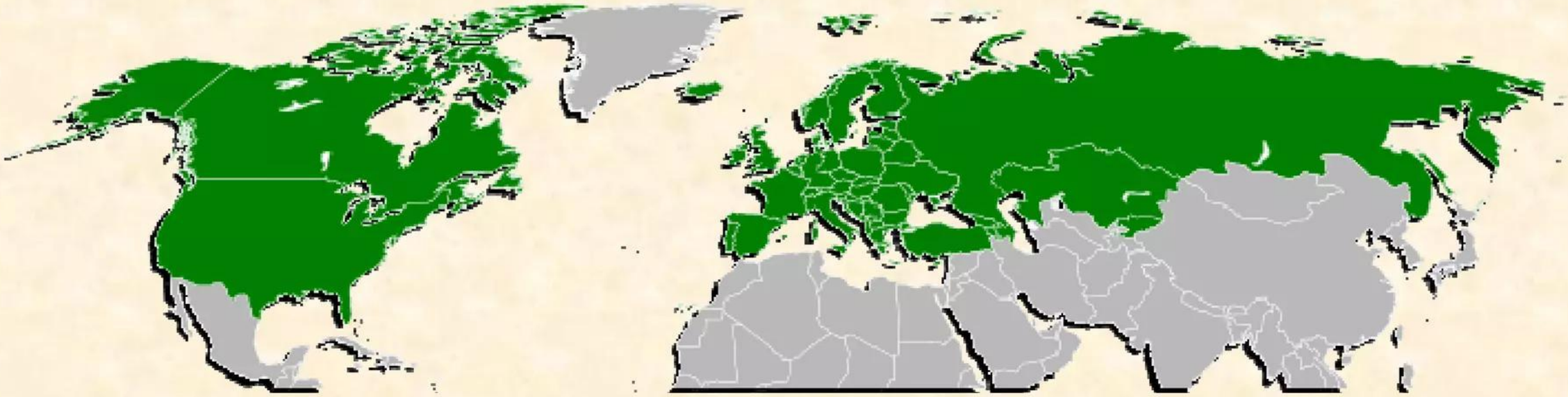
AOT40 **3000 ppb.h** 3 meses

- ✓ 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

Control del ozono troposférico

Convenio de contaminación atmosférica transfronteriza 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 **EFECTOS** para controlar la emisión de contaminantes atmosféricos



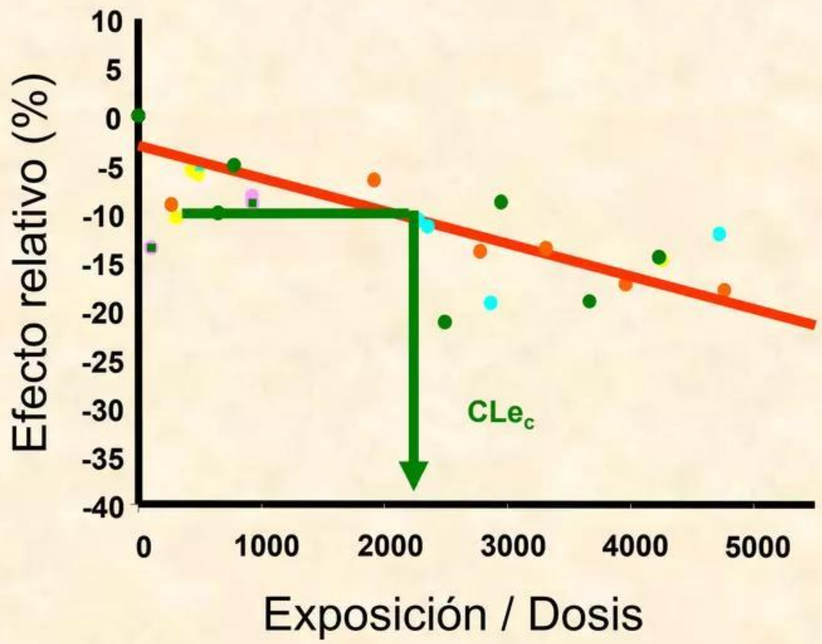
Control del ozono troposférico

Convenio de contaminación atmosférica transfronteriza 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 **EFECTOS** para controlar la emisión de contaminantes atmosféricos

