

**Dinàmica del paisatge als Pirineus al
llarg dels últims 10.300 anys.
Aproximació paleoecològica a les torberes de
l'Estany de la Bassa i dels Clots de Rialba
(Pallars Sobirà, Lleida)**

Josep Manel Rodríguez González

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=ca>

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=es>

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>



Tesi doctoral

Programa de Doctorat en Biologia i Biotecnologia Vegetal.

Línia de recerca en Botànica Sistemàtica

i Filogènia de Plantes i Fongs.

Dinàmica del paisatge als Pirineus al llarg dels últims 10.300 anys.

Aproximació paleoecològica a les torberes de
l'Estany de la Bassa i dels Clots de Rialba
(Pallars Sobirà, Lleida).

Josep Manel Rodríguez González

Tesi de doctorat dirigida pels:

Dr. Ramon Pérez i Obiol (2019-2022)

Dr. Marc Sánchez i Morales (2022-2024)

Tutor acadèmic

Dr. Llorenç Sáez i Gonyalons



Departament de Biologia Animal,
de Biologia Vegetal i d'Ecologia.

Facultat de Biociències.

Universitat Autònoma de Barcelona

Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), Juny 2024

*“Les empremtes del campament al costat dels rierols, allà als turons de Rayan,
s’anaven esborrant com a inscripcions en una roca exposada als vents.*

*I llavors va arribar la pluja de primavera que porten les estrelles, va
caure abundant i tempestuosa i es va anar fent més feble.*

*Vaig fer una parada en el camí. I vaig consultar les empremtes, però, què podia
preguntar a la pedra muda, a les muntanyes eternes que no tenen veu?”*

Labid ibn Rabi’a (poeta àrab, segle VI CE)

*“Salut, vells immortals! Amb les nevades testes,
amb les barbes del gel caient sobre les vestes
d’estam o de vellut, ja us veig, oh Pirineus!...*

*...Vells avis immortals! Contau-me’n de rondalles,
dictau-me’n de cançons, d’idil·lis i batalles,
de torres, monestirs, estanys i encantaments...*

*Obriu-me el fosc tresor del temps i del misteri
i rabejau-me avui en el frescal platxeri
de prats, fonts i torrents.”*

Miquel Costa i Llobera. Als Pirineus catalans (1904)



AGRAÏMENTS.

Era l'any 2008 quan acabava de presentar el TFM del Màster d'Arqueologia del Quaternari i Evolució Humana a la URV a Tarragona sobre el paleoambient de l'Estany de Burg. Havien sigut uns anys durs perquè havia de combinar les classes d'ESO i Batxillerat a Maristes la Immaculada amb els desplaçaments en RENFE a la Universitat Rovira i Virgili (URV). Havia de cursar moltes matèries interessants però va haver-hi una que em va copsar immediatament ja a primer curs. Era l'assignatura de Restitució Paleoambiental, impartida pel Dr. Francesc Burjachs, al 2005. Ens va presentar un temari divers i entretingut entre el que em va agradar especialment la Palinologia. Recordo les seves classes, amb el Bruno Gómez i el Gerard Campeny com a companys, ara ja professionals a l'IPHES de Tarragona. Val a dir que ja a 2n de BUP, el professor d'Història i Geografia, en Carles García, als Maristes de Les Corts, quan ens explicava els mètodes de datació ens va introduir alguns conceptes sobre palinologia. Qui ho havia de dir! De fet encara recordo aquella llunyana classe del 1987 i l'interès que em va generar... En aquest sentit vull agrair al Quico especialment les seves orientacions i la seva manera de fer. Em va fascinar! Moltes gràcies, Quico.

