

DAÑOS POR OZONO EN LOS BOSQUES MEDITERRÁNEOS. RESULTADOS PRELIMINARES EN LAS REDES DE NIVEL I Y II DEL ICP-FORESTS EN ESPAÑA.

M.J. SANZ¹, V. CALATAYUD¹, J. CERVERÓ¹ y G. SANCHEZ²

1. Fundación CEAM. Parque Tecnológico, c/ Charles Darwin, 14. 46980 Valencia.

2. DGCN. Gran Vía de San Francisco, 4. 28005 Madrid.

RESUMEN

El ozono troposférico es el contaminante atmosférico más importante en la Cuenca Mediterránea, donde alcanza niveles capaces de producir síntomas visibles en las hojas de algunas plantas sensibles. Se aporta información sobre la distribución de daños por ozono en el pino carrasco, y una lista de plantas con síntomas semejantes a los producidos por el ozono, resultado de una primera prospección en las parcelas españolas de Nivel I y de nivel II del ICP-Forests en España.

SUMMARY

Tropospheric ozone is the most important air pollutant in the Mediterranean basin, where its levels are high enough to cause injury to leaves of some sensitive species. Data are given on the distribution of ozone symptoms in Aleppo pine, and also a list of plants showing ozone-like injury, as the result of a first survey in level I and II plots of ICP-Forests in Spain.

P.C.: Ozono, Cuenca Mediterránea, ICP Forest, evaluación.

K.W.: Ozone, Mediterranean Basin, ICP Forest, assessing.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 25 años, la Cuenca Mediterránea ha experimentado un aumento importante de las actividades industriales. Una de las consecuencias de este proceso, al que hay que sumar el aumento del tráfico rodado, es el que los fotooxidantes se han convertido en los contaminantes más importantes en ciertas zonas de esta Cuenca (BUTKOVIC *et al.* 1990; MILLÁN *et al.* 1992), donde las particularidades de la dinámica de las masas de aire favorece su formación (MILLÁN *et al.* 1997). De hecho, las concentraciones de ozono se hayan incrementado hasta alcanzar niveles fitotóxicos para determinadas especies vegetales. De todos los contaminantes atmosféricos, el ozono se considera hoy en día uno de los más importantes, no sólo en la Cuenca Mediterránea, sino en toda Europa. En las dos ultimas décadas, se han multiplicado los informes de daños visibles observados en el campo producidos por este contaminante en la Cuenca Mediterránea (NAVEH *et al.* 1980; VELISSARIOU *et al.* 1992; GIMENO *et al.* 1992; GARREC 1994; VELISSARIOU *et al.* 1996; SANZ & CALATAYUD 1997; SANZ & MILLÁN 1998). Aun así, todavía se observa una discrepancia entre los valores que los modelos muestran para determinadas zonas de Europa (especialmente en el Sur), algunas de las concentraciones observadas (EMEP 1995, 1998) y la observación de daños en el campo. Las excedencias que se han observado de las cargas críticas recomendadas por la OMS (FURHER, 1994) para la protección de cultivos y bosques se superan en la mayoría de los países europeos (EMEP, 1995); estas excedencias son ya reproducidas por el modelo EMEP y otros modelos, que muestran incluso mejor la anomalía mediterránea (BASTRUP-BIRK *et al.* 1997). Todo lo mencionado anteriormente indica que se puede esperar que los daños por ozono en la vegetación pueden estar ampliamente distribuidos por toda Europa y especialmente en la Cuenca Mediterránea. Desde los años 80, en el marco del Programa Internacional de Cooperación para la evaluación y el seguimiento de los efectos de la contaminación atmosférica en los bosques, se viene realizando una evaluación de la defoliación de las copas de los árboles, en una Red europea de seguimiento de daños (Nivel I). Existe además una red intensiva (Nivel II), donde se consideran más parametros. Los resultados indican que se viene produciendo un incremento de la defoliación aunque, dado que este parámetro no es específico de la contaminación atmosférica, sólo permite detectar aquellas áreas con problemas que pueden ser de índole diversa.