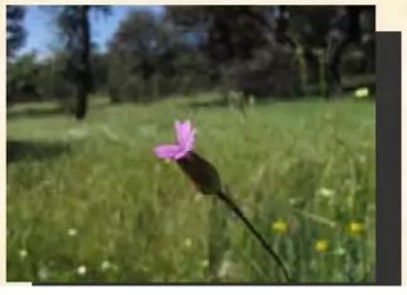
Niveles y cargas críticas

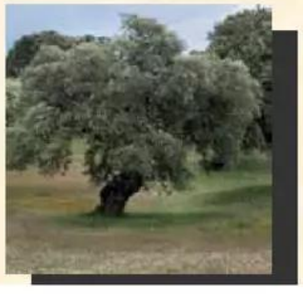
Concentración o depósito umbral por encima del cual se pueden producir efectos negativos de acuerdo al conocimiento científico actual



NIVELES CRÍTICOS DE OZONO (2004)

	CULTIVOS	VEGETACIÓN-SEMINATURAL	ÁRBOLES
NIVEL CRÍTICO	*Cultivos agrícolas*: AOT40 of **3000** ppb.h *Horticolas* AOT40 of **6000** ppb.h	AOT40 of **3000** ppb.h	AOT40 of **5000** ppb.h
Periodo de tiempo	*Cultivos agrícolas* 3 meses *Hortícolas* 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%)

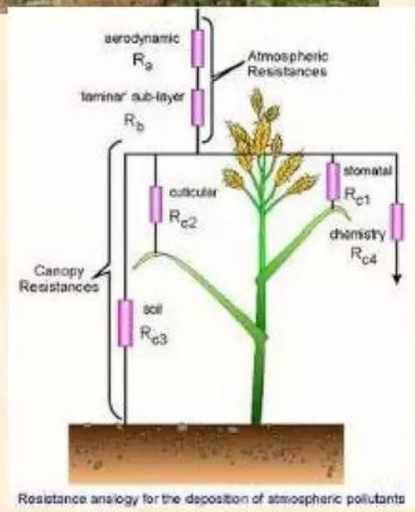




La fitotoxicidad del ozono no está directamente relacionada con la exposición al contaminante sino con la dosis absorbida !!!