Un cop amb el Màster enllestit, la pregunta següent era clara... I per què no seguim amb el doctorat? Davant l'enorme dificultat que suposava seguir amb els desplaçaments a Tarragona i continuar amb la recerca arqueològica (algunes opcions eren reconstruir les seqüències de pol·len dels jaciments de El Mirador a Atapuerca o de l'Abric Romaní, a Capellades), en Francesc em va facilitar el contacte d'un col·lega i amic seu, el Dr. Ramon Pérez-Obiol, botànic i palinòleg de la UAB. El Ramon em va convèncer de que gaudiria més estudiant material fresc conservat a les torberes de l'Alt Pirineu que amb el material arqueològic, generalment pobre en pol·len. Dit i fet. Després de l'Estany de Burg van seguir al 2010 el Llebrete al PNAESM, el sondeig i la seqüència palinològica prèvia de La Molina (Cantàbria) al 2013, la seqüència completa de l'Estany de Burg al 2014, els Clots de Rialba al 2016 i l'Estany de la Bassa al 2018. Amb el Ramon vaig començar a aprendre a diferenciar els diferents tàxons (el primer pollen que vaig aprendre identificar en una mostra "real" va ser un *Ranunculus* de l'Estany de Burg; el segon, una *Artemisia*), a caminar per l'alta muntanya i a mirar-me-la amb uns altres ulls. Així va començar una llarga col·laboració fins a l'actualitat...

Hem compartit congressos, sondejors i algun curset al Gerdar. Li vull agrair tota la paciència que ha tingut com a Director de la meva tesi amb les meves intermitències i els seus bons consells basats en l'enorme experiència. Ell ja m'ho deia des del principi: no havia tingut mai cap alumne que, treballant a temps complet fora de la universitat,

hagués acabat una tesi.. Ara aquesta frase pren tot el sentit ja que no ha sigut fàcil combinar l'arribada dels meus fills, la feina a l'escola a temps complet i la vida de parella amb la recerca. Estic molt content de ser-ne el primer. Com és evident en qualsevol marató, s'han donat alts i baixos en el meu estat d'ànim. Els moments esperançats s'han combinat amb d'altres de més grisos... Després de més de 15 anys, sembla que per fi acabarem la feina... Moltes gràcies Ramon, de veritat!

Amb el Ramon vaig conèixer al Dr. Albert Pèlach, del Departament de Geografia i component de l'equip del GRAMP (Grup de Recerca de l'Alta Muntanya i Paisatge) de la UAB. La seva col·laboració, la seva capacitat de treball i l'enorme empenta han sigut inestimables. Li vull agrair les estones compartides i els bons consells rebuts. Ha sigut una llàstima no poder viure el dia a dia del laboratori o dels Departaments perquè la feina m'ho impedia. Tot i que de forma intermitent, he après i he gaudit molt amb vosaltres. Moltes gràcies Albert!

I evidentment també vull agrair al Dr. Marc Sánchez tot el seu recolzament i acompanyament. Sempre disponible i amb moltes ganes d'ajudar-me, li reconec una gran capacitat de treball i de fer equip. Li agraeixo especialment que hagi volgut assumir el repte de substituir a en Ramon en la direcció d'aquesta tesi. Els teus consells i orientacions han fet millorar molt aquesta recerca. Moltes gràcies, Marc!

Tot i no haver conviscut el dia a dia a la Unitat de Botànica de la UAB, vull agrair a tots els companys del Departament per l'ajut en tots els dubtes que m'han resolt en algun moment. Vull agrair especialment a la Cèlia tot el seu ajut en el tractament de les mostres. Moltes gràcies! Gràcies també Sònia pels consells, quan tot començava. També vull agrair a d'altres persones que m'han ajudat en diversos instants al llarg del viatge, com ara l'Elena, l'Aaron, la Raquel, el Joan Manuel o l'Ermengol. També vull agrair al meu excel·lent exalumne i ara amic, l'Alex Toporkov, la seva revisió de l'*Abstract*.

I per suposat, el sosteniment de la meva família. Als meus fills Arnau i Aran i a la meva companya de viatge, la Pilar, que han sigut, són i seran imprescindibles i indispensables, en tots aquests anys i en tots els que vindran. En els moments de desànim i foscor, ella sempre m'ha rescatat i m'ha empès a seguir endavant. Sense ells, tot això no hagués estat possible... Us estimo tant!

