

APLICACIÓ DE LA DENDROCRONOLOGIA A L'ESTUDI DE LA DINÀMICA DE LES ALLAUS ALS PIRINEUS

Elena MUNTÁN^{1/2}, Pere OLLER¹, Emilia GUTIÉRREZ², Pere
MARTÍNEZ¹

(1) Institut Cartogràfic de Catalunya. Parc de Montjuïc, s/n. 08038 Barcelona.

(2) Universitat de Barcelona. Facultat de Biologia. Dept. d'Ecologia. Av. Diagonal, 645.
08028 Barcelona.

<http://www.icc.es/allaus/projectealudex.html>

ABSTRACT

The aim of this paper is to provide a general and detailed review of the external effects of avalanches on forests and trees and their reaction and corresponding tree-ring features. For the well-known avalanches in 1996 in the Pyrenees, we have been able to establish the correspondence between tree growth form and tree-ring signals mainly on mountain pine (*Pinus uncinata* Ramond ex DC.), but also on silver fir (*Abies alba* Mill.) and birch (*Betula* L.) gathered in tracks in the Catalanian Pyrenees. Tree-rings have proven to be useful records to date past avalanche events as the one occurred in 1930 in Canal del Roc Roig (Vall de Núria) which was not documented.

Keywords: dendrochronology, snow avalanches, mountain pine, *Pinus uncinata*, tree-ring signals.

RESUM

Els anells de creixement dels arbres poden enregistrar senyals d'allaus passades. A continuació, es fa una anàlisi dels efectes de les allaus sobre els arbres i el bosc, i de la detecció de senyals dendrocronològics per aprofundir en el coneixement de la dinàmica de les allaus. L'estudi s'ha realitzat amb mostres de pi negre (*Pinus uncinata* Ramond ex DC.) principalment i també d'abet (*Abies alba* Mill.) i de bedoll (*Betula* L.) recollides al Pirineu de Catalunya en zones afectades per allaus l'hivern de 1995-1996. L'aplicació d'aquest coneixement ens ha permès reunir evidències d'allau l'any 1930 a la Canal del Roc Roig (Vall de Núria) de la qual no se'n tenia constància.

Paraules clau: dendrochronologia, allaus de neu, pi negre, *Pinus uncinata*, senyals en els anells de creixement.

INTRODUCCIÓ

El progressiu augment de l'ocupació humana a les comarques d'alta muntanya està ocasionant un augment de les àrees exposades als fenòmens naturals característics d'aquestes zones, entre els quals hi ha les allaus de neu, incrementant-se cada vegada més el risc. La predicció espacial de les allaus és, per tant, una eina bàsica per a la planificació territorial, i en aquest sentit l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) publica, des de l'any 1996, la sèrie cartogràfica 1:25.000 del Mapa de Zones d'Allaus (MZA) (Fig. 1), on es representen les àrees afectades per allaus, cartografiades a partir de les característiques del terreny, de l'estat de la vegetació, i a partir d'enquestes a la gent que pobla aquests territoris. Aquests mapes són un document bàsic per a la planificació territorial a les comarques d'alta muntanya. Tot i així, la pressió urbanística i d'infraestructures obliga, cada vegada més, a precisar els límits màxims esperables i la perillositat de les allaus que afecten les zones humanitzades, informació que no conté el MZA.

Per determinar amb precisió el màxim abast, la freqüència i la intensitat, o sigui, per determinar la perillositat de l'allau màxima esperable en una zona concreta, cal disposar del major nombre de dades d'esdeveniments que hi hagin ocorregut. Aquestes dades s'utilitzaran com a "inputs" en els models dinàmics predictius que permetran calcular abast, velocitats, alçades de flux i pressions d'impacte, i per tant, permetran zonificar el territori en funció de la quantificació del perill. Precisament l'aplicació d'aquests models des de principis dels anys 90 feu palesa la manca de dades existent en

aquest camp. Per això, des d'aleshores, una tasca prioritària per al Grup d'Allaus de l'ICC és la cerca de dades històriques de l'activitat d'allaus al nostre país.

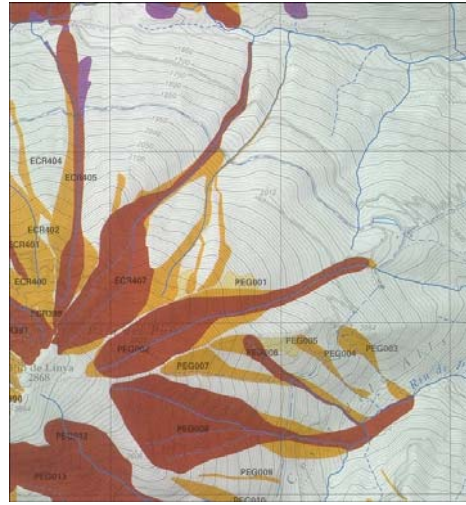


Figura 1. Exemple de Mapa de Zones d'Allaus 1:25.000 en el Sector del Pui de Linya a la Vall d'Espot (Full 5, Vall d'Àneu-St. Maurici).

Les dades utilitzades en la realització del MZA són incorporades a la Base de Dades d'Allaus (BDA) de l'ICC. S'obtenen a partir de l'anàlisi morfològica de la vegetació afectada, enquesta a testimonis (persones que viuen i/o treballen al territori, especialment d'edat avançada), i del seguiment hivernal realitzat cada temporada per membres de la Xarxa Manual d'Observadors Nivometeorològics (NIVOBS) de l'ICC. El conjunt és una base important, però no suficient. Com es pot veure a la Taula 1, l'obtenció de dades a partir de l'anàlisi morfològica de la vegetació queda limitada a les zones on hi ha bosc; les dades són qualitatives i només permeten detectar esdeveniments relativament recents. A l'enquesta

testimonis, qualsevol dada d'allaus passades és summament important, tot i que queda limitada per l'edat, la memòria, l'apreciació (de vegades exageració) i els

interessos de la persona consultada. Les dades obtingudes a partir del seguiment hivernal són de molta qualitat però el període d'observació encara és molt curt.