Hasta el momento, muchos de los estudios realizados sobre los efectos del ozono se han realizado en condiciones controladas con plántulas, siendo pocos los estudios que han tratado la

aparición de síntomas en el campo y su relación con las concentraciones observadas. La identificación de los daños visibles producidos por ozono ha sido utilizada como una herramienta muy útil en determinadas zonas para detectar la presencia de este contaminante y sus efectos perjudiciales (MILLER 1973; MILLER and MILLECAN 1971; MILLER and PARMETER 1967, LIEBOLD 1988; PRINZ *et al.* 1982; DAVIS and SKELLY 1992; SIMINI *et al.* 1992). Recientemente, se han venido observando daños visibles producidos por el ozono en el pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) en diversas partes de la Cuenca Mediterránea (VELISSARIOU *et al.* 1992; GIMENO *et al.* 1992; GARREC 1994; DAVISON *et al.* 1995; GIMENO *et al.* 1995a, 1995b; SANZ and MILLÁN 1998), por lo que esta especie se ha considerado como buena bioindicadora de la presencia de ozono e incluso se han descrito métodos para la evaluación de los daños observados (SANZ *et al.* 2000).

Los daños visibles pueden ser una herramienta muy útil para detectar las especies potencialmente sensibles al ozono en Europa, aportando información sobre las zonas en que este contaminante alcanza niveles fitotóxicos para una o varias especies. Por ello, se ha utilizado como un parámetro complementario en algunos estudios piloto realizado en las parcelas de Nivel I de la citada Red Europea en España. A continuación, se muestran algunos resultados del seguimiento realizado en 1998 en las parcelas de Nivel I de *Pinus halepensis*. Complementariamente, se aporta una lista de plantas con síntomas similares a ozono observadas en las parcelas de Nivel II y en algunas prospecciones realizadas en la vertiente Mediterránea de la Península Ibérica.

MATERIAL Y METODOS

Daños en *Pinus halepensis*: En cada una de las 77 parcelas de la Red Española de seguimiento de daños en los bosques (Nivel I), se realizó una evaluación sencilla del moteado clorótico producido por el ozono (GIMENO *et al.* 1992, SANZ *et al.* 2000) durante el verano de 1998. En 10 árboles elegidos al azar entre los que aparecen marcados, el equipo de evaluación de la defoliación, que había sido entrenado para el reconocimiento de los daños, recolectó 1 ramilla en la porción media de la copa orientada al Sur. Para cada una de las metidas se observó si aparecía el moteado clorótico, asignando un valor de 0 a 3 en función de la gravedad del daño (Tabla 1), se evaluaron las metidas presentes poniendo especialmente énfasis en la metida correspondientes al año anterior del año del muestreo. Para ello se disponen todas las acículas de la metida unas a lado de otras con la cara curva hacia arriba formando una superficie y se le asigna una de las clases de la tabla 1. Además de la presencia de moteado clorótico se valoró también en cada una de las metidas la presencia de cuerpos fructíferos de *Thyriopsis halepensis*.

Clase	Significado
0	No se aprecia moteado clorótico en ninguna de las acículas
1	Se aprecia moteado clorótico, que cubre menos del 25 % de la superficie
2	Se aprecia moteado clorótico, que cubre menos del entre el 26% y el 75% de la superficie
3	Se aprecia moteado clorótico, que cubre más del 75 % de la superficie

Tabla 1. Escala utilizada para la evaluación del moteado clorótico por ozono.

Daños por ozono en otras especies: Durante 1995 a 2000 se realizaron algunas observaciones no sistemáticas para la detección de daños por ozono en algunas de las parcelas de Nivel II de la Red, y en amplias zonas del Este peninsular. Para ello se siguieron una serie de reglas que permiten reconocer y diferenciar los daños por ozono, y el material gráfico disponible (JACOBSON & HILL 1970, SKELLY *et al.* 1987, FLAGER *et al.* 1998). Las indicaciones para reconocer los daños por ozono aparecen en la Tabla 2.

Localización del daño	Tipo de daño	Tipo
• Acículas 2ª metida, raramente en las del año en curso.	• Moteado clorótico difuso esparcido por toda la superficie.	Coníferas
• Hojas más viejas y expuestas al sol	• Punteaduras internerviales de diferente color, rojizo, marrón, amarillento, etc. en el haz.	Otros
	• Nunca afectan a los nervios.	
	• En las zonas de las hojas sombreadas por otras hojas no se aprecian daños.	
	• Se observan mejor al trasluz.	
	• Muy raramente se precian estos daños en el envés de la hoja.	

Tabla 2. Indicaciones para reconocer los daños producidos por ozono.

La identificación de los daños se realizó siempre a finales del verano (entre los años 1995 y 2000). En aquellos individuos que se apreciaron daños que podían ser debidos al ozono se recolectaron semillas, si estas estaban presentes, que posteriormente se germinaron y en condiciones controladas se expusieron a elevadas concentraciones de ozono en cámaras de techo descubierto (HEAGEL *et al.* 1970), con el objeto de reproducir y confirmar los daños observados en el campo. Con ello lo que se obtuvo es documentación gráfica de los daños producidos por el ozono en diferentes especies y una lista de especies sensibles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se aprecia un mapa de la Península Ibérica donde se representa el valor máximo de moteado clorótico alcanzado en cada parcela de Nivel I de *P. halepensis* para las acículas de la metida del año anterior al muestreo (valores según la escala descrita en el apartado de material y métodos). Este daño ha sido reproducido mediante fumigaciones con ozono por otros autores (MANINEN *coms. pers.*), y se ha observado en otros países circunmediterráneos como Grecia (VELISSARIOU *et al.*, 1992) y Francia (SANZ & CALATAYUD, no publicado), lo que indica que se encuentra ampliamente distribuido, confirmando el carácter regional de este contaminante y sus efectos. Como se puede observar en la Figura 1, son muchas las parcelas que presentaban síntomas. Estudios más detallados han demostrado que existe una buena correlación entre la aparición de este síntoma y la dinámica del ozono en la vertiente Este de la Península Ibérica (SANZ *et al.* 2000). Dado que con frecuencia se había observado que en diversas áreas donde existía moteado clorótico se presentaba también *Thyriopsis halepensis*, se pensó que este hongo podría estar relacionado con la aparición del moteado. Sin embargo, el muestreo extensivo de este hongo en las parcelas de Nivel I (Figura 2; acículas del año anterior al muestreo), evidencia que los patrones de moteado y *Thyriopsis* son diferentes. Por ello, y por investigaciones más detalladas realizadas recientemente (Calatayud *et al.* 2000), sobre el hongo y su fenología respecto a la aparición del moteado clorótico característico

del ozono, se descarta a *T. halepensis* como causa de dicho moteado.



Figura 1. Presencia/ausencia (círculo negro/blanco) del moteado clorótico, e intensidad según las clases pre-establecidas en el árbol más afectado (tamaño del círculo), en las parcelas de Nivel I.



Figura 2. Presencia/ausencia (círculo negro/blanco) de ascomas de *T. halepensis*, e intensidad según las clases pre-establecidas en el árbol más afectado (tamaño del círculo), en las parcelas de Nivel I.

Respecto a los daños observados en las otras especies, como resultado preliminar se presenta una lista de especies en las que se encontraron daños semejantes a los producidos por el ozono en el campo (Tabla 3). En la misma tabla aparecen reflejadas aquellas especies en las que los síntomas se han confirmado bibliográficamente (JACOBSON & HILL 1970, SKELLY et al. 199-, FLAGER et al. 1999) o en condiciones controladas (SKELLY et al. 1999, SANZ datos no publicados).

Árboles	Arbustos	Herbáceas
<i>Acer campestre</i> L.*	<i>Anthyllis cytisoides</i> L.*	<i>Abutilon theophrasti</i> Medik.

<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Sw. **	<i>Arbutus unedo</i> L. *	<i>Agrimonia eupatoria</i> L.
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaert. b	<i>Cistus salvifolius</i> L. *	<i>Calystegia sepium</i> (L.) R. Br.
<i>Cornus sanguinea</i> L. *	<i>Colutea arborescens</i> L. **	<i>Campanula</i> sp.
<i>Corylus avellana</i> L.	<i>Cytisus patens</i> L. *	<i>Clematis flammula</i> L.
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	<i>Lonicera etrusca</i> G. Sant.	<i>Clematis vitalba</i> L.
<i>Fagus sylvatica</i> L. b	<i>Lonicera implexa</i> Ait. *	<i>Colutea arborescens</i> L. **
<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl. *	<i>Lonicera xylosteum</i> L. *	<i>Chenopodium album</i> L.
<i>Fraxinus excelsior</i> L. b	<i>Myrtus communis</i> L. *	<i>Dittrichia viscosa</i> (L.) Greuter
<i>Fraxinus ornus</i> L.	<i>Pistacia lentiscus</i> L. *	<i>Epilobium angustifolium</i> (L.) Holub. **
<i>Juglans regia</i> L.	<i>Pistacia terebinthus</i> L. *	<i>Epilobium collinum</i> Gmelin *
<i>Morus nigra</i> L. b	<i>Prunus spinosa</i> L.	<i>Ipomea sagittata</i> Poir.
<i>Pinus halepensis</i> Mill. b	<i>Ricinus communis</i> L.	<i>Oenothera rosea</i> L. 'Hér. ex Aiton **
<i>Pinus pinea</i> L.	<i>Rhamnus alaternus</i> L. *	<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch. b
<i>Populus alba</i> L.	<i>Ricinus communis</i> L. *, **	<i>Plantago lanceolata</i> L.
<i>Populus nigra</i> L. *	<i>Rosaceae canina</i> L.	<i>Potentilla</i> sp.
<i>Prunus dulcis</i> D.A. Webb **	<i>Rubia peregrina</i> L. *	<i>Ranunculus aff. repens</i> L.
<i>Robinia pseudoacacia</i> L. b	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott	<i>Rubia peregrina</i> L.
<i>Salix aff. triandra</i> L.	<i>Sambucus ebulus</i> L.	<i>Rumex pulcher</i> L. **
<i>Ulmus minor</i> Mill. *	<i>Sambucus nigra</i> L.	<i>Solanum linnaeanum</i> Hepper et Haeger
	<i>Syringa vulgaris</i> L.	<i>Verbascum sinuatum</i> L. **
	<i>Viburnum tinus</i> L.	<i>Vinca difformis</i> Pourr. *

Tabla 3. Lista de especies en las que se han observado daños en campo que podrían ser debidos al ozono, entre 1995 y 2000. (*) confirmadas con OTCs en Valencia (CEAM), (**) confirmadas con fitotrones en Pensilvania (Penn State University/CEAM) y (b) confirmadas comparando con documentación gráfica publicada.

CONCLUSIONES

La extensión de los daños visibles atribuibles a ozono en el pino carrasco, sugiere que las concentraciones de ozono son lo suficientemente altas para producir daños en extensas áreas del Este Peninsular (donde esta especie es más abundante). Además, este daño se encuentra en otros países circunmediterráneos como Francia y Grecia, y muy probablemente en Italia.

Daños foliares inducidos por el ozono se han detectado así mismo en otras especies de árboles y del sotobosque en algunas de las parcelas de Nivel II de la Red y en abundantes localizaciones exploradas en el Este peninsular.

La aparición de daños en amplias áreas confirma algunos de los datos disponibles de las redes de calidad del aire y algunos modelos que reproducen para el Sur de Europa elevadas concentraciones de ozono en amplias zonas.

Los daños visibles se manifiestan como una herramienta muy útil para detectar la presencia de concentraciones de ozono potencialmente dañinas para nuestros bosques. Así se considera de gran utilidad la confección de listas de especies sensibles, y el entrenamiento de la guardería y equipos de evaluación en campo para el reconocimiento de los daños por ozono en especies arbóreas y de sotobosque, así como en especies que puedan aparecer en claros y caminos forestales.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha contado con el apoyo institucional de la Generalitat Valenciana, BANCAIXA y de la DG VI de la Unión Europea. El Dr. J. Skelly (Penn State University, EEUU) ha guiado el planteamiento inicial y las cuestiones metodológicas de los trabajos. La labor de los equipos de campo, en especial Fernando Mayo, ha contribuido eficazmente a la obtención de la información sobre el terreno.

BIBLIOGRAFÍA

- BASTRUP-BIRK, A.; BRANDT, J.; ZLATEV, Z. & URIA, I.; (1997). Studying cumulative ozone exposures in Europe during a 7-year period. *Journal of Geophysical Research* 102: 23917–23935.
- BUTKOVIC, V.; CVITAS, T. & KLASING, L.; (1990). Photochemical ozone in the Mediterranean. *The Science of the Total Environment* 99: 145–151.
- CALATAYUD, V.; MUÑOZ, C.; HERNÁNDEZ, R.; PÉREZ-FORTEA, V.; SANZ, M.J.; SOLDEVILLA, C. & SÁNCHEZ, G.; (2000). Seguimiento de daños en acículas de *Pinus halepensis* en localidades de Teruel y Castellón (España). *Ecología* 14:157-167
- DAVIS, D.D. & SKELLY, J.M.; (1992). Growth response of four species of eastern hardwood tree seedlings exposed to ozone, acidic precipitation, and sulfur dioxide. *Jour. of Air Pollut. Control*

Assoc. 42: 309–311.

DAVISON, A.W.; VELISSARIOU, D.; BARNES, J.D.; GIMENO, B. & INCLAN, R.; (1995) The use of Aleppo pine, *Pinus halepensis* Mill as a bioindicator of ozone stress in Greece and Spain. En: MUNAWAR, M.; HÄNNINEN, O.; ROY, S.; MUNAWAR, N.; KÄRENLAMPI, L.; BROWN D. (eds) Bioindicators of Environmental Health. Ecovision World Monograph Series. Amsterdam, SPB Academic Publishing. pp. 63–72.

EMEP Report (1995). NMI Blindern, Norway.

EMEP Report (1998). MSC-W Status report: Calculations of tropospheric ozone and comparison with observations. NMI Blindern, Norway. pp. 71.

FLAGLER, B. (1998). *Recognition of air pollution injury to vegetation: A Pictorial atlas*. 2nd Edition. Air & Waste Management Association. Pittsburgh.

FUHRER, J. (1994). The critical level for ozone to protect agricultural crops- an assessment of data from European open-top chamber experiments. En: FUHRER, J.; ACHERMAN, B. (eds.). Critical Levels for Ozone. FAC Schriftenreihe 16: 42–57.

GARREC, J-P.; (1994). Les dépérissements littoraux d'arbres forestiers. Rev. For. Fr. 46: 454–457.

GIMENO, B.S.; VELISSARIOU, D.; BARNES, J.D.; INCLÁN, R.; PEÑA, J.M. & DAVISON, A.; (1992) Daños visibles por ozono en acículas de *Pinus halepensis* Mill. en Grecia y España. Ecología 6: 131–134.

JACOBSON, J.S. & HILL, A.C. (1970). *Recognition of air pollution injury to vegetation: A Pictorial atlas*. Pittsburgh: Air Pollution Control Association.

LIEBOLD, E., (1988). Wirkungsmodell der längerfristigen Schadensprognose im SO₂-geschädigten Fichtenwald. Wiss. Z. Techn. Uni. Dresden 37: 243–247.