variables meteorológicas
cambio climático

Estimar los flujos de absorción de ozono



Resistance analogy for the deposition of atmospheric pollutants

Funciones dosis-respuesta

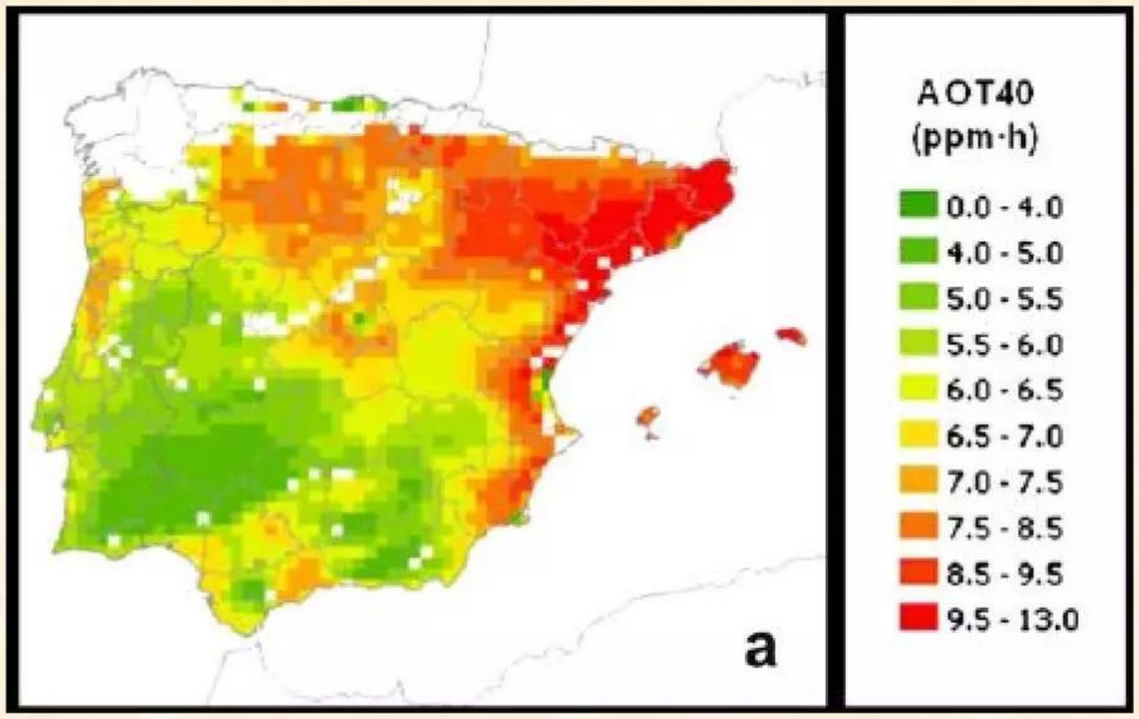
Niveles críticos basados en flujos