Mètode	Abast (anys)	Eficiència de la cerca	Precisió determinació freqüència	Precisió determinació dimensions	Abast geogràfic	Continuïtat temporal
Anàlisi extern de la vegetació	<50	Alta	Mitja-baixa	Mitja	Regional	Baixa
Enquesta a testimonis	<100	Mitja	Mitja-baixa	Mitja	Local	Mitja
Observació hivernal (Xarxa observadors ICC)	<15	Alta	Alta	Alta	Local-regional	Alta
Documentació històrica	>100	Baixa	Variable	Mitja-baixa	Puntual	Baixa
Anàlisi de dades nivometeorològiques	<20	Alta	Mitja-baixa	-	Regional	Alta
Dendrocronologia	>100	Mitja	Alta	Alta	Regional	Alta

Taula 1. Comparació dels diferents mètodes complementaris a partir dels quals podem obtenir informació de la caiguda d'allaus en el passat.

Altres mètodes com la documentació històrica, l'anàlisi de sèries nivometeorològiques i la dendrocronologia poden complementar i millorar la qualitat de la informació. Com es pot veure a la taula, la documentació històrica és el mètode més adequat per a detectar els esdeveniments més antics, tot i que és molt laboriós. L'anàlisi de dades nivometeorològiques és clau per a la identificació de les situacions nivometeorològiques que generen les allaus, però calen sèries d'alçada (situades per sobre de 2000 m) de com a mínim 30 anys, encara escasses al Pirineu de Catalunya. La dendrocronologia es presenta com una font de dades, una eina i una tècnica molt adequada per a determinar, amb notable precisió, events del passat, a escala regional, i especialment en zones on no hi ha testimonis, tot i que queda limitada per l'edat dels arbres i la inexistència de bosc.

EXCEPCIONALITAT DE L'EPISODI D'ALLAUS DE FEBRER DE 1996

La situació allavosa que es va produir el febrer de 1996 ha estat la més extraordinària ocorreguda al Pirineu de Catalunya des que es creà el Grup de Nivologia i Allaus al Servei Geològic de Catalunya el 1986, tant per la seva extensió geogràfica com per l'abast de les allaus. Durant els mesos de gener i febrer de 1996 un sistema de baixes pressions amb adveccions del sud i de l'est ocasionaren intenses nevades en tot el vessant sud dels Pirineus que acumularen fins a 7 vegades la mitjana de precipitació en algunes zones (García *et al*, 2000). Aquestes nevades provocaren, especialment entre el 6 i el 8 de febrer, el desencadenament de nombroses allaus de dimensions superiors a les habituals. Moltes d'aquestes allaus superaren els límits que havien estat establerts a partir de la cartografia clàssica del MZA. És

impossible determinar quantes allaus es van desencadenar en aquesta situació, però s'han pogut cartografiar les allaus que van afectar el bosc, i que per tant, van superar els límits habituals. En total s'han comptabilitzat fins a 107 allaus d'aquestes característiques als Pirineus de Catalunya, de les quals 27 van tenir lloc dins del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Precisament determinar la importància relativa que va tenir l'episodi de l'hivern de 1995-1996 dins de la dinàmica global de les allaus als Pirineus ha estat un dels principals arguments per iniciar els estudis de Dendrocronologia en els boscos que van ser afectats.

RECONEIXEMENT DE LES ZONES AFECTADES PER LES ALLAUS DE 1996

Com hem dit anteriorment, les allaus de febrer de 1996 van afectar a una notable extensió de bosc. Les 107 allaus cartografiades van destruir una extensió de 399 Ha en àrees forestades arreu del Pirineu de Catalunya. Els guardes del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici documentaren fins a 51 allaus dins els límits del Parc, de les quals 27 afectaren de forma important el bosc, arrasant la suma de 140 Ha, que equival a un 35% de l'àrea total afectada al Pirineu de Catalunya. Podem dir doncs que les valls de St. Nicolau, i especialment Escrita i Peguera, foren de les més afectades per les allaus en aquest episodi.

Durant la primavera de 2003, es va realitzar la inspecció de camp de les zones afectades el 1996 al Pirineu de Catalunya. Es van visitar una cinquantena de localitats que presenten una diversitat de vegetació forestal: bosc de pi

negre, d'abet, de pi roig, de faig i abet, etc. acompanyada d'altres espècies de caducifolis, més o menys esparsos, entre els quals en destaca el bedoll. A continuació, descrivim els efectes observats en els arbres i en el bosc que varien en funció de la naturalesa de l'espècie vegetal, a part de per les característiques de les allaus.

MATERIAL I MÈTODES

Les mostres utilitzades provenen de zones del Pirineu de Catalunya afectades per allaus la temporada 1995-1996. El treball de camp ha consistit en l'obtenció de testimonis de fusta i la descripció dels efectes visibles de les allaus més recents sobre els arbres i el bosc a cada zona d'allau. L'espècie estudiada ha estat principalment el pi negre (*Pinus uncinata* Ramond ex DC.), però també l'abet (*Abies alba* Mill.) i el bedoll (*Betula* L.).

En el cas d'arbres vius, les mostres es van extreure amb barrina Pressler (testimonis de fusta o cores) i en el cas de fusta morta o de branques laterals, amb serra manual (seccions completes de pocs cm de gruix). El processat de les mostres al laboratori ha estat el convencional en treballs dendrocronològics: un cop la fusta s'ha assecat a temperatura ambient, si són cores es munten sobre guies i després, totes les mostres es poleixen amb paper de vidre fins que s'arriben a veure les cèl·lules individuals del teixit sota la lupa. Donat que les mostres procedien de zones de les quals es coneixia l'any de l'allau (1996), la datació no ha precisat d'anàlisis dendrocronològiques posteriors.