MILLÁN, M.M.; ARTIÑANO, B.; ALONSO, L.; CASTRO, M.; FERNANDEZ-PATIER, R. & GOBERNA, J.; (1992). *Meso-meteorological cycles of air pollution in the Iberian Peninsula, (MECAPIP)*. Air Pollution Research Report 44, (EUR N° 14834). Brussels, European Commission DG XII/E-1.

MILLÁN, M.M.; SALVADOR, R.; MANTILLA, E. & KALLOS, G., (1997). Photo-oxidant dynamics in the western Mediterranean in summer: Results from European research projects. J. Geophys. Res. 102: 8811–8823.

MILLER, P.R., (1973). Oxidant-induced community change in a mixed conifer forest. Adv. Chem. Ser. 122: 101–117.

MILLER, P.R. & MILLECAN, A.A., (1971). Extent of air pollution damage to some pines and other conifers in California. Plant Disease Reports 55: 555–559.

MILLER, P.R. & PARMETER, J.R.; (1967). Effects of ozone injury to ponderosa pine. Phytopathology 57: 822.

NAVEH, Z.; STEINBERGER, E.H.; CAHIM, S.; ROTMANN, A.; (1980). Photochemical air pollutants. A threat to Mediterranean coniferous forest and upland ecosystems. Environmental Conservation 7: 301–309.

PRINZ, B.; KRAUSE, G.H.M. & STRATMANN, H. (1982). Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland. LIS-Berichte 28. Essen, Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

SANZ, M.J. & CALATAYUD, V. (1997). An example of combined studies: Mesoscale ozone distribution and its effects on forest species (*Pinus halepensis* Mill.). Submitted to I Technical Workshop on Ozone Pollution in Southern Europe. Valencia, 1997.

SANZ, M.J. & MILLÁN, M.M.; (1998). The dynamics of polluted airmasses and ozone cycles in the western Mediterranean: relevance of forest ecosystems. Chemosphere 36: 1089–1094.

SANZ, M.J.; CALATAYUD, V. & CALVO, E. (2000). Spatial pattern of ozone injury in Aleppo pine related to air pollution dynamics in a coastal-mountain region of eastern Spain. Environmental Pollution 108: 239–247

SIMINI, M.; SKELLY, J.M.; DAVIS, D.D.; SAVAGE, J.E. & COMRIE, A.C.; (1992). Sensitivity of four hardwood species to ambient ozone in north central Pennsylvania. Can. J. For. Res. 22: 1789–1799.

SKELLY, J.; DAVIS, D.; MERRILL, W.; CAMERON, A.; BROWN, H.D.; DRUMMOND, D.B. & DOCHINGER, L.S.; (1987). *Diagnosing Injury to Eastern Forest Trees. A manual for identifying damage caused by air pollution, pathogens, insects and abiotic stresses*. USDA-Forest Service,

Forest Response Program. PenState University. 122 pp.

SKELLY, J.; INNES, J.; SAVAGE, J.E.; SNYDER, K.R.; VANDERHEYDEN, D.; ZHANG, J. & SANZ, M.J.; (1999). Observation and confirmation of foliar ozone symptoms of native plants species of Switzerland and southern Spain. *Water, Air, and Soil Pollution* 116: 227-234.

VELISSARIOU, D.; BARNES, J.D.; DAVISON, A.W.; PFIRRMANN, T.; MACLEAN, D.C.; HOLEVAS, C.D.; (1992). Effects of air pollution on *Pinus halepensis* (Mill.): Pollution levels in Attica, Greece. *Atmospheric Environment* 26A: 373–380.

VELISSARIOU, D.; GIMENO, B.S.; BADIANI, M.; FUMGALLI, I. & DAVISON, A.W.; (1996). Records of ozone visible injury in the ECE Mediterranean region. En: KÄRENLAMPI, L.; SKÄRBY, L. (eds). *Critical levels for ozone in Europe: Testing and Finalizing the concepts*. UN-ECE Workshop Report. Kuopio, Univ. of Kuopio. pp. 343–350.