Moltes gràcies de tot cor a totes i a tots.

Barcelona, juny de 2024

RESUM.

Els diversos testimonis sedimentaris recuperats a vàries torberes del Pirineu són un registre excepcional del passat i han esdevingut una eina indispensable per tractar de reconstruir l'evolució paleoambiental i paleoecològica del paisatge, integrant el vessant climàtic i la interacció antròpica. A més, també constitueixen un registre magnífic del règim d'incendis d'abast local, gràcies al dipòsit de macrocarbons sedimentaris, que s'han succeït al llarg del temps. En aquest sentit, es pot afirmar que la dinàmica del paisatge vegetal deriva de les relacions establertes entre les activitats humanes (agricultura, ramaderia, gestió del foc, etc.) i les condicions climàtiques al llarg del temps. Val a dir que en aquest binomi clima i humans, l'impacte antròpic habitualment es superposa, generant un senyal al registre sedimentari predominant i molt més evident que no pas el climàtic. La recerca paleoambiental a la serralada dels Pirineus al llarg de les dues darreres dècades, ha revelat com eren aquestes dinàmiques en algunes regions durant l'Holocè. No obstant això, alguns camps de la biogeografia encara presenten qüestions que cal abordar, com els patrons de *Fagus sylvatica* i *Abies alba* i la importància del règim d'incendis durant el Megalaià (Holocè més recent).

En aquesta tesi presento els resultats dels estudis *multiproxy* realitzats en dos registres sedimentaris extrets de dues torberes d'alta muntanya del Pirineu català. La primera és la torbera dels Clots de Rialba, situada a 2093 m d'altitud, a la vora del Parc Natural de l'Alt Pirineu (PNAP), al municipi de l'Alt Àneu, Pallars Sobirà, Lleida, i que cobreix aproximadament els últims 3,5 ka cal BP. El segon testimoni correspon a la torbera de l'Estany de la Bassa, situada a 2174 m d'altitud, a l'interior del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNAESM), al municipi d'Espot, Pallars Sobirà, Lleida, i que abasta els últims 10,3 ka cal BP aproximadament. Dels dos testimonis recuperats mecànicament, s'ha analitzat el contingut de matèria orgànica (*Lost On Ignition* o LOI), el pol·len, els palinomorfs no pol·línics (algues, fongs i protozous) i els carbons sedimentaris superiors a 150 µm de diàmetre. En els Clots de Rialba, els espectres palinològics han revelat una màxima extensió d'*Abies alba* cap al c. 3,5 ka cal BP a l'Edat del Bronze, just a l'inici de la seqüència, mentre que *Fagus sylvatica* va mostrar la seva extensió màxima entre c. 3,3 i 2,8 ka cal BP. També s'ha detectat un domini de *Pinus* al llarg de tot període estudiat. Altres taxons com cereals, plantes herbàcies, plantes aquàtiques i fongs copròfils també s'han discutit per identificar la pressió humana i els impulsos climàtics. A més, l'estudi dels macrocarbons sedimentaris revela els principals episodis d'incendis forestals i les seves recurrències, alguns d'ells vinculats a activitats antropogèniques i/o variacions climàtiques. Aquestes activitats humanes inclourien l'ús d'incendis forestals en la desforestació per obrir i mantenir

pastures i espais dedicats a l'agricultura de cereals i l'aparició de certs taxons vinculats o introduïts per les comunitats humanes.