(POD) Phytotoxic Ozone Dose

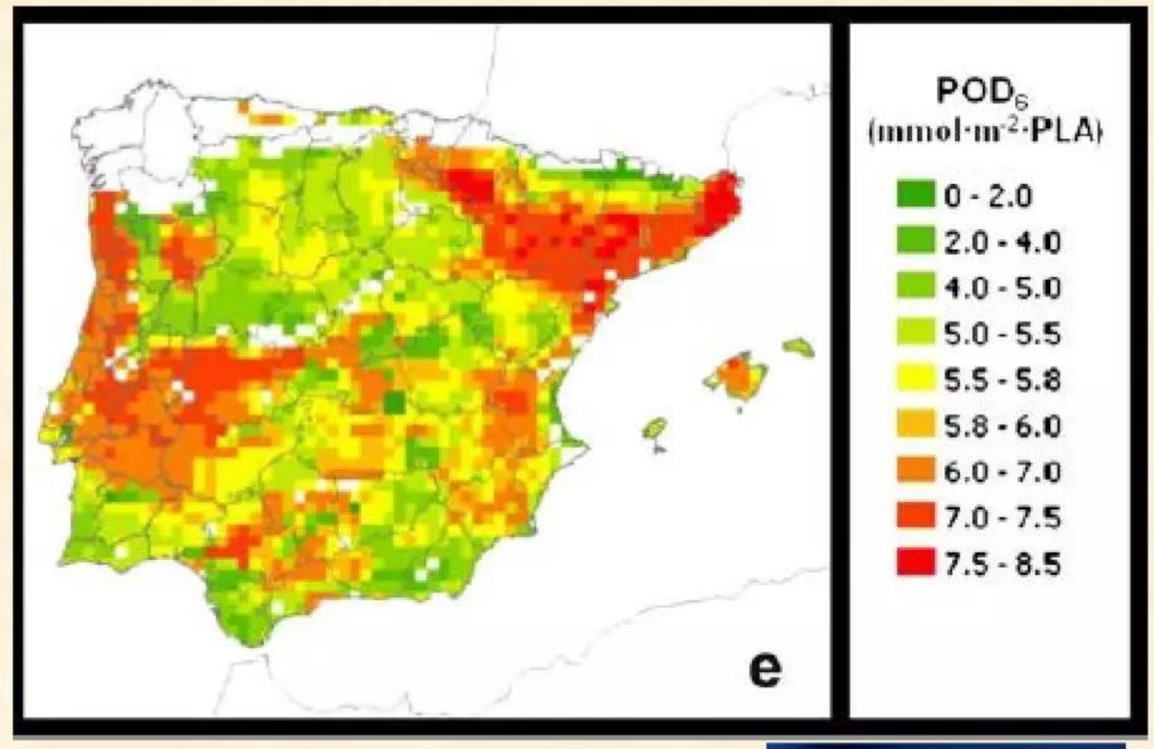
Riesgo de daños por ozono troposférico

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

Exposición



Dosis



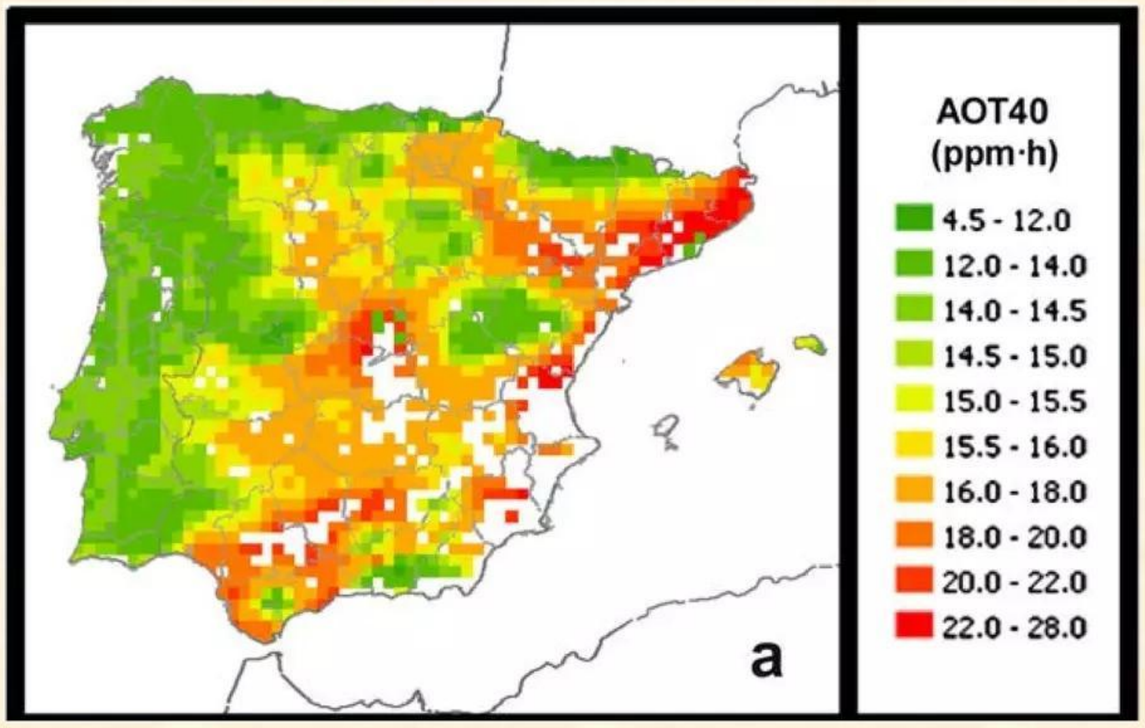
De Andrés et al., 2012, Environmental Pollution