EFFECTES DE LES ALLAUS EN ELS ARBRES

En termes generals, les allaus poden causar els següents efectes en els arbres: inclinacions, trencaments, ferides, desarrelament parcial i mort. Les reaccions enfront aquestes pertorbacions varien en funció de l'espècie d'arbre i de la vulnerabilitat dels individus. Hem fet una catalogació dels senyals que podem trobar en els arbres susceptibles d'haver estat causades per allaus i com es detecten en els anells de creixement de la seva fusta. Val a dir que els efectes descrits poden ser produïts per altres pertorbacions, com ara plagues, esllavissades, corrents d'esbaldragalls, ventades, pes de la neu, moviments sísmics, inundacions i altres riscos naturals o simplement degut a situacions particulars de cada arbre segons el microambient on viu. Així, només després de descartar altres possibles causes i obtenir la concurrència (de diferents senyals) i redundància (suficients repeticions), hom pot decidir si una allau n'ha estat la causant.

L'impacte de la neu o dels objectes que arrossega una allau (pedres, blocs de roca, troncs) o bé l'impacte de l'aire que empeny per davant provoca danys i destrucció en els arbres que són interceptats. En general, els arbres que queden més al centre de la trajectòria de l'allau, on la força és més intensa, són els que queden més deteriorats i la seva capacitat de recuperació depèn molt de l'edat o de la mida de l'exemplar. Per exemple, els arbres joves de troncs flexibles queden ajaguts i es poden redreçar en fondre's la neu, sovint adoptant formes amb la base corbada, mentre que els arbres grans o més vells de troncs més rígids es parteixen i moren, o s'inclinen

sense opció a redreçar-se, restant molt vulnerables a pertorbacions posteriors: ventades, infeccions fúngiques, noves allaus, etc. que acaben matant-los. Així, és poc probable trobar arbres vells en el centre de les canals d'allaus. Per contra, els arbres que creixen en els marges, es veuen afectats en menor grau i en sobreviure més temps poden enregistrar episodis més antics en els seus anells de creixement.

SENYALS DE PERTORBACIONS EN ELS ANELLS DE CREIXEMENT DEL PI NEGRE

La base de la datació dendrocronològica d'allaus és la identificació de senyals en els anells de creixement del mateix any i posteriors al seu impacte. Els senyals en els anells són fruit de la reacció dels arbres enfront de la pertorbació. En la majoria dels casos, el dendrocronòleg aconsegueix una precisió anual en la datació, la qual cosa permet saber quina va ser la temporada d'allaus en què es produí l'impacte.

En la Taula 2 (pàg. 85) apareix indicada la varietat d'efectes de la davallada d'allaus en els arbres que donen lloc a senyals dendrocronològics datables. S'indiquen també les reaccions dels arbres enfront les alteracions estructurals per tal de recuperar la verticalitat, reparar pèrdues de capçada o vigorositat i tancar ferides. En el procés de reacció adopten formes especials, algunes de les quals han rebut noms al·lusius.

La taula vol ser un ajut per la presa de les mostres que millor recullen els senyals dendrocronològics de pertorbacions. Sovint no és fàcil escollir el punt de presa de mostres útils d'un arbre que, pel seu aspecte extern, presenta signes evidents

d'haver estat afectat per allaus. El resultat pot ser que no es trobi cap senyal. Per això, a la quarta columna, s'especifica quin és el millor punt de presa de mostres al nostre entendre. A la Figura 2, s'explica la terminologia emprada a la taula per la col·locació de la barrina de Pressler en el tronc de l'arbre per extreure les mostres.

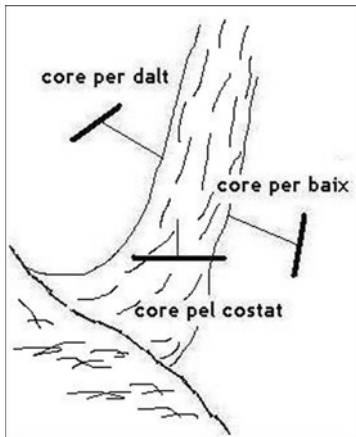


Figura 2. Esquema explicatiu per l'extracció de mostres del tronc dels arbres (cores) amb barrina de Pressler dels diferents sectors del tronc en relació a l'orientació en vessants de muntanya.

Finalment, a la darrera columna, s'indica quin és el senyal dendrocronològic que s'espera trobar.

Un dels efectes més habituals de les allaus és la inclinació dels arbres. Per tal de recuperar la verticalitat, el tronc es corba.

Llavors, es diu que tenen forma de sabre o de pal de hockey. El mecanisme és la producció de fusta de reacció i és diferent en angiospermes i gimnospermes. A les gimnospermes, com el pi negre (Fig. 3), consisteix en la fabricació de fusta de compressió en el costat més ajagut del tronc. Es tracta d'una fusta més densa per un major engruiximent de les parets cel·lulars, la modificació de l'estructura de la paret secundària i una major acumulació de lignina. Es produeix un canvi en l'ordenació de les fibres en les parets de les cèl·lules de nova formació. La fusta de compressió té una coloració més fosca, la qual cosa facilita la seva identificació visual. A més a més, els anells en aquest costat del tronc es fan més amples, a l'hora que els anells en el costat contrari són més estrets (Fig. 4).



Figura 3. Core d'un pi negre corbat. A l'esquerra, els anells de coloració més fosca presenten fusta de compressió (sector del tronc per baix) i a la dreta, els darrers anells des de 1996 són molt estrets (sector per dalt). Les línies grogues resalten la diferència en el gruix dels anells de creixement de 1996 a 2001 per dalt i per baix.

