

# ELS ECOSISTEMES

per J. Terrades, R. Rabella, R. Savé i C. Verdú

20 ( 548/setembre 1981

ciència 9 )

La vegetació del Montseny és, en línies generals, ben coneguda. S'hi han fet estudis acurats de caire fitosociològic, florístic, geogràfic, geològic, zoològic i altres, alguns d'ells de caràcter sintètic. Podem dir que el Montseny ha estat centre d'interès preferent dels naturalistes catalans. Avui, als avantatges tradicionals que ofereix el massís (proximitat als nuclis principals de recerca, valors culturals i científics, etc.), se n'afegeixen d'altres, com l'inici d'una intervenció proteccionista de l'Administració amb la declaració de Parc Natural, un primer resultat de la qual ha estat permetre l'establiment de punts permanents d'observació o zones d'estudi en finques adquirides per la Diputació de Barcelona i per l'ICONA. L'obtenció recent d'un reconeixement internacional del massís com a Reserva de la Biosfera haurà de contribuir sens dubte a augmentar les facilitats existents i a atraure noves tasques de recerca.

Jaume Terrades (Barcelona, 1943). Doctor en ciències biològiques i professor agregat del departament d'ecologia de la Universitat Autònoma de Barcelona. És autor de nombrosos treballs d'ecologia i s'ha ocupat darrerament del funcionalisme dels ecosistemes forestals. Ha publicat llibres de divulgació científica com *Ecologia, avui* (Barcelona, Ed. Teide, 1978) i *L'educació ambiental* (Barcelona, Ed. Omega, 1978).

R. Rabella i R. Savé són col·laboradors del departament d'ecologia de la Universitat Autònoma de Barcelona.

C. Verdú és professor del departament de botànica de la Universitat Autònoma de Barcelona.



Els estudis ecològics centrats en el funcionalisme dels ecosistemes forestals no s'han iniciat a casa nostra fins molt recentment. Per les esmentades avinenteses favorables, el Montseny ha esdevingut el primer focus d'atenció, i dins el Montseny, és clar, aquells boscos que millor el caracteritzen: alzinar i fageda, així com l'avetosa, molt menys estesa però de particular interès des del punt de vista de la conservació. Tots tres tipus de bosc, però sobretot els dos primers, són objecte des de fa poc més de dos anys d'un parell de projectes

de recerca, portats ambdós pels departaments d'ecologia de les Universitats de Barcelona i Autònoma. El primer projecte se centra a l'alzinar de la vall de la Castanya, dins una finca regida per ICONA. El segon, a la fageda del Turó de Morou i, per a algunes observacions complementàries, a l'avetosa de Passavets, sempre en finques que la Diputació ha adquirit a la vall de Santa Fe; el promouen la Societat Catalana de Biologia i el Servei de Parcs Naturals de la Diputació. L'enfocament global és molt semblant en ambdós projectes, i per això en farem ací un tractament conjunt.

La situació favorable de les àrees escollides ens fa esperar una continuïtat dels estudis en curs que pugui abocar, finalment, a la creació de veritables estacions experimentals permanents prou ben equipades, associades a les facilitats logístiques que ofereixen el Vilar de la Castanya i l'Escola de la Natura de Can Lleonart. La ignorància considerable en què ens trobem encara en molts aspectes del funcionalisme dels nostres boscos justifica amb escreix la necessitat d'aquestes estacions. El progrés obtingut amb els treballs a què ens referim, el que ha fet sobretot és posar de manifest les

enormes deficiències de coneixement que patim en el camp de l'ecologia forestal. No ens és possible d'abastar ací tots els aspectes concrets estudiats fins ara en algun dels tres tipus de bosc dins els projectes esmentats, i que fan referència a: cicles biogeoquímics de P, N, Na, Ca, Mg, K, Mn, Fe i Zn; anàlisi dimensional del bosc; distribució de l'àrea foliar i els pigments i la seva relació amb la radiació; distribució d'arrels fines; transpiració i estat hídric de l'alzina i el faig en resposta a diferents condicions ambientals; creixement i fenologia dels arbres; transport horitzontal de la virosta al llarg dels vessants; característiques físiques i químiques de les aigües de drenatge; poblacions d'insectes i consum de fulles pels insectes fitòfags; característiques i quimisme del medi edàfic, etc. Per tant, ens limitarem a donar una visió a vol d'ocell del conjunt.

## CARACTERÍSTIQUES ESTRUCTURALS DELS BOSCOS

Per a un profà, el Montseny pot semblar

# FORESTALS DEL MONTSENY

L'avetosa del Turó de l'Home; al fons el Pla de l'Espinal. (Foto: J. Vilanova)

(ciència 9

setembre 1981/549) 21



cobert d'esplèndides boscúries on la presència de l'home (potser excepte els diumenges) és poc aparent. Certament, no posarem pas en dubte la bellesa dels paisatges montsenyencs. Però així que hom es planteja el neguit de conèixer aquesta riquesa natural per poder preservar-la millor, es fa evident la necessitat d'una visió científica més acurada i crítica. Com són de debò aquests boscos? Quin és llur estat actual? Com és llur estructura? Aturem-nos un moment en aquestes primeres preguntes. En primer lloc, ens caldrà admetre que els boscos del Montseny mostren clarament el fort impacte de l'explotació que n'ha fet l'home. No n'hi ha de molt vells i els arbres dominants, que no sobrepassen mai dimensions mitjanes, acostumen a tenir entre 30 i 60 anys. A l'alzinar, el carboneig i l'extracció de llenya foren pràctiques

molt esteses i importants per a l'economia local i només amb llur interrupció i disminució respectiva ha estat possible una considerable recuperació del bosc els darrers 30 o 40 anys; malgrat que se segueix tallant l'alzina en benefici d'indústries químiques locals, la demanda ha baixat molt. Les fotografies de la figura 1 ens alliberen de més comentaris.