INDUSTRIALES ETSII | UPM

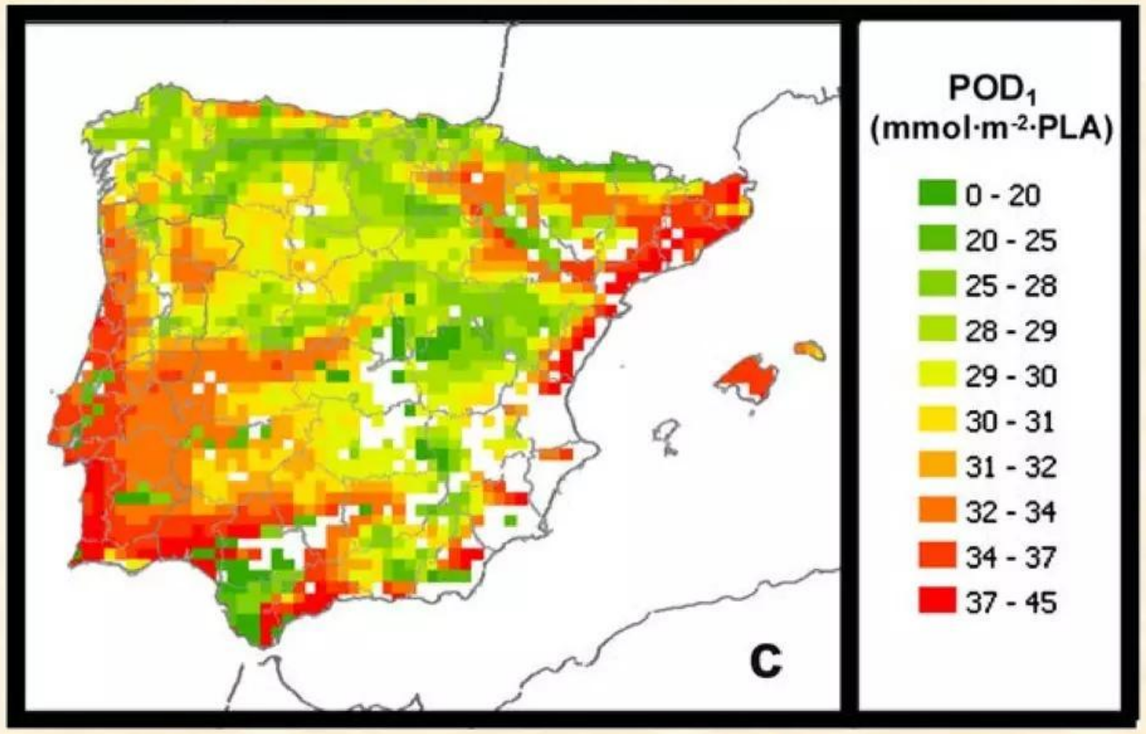
Riesgo de daños por ozono troposférico

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

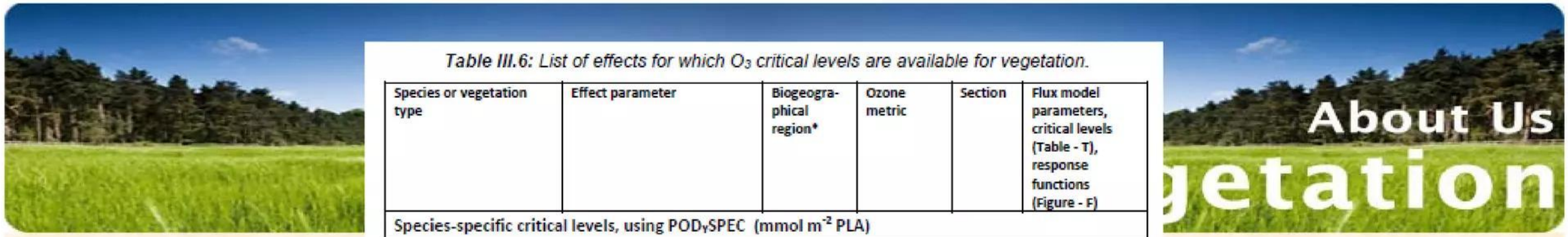
Exposición



Dosis



De Andrés et al., 2012, Environmental Pollution



O_3

Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads and Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends.

ICP-Vegetation

April 2017

Table III.6: List of effects for which O_3 critical levels are available for vegetation.

Species or vegetation type	Effect parameter	Biogeographical region*	Ozone metric	Section	Flux model parameters, critical levels (Table - T), response functions (Figure - F)
Species-specific critical levels, using POD_YSPEC (mmol m^{-2} PLA)					
Crops					
Wheat	Grain yield, 1000-grain weight, protein yield	A,B,C,M (S,P)**	POD_6SPEC	III.3.5.2	T III.9-10, F III.10
Potato	Tuber yield	A,B,C (M,S,P)	POD_6SPEC	III.3.5.2	T III.9-10, F III.11
Tomato	Fruit yield, fruit quality	M (A,B, C,S,P)	POD_6SPEC	III.3.5.2	T III.9-10, F III.11
Trees					
Beech/birch	Total biomass	B,C (A,S,P)	POD_1SPEC	III.3.5.3	T III.11-12, F III.12
Norway spruce	Total biomass	B,C (A,S,P)	POD_1SPEC	III.3.5.3	T III.11-12, F III.12
Deciduous oak species	Root biomass, total biomass	M	POD_1SPEC	III.3.5.3	T III.11-12, F III.12
Evergreen tree species	Above-ground biomass	M	POD_1SPEC	III.3.5.3	T III.11-12, F III.12
(Semi-)natural vegetation					
Temperate perennial grasslands (O_3-sensitive species)	Above-ground biomass, total biomass, flower number	A,B,C (S,P)	POD_1SPEC	III.3.5.4	T III.13-14, F III.13
Mediterranean annual pasture (O_3-sensitive species)	Above-ground biomass, flower/seed biomass	M	POD_1SPEC	III.3.5.4	T III.13-14, F III.14
Vegetation-type critical levels, using POD_YIAM (mmol m^{-2} PLA)					
Crops	Grain yield	A,B,C (S,P)**	POD_3IAM	III.3.6.2	T III.15-16, F III.15
Trees					
Broadleaf deciduous	Total biomass	B,C (A,S,P)	POD_1IAM	III.3.6.2	T III.15-16, F III.15
		M	POD_1IAM	III.3.6.2	T III.15-16, F III.15
(Semi-)natural vegetation					
Temperate perennial grasslands	Flower number	A,B,C (S,P)	POD_1IAM	III.3.6.2	T III.15-16, F III.15
Mediterranean annual pasture	Seed/flower biomass	M	POD_1IAM	III.3.6.2	T III.15-16, F III.15
Concentration-based critical levels, using AOT40 (ppm h)					
Agricultural crops	Yield	All	AOT40	III.3.7.3	T III.17
Horticultural crops	Yield	All	AOT40	III.3.7.3	T III.17
Forest trees	Total biomass	All	AOT40	III.3.7.3	T III.17
(Semi-)natural vegetation dominated by annuals	Above-ground biomass	All	AOT40	III.3.7.3	T III.17
(Semi-)natural vegetation dominated by perennials	Above-ground biomass	All	AOT40	III.3.7.3	T III.17