EFFECTE EN L'ARBRE	REACCIÓ DE L'ARBRE	ASPECTE DE L'ARBRE	EXTRACCIÓ DE MOSTRES	SENYALS DENDROCRONOLÒGICS
1. INCLINACIÓ	1.1. CORBATURA DEL TRONC	1.1. SABRE	Cores per dalt i per baix a l'alçada de la zona corbada del tronc en la direcció de la inclinació.	Anells estrets en sector de dalt coetanis amb anells amples en sector de baix i possible fusta de compressió en sector de baix a partir de la temporada d'allaus i durant un nombre variable d'anys.
	1.2. VERTICALITZACIÓ DE BRANQUES	1.2. HORIZONTAL AMB BRANQUES VERTICALS	Zona per dalt i per baix en la direcció de la corbatura.	Anells estrets en sector de dalt coetanis amb anells amples en sector de baix i possible fusta de compressió en sector de baix a partir de la temporada d'allaus i durant un nombre variable d'anys.
2. TRENCAENT	2.1. DOMINÀNCIA DE DIVERSOS TRONCS	2.1. PLURICAULE	Cores a la base dels eixos.	Recompte d'anells totals i possibles canvis en taxa de creixement
	2.2. MÉS ANUNT DE LA BASE	2.2. CANELOBRE	2.2.1. Secció de la part morta del tronc (si resta visible). 2.2.2. Cores estrets sota la bifurcació.	2.2.1. Datació de l'acabament sobtat del creixement, si la mostra presenta sèrie d'anells suficientment llarga o anells característics identificables. 2.2.2. Anells amples a partir de la temporada d'allaus en els sectors coincidents amb la direcció de les branques que han pres dominància.
3. FERIDA	2.3. AILLAMENT DEL TRAU-MATISME I VERTICALITZACIÓ DE L'EXTREM O BRANQUES	2.3. REVERENT	Cores per dalt i per baix extrems per sobre de la ferida en la direcció de la inclinació de l'arbre.	Anells estrets a partir de la temporada d'allaus en el sector de dalt i anells amples possiblement acompanyats de fusta de compressió en el sector de baix.
	3. AILLAMENT DE LA FERIDA	3. FERIT AMB RODET CICALTRICIAL	3.1.1. Cores al centre de la ferida. 3.1.2. Cores al rodet cicatricial.	Absència d'anells a partir de la temporada d'allaus. Anells amples després de la temporada d'allaus.
4. DESARRELLAMENT PARCIAL	4. PÈRDUA DE VIGOROSITAT	4. AMB ARRELS DESCORBERTES	Secció (o cunya) d'una arrel descoberta gruixuda a prop del coll de l'arrel.	Canvi en el gruix o en l'anatomia dels anells en quedar descoberta del terra.
	5. INACTIVITAT	5.1. TRANSPORTAT	Secció del tronc a la base.	Datació de l'acabament del creixement.
5. MORT		5.2.1. <i>in situ</i> DRET	5.2.1. Core a la base del tronc.	5.2.1. Datació de l'acabament del creixement.
		5.2.2. <i>in situ</i> TOMBAT	5.2.2. Secció a la base del tronc.	5.2.2. Datació de l'acabament del creixement.

Taula 2. Senyals enregistrats pel pi negre (Pinus uncinata) per la datació dendrocronològica d'allaus. Efectes i reaccions en els arbres i senyals dendrocronològics associats (explicats en el text). Es fa distinció entre els sectors d'extracció en el tronc en relació al vessant de la muntanya, vegeu esquema explicatiu Fig.2.

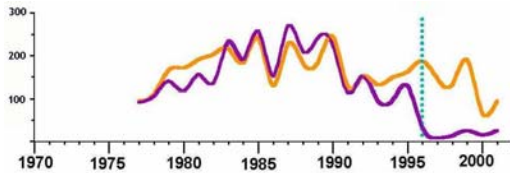


Figura 4. Gràfic del gruix dels anells ($\text{mm} \times 10^{-2}$) de dues mostres d'un arbre corbat. En taronja, mostra per baix i en lila mostra per dalt. Noteu la divergència a partir de 1996 (ratlla vertical).

El nombre d'anys que pot durar aquest procés és variable, de manera que en una mostra podem trobar molts anells consecutius a partir de l'any de l'esdeveniment, o pocs, o bé tan sols una part dels anells amb fusta de reacció. En les angiospermes, com el bedoll, el mecanisme és oposat. Trobarem anells amples en el costat del tronc que mira a muntanya i estrets en el costat més ajagut.

Els anells més amples contenen en aquest cas, una fusta que se'n diu de tensió, d'estructura diferent de la fusta habitual per què acumula substàncies de consistència gelatinosa de característiques elàstiques. Sota la lupa també és distingible per la seva estructura, malgrat la coloració no varia gaire. El fet que es pugui detectar a través de diferents senyals simultanis (en coníferes: fusta de compressió, anells amples i anells estrets) o redundància de senyals facilita la identificació de l'any de l'esdeveniment i en conseqüència, s'aconsegueix una datació acurada.

De vegades, la inclinació de l'arbre és molt gran i el tronc massa rígid (o gruixut) per corbar-se i en canvi, són les branques les que rectifiquen la seva direcció, tot cercant la verticalitat. Pot ser que branques ja existents es corbin, o bé que n'apareguin de noves que creixen en posició vertical per fer funcions del tronc que ara roman horitzontal. El primer cas és comú en coníferes com el pi negre i el mecanisme

és semblant al de la corbatura del tronc. La detecció de senyals d'allaus en branques però, té inconvenients: cal tenir en compte que la presència de fusta de compressió en branques és habitual i sovint, no respon a perturbacions; un altre problema és que el desenvolupament d'un anell cada any està supeditat a la suficiència de recursos, és a dir, que no totes les branques d'un arbre creixen cada any i el resultat és que poden mancar anells de creixement dificultant la datació correcta. El cas de l'aparició de branques noves verticals és més típic en planifolis com el bedoll, però també té lloc en l'abet. Es produeix per l'existència de borrons dorments que s'activen després de perturbacions. En aquest cas, es pot aconseguir una aproximació, però no una certesa, de la data de l'event per recompte dels anells en la base d'aquestes branques. Cal tenir l'evidència d'altres senyals per confirmar la data.

