

Efectes de les emissions de SO₂ de la central tèrmica de Cercs (Alt Berguedà) sobre els boscos de *Pinus sylvestris* L.

Lluís Ferrés

Departament d'Ecologia. Facultat de Ciències. Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra (Barcelona).

Key words: air pollution, foliar sulphur, *Pinus sylvestris*, power plant, sulphur dioxide.

Abstract. *Effects of SO₂ emissions from the Cercs power plant (Alt Berguedà, Barcelona, NE Spain) on Pinus sylvestris L. forests.* Sulphur contents of needles of *P. sylvestris* have been determined at 8 sampling stations, between 2.5 and 15 km away from the 170 MW, coal-fired power plant. Foliar sulphur ranges from normal values (0.92 mg g⁻¹) in the sites farthest from the power plant to values five to eight times higher in the nearest sites. These values are consistent with the current condition of the forest, that ranges from apparently healthy in the farthest sites to almost completely dead in the nearest sites. It is concluded that the emissions of SO₂ from the power plant have caused the deterioration and death observed in these forests.

Resum. S'han mesurat els continguts foliars de sofre en *P. sylvestris* a 8 estacions de l'Alt Berguedà, situades a distàncies de la central que varien entre 2.5 i 15 km. Els continguts foliars de sofre, que van des de valors normals a les estacions més allunyades (0.92 mg g⁻¹) fins a valors 5-8 vegades superiors a les més properes, són concordants amb l'aspecte del bosc, que varia desde bosc aparentment sà a les més allunyades fins a pràcticament mort a algunes de les més properes. Concluïm que la causa de malaltia i mort d'aquests boscos és el SO₂ emès per la central.

Introducció

Les centrals tèrmiques són sovint focus emissors importants de diòxid de sofre (SO₂), especialment quan cremen carbó amb alt contingut de sofre (S) i no disposen de sistemes de desulfuració, com és el cas de la central tèrmica de Cercs (Alt Berguedà).

El SO₂ és un gas tòxic per a les plantes i són ben conegudes tant la sensibilitat de diferents espècies com la simptomatologia que provoca (Manning & Feder 1982, The Royal Society 1984). De manera resumida podem dir que les fulles de les plantes absorbeixen el SO₂ a través dels estomes; dintre de la fulla, el SO₂ és oxidat a ió sulfít i aquest, més lentament, a ió sulfat. El primer és molt tòxic i provoca desgradació de la clorofil·la i altres danys metabòlics i estructurals, mentre que el segon és molt menys tòxic. Si les concentracions de SO₂ són altes durant períodes llargs apareixen els efectes de toxicitat del ió sulfít (Manning & Feder 1982). En àrees

contaminades, les fulles acumulen S en funció de (1) les característiques de l'espècie, (2) de la concentració de SO_2 a l'aire, i (3) del temps que hi han estat exposades. Això fa que les variacions de les concentracions de S en les fulles d'una determinada espècie siguin molt útils com a índexs de contaminació, sempre i quan coneguem els valors de les concentracions de S en zones poc o gens contaminades.

Malcolm & Garforth (1977) proposen com a índex del grau de contaminació no la concentració de S en fulles, sinó l'excés de concentració de S deduït de la comparació entre les relacions sofre/nitrogen en el lloc estudiat i en llocs incontaminats. Això es basa en que la proporció S/N està controlada genèticament (per a moltes espècies té valors entre 0.025 i 0.035 si ho expressem en àtoms-gram) i es pot considerar que el S en excés és degut a l'acumulació d'aquest element a partir del SO_2 atmosfèric.

En aquest article exposem els resultats obtinguts sobre les concentracions foliars de S i N en fulles de pi roig (*Pinus sylvestris*) de diferents llocs de l'Alt Berguedà. El motiu d'aquest estudi és el mal estat dels boscos de pi roig d'aquesta zona propera a la central tèrmica de Cercs: a El Portet (a 2-3 km de la central) molts pins han mort en els darrers anys, essent la mortalitat gairebé total en determinades zones properes a la central; en llocs més allunyats, hi ha una freqüència anòmalament alta de pins malaltissos, amb símptomes que fan pensar en efectes de la contaminació per SO_2 .

L'objectiu del treball ha estat determinar si la causa d'aquesta malaltia i mort era la contaminació per SO_2 , així com determinar fins a quina distància de la central s'apreciaven els seus efectes, sense pretendre, però, delimitar la superfície afectada.

Material i mètodes

Es van seleccionar 8 estacions de mostratge (Fig. 1) a diferents distàncies de la central. Les estacions 1, 2 i 3 es troben al cim d'El Portet (1300 m. snm), les estacions 4 a 7 estan a la vall de Saldes (1200-1300 m snm) a distàncies progressivament creixents de la central, i l'estació 8 es troba a La Nou. En cadascuna de les estacions agafarem mostres de fulles de branques altes de 5-10 pins vius; les fulles corresponents a cada estació van ésser assecades en estufa a 80°C i triturades.

El contingut total de S en fulles s'analitzà per turbidimetria amb clorur de bari (Hunt 1980) prèvia incineració amb microcàmera de combustió d'oxigen emprant una solució de H_2O_2 com a captadora (Macdonald 1961). El N total en fulles es determinà pel mètode de Kjeldahl prèvia digestió del material amb àcid sulfúric concentrat (Bremner 1960).

Resultats

A la Taula 1 presentem els valors obtinguts en les anàlisis de S i N foliars,

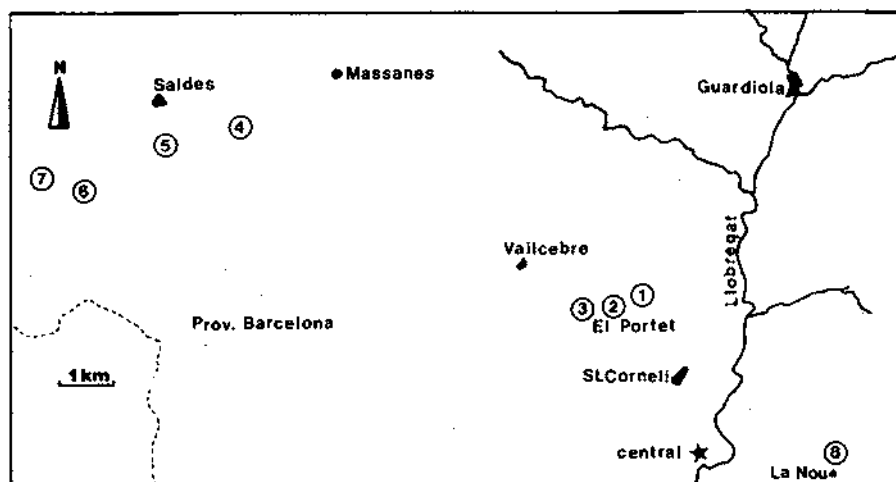


Figura 1. Situació de les 8 estacions de mostreig a l'Alt Berguedà.

Taula 1. Concentracions de sofre i nitrogen a les fulles de pi roig als boscos de 8 estacions de l'Alt Berguedà.

Estació	Localitat	Sofre ^a	Nitrogen ^a	Relació Sofre/Nitrogen ^b	Sofre predit ^c	Excés de Sofre ^d
1	El Portet	7.85	14.6	0.235	1.27	6.58
2	El Portet	4.66	12.1	0.169	1.05	3.61
3	El Portet	3.33	12.0	0.122	1.04	2.29
4	Maçaners-Saldes	2.49	11.6	0.094	1.00	1.49
5	Saldes	1.47	9.4	0.068	0.82	0.65
6	L'Aspà	1.38	10.0	0.061	0.87	0.51
7	Coll de la Trapa	0.92	10.7	0.038	0.92	0.00
8	L'Anou	2.13	11.1	0.084	0.96	1.17
Malcolm & Garforth (1977) ^e		0.88	15.7	0.028	0.88	0.00

^a Concentracions en miligram de sofre (o nitrogen) per gram de pes sec de fulla. La mostra analitzada inclou fulles de totes les edats.

^b Quocient molar de les concentracions de sofre i nitrogen.

^c Concentració de sofre (miligramms per gram de fulla) que tindrien les fulles si tinguessin la relació sofre/nitrogen de l'estació 7 (no contaminada).

^d Diferència entre el sofre mesurat a les fulles i el sofre predit. És una estimació del sofre foliar procedent de la contaminació per SO₂.

^e Valors mitjans en 5 boscos no contaminats de pi roig a Escòcia.

així com la relació S/N, la quantitat de S predita a partir de la concentració de N, i l'excés de S.

L'estació més allunyada de la central (7) és la que té una menor concentració de S en les fulles, amb 0.92 mg g^{-1} ; aquest valor és molt semblant al de 0.88 mg g^{-1} trobat per Malcolm & Garforth (1977) com a mitjana de 5 boscos de pi roig de llocs no contaminats d'Escòcia. Considerem, doncs, aquest nivell de S foliar com el de referència, ja que indica que aquesta localitat està escassament contaminada per SO_2 . La relació S/N d'aquesta estació és de 0.038, i encara que és superior a la mitjana donada pels autors abans citats (0.028) i podria indicar ja un cert grau de contaminació, la prenem com a valor de referència per a la zona.

La situació canvia dràsticament a la resta de les estacions. A la vall de Saldes (estacions 5 i 6) el nivell de S en les fulles és un 50-60% superior al normal. Entre Saldes i Maçaners (estació 4) i a La Nou (estació 8) les concentracions foliars de S són ja més del doble de les normals. A El Portet els valors de S en fulles arriben a xifres extraordinàriament altes, essent 5 vegades superiors als normals a l'estació 2 i 8 vegades superiors a l'estació 1.

Discussió

Aquests valors de S i d'excés de S calculat a partir de la relació S/N concorden molt bé amb l'aspecte i simptomatologia externa dels boscos estudiats:

- a) A les estacions 5, 6 i 7 (les més allunyades de la central), els valors de S són baixos i l'aspecte del bosc és aparentment normal, exceptuant una lleugera clorosi apical de les fulles.
- b) A les estacions 3, 4 i 8, els valors de S són ja de més del doble dels normals i, encara que tots els arbres estan vius, un percentatge important dels pins (10-15%) presenten diferents graus de clorosi, necrosis foliars i defoliació parcial.
- c) A l'estació 2, el contingut foliar de S és 5 vegades superior al normal, hi ha un 65% dels pins morts i la major part dels vius presenten graus avançats de necrosi i defoliació. Les branques no produeixen pinyes i no hi ha regeneració per germinació.
- d) A l'estació 1, amb valors de S en fulles 8 vegades superiors als normals, el 95% dels arbres estan morts (segurament molts ja fa més de 4 anys que varen morir). Els pocs pins vius estan pràcticament defoliats i amb fulles molt necròtiques, no havent-hi regeneració per germinació.

Aquesta coincidència entre la simptomatologia externa deguda a contaminació per SO_2 (Manning & Feder 1982) i excés de S en les fulles, permet afirmar que la causa de la malaltia i mort d'aquests pins és la contaminació per SO_2 produïda per la central tèrmica de Cercs. Això està recolzat, a més, per les observacions relatives a les espècies de líquens epífits presents a 5 de les estacions i per l'estudi dels creixements radials d'uns quants

arbres vius de l'estació 1. A les estacions més contaminades (1, 2 i 3) hi ha poques espècies de líquens (1, 5 i 6 respectivament) representades per individus moribunds, mentre que a les estacions 6 i 7 apareixen ja 15 i 12 espècies respectivament, representades per individus ben desenvolupats i sense símptomes externs anormals. En els arbres estudiats de l'estació 1, s'observen 8-10 anells de creixement, corresponents als últims anys, molt estrets (només dècimes de mm) i que desapareixen en algunes zones del tronc; això indica que les anomalies de creixement varen començar l'any 1975 ó 1976 i és plenament consistent amb la hipòtesi de què la seva causa és la contaminació produïda per la central, que funciona des de l'any 1971.

No hem intentat determinar l'àrea afectada, però cal remarcar que s'aprecien símptomes de malaltia en boscos situats a 10 km de la central. La orografia complicada, que imposa vies preferents de dispersió dels contaminants, fa que estacions situades a distàncies semblants de la central (1, 2, 3 i 8) presentin graus d'afectació molt diferents. Malgrat això, hi ha una bona correlació negativa entre el contingut de S en fulles i la distància a la central tèrmica ($r = -0.69$, $P < 0.05$). La correlació és encara una mica millor ($r = -0.73$, $P < 0.05$) si considerem la relació S/N en lloc de la concentració foliar de S, el qual està a favor de l'ús d'aquest quocient com a indicador de contaminació.

L'efecte de l'orografia en la dispersió dels contaminants es posa de manifest si en els càlculs d'aquestes correlacions eliminem l'estació 8 (La Nou) i considerem només les restants, situades totes en una mateixa direcció. En aquest cas, els coeficients de correlació amb la distància a la central pugen a $r = -0.84$ pels continguts de S i a $r = -0.88$ pels quocients S/N ($P < 0.01$ en ambdós casos).

La correlació negativa entre el contingut (o excés) de S en fulles i la distància al focus emissor ha estat trobada en altres casos. Així, Malcolm & Garforth (1977) troben una correlació de $r = -0.75$ ($P < 0.05$) entre l'excés de S en fulles de pi roig i la distància al focus emissor i, malgrat afirmar que caldria conèixer els nivells de SO₂ en cadascuna de les estacions estudiades, consideren que la correlació detectada suposa una evidència circumstancial de l'efecte de la contaminació.

Es pot pensar que, de no reduir-se les emissions de SO₂, no es podrà evitar el deteriorament progressiu de superfícies extenses de boscos de l'Alt Berguedà, ni recuperar tampoc les àrees avui greument danyades.

Agraïments

Agraïm a Antoni Escarré els suggeriments fets al manuscrit, i a Ferran Rodà la informació sobre els líquens epífits.

Bibliografia

- Bremner, J.M. 1960. Determination of nitrogen in soils by the Kjeldahl method. *J. Agric. Sci.* 55:11-33
- Hunt, J. 1980. Determination of total sulphur in small amounts of plant material. *Analyst* 105:83-85.
- Macdonald, A.M.G. 1961. The oxygen flask method: A review. *Analyst* 86:3-12.
- Malcolm, D.C. & Garforth, M.F. 1977. The sulphur/nitrogen ratio of conifer foliage in relation to atmospheric pollution with sulphur dioxide. *Pl. Soil* 47:89-102.
- Manning, W.J. & Feder, W.A. 1982. *Biomonitoring Air Pollutants with Plants*. Applied Science Publishers. London.
- The Royal Society. 1984. *The Ecological Effects of Deposited Sulphur and Nitrogen Compounds*. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* B305:259-577.

Manuscrit rebut el 19 de novembre de 1985.