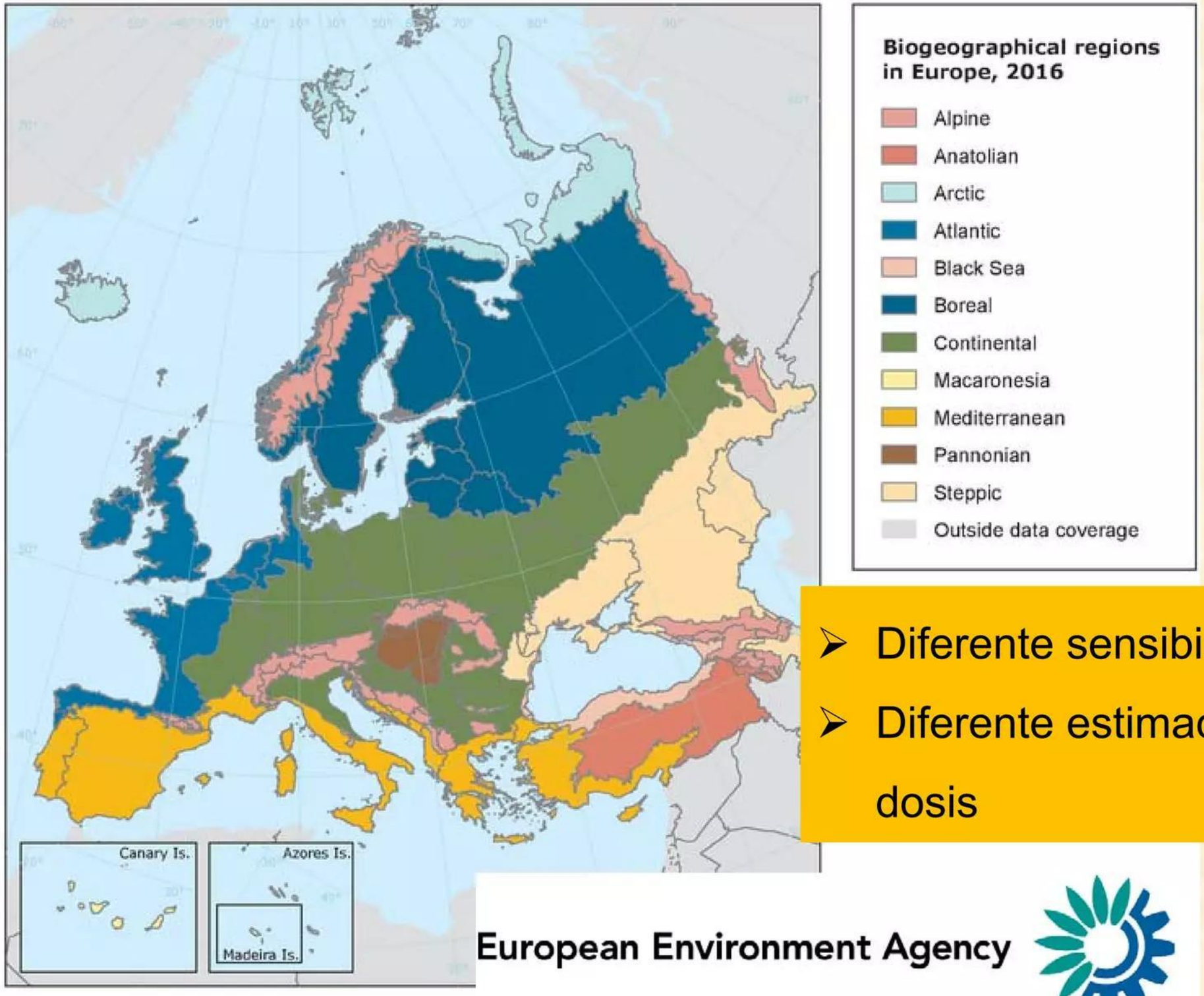
Niveles críticos basados en flujos (POD)

Niveles críticos basados en exposición (AOT40)

NIVELES CRÍTICOS DE OZONO

Species or vegetation type	Reduction of which effect	Biogeographical region*	Ozone metric	Section	Flux model parameters (Table - T) and response function (Figure - F)
Species-specific critical levels, using POD_YSPEC (mmol m^{-2} PLA)					
Crops					
Wheat	Grain yield, 1000-grain weight, protein yield	A,B,C,M (S,P)**	POD_6SPEC	III.3.5.2	T III.9, F III.10
Potato	Tuber yield	A,B,C (M, S,P)	POD_6SPEC	III.3.5.2	T III.9, F III.11
Tomato	Fruit yield, fruit quality	M (A,B, C,S,P)	POD_6SPEC	III.3.5.2	T III.9, F III.11
Trees					
Beech/birch	Total biomass	B,C (A,S,P)	POD_1SPEC	III.3.5.3	T III.11, F III.12
Norway spruce	Total biomass	B,C (A,S,P)	POD_1SPEC	III.3.5.3	T III.11, F III.12
Deciduous oak species	Root biomass, total biomass	M	POD_1SPEC	III.3.5.3	T III.11, F III.12
Evergreen tree species	Above-ground biomass	M	POD_1SPEC	III.3.5.3	T III.11, F III.12
(Semi-)natural veg.					
Temperate perennial grasslands (O_3-sensitive species)	Above-ground biomass, total biomass, flower number	A,B,C (S,P)	POD_1SPEC	III.3.5.4	T III.13, F III.13
Mediterranean annual pasture (O_3-sensitive species)	Above-ground biomass, flower/seed biomass	M	POD_1SPEC	III.3.5.4	T III.13, F III.14