També en el cas d'inclinació del tronc en el pi negre, hem observat que es poden datar en el camp esdeveniments no molt llunyans en el temps. Si s'observa amb deteniment l'extrem del tronc o de les branques superiors, es pot apreciar un canvi sobtat en la inclinació de l'eix a prop de la zona corbada que nosaltres en diem una inflexió. Per recompte del nombre de verticils de branques a partir de la inflexió, obtenim els anys transcorreguts des de la pertorbació.

La pèrdua del tronc principal per

trencament a prop de la base, si no provoca la mort de l'arbre, origina formes pluricaules, amb més d'un eix des de la base. En general, si l'exemplar era jove quan va tenir lloc l'allau i han transcorregut suficients anys no observarem signes directes del trencament. Les formes pluricaules de pi negre són habituals en el centre de les zones d'allaus. Les datacions que es poden obtenir a partir del recompte d'anells de mostres de la base dels troncs són aproximatives però no són útils per a la datació exacta d'allaus.

Si el trencament del tronc es va produir més amunt de la base es desenvolupen formes en canelobre (Fig. 5). Sempre i quan l'arbre pugui refer-se per què li queda suficient biomassa o substàncies de reserva, les branques situades per sota del trencament prenen dominància i adopten una posició vertical. En el cas que l'eix trencat resti visible com a fusta morta, de



Figura 5. Pi negre en forma de canelobre per reacció al trencament de l'eix principal a una certa alçada del tronc.

vegades és possible la datació exacta de l'allau. Cal que la mostra contingui una sèrie d'anells suficientment llarga o que poguem identificar anells característics. Ocasionalment, també és possible la datació acurada si es detecta -en mostres extreteres per sota del trencament- l'any de canvi en l'orientació de les branques. En aquest cas, trobarem anells més amples a partir de l'any que les branques van prendre la dominància.

En el decurs del treball de camp, hem observat amb relativa freqüència una altra categoria morfològica que hem anomenat reverent (Fig. 6). Són arbres que han quedat doblegats en la direcció de l'allau per efecte d'un trencament incomplet del tronc a qualsevol alçada. De vegades, la detecció de l'any de l'event es pot fer a partir de la ferida causada, però si no, es pot fer a partir de mostres extreteres per sobre de l'àrea del traumatisme (per on s'ha doblegat) en el costat del tronc que mira amunt.



Figura 6. Pi negre de forma reverent per traumatisme en el tronc que el va doblegar anys enrera.

Aquí trobarem anells estrets subsegüents a la temporada d'allaus. Les mostres extreteres en el sentit contrari, és a dir, pel costat inferior poden presentar fusta de compressió i anells amples com en el cas de les corbatures.

Un dels senyals més útils en coníferes

són les ferides en tronc i branques (Fig. 7, esquerra). Les ferides són provocades per l'impacte d'objectes com ara pedres, fragments d'arbres arrossegats i la mateixa neu compactada de l'allau. En general, les trobem a la part del tronc que mira cap amunt del vessant de la muntanya, però també se'n poden trobar en el costat de baix i llavors pot indicar que l'arbre, tot i que en l'actualitat sigui dret, va ser abatut per una allau en el passat. Una altra mena de ferides són les provocades per l'abrassió de la neu, que són llargues i poden ser molt amples en relació al perímetre del tronc (fins i tot superar mig perímetre). Es produeixen pel lliscament de la neu de l'allau sobre arbres inclinats o ajaguts i la seva datació és complexa.

Enfront les agressions per impacte, l'escorça representa una molt bona protecció, si no fos així, la incidència de ferides seria molt més gran en zones d'allaus (i la nostra tasca més fàcil). La funció principal de l'escorça és la protecció de la part viva de tronc i branques per on creixen en gruix, el càmbium. El càmbium és un teixit meristemàtic que ocupa la interfase entre l'escorça i la fusta i és responsable del creixement de les dues. Un cop anul·lada la barrera de l'escorça, el càmbium acostuma a morir localment en la zona exposada a l'exterior. La reacció de l'arbre és l'aïllament de la ferida tot construint un rodet cicatricial que la va cobrint. Aquest es desenvolupa a partir dels marges i un cop transcorreguts els anys suficients, pot arribar a cobrir la ferida i ocultar-la als nostres ulls. Les mostres que ens permeten detectar l'any d'incidència s'extreuen del centre de la ferida (si la fusta no està podrida), del rodet cicatricial i del costat oposat a la ferida. La mostra de la ferida no presentarà

més anells de creixement a partir de l'any de l'esdeveniment i la mostra del rodet cicatricial presentarà anells més amples durant un període variable d'anys a partir de l'allau. Sovint també es pot detectar una coloració diferent de la fusta que prové de la secreció de substàncies de defensa per aïllar la zona de la ferida i que, començant des de l'anell de la ferida, origina una taca cap al centre de l'arbre i no afecta els anells de nova formació. Igual com en el cas de les inclinacions, amb les ferides també hi ha redundància de senyals i això fa que siguin molt útils en la datació d'allaus, malgrat l'inconvenient que si són molt antigues queden ocultes i tan sols es detecten per casualitat en seccions completes de troncs d'arbres. En el cas dels planifolis i basantnos en el que hem observat en bedoll (Fig. 7, dreta), la detecció es complica donat que la part morta s'acostuma a podrir i en conseqüència, no és convenient l'extracció de cores.

L'observació de seccions de les arrels dels arbres desarrelats parcialment com a resultat de la davallada d'una allau també aporta informació interessant. L'anatomia dels anells de creixement de les arrels és lleugerament diferent. En quedar descobertes, canvia i s'assembla a l'anatomia dels anells de la part aèria, tronc i branques. Si es detecta aquest canvi, es pot relacionar amb altres senyals trobats en el bosc i eventualment decidir si va ser una allau. Però sovint calen talls primis i l'observació sota el microscopi per detectar aquests canvis estructurals. En general, el desarrelament parcial de l'arbre comporta una pèrdua de vigorositat i es pot detectar que els anells a partir de l'hivern de l'allau són més estrets, per què el creixement minva. S'aconsella tallar una secció d'una arrel descoberta gruixuda a

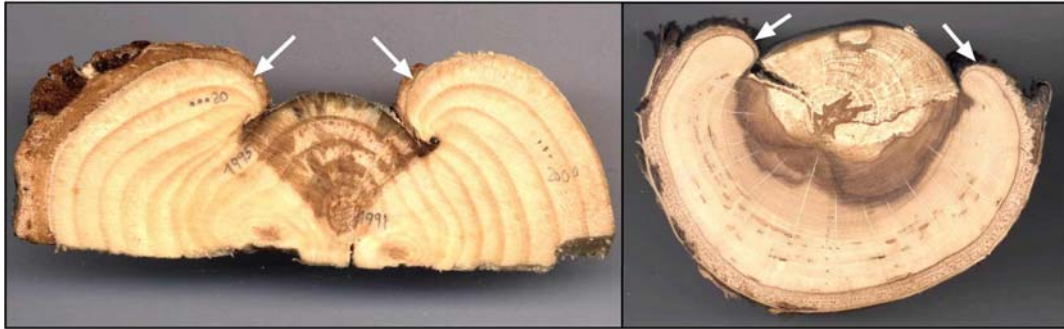


Figura 7. Esquerra: secció en cunya del tronc d'un pi negre amb ferida i rodet cicatricial (indicat per les fletxes), es veu la tinció de la fusta per resines i altres substàncies de defensa. Dreta: secció d'una branca de bedoll amb ferida i rodet cicatricial (indicat per les fletxes) i deteriorament de la fusta interior.

prop del coll de l'arrel.

En la zona d'arribada és on les allaus perden força i van dipositant el material transportat. Aquí s'acumulen restes vegetals i arbres arrencats de més amunt. Durant un període d'anys, que varia en funció de la humitat i la temperatura de l'indret i si la fusta està en contacte amb el terra o no, els anells dels arbres morts encara es poden identificar (com més elevades humitat i temperatura i si la fusta toca terra, menys temps) i la datació del darrer anell dóna la data exacta de l'esdeveniment. És interessant tallar seccions del tronc a la base d'aquests arbres, per què faciliten la datació, ens permeten conèixer l'edat aproximada de l'arbre i poden subministrar dades d'events passats que externament passen desapercibudes.

De vegades, trobem arbres morts per allaus que no han estat transportats. Poden ser arbres amb fractures al tronc o a les arrels. Si són arbres drets aconsellem que se n'obtingui un core amb barrina i no una secció, donat que els arbres secs drets compleixen una funció cabdal com a refugi per a espècies animals. Si són arbres tombats és més interessant tallar una

secció a la base com en els transportats. En el cas d'arbres morts no desplaçats, la determinació de la causa de mort pot presentar més complicacions que en el cas d'arbres transportats. Un indicatiu positiu és que la mort, igual com passa en els arbres transportats, s'hagi produït de forma sobtada. Això queda patent en representar gràficament el creixement anual en gruix i no s'observar un declivi progressiu en els anells de creixement dels darrers anys (Fig. 8).

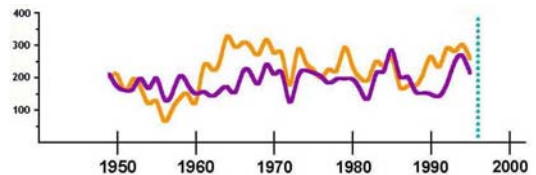


Figura 8. Gràfic del gruix dels anells (mm x 10⁻²) de dues mostres de costats diferents d'un arbre mort de manera sobtada (no hi ha reducció del creixement) al 1996 (ratlla vertical) per una allau.

Un cas particular és la datació d'arbres morts parcialment desarrelats. Ocasionalment, el trencament de les arrels

és tan extens que no sobreviuen. Però acostuma a passar que arbres parcialment desarrelats, gràcies a les reserves, poden resistir alguna temporada més. En aquests casos, s'observa una disminució progressiva de l'amplada dels anells abans de la mort i si no es tenen altres senyals és difícil decidir en quin moment va tenir lloc la pertorbació que els va abocar a la mort.

Una altra resposta que no és atribuïble a un efecte concret és la reducció del creixement general, que es tradueix en una disminució, sovint progressiva, de l'amplada dels anells (supression) (Fig.9). Igual com en l'augment del gruix dels anells pot no quedar ben identificat l'any d'inici donat que els arbres disposen de les reserves en casos de necessitat. Efectes que poden causar una reducció del creixement poden ser un trencament del tronc i pèrdua de capçada o un desarrelament parcial.

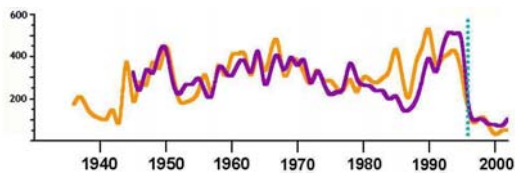


Figura 9. Gràfic del gruix dels anells (mm x 10-2) de dues mostres de costats diferents d'un arbre escapçat per una allau al 1996 (ratlla vertical). Es pot apreciar la reducció posterior del creixement per la pèrdua de massa foliar.

Altres efectes tenen lloc sobre la massa boscosa contigua a la zona d'allaus. En el cas d'allaus excepcionals, aquelles que superen les dimensions de les allaus més habituals en una mateixa zona i que poden tenir altres trajectòries, queden destruïdes clapes de bosc madur. Hem observat, en

moltes zones prospectades als Pirineus de Catalunya, clapes d'arbres més joves que el bosc adjacent que pertanyen al mateix grup d'edat o cohort (Fig. 10). Es tracta d'illes de regeneració posteriors a una pertorbació que destrueix bosc i la determinació de l'edat dels arbres ens facilita una dada aproximada del temps transcorregut des de la darrera allau devastadora. Si són pins joves, l'edat es pot obtenir per recompte total de verticils de branques. Si són arbres adults, convé l'extracció de cores a la base. Si són arbres morts, seccions a la base i en aquest cas l'edat dels arbres ens dóna una idea del període de retorn de les grans allaus. Difícilment obtindrem la data exacta de l'event, però sí una bona aproximació. No obstant, no sempre és apreciable a simple vista on són aquestes clapes de regeneració. Llavors cal un



Figura 10. Zona d'allau on s'aprecia a l'esquerra de la imatge una clapa de bosc més jove que el bosc vell adjacent fruit de la regeneració després d'una allau.

estudi sistemàtic de les edats dels arbres del bosc i la construcció de gràfics que puguin posar de manifest l'existència de grups d'arbres de la mateixa edat en una localització concreta.

Una altra conseqüència de l'efecte de les allaus sobre el bosc és l'eliminació de competència i posterior augment del creixement dels arbres veïns. Aquesta

situació es pot donar, per exemple, en el marge del bosc (Fig. 11). Si els arbres que creixien en el marge són destruïts, els seus veïns de l'interior del bosc tenen més disponibilitat de recursos (nutrients del sòl i llum). Conseqüentment, el seu creixement augmenta, en especial en el sector del tronc orientat cap a la canal d'allau. Una altra situació on hem detectat



Figura 11. Core d'abet que creixia en el marge del bosc presentant un augment del creixement en anys posteriors a una allau al 1996 per eliminació de la competència dels arbres veïns que van ser destruïts.

augment bruscat del creixement (release) per eliminació de competència ha estat en zones d'arribada.

Abans de la perturbació, el creixement de la vegetació era molt compacte i atapeït, els troncs dels arbres, prims i llargs i en secció, els anells eren molt estrets. Havent-se eliminat part de la vegetació a conseqüència de l'allau, els anells de creixement posteriors esdevenen amples, tot i que, alguns individus també es dobleguen per què l'eliminació de veïns els deixa més vulnerables a les inclemències. Les mostres que cal prendre per detectar l'augment del creixement no cal que siguin a la base dels arbres, sinó a 130 cm (DAP), de fet els creixements més intensos es produeixen, en general, més amunt en el tronc. L'orientació dels cores ha de ser lateral, si s'espera el release en un costat concret, la mostra s'haurà d'extreure en aquesta orientació. El senyal serà un augment del gruix dels anells en

anys posteriors a l'event però l'any d'inici pot no quedar clar.

En general davant de cada arbre, per a la presa de mostres, cal cercar de forma sistemàtica els senyals d'allaus, ja que pot ser que s'hi detectin diferents episodis o reaccions múltiples a una mateixa allau. A continuació, escollir quines seran les mostres més útils. Per minimitzar els efectes perjudicials de l'obtenció de mostres, si els arbres són vius, som partidaris de l'extracció de mostres amb barrina Pressler; en cas que els senyals es trobin en branques o arrels i sempre que això no suposi el deteriorament excessiu de l'arbre, tallarem una secció amb serra, preferiblement manual; en el cas d'arbres morts, si són a terra, tallarem una secció amb serra mecànica el més a prop de la base que sigui possible i altres seccions si trobem més senyals; si els arbres morts són drets i la fusta no està podrida, en treurem cores.

ESTUDI DE LA CANAL DEL ROC ROIG (VALL DE NÚRIA)

El nostre primer cas d'aplicació de la dendrocronologia a l'estudi de la dinàmica d'allaus es va dur a terme a Núria, a la Canal del Roc Roig o del Pla de Sallent. Les allaus que baixen per aquesta canal poden malmetre les instal·lacions del ferrocarril cremallera que enllaça el Santuari de Núria amb el poble de Ribes de Freser. Durant l'hivern de 1995-1996 hi van baixar dues grans allaus que devastaren part del bosc i provocaren desperfectes a la via del tren. L'anàlisi de les mostres d'arbres recollides en diferents localitzacions ha permès acumular evidències d'allaus anteriors que no eren conegudes. A la Figura 12, estan representats el nombre de senyals trobats en els anells dels arbres per any. L'any 1930, molts arbres de la canal van mostrar senyals que podrien ser

atribuïdes als efectes d'una o més allaus l'hivern de 1929-1930. Donat que el cremallera es va construir entre 1929 i 1931 existeixen documents històrics relatius al desenvolupament de les obres i a través de la seva consulta s'ha constatat que l'hivern de 1930 va ser de nevades molt intenses (Salmeron, 1987). També es diu que l'alçada de la neu al Pla de Sallent on s'estava construint la via, arribava a 6 metres (Fortià, 1952). Actualment, quan es té coneixement de la davallada d'una allau que supera les dimensions habituals, el grup de nivologia i allaus de l'ICC acudeix per avaluar els danys i prendre mesures de les dimensions (recorregut, amplada, gruix de la cicatriu, gruix del dipòsit, etc) i de l'estratificació del mantell. De les allaus de 1996, es tenen dades de l'alçada de neu acumulada i era de 3 metres. (Muntán *et al*, 2003).

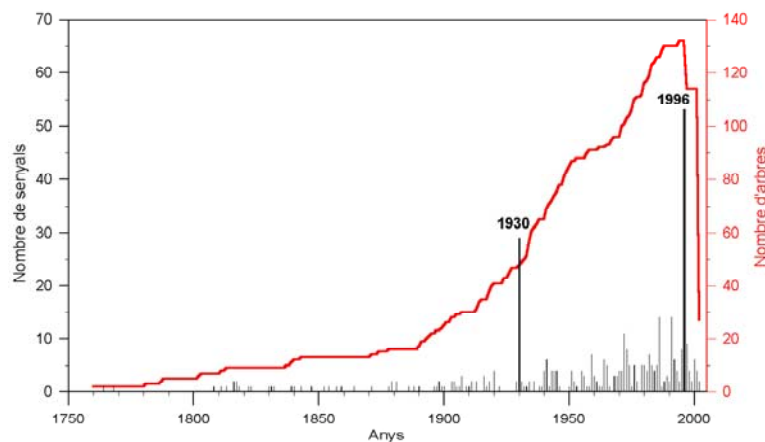


Figura 12. Freqüència absoluta de senyals en els anells de creixement dels arbres per anys. Els senyals de 1996 corresponen a una temporada d'allaus coneguda, els de 1930 podrien correspondre a una allau no documentada fins ara. (Redibuixat d'Annals of Glaciology no. 38).

CONCLUSIONS

La datació d'allaus passades a través de la dendrocronologia dóna una precisió anual, però una bona tria del punt d'extracció de les mostres en el tronc dels arbres de la zona és decisiva per a la localització dels senyals en els anells de creixement. Donat que els mateixos senyals poden ser deguts a diferents pertorbacions, cal descartar altres causes per poder concloure que es tracta d'una allau.

L'excepcionalitat de la temporada d'allaus de 1996 als Pirineus de Catalunya ha estat cabdal en l'inici de la línia de recerca en dendrocronologia i allaus al nostre país. L'abundància de material al camp i d'informació i documentació recollida sobre aquest episodi ens ha permès evidenciar la varietat de senyals dendrocronològics en relació a la diversitat de morfologies en diferents espècies d'arbres. Paral·lelament, s'ha posat de manifest la importància de la redundància de senyals en un mateix arbre i en arbres diferents. Per això, és necessari analitzar moltes mostres i per tant, és convenient que la fusta de desguàs de les

allaus, sempre i quan no suposi un perill, no sigui retirada del camp.

AGRAÏMENTS

Agraïm a la direcció del Parc d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici per la celebració de les Jornades de Recerca.

Agraïm la col·laboració de: Jordi Gavalda, Quim Merlos, Marc Ferrer, Miquel Arilla i Enric Nadal en la subministració d'informació, localització de les zones d'allaus i el treball de camp.

Agraïm als companys del Grup de Dendroecologia de la UB, DENDRIX per les contribucions constants al projecte en curs i també a Verònica Vidal.

Agraïm el personal i la direcció de Vall de Núria i FFCC pel suport logístic durant les campanyes de camp a la Canal del Roc Roig en l'allotjament, l'aproximació de material i persones amb el Cremallera de Núria a la zona de treball i l'atenció mostrada en tot moment.

El suport econòmic prové del projecte d'investigació ALUDEX (REN2002-02768/RIES) del MCYT i de fons FEDER.

BIBLIOGRAFIA

- BUTLER, D.R. 1979. Snow Avalanche Path Terrain and Vegetation, Glacier national Park, Montana. *Arctic and Alpine Research*, 11(1), 17-32.
- Cararra, P.E. 1979. The determination of snow avalanche frequency through tree-ring analysis and historical records at Ophir, Colorado. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 90, 773-780.
- COOK, E.R. and KAIRIUKSTIS, L.A. 1990. *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- GARCÍA, C., GAVALDÀ, J., MARTÍ, G., MARTÍNEZ, P. and OLLER, P. 2000. Butlletí nivològic i d'allaus. Hivern 95/96. Institut Cartogràfic de Catalunya.
- MUNTÁN, E. ANDREU, L. OLLER, P. GUTIÉRREZ, E. MARTÍNEZ, P. 2003. Dendrochronological study of the avalanche path Canal del Roc Roig. First results of the ALUDEX Project in the Pyrenees. *Annals of Glaciology* no. 38 (en premsa).
- POTTER, Jr N. 1969. Tree-ring dating of snow avalanche tracks and the geomorphic activity of avalanches, Northern Absaroka Mountains, Wyoming. *Geol. Soc. Amer. Special Paper*, 123, 141-165.
- SALMERÓN, C. 1987. El tren de Núria. Història del cremallera de Ribes-Núria. Els trens de Catalunya, 9. Barcelona.
- SANTILLI, M. PELFINI, M. 2002. Dendrogeomorphology and dating of debris flows in the Valle del Gallo, Central Alps, Italy. *Dendrochronologia*, 20, 269-284.
- SCHWEINGRUBER, F.H. 1996. Influence of snow. In *Tree Rings and Environment. Dendroecology.* Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Birmensdorf, Paul Haupt Verlag, Berne. pp. 183-196.
- SHIGO, A. L. 1990. *A new tree biology.* Shigo & Trees Associates. New Hampshire. pp.618.
- SOLÀ, F. 1952. Història de Núria. Editorial Estel, Barcelona.
- STOKES, M. A. and Smiley, T.L. 1968. *An Introduction to Tree-ring Dating.* University of Chicago Press, Chicago.
- TIMELL, T. E. 1986. *Compression wood in Gimnosperms.* Springer-Verlag, Berlin. pp. 2003.