A la fageda, l'explotació de la fusta s'ha mantingut intensa i, sobretot d'ençà de la declaració de parc natural, en alguns llocs s'ha incrementat, en un desig d'obtenir els majors beneficis abans que puguin establir-se limitacions o augmentar-se els controls. El sistema predominant es basa en torns curts de tala, ço que correspon probablement a la divisió de la propietat. Els torns llargs, de quasi cent anys, habituals a moltes fagedes centroeuropees, exigeixen propietats molt grans per a ésser

rendibles. El resultat és que la densitat d'arbres i l'àrea basal (superfície ocupada per les seccions dels troncs mesurades a 1.30 m. d'alçada, referida a la superfície del sòl) tenen, als boscos del Montseny, valors ben per sota dels que recomanaria no ja una voluntat conservacionista, sinó una bona gestió forestal. Advertim a més que les dades que donem a la taula 1 i figura 2 pertanyen a llocs experimentals establerts damunt sòls planers i amb boscos relativament ben desenvolupats si els comparem amb els que es troben als vessants de pendents forts i sòls migrats, que constitueixen la majoria del massís. Per tant, les mostres dades tendeixen a donar una imatge optimista respecte a la situació mitjana real.

Tot i així, les dades mostren ben clar l'escàs desenvolupament dels nostres boscos. En efecte, alzinars estudiats a



Taula 1 Característiques estructurals de l'alzinar muntanyenc de la Castanya i de la fageda del Turó de Morou en els llocs experimentals estudiats.

Característiques	Alzinar	Fageda
Densitat (peus $\varnothing > 5$ cm ha <sup>-1</sup> )	2010	1470
Àrea basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	26.6	27.0
Biomassa aèria total (t ha <sup>-1</sup> )	160	157
Biomassa fusta $\varnothing > 5$ cm (t ha <sup>-1</sup> )	101	104
Biomassa fusta $\varnothing < 5$ cm (t ha <sup>-1</sup> )	53	50
Biomassa fulles (t ha <sup>-1</sup> )	6.1	2.9*
Caiguda de fulles (t ha <sup>-1</sup> any <sup>-1</sup> )	3.4	2.9

\*aquest valor és el de caiguda anual de fulles

Taula 2 Concentracions mitjanes ponderades per volum de la pluja fora i dintre de l'alzinar muntanyenc de la Castanya (mg l<sup>-1</sup>).

Substància	Fora (1)	Dintre (2)	Relació (2)/(1)
NA <sup>+</sup>	0,59	1,09	1,8
K <sup>+</sup>	0,14	3,21	22,9
Ca <sup>2+</sup>	1,34	2,95	2,2
Mg <sup>2+</sup>	0,17	0,59	3,5

Taula 3 Aports de nutrients al terra del bosc per la virosta caiguda a la fageda del Turó de Morou (kg ha<sup>-1</sup> any<sup>-1</sup>).

P	K	Ca	Mg	Na	Mn	Fe	Zn
1.4	19.4	32.2	4.4	0.4	6.5	1.6	0.1

Montpeller i a Sardenya presenten una distribució per classes d'edat amb predomini d'arbres molt més vells i també més grossos, àrees basals de l'ordre de 40 m<sup>2</sup>/ha i biomasses totals que poden ésser més del doble que les de la Castanya. El cas de la fageda és igualment clar, tot i que el lloc estudiat és molt favorable enfront dels que l'envolten i en els quals les àrees basals i les biomasses són fins dos cops i mig menors que les que donem ací i els arbres dominants tenen diàmetres netament inferiors als 20 cm i fins i tot als 15. De tota manera, si comparem les nostres dades amb les de boscos belgues, alemanys, francesos o danesos ben conservats, veurem que altre cop les biomasses totals poden ésser del doble en aquests. Fins i tot si el creixement del faig és menor al Montseny, és clar que

l'estat de les nostres fagedes té poc a veure amb el d'un bosc madur. Tenim, doncs, alzinars i fagedes amb arbres massa petits i poca variació d'edats, com hom pot esperar en boscos sotmesos a explotació molt intensa. Les àrees basals són fins i tot de vegades massa baixes per a mantenir el sòl prou ben protegit als pendents forts, ja que a la vall de Santa Fe hem observats valors tan baixos com 10 m<sup>2</sup>/ha. També cal dir que en algunes finques al límit de la vall una gestió més acurada ha conservat estructures més satisfactòries, encara que, com és natural, amb força uniformitat d'edats. Una comparació positiva l'ofereix també l'avetosa de Passavets, protegida des de fa molt de temps i amb estructura de bosc madur, amb més equilibri pel que fa a la distribució d'edats, predomini d'ar-

bres que tenen de 40 a 50 cm de diàmetre, una àrea basal que assoleix 42 m<sup>2</sup>/ha i una densitat de 540 arbres/ha.

Els aspectes de regeneració dels boscos mereixerien estudis aprofundits que no s'han fet encara. Tant l'alzinar com la fageda tenen abundants peus joves, característica que podria associar-se a una demografia en fase de creixement o explotació, però és possible que es mantingui sempre, fins i tot en el bosc madur, una elevada producció de plàntules.

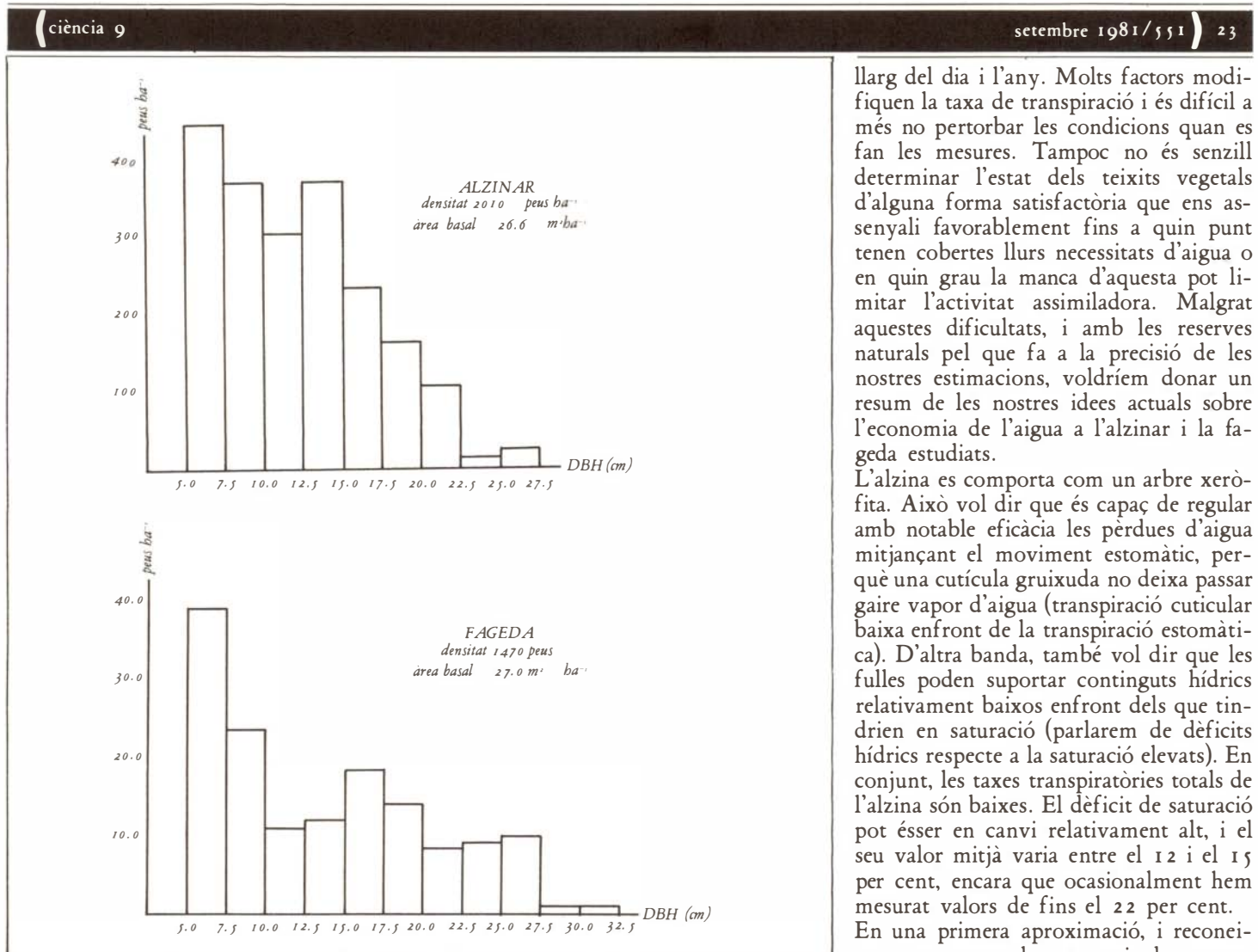
Com a conclusió d'aquest apartat podríem assenyalar que és indispensable la protecció integral d'algunes zones d'alzinar i fageda si volem tenir al Montseny algun dia exemples veritables del que són aquests boscos en un estat més o menys natural. A la resta del massís, cal garantir una gestió responsable, amb un control efectiu de les activitats forestals que impedeixi una degradació excessiva de la cobertura vegetal i la consegüent erosió del sòl, al temps que permeti la reconstrucció d'una estructura millor. De fet, al mateix massís hi ha exemples notables que hom podria seguir. El progrés de la recerca també pot ésser útil en aquests camps, i caldrà insistir especialment en el futur en la biologia de la reproducció de les espècies dominants i la regeneració del bosc.

## L'ECONOMIA DE L'AIGUA

És ben coneguda la importància decisiva de l'aigua com a factor limitant per a la producció dels ecosistemes terrestres i determinant de moltes adaptacions dels vegetals. D'una banda, l'activitat cel·lular exigeix un cert nivell d'hidratació. Les parts aèries dels arbres i, en particular, les fulles que realitzen la fotosíntesi mantenen la hidratació del protoplasma cel·lular gràcies a un fil d'aigua que puja en columna contínua des del sòl per les arrels i els vasos conductors del tronc. Naturalment, els vegetals superiors compensen les pèrdues d'aigua prenent-ne més del sòl, i poden regular poc o molt

Fig. 1. Aspecte parcial de la Vall de la Castanya. En primer terme, la masia del Boscàs.  
A: 1935. Hom pot observar-hi els vessants molt denudats.  
B: 1981. La recuperació de l'alzinar és manifesta.

Figura 2. Composició diamètrica (DBH =  $\delta$  a 1.3 m del terra) de la població d'arbres de l'alzinar de la Castanya i de la fageda del Turó de Morou.



aquestes pèrdues per una sèrie de mecanismes (p. ex., el moviment estomàtic) i adaptacions morfològiques i funcionals. El corrent continu d'aigua des del sòl fins a les fulles té una altra significació important, com a vehicle de transport de substàncies nutrients. L'evaporació d'aigua a la superfície de les fulles arrossega el moviment cap amunt de l'aigua i els materials dissolts que conté des del sòl. El flux transpiratori és així una part essencial del ciclatge dels nutrients dins l'ecosistema i depèn del subministrament de radiació solar i del poder evaporador de l'aire a les capçades, de l'aigua disponible al sòl i de les resistències que troba

el pas de l'aigua per les diferents estructures dels vegetals (resistències en part regulables, com en el cas dels estomes). Una de les característiques més importants del clima als països mediterranis és el marcat eixut estival. Durant una llarga època de l'any, l'aigua disponible al sòl pot ésser molt escassa i els vegetals mantenen els estomes tancats bona part del dia. És ben poc encara el que sabem del comportament dels nostres boscos en relació amb aquest punt. La mesura de la transpiració d'un bosc és extraordinàriament complicada. De fet, cada fulla es troba sotmesa a condicions particulars, i aquestes varien encara contínuament al

llarg del dia i l'any. Molts factors modifiquen la taxa de transpiració i és difícil a més no pertorbar les condicions quan es fan les mesures. Tampoc no és senzill determinar l'estat dels teixits vegetals d'alguna forma satisfactòria que ens assenyali favorablement fins a quin punt tenen cobertes llurs necessitats d'aigua o en quin grau la manca d'aquesta pot limitar l'activitat assimiladora. Malgrat aquestes dificultats, i amb les reserves naturals pel que fa a la precisió de les nostres estimacions, voldríem donar un resum de les nostres idees actuals sobre l'economia de l'aigua a l'alzinar i la fageda estudiats.

L'alzina es comporta com un arbre xeròfita. Això vol dir que és capaç de regular amb notable eficàcia les pèrdues d'aigua mitjançant el moviment estomàtic, perquè una cutícula gruixuda no deixa passar gaire vapor d'aigua (transpiració cuticular baixa enfront de la transpiració estomàtica). D'altra banda, també vol dir que les fulles poden suportar continguts hídrics relativament baixos enfront dels que tindrien en saturació (parlarem de dèficits hídrics respecte a la saturació elevats). En conjunt, les taxes transpiratòries totals de l'alzina són baixes. El dèficit de saturació pot ésser en canvi relativament alt, i el seu valor mitjà varia entre el 12 i el 15 per cent, encara que ocasionalment hem mesurat valors de fins el 22 per cent.

En una primera aproximació, i reconeixent que extrapolem a partir de mostres massa petites, avaluem el consum d'aigua per l'alzinar de la Castanya en unes 145 t/ha el mes de juliol, menys de 100 t/ha el setembre i només 50 t/ha el desembre. Tindríem un total de 660 t/ha entre juny i desembre, i de 1.100 t/ha per a tot l'any. En general, els valors de transpiració són, és clar, molt inferiors a l'evapotranspiració potencial, valor que podem calcular a partir de diverses fórmules empíriques (p. ex., les de Thornthwaits o Turc), però si calculem ambdós paràmetres mensualment, llur variació és molt correlacionada.

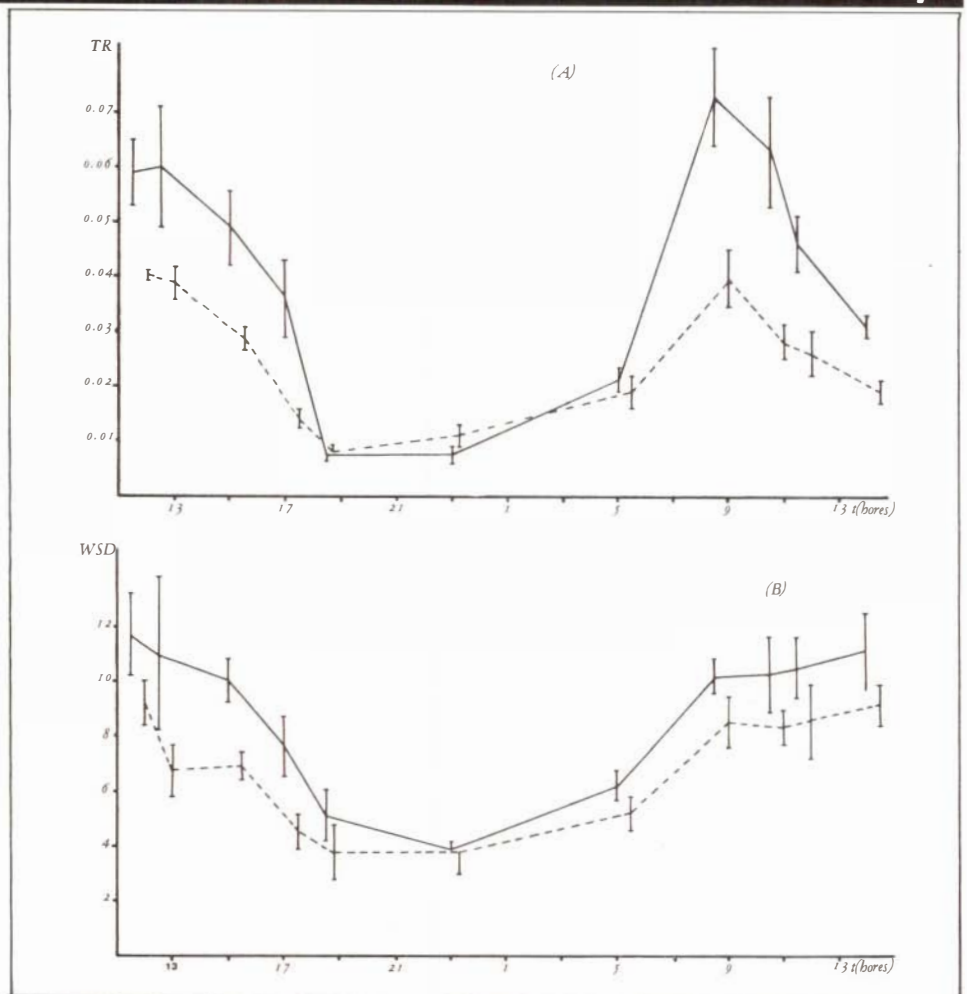
La fageda presenta una problemàtica particularment interessant. És conegut que

el Montseny és una localitat extrema, molt meridional, del faig, i l'explicació avui més acceptada de la seva presència es basa en el fet que la forta transpiració que podrien patir les fulles de faig a l'estiu és reduïda per la freqüent aparició de boires. Cal dir que les fulles de faig, a diferència de les d'alzina, tenen cutícules fines i una forta transpiració cuticular, de manera que la regulació estomàtica és relativament poc eficient i el temps de resistència en condicions de forta radiació i subministrament d'aigua limitat és molt més curt que per a l'alzina o les coníferes com els pins i els avets.

Les nostres observacions a Santa Fe confirmen en principi el paper essencial de les boires. Hem vist que el faig es comporta si fa no fa com arreu de la seva àrea de distribució, i no li hem mesurat dèficits hídrics superiors als normals. Els màxims de l'any 1979 es donaren pel juliol, però sempre es mantingueren per sota del 12 per cent. No han estat estudiats els arbres del límit inferior de l'estatge del faig, els quals probablement pateixen un *stress* hídric superior del qual és indicatiu l'enrojolament de les fulles per l'agost, però a la majoria de la seva àrea montsenyenca les boires i els núvols a l'estiu deuen actuar com un para-sol extern que redueix la transpiració. Hem trobat que la transpiració d'un dia assolellat pot ésser fins a un 30 per cent superior que la d'un dia de nuvolositat variable, i assenyalarem que l'any 1979, entre juliol i agost, al Turó de l'Home només hi hagué 12 dies classificables com assolellats, enfront de 52 dies en què predominaren les situacions de boira o de núvols abundants.

Pel que fa al consum de l'aigua, el faig transpira possiblement de l'ordre de les 4.000 t/ha any, és a dir, un total anual uns quatre cops superior al de l'alzina, tot i que el període vegetatiu del faig està limitat als mesos entre maig i octubre. Les taxes de transpiració assoleixen doncs valors molt més elevats al faig. La precipitació és també més important a Santa Fe (1.100 mm, és a dir, 11.000 t/ha) que a la Castanya (850 mm, 0.8500

Figura 3. Evolució diària de la transpiració (A) i del dèficit hídric de saturació (B) a les fulles de l'estrat de 12 m (—) i a les de 6 m (---), des de les 12 h. del dia 13-VIII-80 fins a les 15 h del dia següent, a la fageda del Turó de Morou. Per cada punt, les barres verticals representen els intervals de confiança.



t/ha).

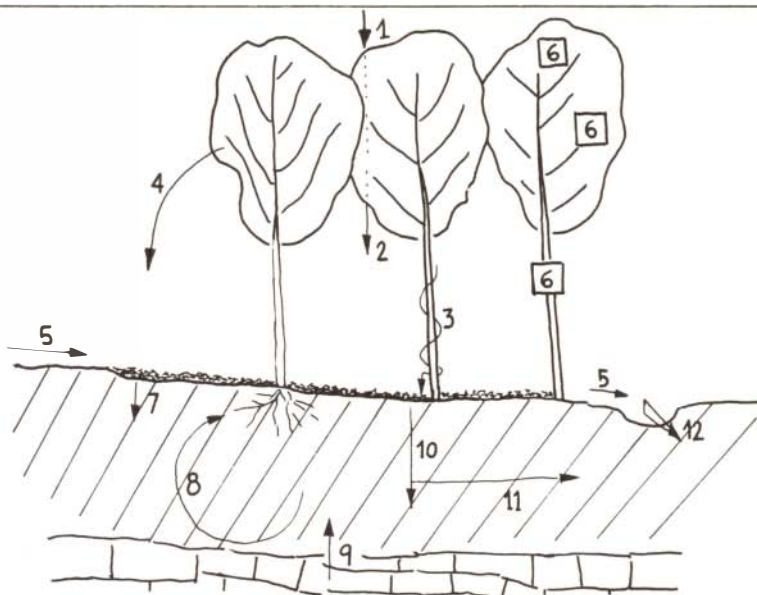
Ja hem assenyalat les dificultats i les incerteses amb què ens trobem per fer aquestes avaluacions. No obstant això, les pautes generals de comportament transpiratori per a l'una i l'altra espècie han pogut comparar-se amb les variacions de diversos factors ambientals, i també ha estat possible observar les variacions en aquest comportament entre les diferents parts de la capçada (fig. 3). Aquest darrer aspecte es correspon, d'altra banda, amb la variació de característiques anatòmiques, morfològiques i fisiològiques de les fulles de sol a les d'ombra, passant per tot un gradient de formes intermèdies. Això es dona tant a l'alzina com al faig. Hem pogut constatar, per

exemple, que a l'alzina les fulles de sol tenen una relació pes sec/superfície superior en un 30 per cent a la de les fulles d'ombra, i al faig aquesta diferència assoleix fins el 100 per cent. (Diguem, de passada, que aquesta relació pes sec/superfície és tres cops superior en l'alzina que en el faig, com correspon al caràcter xerofític de la primera.)

També hem pogut estudiar l'evolució diària de la transpiració a ambdues espècies, en diferents moments de l'any, per a les fulles de sol i les d'ombra. El faig, amb alta transpiració cuticular i, per tant, amb poca capacitat reguladora, com ja hem indicat, a l'estiu té una transpiració superior tot el dia per a les fulles de sol. En canvi, a l'alzina, les fulles de sol

Figura 4. Principals fluxos biogeoquímics en ecosistemes forestals.

1. Precipitació incident
2. Traslocament
3. Escorriment cortical
4. Caiguda de virosta
5. Flux lateral de virosta
6. Mineralomassa aèria
7. Descomposició de la virosta
8. Absorció per les arrels
9. Meteorització de la roca
10. Infiltració
11. Drenatge
12. Escorriment superficial per les rieres



transpiren més a primeres hores del matí, però aviat tanquen els estomes i aleshores llur transpiració és inferior moltes hores del dia a la de les fulles d'ombra. El coneixement d'aquestes pautes de la transpiració i les corresponents de variació del déficit hídric ens dona llum sobre les diferents estratègies d'adaptació d'ambdós arbres.

## CICLES BIOGEOQUÍMICS

(Fig. 4)

Els elements químics que utilitzen els vegetals provenen del sòl, on arriben sobretot per meteorització de la roca, amb l'aigua de pluja o bé amb les restes dels organismes. Establir un balanç global d'entrades i sortides per a cada element important no és pas una tasca senzilla i exigeix un dispositiu experimental complex. Això no obstant, aquests balanços tenen un considerable interès. Segons els tipus de bosc, l'estació de l'any, certs fenòmens meteorològics o els canvis produïts a l'estructura del bosc com a resultat d'una operació forestal, per exemple, el balanç de cada element podrà veure's modificat d'una manera o altra. Si el substrat és impermeable, l'única sortida del sistema es fa pràcticament per les aigües d'escorriment, les rieres que drenen les conques cobertes de bosc (sempre que les conques siguin prou homogènies i s'assemblin als territoris veïns, les entrades i sortides amb el vent o els moviments d'animals quedaran més o menys compensades). Així, les aigües de drenatge porten, dissolts o en suspensió, tots els materials que deixen la conca, i les variacions en aquests materials transportats reflectiran aspectes fonamentals del funcionalisme del bosc com a resposta als **diversos tipus d'accions o impactes**. L'ecologia terrestre lluita actualment per avançar en el diagnòstic del funcionalisme dels boscos a partir de l'anàlisi de les aigües d'escorriment i la quantificació dels balanços d'elements.

Encara no és possible d'oferir balanços globals complets, però sí que podem avançar alguns aspectes interessants relacionats amb els cicles biogeoquímics dels boscos estudiats.

### a) Les pluges

La pluja constitueix una entrada d'elements procedents de l'atmosfera i contribueix a més a retornar al sòl elements que renta de les capçades dels arbres. Convé considerar ací alguns aspectes relacionats amb aquests aportes.

A la Castanya hem observat que els cations presents a la pluja incident assenyalen una influència marina moderada, tot i que només hi ha 27 km de distància al mar. El calci, d'origen continental, hi domina sobre el sodi, d'origen marí. Les variacions estacionals en la composició de l'aigua de pluja reflecteixen canvis en la procedència de les masses d'aire. En traspasar les capçades, l'aigua les renta i s'enriqueix en nutrients, sobretot en potassi, element abundant als vegetals i molt mòbil, però no ho fa quasi gens en sodi, que no és un nutrient per als vegetals (taula 2). Després de períodes llargs d'eixut, el rentat de les capçades recollirà a més la pols acumulada, rica en calci. Els aportes de pols presenten aparentment una forta variabilitat d'un any a l'altre. Un aspecte notable de les pluges el constitueix l'acidesa. El pH mitjà a la Castanya es troba als volts de 4,7, bé que varia estacionalment, essent molt menys àcid a l'estiu. En algun cas s'han trobat pH inferior a 4. Sens dubte, la contaminació atmosfèrica de regions veïnes és responsable d'aquest fenomen, constatat també a molts altres països, que ha produït preocupació, ja que l'acidificació de l'aigua de pluja sens dubte pot modificar l'acció d'aquesta en el rentat de la vegetació i dels sòls. Pot semblar sorprenent que el Montseny no quedi exempt dels **efectes de la contaminació de l'atmosfera**, però els resultats són palesos. No obstant això, un cop la pluja ha passat les capçades dels arbres, el pH mitjà de l'aigua puja fins a 5,1; això vol dir que un 55 per cent dels hidrogenions són retinguts

o neutralitzats en passar les capçades.

A Santa Fe, els valors del pH de la pluja són ben semblants als de la Castanya. Les capçades, però, disminueixen menys l'acidesa de la pluja, que continua tenint una mitjana inferior a 5 en arribar a terra. Les capçades dels faigs retenen o neutralitzen un 44 per cent dels hidrogenions i les dels avets només un 39 per cent. Cal tenir present que les nostres dades no inclouen encara l'aigua que rellisca pels troncs.

### b) La virosta

Juntament amb l'aigua de pluja, l'altre gran mecanisme de restitució de materials al sòl el constitueix la caiguda de virosta (fulles, fruits, inflorescències, branques, etc.) al sòl. Les fulles d'alzina viuen una mitjana d'un parell d'anys, encara que algunes n'aguanten quatre o cinc. Aproximadament, per tant, la meitat de la biomassa de fulles, o sigui uns 3,3 t/ha, torna cada any a terra. Una xifra semblant s'obté a la fageda (2,9 t/ha). A l'alzinar, les fulles constitueixen un 68 per cent del total de virosta i les branques un 23 per cent, i la virosta total arriba a 5 t/ha/any. A la fageda, on, és clar, les fulles es renoven totalment cada any, aquestes suposen un 67 per cent del total de la virosta caiguda, 4,4 t/ha/any, essent els fruits (almenys l'any 1979, en què n'hi hagué una forta producció) la segona fracció, amb un 16,4 per cent. Finalment, a l'avetosa, on el total de virosta recollit fou de 4,0 t/ha, un 63 per cent correspon a les fulles, un 20 per cent als fruits i un 13 per cent a les branques. Les diferents fraccions de la virosta no tenen pas idèntiques concentracions dels elements estudiats. Hem seguit els aportes de nutrients per les diverses fraccions de virosta i el total a alzinar (fig. 5), i a la fageda (taula 3), així com les variacions mensuals en les quantitats de virosta produïda pels tres tipus de bosc. Ens limitarem a donar ara alguns resultats globals: La virosta present a terra en cada moment depèn de les entrades per caiguda des de les capçades i de la taxa de descomposició, però també poden haver-hi

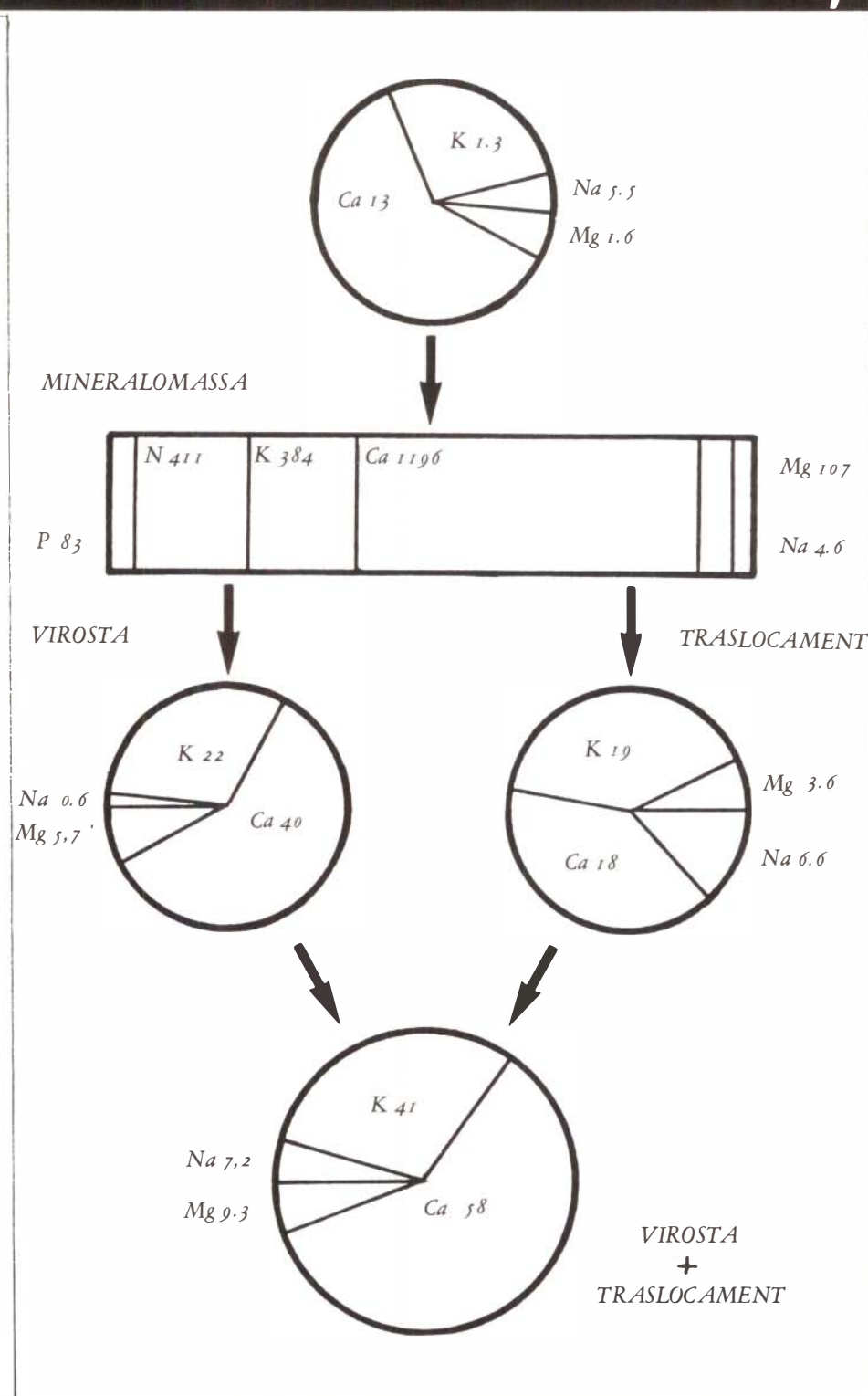
intercanvis laterals. La virosta produïda als vessants inclinats es mou després pendent avall i s'acumula als fondals, a les concavitats del terreny o davant qualsevol obstacle. D'aquesta manera, dins una conca més o menys homogèniament coberta de bosc hi ha un transport lateral de virosta, i per tant de nutrients, que beneficia certs llocs d'acumulació. Les estacions experimentals, per llur posició topogràfica, són zones d'acumulació.

A l'alzinar, la virosta a terra assoleix quasi 11 t/ha, de les quals més de 6 són de fulles. Donada la taxa de descomposició (1/3 del material per any) i la taxa de caiguda de fulles (3 t/ha/any), l'acumulació de virosta sense descompondre procedent de transport lateral no sembla gaire important. A la fageda, la virosta produïda és de l'ordre de 4.4 t/ha/any, mentre que a terra es troben entre 8 i 11 t/ha/any només comptant-hi les fulles. Assenyalem que la taxa de descomposició és força més lenta que a l'alzinar, de l'ordre de només un 16 per cent anual.

c) La vegetació

Hem vist que les principals entrades de nutrients a l'ecosistema, deixant de banda necessàriament la meteorització, molt difícil d'avaluar, i considerant el sòl com una caixa negra de la qual per ara no ens ocuparem. La vegetació utilitza els materials i els cossos dels vegetals contenen quantitats importants dels elements que estem considerant. Fins ara, només l'alzinar ha estat considerat des d'aquest punt de vista. Es pot veure que el sodi i el potassi tenen concentracions més aviat baixes als vegetals. La repartició entre els diferents òrgans aeris, és clar, no és pas uniforme. Així, el nitrogen es concentra més a les fulles, sobretot a les més joves, i després als brots, i molt menys a les estructures de suport: als troncs, la concentració de nitrogen és deu cops inferior a la de les fulles. El cas del fòsfor és semblant, encara que ací la major concentració pot donar-se en brots i branques joves. El calci és més concentrat a l'escorça, el potassi als brots joves i les fulles i el magnesi als brots joves i l'es-

Figura 5. Aports de nutrients per la precipitació incident, el traslocament i la virosta, nutrients emmagatzemats a la biomassa (mineralomasses), i aports totals que arriben al sòl a l'alzinar de la Castanya.





La riera d'Arbúcies, a l'indret del Moli de les Pipes.  
(Foto: J. Vilanova)

corça. En tots els casos trobem, com és habitual, que els troncs gruixuts tenen la concentració mínima, fins i tot en el cas del sodi, el menys abundant d'aquests elements, i en el del magnesi; en tots dos, la màxima concentració és a les fulles, i en particular a les més velles.

#### d) Les rieres

L'aigua de les rieres de diverses conques forestades és també analitzada regularment, en un primer intent d'aproximació a l'enfocament exposat en començar aquest apartat de cicles biogeoquímics. Algunes característiques criden especialment l'atenció. En primer lloc, el pH de l'aigua sol estar per damunt de 7,4 a les rieres de la zona de la Castanya i és una mica inferior, aproximadament 6,6, a Santa Fe, tant al torrent de Morou com al de Passavets. Per tant, la concentració d'hidrogenions de l'aigua de pluja es veu reduïda entre 100 i 1.000 vegades fins que surt per les rieres. El sistema vegetació-sòl-roca és eficaçíssim en neutralitzar la pluja i amortir les seves variacions de pH. Ja hem vist el paper que tenien les capçades en aquest sentit, però, evidentment, a nivell del sòl i el contacte amb les roques és on la regulació és més efectiva. No obstant això, les fonts i les surgències tenen pH més baixos, probablement atribuïbles a una sobresaturació en  $CO_2$ .

El sistema vegetació-sòl-roca també és un regulador molt efectiu pel que fa al potassi. La concentració de potassi a les rieres és extremament constant i molt baixa, mentre que a la pluja, fora i dins el bosc, és variable i, dins el bosc, força elevada. Hi ha, doncs, una forta retenció de potassi al sistema. Observem que a Santa Fe també magnesi i calci són molt constants, sobretot al torrent de Morou, i ni tan sols s'observen fluctuacions relacionades amb la fenologia del faig i en particular amb la caiguda de les fulles i llur descomposició.

També val la pena esmentar que, en molts torrents, el sodi és l'element més concentrat, superior àdhuc al calci, i per tant el menys retingut pel sistema, fet

que concorda amb la no utilització del sodi com a nutrient pels vegetals. La sortida de sodi fins i tot és molt superior a l'entrada, ço que cal atribuir als aportes per meteorització.

Entre els anions, dominen els bicarbonats, els sulfats i els clorurs, essent molt escassos els nitrats que, això no obstant, augmenten molt a les crescudes, probablement perquè l'aigua de pluja fa un recorregut molt més breu pel sistema abans d'arribar a les rieres. La importància dels sulfats podria ésser deguda a llur presència en la pluja i en la deposició seca, i es deriva en tots dos casos de l'ús de combustibles fòssils.

És interessant també que el quimisme, el cabal i la temperatura de les rieres posen de manifest diferències entre l'obaga i el solell. A les valls esquistoses, la potència de derruvis a la solana és molt més gran que a l'obaga, de manera que l'aigua roman més temps en contacte amb materials finament dividits i més profunds. Aquest fet explicaria que les rieres que recullen aigües de solanes ben desenvolupades (p.ex., riera de la Castanya) presentin major regulació hidrològica, temperatures menys variables i concentracions més elevades de tots els elements que les rieres de conques preferentment obagues (p.ex., torrent de la Mina). En qualsevol cas, cal acceptar que en els resultats obtinguts fins ara els aspectes geomorfològics i litològics (diferències entre el torrent del Turó de Morou i el de Passavets) semblen força més importants que les diferències de vegetació per a la determinació del quimisme de les rieres.

## CONCLUSIONS

Com hem assenyalat en començar, aquest article és un resum de resultats provisionals d'un treball en curs. El coneixement dels mecanismes bàsics de funcionament dels ecosistemes es troba força endarrerit a casa nostra. Pel que fa als ecosistemes continentals, només les aigües dolces han estat força estudiades, amb el cas sobresortint del llac de Banyoles. Els ecosiste-

mes terrestres presenten sempre més dificultats a l'hora de donar-ne una visió de síntesi, a causa de llur complexitat estructural. Per a continuar progressant és indispensable no només una tasca individual de recerca especialitzada, sinó, sobretot, la creació d'estacions de camp experimentals que puguin fer convergir el treball de nombrosos especialistes i afavorir el desenvolupament de projectes amplis i comprensius que aportin alguna llum al complicat joc d'interrelacions que és la vida mateixa dels ecosistemes forestals. Una de les línies que avui sembla amb major capacitat d'integració és l'estudi dels balanços globals d'aigua i elements. És important comprendre llurs característiques als ecosistemes ben conservats i estendre aquests treballs a boscos diferents i sotmesos a diversos tipus d'impacte, per tal de millorar el coneixement científic del nostre bosc i les condicions d'ús i gestió dels recursos forestals i edàfics del nostre país.

### Materials de lectura

- J.R. Gosz, R.T. Holmes, G.E. Likens i F.H. Bormann: *El flujo de energía en un ecosistema de bosque*. "Investigación y Ciencia", 20 (1978).  
P. Pesson: *Ecología Forestal*. Madrid, Ed. Mundi Prensa, 1978.  
G.E. Likens, F.H. Bormann, R.S. Pierce, J.S. Eaton i N.M. Johnson: *Biogeochemistry of a forested ecosystem*.