Zonas biogeográficas



- Diferente sensibilidad al O_3
- Diferente estimación de la dosis

European Environment Agency

NIVELES CRÍTICOS DE OZONO

Species or vegetation type	Reduction of which effect	Biogeographical region*	Ozone metric	Section	Flux model parameters (Table - T) and response function (Figure - F)
Species-specific critical levels, using POD_YSPEC (mmol m^{-2} PLA)					
Crops					
Wheat	Grain yield, 1000-grain weight, protein yield	A,B,C,M (S,P)**	POD_6SPEC	III.3.5.2	T III.9, F III.10
Potato	Tuber yield	A,B,C (M, S,P)	POD_6SPEC	III.3.5.2	T III.9, F III.11
Tomato	Fruit yield, fruit quality	M (A,B, C,S,P)	POD_6SPEC	III.3.5.2	T III.9, F III.11
Trees					
Beech/birch	Total biomass	B,C (A,S,P)	POD_1SPEC	III.3.5.3	T III.11, F III.12
Norway spruce	Total biomass	B,C (A,S,P)	POD_1SPEC	III.3.5.3	T III.11, F III.12
Deciduous oak species	Root biomass, total biomass	M	POD_1SPEC	III.3.5.3	T III.11, F III.12
Evergreen tree species	Above-ground biomass	M	POD_1SPEC	III.3.5.3	T III.11, F III.12
(Semi-)natural veg.					
Temperate perennial grasslands (O_3-sensitive species)	Above-ground biomass, total biomass, flower number	A,B,C (S,P)	POD_1SPEC	III.3.5.4	T III.13, F III.13
Mediterranean annual pasture (O_3-sensitive species)	Above-ground biomass, flower/seed biomass	M	POD_1SPEC	III.3.5.4	T III.13, F III.14

NIVELES CRÍTICOS DE OZONO (2017)

Crops

Species	Effect parameter	Biogeographical region*	Potential effect at CL (% reduction)	Critical level (mmol m^{-2} PLA)**
Wheat	Grain yield	A,B,C,M (S,P)****	5%	1.3
Wheat	1000 grain weight	A,B,C,M (S,P)****	5%	1.5
Wheat	Protein yield	A,B,C,M (S,P)****	5%	2.0
Potato	Tuber yield	A,B,C (M,S,P)	5%	3.8
Tomato	Fruit yield	M (A,B, C,S,P)	5%	2.0
Tomato	Fruit quality	M (A,B, C,S,P)	5%	3.8

Trees

Species	Effect parameter	Biogeographical region*	Potential effect at CL (% reduction)	Critical level (mmol m^{-2} PLA)**
Beech and birch	Whole tree biomass	B,C (A,S,P)	4%	5.2
Norway spruce	Whole tree biomass	B,C (A,S,P)	2%	9.2
Med. deciduous oaks	Whole tree biomass	M	4%	14.0
Med. deciduous oaks	Root biomass	M	4%	10.3
Med. evergreen	Above-ground biomass	M	4%	47.3

NIVELES CRÍTICOS DE OZONO (2017)

Semi-natural vegetation

Species	Effect parameter	Biogeographical region*	Potential effect at CL (% reduc-tion)	Critical level (mmol m^{-2} PLA)**
Temperate perennial grassland	Above- ground biomass	A, B,C (S,P)	10%	10.2
Temperate perennial grassland	Total biomass	A, B,C (S,P)	10%	16.2
Temperate perennial grassland	Flower number	A, B,C (S,P)	10%	6.6
Med. annual pasture	Above- ground biomass	M	10%	16.9
Med. annual pasture	Flower/ seed biomass	M	10%	10.8

NIVELES CRÍTICOS DE OZONO (2017)

Pros:

✓Más adecuados a los distintos tipos de vegetación

✓Consideran las variables meteorológicas (cambio climático)

Contras:

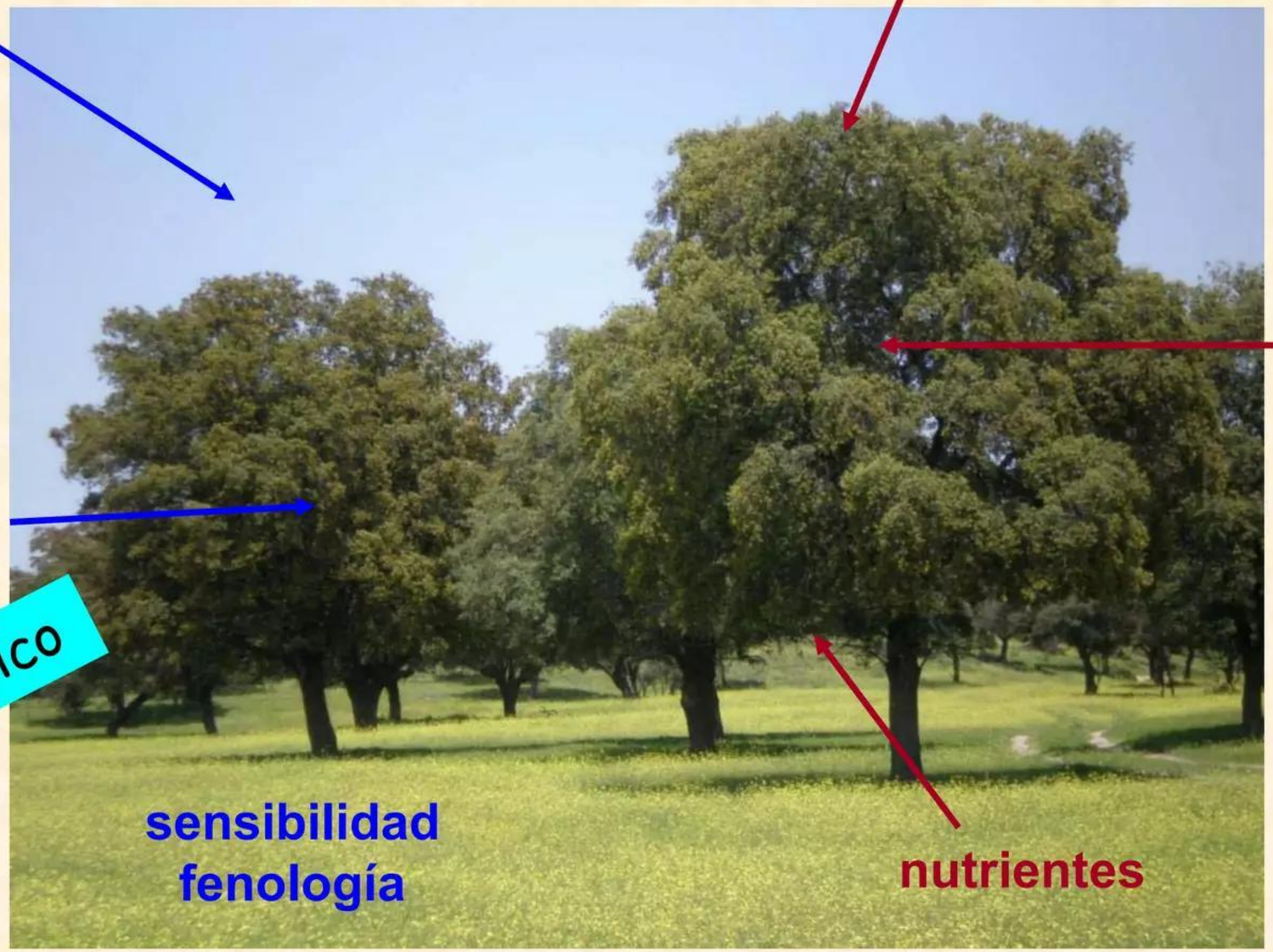
✓Complejos

✓Aplicación requiere conocimiento especializado

Contaminación atmosférica y cambio global

otros contaminantes atmosféricos

Ozono



relaciones con otros organismos

factores ambientales (T, HR, luz, disponibilidad hídrica,...)

Cambio climático

Importante estudiar interacciones!!

Influencia de la vegetación urbana en la calidad del aire

+

Producen oxigeno

Secuestran CO_2

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 ⇩ Uso de energía

⇩ Temp. ambiente ⇩ Fotoquímica

–

Emiten VOCs

Emiten alergenos

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: incluir en redes de medida de calidad del aire
- Es necesario participar en los foros científicos-técnicos donde se desarrollan las metodologías para definir los valores objetivo para la protección de la vegetación
- Nuevos retos científicos:

-Comprobar la adecuación de los nuevos niveles críticos, con especial atención en especies en peligro

-Investigar los efectos del ozono en un contexto de cambio global

-Analizar los efectos del ozono en los servicios ecosistémicos

¡Gracias!

rocio.alonso@ciemat.es

Cargas y Niveles Críticos, MAPAMA

AGRISOST, Com. Madrid

RESPIRA LIFE13 ENV/ES/000417

Entrada nutrientes en lago de Sanabria, CEDEX

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

ECOTOXICIDAD DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

AGRISOST

Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA

LIFE+RESPIRA

Life

CEDEX

CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS