

Anex IV

Informe pericial sobre els efectes de la contaminació produïda per la Central Tèrmica de Cercs en els boscos de la zona

Maig 1985.

Dr. Lluís Ferrés i Gurt
Dr. Ferran Rodà de Llanza

Professors Titulars d'Ecologia, U.A.B.

Antecedents i objectius

Al lloc anomenat El Portet (municipi de Vallcebre), situat a 2-3 km de la central tèrmica de Cercs, molts pins rojalets (*Pinus sylvestris*) han mort als darrers anys. En algunes parts d'El Portet pràcticament tots els arbres estan morts, mentre que en altres hi ha un 10-20% de pins morts i la major part de la resta dels pins estan visiblement danyats. En altres llocs de l'Alt Berguedà, a majors distàncies de la central, hi ha una freqüència anualment alta de pins rojalets malaltissos.

L'objectiu d'aquest informe és determinar les causes de la malaltia i mort del pi rojalet. En particular, hem buscat evidències de camp que permetin comprovar o descartar la hipòtesi de que la mort dels pins és deguda a la contaminació atmosfèrica produïda per la central tèrmica de Cercs. Hem examinat aquesta hipòtesi utilitzant tres criteris:

- (1) concentracions de sofre en les fulles dels pins.
- (2) creixement diamètric dels troncs.
- (3) avaluació del grau de contaminació mitjançant l'ús dels

líquens epífits (que viuen sobre els troncs) com a bioindicadors.

Cal remarcar que no són els objectius d'aquest informe determinar la superfície dels boscos afectats ni quantificar les pèrdues econòmiques per disminució dels rendiments forestals.

Relevància dels criteris emprats

El sofre contingut en els hidrocarburs fòssils és emès a l'atmosfera, després de la combustió d'aquests, en forma de diòxid de sofre (SO_2), també anomenat anhidrid sulfurós. Les centrals tèrmiques són sovint els focus emissors puntuals més importants de SO_2 , especialment quan cremen carbó d'alt contingut de sofre, com és el cas de la central de Cercs.

El SO_2 és un gas tòxic per a les plantes i existeix una abundant bibliografia que descriu els seus efectes sobre els vegetals. Ens remetim a les obres Biomonitoring Air Pollutants with Plants (W.J. Manning i W.A. Feder, Applied Science Publishers, London, 1982) i The Ecological Effects of Deposited Sulphur and Nitrogen Compounds (Proceedings of the Symposium of the Royal Society of London, London, 1984).

D'una manera resumida, poden dir que les fulles de les plantes absorbeixen el SO_2 a través dels seus estomes (porus microscòpics de l'epidermis foliar). Dintre de la fulla el SO_2 es transforma a ió sulfit, el qual ocasiona la degradació de la clorofil·la i altres danys metabòlics i estructurals. En àrees contaminades les fulles acumulen sofre en funció de les característiques de l'espècie, de la concentració de SO_2 a l'aire i del temps que hi han estat exposades. Això fa que les variacions de les concentracions de sofre en les fulles d'una determinada espècie siguin molt útils com a índex de contaminació, sempre i quan coneguem els valors "normals" de sofre que s'obtidrien en una zona poc o gens contaminada.

La simptomatologia externa dels danys per SO_2 en els pins es pot descriure com una sèrie d'etapes progressives:

- (1) primerament apareix una clorosi apical en les fulles: les

puntes es tornen grogues. La clorosi s'extèn cap a la base de les fulles.

- (2) posteriorment, la clorosi dona pas a una necrosi (mort dels teixits) que pot afectar a la meitat terminal de la fulla o a la fulla sencera. Les fulles necròtiques tenen color marró.
- (3) les fulles cauen prematurament: es produeix una defoliació parcial de l'arbre. Les capçades es veuen esclarissades i les branques tenen un aspecte característic perquè només conserven un pinsell terminal de fulles i aquestes són de longitud reduïda.
- (4) les branques deixen de fructificar i de formar brots d'elongació.
- (5) en aquestes condicions, l'arbre perd vigor i el creixement del tronc en diàmetre es veu molt minvat. Els anells anuals de fusta esdevenen molt estrets i poden desaparèixer del tot.
- (6) arriba un moment en què la quantitat de fulles verdes és insuficient per mantenir l'arbre o, alternativament, aquest està tan debilitat que no pot resistir factors addicionals de stress (com un eixut o un atac de fongs o insectes), dels quals en condicions normals es recuperaria, i l'arbre mor.

Examinant els anells anuals de la fusta del tronc poden determinar quant temps fa que l'arbre té problemes de creixement. Això no demostra quina és la causa del problema però ajuda a excloure possibilitats. En el nostre cas, si la contaminació produïda per la central fos la causa de la mort dels pins, la devallada del creixement dels troncs es tindria que haver manifestat uns pocs anys després d'entrar en funcionament la central.

Els líquens epífits són en general força sensibles a la contaminació per SO_2 . Hi ha moltes espècies de líquens, les quals varien en el seu grau de sensibilitat. A mesura que augmenta la contaminació, desapareixen primer les espècies més sensibles, mentre que les més resistents són cada cop menys abundants, quedar restringides a les bases dels troncs, i desapareixen progressivament. Aquestes propietats fan que els líquens epífits siguin un grup d'organismes molt utilitzats arreu del món com a bioindicadors de contaminació de l'aire. Ens referim a l'obra Air Pollution and Lichens (B.W. Ferry, M.S. Baddley i D.L. Hawksworth (eds.), The Athlone Press, London, 1973).

Mètodologia de treball

Heu examinat els boscos de pi rojalet en 8 estacions de mostrejatge. La situació de les estacions es pot veure al mapa adjunt. En resum, les estacions 1, 2 i 3 es troben al cim d'El Portet, a uns 1300 m d'altitud. Les estacions 4 a 7 estan a la vall de Saldes, a altituds entre 1200 i 1300 m, i a distàncies progressivament creixents de la central. L'estació 8 es troba a L'Anou, a uns 1000 m d'altitud.

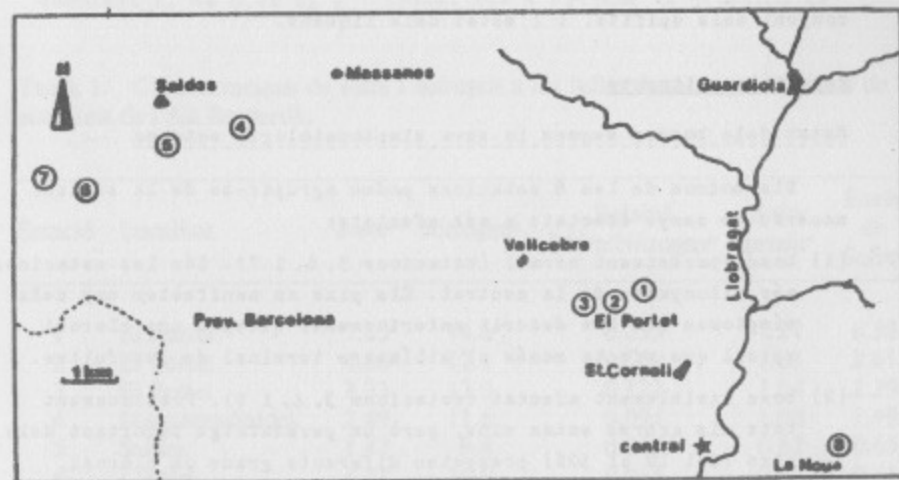


Figura 1. Situació de les 8 estacions de mostrejatge a l'Alt Berguedà.

El 5 de febrer de 1985 agafàrem mostres de fulles de branques altes de 5 a 10 pins vius en cadascuna de les 8 estacions. L'anàlisi del contingut total de sofre l'hem realitzada per turbidimetria amb clorur de bari prèvia incineració en microcàmera de combustió a l'oxigen. Hem analitzat també, pel mètode Kjeldahl, el contingut de nitrogen de les fulles, perquè la relació sofre/nitrogen ens pot ajudar a interpretar els resultats. La bondat de les determinacions de sofre i nitrogen ha estat comprovada amb patrons foliars internacionals, amb resultats satisfactoris.

Per mesurar el creixement diamètric dels troncs agafàrem, amb la barrina Pressler, sondes de fusta d'arbres vius a les estacions 1, 2 i 6. A l'estació 1 agafàrem també discs de troncs de 10 pins vius. Totes les sondes i els discs els agafàrem a 1,30 m del terra, l'alçada convencional en estudis forestals.

A les estacions 1, 2, 3, 6 i 7 realitzàrem un inventari detallat de les espècies de líquens epífits que creixien sobre els troncs dels pins, des de la base fins a 2 m d'alçada. Registràrem l'abundància de cada espècie, l'alçada màxima del tronc colonitzada per líquens, el percentatge de la superfície del tronc recobert pel conjunt dels epífits, i l'estat dels líquens.

Resultats obtinguts

Estat dels boscos segons la seva simptomatologia externa

Els boscos de les 8 estacions poden agrupar-se de la següent manera, de menys afectats a més afectats:

- (1) bosc aparentment normal (estacions 5, 6, i 7). Són les estacions més allunyades de la central. Els pins no manifesten cap dels símptomes que hem descrit anteriorment, excepte una clorosi apical que afecta només al mil·límetre terminal de les fulles.
- (2) bosc visiblement afectat (estacions 3, 4, i 8). Pràcticament tots els arbres estan vius, però un percentatge important dels pins (del 10 al 50%) presenten diferents graus de clorosi, necrosi i defoliació parcial.
- (3) bosc greument afectat (estació 2). Hi ha un 65% de pins morts, i la major part dels arbres vius presenten graus avançats de necrosi i defoliació. Les branques no produeixen pinyes, i no hi ha regeneració per pins germinats de nou.
- (4) bosc mort (estació 1). El 95% dels arbres estan morts. Pel seu aspecte, la major part d'aquests pins devien morir fa entre 4 i 7 anys. Els pocs pins que encara queden vius han perdut gairebé totes les fulles, i les que els hi queden estan necròtiques en gran part. No hi ha regeneració per pinets germinats.

Els símptomes externs que acaben d'exposar per al conjunt de les estacions mostrejades són plenament consistents amb la hipòtesi

de que la malaltia i mort dels pins són degudes a contaminació de l'aire per SO_2 .

Concentracions de sofre a les fulles dels pins

A la Taula 1 presentem els resultats obtinguts en les anàlisis de sofre foliar. L'estació 7, la més allunyada de la central, és la que té una menor concentració de sofre a les fulles, amb 0,92 mil·ligrams de sofre per gram de pes sec de fulla (en endavant ho abreviarem mg S g^{-1} ó, senzillament, mg g^{-1}). Aquest valor és molt semblant al de 0,88 mg g^{-1} trobat com a mitjana de 5 boscos de

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 mil·ligram 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 (mil·ligrams 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 SO_2 .

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

pi rojalet en llocs no contaminats d'Escòcia (D.C. Malcolm i M.F. Garforth, The sulphur/nitrogen ratio of conifer foliage in relation to atmospheric pollution with sulphur dioxide, Plant and Soil, 47:89-102, 1977). Per tant, considerem que els nivells de sofre a les fulles dels pins de l'estació 7 indiquen que aquesta localitat està en l'actualitat escassament contaminada per SO_2 .

La situació canvia dràsticament a la resta de les estacions. A la vall de Saldes (estacions 5 i 6) el nivell de sofre a les fulles és ja un 50-60% més alt que el nivell normal. Entre Saldes i Massaners (estació 4) i a L'Anou (estació 8) les concentracions foliars de sofre són més del doble de les normals. Al Portet, els valors de sofre arriben a xifres extraordinàriament altes, essent cinc vegades superiors a les normals a l'estació 2, on el bosc es troba greument afectat, i més de vuit vegades superiors a les normals a l'estació 1, on pràcticament tots els pins estan morts.

El sofre és un element essencial per a la nutrició dels vegetals i es podria pensar que les variacions de les concentracions foliars d'aquest element podrien ser degudes a diferències en els sòls o a altres factors independents de la contaminació. De fet, aquesta possibilitat es pot rebutjar perquè els nivells de sofre que hem trobat a la majoria de les estacions són excessivament alts, però per adquirir una major certesa hem analitzat també el nitrogen de les fulles. Sofre i nitrogen formen part de les proteïnes foliars i, en llocs no contaminats, el quocient entre les concentracions d'ambdós elements és força constant per cada espècie (D.C. Malcolm i M.F. Garforth, treball citat). Per tant, a partir de les concentracions de nitrogen en les fulles de cada estació i de la relació sofre/nitrogen en un lloc no contaminat (estació 7), podem predir quina seria la concentració de sofre foliar de cada estació si no hi hagués contaminació. La diferència entre el sofre així predit i el realment mesurat a cada lloc és el que anomenem "excés de sofre", excés que seria degut a l'acumulació de sofre foliar en una atmosfera contaminada. A la Taula 1 recollim els resultats d'aquest exercici. Es pot veure que la major part del sofre que contenen les fulles de pi, especialment a les estacions 1, 2, 3, 4 i 8, es sofre en excés.

La conclusió clara d'aquest apartat és que els pins rojalets

dels boscos que hem estudiat tenen, excepte a l'estació 7, nivells molt alts de sofre foliar, nivells que arriben a ser tòxics en les estacions més afectades (M. Keller, Direct effects of SO_2 on trees, Phil. Trans. R. Soc. London, B305:317-326, 1984). Aquestes elevades concentracions de sofre només poden ser degudes a que els pins hagin estat exposats durant un temps considerable a una atmosfera fortament contaminada amb SO_2 . A l'Alt Berguedà, l'única font capaç d'emetre quantitats enormes de SO_2 és sense dubte la central tèrmica de Cercs.

Creixement diamètric dels troncs

Vàrem estudiar el creixement dels troncs en diàmetre a les estacions 1, 2 i 6. A l'estació 6, on el bosc no presenta símptomes externs anòmals i les concentracions de sofre a les fulles no arriben al doble del nivell normal, el creixement dels troncs sembla ser normal. L'amplada mitjana dels anells anuals de fusta és superior al mil·límetre i, alguns anys, arriba als 2-3 mil·límetres. La sincronització entre les dues sondes de fusta preses de cada arbre és bona (es corresponen bé els anells de creixement d'ambdues sondes) i això ens indica que no hi ha anomalies detectables.

En canvi, a l'estació 2, amb el bosc greument afectat i nivells de sofre foliar cinc vegades superiors als normals, els creixements dels darrers 8 ó 10 anys són febles (1 mil·límetre o menys d'increment radial anual) i apareixen asincronies entre les dues sondes de cada arbre.

A l'estació 1, la més dràsticament afectada, les dificultats de sincronització han estat grans i hem tingut que recórrer a l'estudi de discs sencers del tronc, els quals permeten una millor observació dels anells de creixement. Hem trobat que els anells dels darrers 9 ó 10 anys són molt estrets: cada anell té unes poques dècimes de mil·límetre d'amplada. A més, aquest grup compacte d'anells desapareix totalment en alguns troços de la secció, fenomen que origina les dificultats de sincronització en els parells de sondes radials de cada arbre.

Concluem que, als boscos més afectats, els creixements dels pins que encara queden vius s'han vist reduïts de manera abrupta

des de fa 9-10 anys. En el moment del nostre mostrejat, el darrer anell anual que es podia haver format era el corresponent a 1984. Per tant, la severa reducció del creixement dels pins començà el 1975 ó 1976, o una mica abans si els pins moribunds d'El Portet no han format anell de creixement els darrers anys. Aquesta estimació del moment en què començaren les anomalies de creixement és plenament consistent amb la hipòtesi de que la seva causa és la contaminació produïda per la central, la qual opera a partir de 1971.

Líquens epífits com a indicadors de contaminació

Vàrem examinar els líquens epífits a les estacions 1,2,3,6 i 7. A l'estació 1 havien desaparegut pràcticament tots els líquens epífits. Només vàrem trobar una sola espècie (Cladonia sp.), i encara restringida a la base dels troncs i amb malformacions.

A l'estació 2 la vegetació líquènica era igualment paupèrrima. A la base dels troncs hi havia la mateixa Cladonia sp., i trobàrem alguns fragments d'altres espècies (Parmelia caperata, P. sulcata, Physconia pulverulenta, Hypocenomyces sp.). Significativament, la major part d'aquests fragments estaven morts o moribunds, i presentaven la típica alteració del còrtex superior que es dona en llocs contaminats. A l'estació 3 el poblament epífític era semblant al de l'estació 2, però apareixien dues noves espècies, igualment fragmentàries (Hypogymnia physodes i Parmeliopsis ambigua).

A l'estació 6, la vegetació de líquens epífits estava ben desenvolupada i recobria la major part dels troncs fins a 1 metre d'alçada, amb recobriments menors més aïllats. Les espècies presents eren les típiques dels boscos subalpins de pi roig: Pseudevernia furfuracea, Hypogymnia physodes, Parmelia caperata, P. perlata, P. sulcata, P. tiliacea, P. exasperatula, Evernia prunastri, Ramalina farinacea, Usnea sp., Cetraria pinastri, Parmeliopsis ambigua, Physcia sp., Lecanora atra, L. chlorotera, Lecanora sp. Cap d'aquestes espècies presentava símptomes externs anormals.

A l'estació 7, els epífits tenien un caràcter nitròfil (propis de llocs rics en nutrients) perquè el bosc era obert i molt pasturat. Els líquens tenien un recobriment elevat fins a 1 metre

del terra. Les espècies presents eren: Xanthoria parietina, Physcia adscendens, Ph. stellaris, Ph. orbicularis, Physcia sp., Parmelia subaurifera, Candelariella xanthostigma, Celoplaca ferruginea, Lecidella achristotera, Lecanora chlorotera, Lecanora sp.

El nombre total d'espècies de líquens epífits presents en diferents localitats comparables dintre d'un mateix territori és molt bon indicador del grau de contaminació atmosfèrica. A l'estació 1 hi havia només 1 espècie; a l'estació 2, 5 espècies; a la 3, 6 espècies (però la major part de les espècies de les estacions 2 i 3 estaven representades per fragments moribunds); a l'estació 6 hi havia 16 espècies i a la 7, 12 espècies, totes ben desenvolupades. La diferència de composició epífítica entre les estacions 6 i 7 no cal atribuir-la a diferents graus de contaminació sinó a les condicions de bosc obert i pasturat en aquesta última.

A partir dels líquens epífits, es pot concloure amb tota seguretat que el nivell de contaminació a les estacions 6 i 7 és prou baix com per no afectar apreciablement a aquests organismes sensibles al SO_2 , mentre que les estacions 1, 2 i 3 estan fortament contaminades

.....

Conclusions

(1) La causa de la malaltia i mort dels pins rojalets (*Pinus sylvestris*) en les localitats estudiades de l'Alt Berguedà és la contaminació de l'aire amb diòxid de sofre (SO_2) produïda per la central tèrmica de Cercs. Basem aquesta afirmació en:

- . les concentracions extraordinàriament altes de sofre que es troben a les fulles dels pins de la major part dels boscos mostrejats.
- . la sobtada disminució del creixement en diàmetre dels troncs, la qual s'inicià com a mínim fa 9 ó 10 anys, poc després de que entrès en funcionament la central.
- . la desaparició gairebé total dels líquens epífits, sensibles a la contaminació, observada en els boscos més greument afectats.

(2) Al Portet (Vallcebre), la contaminació per SO_2 ha provocat la mort d'un elevat percentatge dels pins, i la major part dels arbres que encara sobreviuen es troben en un estat depauperat. La zona afectada per la central s'estén però molt més lluny, com ho indiquen clarament els nivells de sofre a les fulles i la defoliació parcial de pins situats a 10 kilòmetres de la central.

(3) La zona de boscos greument afectats està augmentant en l'actualitat i és previsible que segueixi augmentant en un futur immediat. Això és degut als efectes acumulatius del SO_2 sobre els pins, i a que els arbres debilitats per l'exposició continuada a dosis importants de contaminants són molt més susceptibles a l'atac de paràsits, els quals poden causar la mort de l'arbre d'una manera secundària.

(4) Al Portet, l'estat del bosc empitjora no quan hom s'acosta a la central sinó quan hom s'acosta a la vall del Llobregat. Aquest fet indica que el plusall de contaminants emesos per la central segueix freqüentment l'eix imposat per la vall del Llobregat i que la dispersió horitzontal del SO_2 té lloc des de la vall del riu, tal i com es veu en la fotografia aèria del vol d'octubre

de 1980 (passada nº 7, ortofotograma nº 7639). Anàlegament, el fet de que l'estat dels boscos de L'Anou sigui menys greu que els d'El Portet, tot i que les distàncies a la central i al riu són semblants en ambdós casos, s'ha d'interpretar tenint en compte que el moviment de les masses d'aire, i dels contaminants que contenen, en una regió de relleu abrupte com l'Alt Berguedà és extraordinàriament complex i difícil de predir, la qual cosa fa que dos punts situats a la mateixa distància d'un focus emissor puguin perfectament patir nivells molt diferents de contaminació.

(5) Cal valorar els danys ocasionats per la contaminació amb SO_2 sobre els boscos afectats no només pel perjudici econòmic que representa en termes de producció de fusta, sinó també pels efectes ecològics que la disminució o desaparició de la cobertura forestal tenen en una comarca de muntanya: erosió del sòl, pèrdua de regulació en el cicle hidrològic, aterrament accelerat d'embassaments, desaparició d'hàbitats per la flora i fauna forestals, alteració del paisatge, etc.

(6) És la nostra opinió professional que no es podrà evitar el deteriorament creixent de superfícies extenses de boscos de l'Alt Berguedà, ni recuperar els boscos avui greument danysats, sense que es redueixin considerablement les emissions de SO_2 per part de la central tèrmica de Cercs.

Bellaterra, 10 de maig de 1985

Lluís Ferrés i Curt

Dr. Lluís Ferrés i Curt
Professor Titular d'Ecologia

Ferran Rodà

Dr. Ferran Rodà de Llanza
Professor Titular d'Ecologia