A l'Estany de la Bassa els resultats han mostrat una forta expansió d'avellaners i bedolls a l'inici de la seqüència, entre c. 11,3 i 8 ka cal BP, en línia amb altres registres paleoecològics del centre i sud d'Europa. Els macrocarbons sedimentaris mostren episodis recurrents d'incendis naturals deguts a la gran biomassa forestal present i a factors climàtics afavoridors. Cal destacar la primerenca aparició esporàdica de pol·len d'*Abies alba* al registre fa c. 8,57 ka cal BP, i ja continuadament a partir de 8 ka cal BP. una datació que contrasta amb altres registres. També apareix puntualment *Fagus sylvatica* a partir de c. 7,7 ka cal BP tot i que el senyal no serà estable fins al c. 5,8 ka cal BP. Pel que fa al senyal de cereals, el primer registre apareix fa c. 7,7 ka cal BP, i de forma permanent a partir de c. 6,9 ka cal BP, sent també una datació primerenca en comparació amb altres registres regionals. A partir de c. 5,5 ka cal BP, el llac progressa cap a una torbera, segons indiquen els nivells elevats de ciperàcies i de matèria orgànica trobats al sediment. Mentre que el Neolític mostra nivells relativament baixos de pressió antròpica, l'Edat del Bronze eleva alguns d'aquests indicadors, tot i que, paradoxalment, no es detecta evidència arqueològica al PNAESM al llarg de 2 mil·lennis (entre c. 4,4 i 2,3 ka cal BP). Després d'una gestió forestal d'època romana, a on es practiquen diverses activitats com tala, agricultura, ramaderia, caça i extracció de metalls, hi ha indicis d'intensificació antròpica tardoromana però especialment baix medieval i d'època moderna, que és quan es registren les majors caigudes de coberta forestal i d'explosió de poàcies, fongs copròfils i tàxons ruderals. Finalment s'assisteix a una certa recuperació forestal durant la segona meitat del segle XX CE, gràcies a la disminució i l'abandonament parcial de les activitats agropecuàries a l'alta muntanya i a les figures de protecció ambientals establertes.

Paraules clau: paleoecologia, biogeografia històrica, dinàmica del paisatge, incendis, Holocè, Pirineus, torbera, matèria orgànica, pol·len, palinomorfs no pol·línics (NPPs), macrocarbons sedimentaris.

ABSTRACT.

The sedimentary evidence recovered in peatlands in the Pyrenees is an exceptional record of the past and has become an indispensable tool for trying to reconstruct the paleoenvironmental evolution of the landscape, integrating the climatic aspect and anthropic interaction. In addition, it also constitutes a magnificent record of the fire regime of local scope, thanks to the deposit of sedimentary macrocharcoals. In this sense, it can be said that the dynamics of the plant landscape derives from the relationships established between human activities (agriculture, livestock, fire management, etc.) and climatic conditions over time.

It is worth saying that in this binomial of climate and humans, the anthropogenic impact usually overlaps, generating a signal in the predominant sedimentary record that is much more obvious than the climatic one. Paleoenvironmental research in the Pyrenees Mountain range over the last two decades has revealed what these dynamics were like in some regions during the Holocene. However, some fields of biogeography still present questions that need to be addressed, such as the patterns of *Fagus sylvatica* and *Abies alba* and the importance of the fire regime during the Meghalayan epoch (latest Holocene).

In this thesis I present the results of the multiproxy studies carried out in two sedimentary records taken from two high mountain peatlands. The first record is the Clots de Rialba peat bog, located at 2093 m altitude, on the edge of the Alt Pirineu Natural Park (PNAP), in the municipality of Alt Àneu, Pallars Sobirà, Lleida, covering approximately the last c. 3,5 ka cal BP. The second one corresponds to the peat bog of Estany de la Bassa, located at 2174 m altitude, inside the National Park of Aigüestortes and Estany de Sant Maurici (PNAESM), in the municipality of Espot, Pallars Sobirà, Lleida, covering the last c. 10,3 ka cal BP. In both records recovered mechanically, the content of organic matter (Lost On Ignition), pollen, non-pollen palynomorphs (algae, fungi and protozoa) and sedimentary macrocharcoals bigger than 150 µm have been analyzed.

In Clots de Rialba, palynological spectra has revealed a maximum extent of *Abies alba* around c. 3.5 ka cal BP in the Bronze Age, right at the beginning of the sequence, while *Fagus sylvatica* showed its maximum extension between c. 3.3 and 2.8 ka cal BP. A dominance of *Pinus* was detected throughout the studied period. Other taxa such as cereals, herbaceous plants, aquatic plants and coprophilous fungi have also been discussed to identify anthropogenic pressure and climate drives. In addition, the study of sedimentary macrocharcoals reveals the main episodes of forest fires and their

recurrences, some of them linked to anthropogenic activities and/or climatic variations. These anthropogenic activities would include the use of the opening and maintenance of forest fires in deforestation in order to obtain pastures and spaces dedicated to cereal agriculture and the appearance of certain taxa linked or introduced by human communities.

In the Estany de la Bassa peat bog, the results have shown a strong expansion of hazel and birch trees at the beginning of the sequence, between c. 11.3 and 8 ka cal BP, in line with other palaeoecological records from central and southern Europe. Sedimentary macrocharcoals show recurrent episodes of natural fires due to the forest biomass present and climatic conditions. It is worth noting the early sporadic appearance of *Abies alba* pollen in the record at c. 8.57 ka cal BP, and already continuously from c. 8 ka cal BP. *Fagus sylvatica* also occasionally appears from c. 7.7 ka cal BP although the signal will not be stable until c. 5.8 ka cal BP. Regarding the cerealistic signal, the first record appears c. 7.7 ka cal BP, and permanently from c. 6.9 ka cal BP, also being an early date compared to other regional records. From c. 5.5 ka cal BP, the lake transitions to a peatland, as indicated by high levels of Cyperaceae and organic matter found in the sediment. While the Neolithic shows relatively low levels of anthropogenic pressure, the Bronze Age triggers some of these indicators, although, paradoxically, no archaeological evidence is detected in the PNAESM over 2 millennia (between c. 4.4 and 2.4 ka cal BP). After Roman forest management, where various activities such as felling, agro-livestock, hunting and metal extraction were practiced, there are signs of anthropic intensification in the late Roman period and especially in late medieval and modern periods, showing the biggest fall in forest cover and the explosion of Poaceae, coprophilous fungi and ruderal taxa are recorded. Finally, a certain recovery is witnessed in the second half of the 20th century CE, thanks to the abandonment of agricultural activities in the high mountains and the figures of environmental protection.

Keywords: paleoecology, historical biogeography, landscape dynamics, fire and sedimentary macrocharcoals, Holocene, Pyrenees, peat bog, organic matter, pollen, non-pollen palynomorphs (NPP).

TAULA DE CONTINGUTS

1. INTRODUCCIÓ.	21
1.1. Presentació.	21
1.2. Objectius.	22
1.3. Estat de la qüestió. Paleoclimatologia, arqueologia i context paleoecològic regional a l'Holocè.	22
1.3.1. Paleoclimatologia a l'Holocè.	22
1.3.2. Registre arqueològic i ocupació humana al Pirineu al llarg de l'Holocè.	36
1.3.2.1. Paleolític Superior i Mesolític.	39
1.3.2.2. Neolític.	43
1.3.2.3. Edat del Bronze i Edat del Ferro.	48
1.3.2.4. Ibers, Romans i Edat Medieval.	52
1.3.2.5. Època Moderna i Contemporània.	66
1.3.3. Context paleoecològic al PNAESM i al seu entorn.	69
1.3.3.1. Estanys de Llebreta, Redó i Redon.	71
1.3.3.2. Estany de Sant Maurici.	77
1.3.3.3. La Bassa Nera d'Aiguamòg (o Pletiu dera Muntanheta).	79
1.3.3.4. Estany de la Coma de Burg.	81
1.3.3.5. Torbera de València d'Àneu.	87
1.3.3.6. Torberes d'Estanilles i Montarenyo.	90
1.3.3.7. Torberes de les valls del Madriu i Perafita–Claror.	93
1.3.3.8. Torbera del Pradell.	102
2. ÀREA D'ESTUDI.	110
2.1. Geologia.	112
2.2. Relleu i geomorfologia.	114
2.3. Glaciarisme als Pirineus.	116
2.4. Clima.	119
2.5. Vegetació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNAESM) i al Parc Natural de l'Alt Pirineu (PNAP).	125
2.6. La torbera de Clots de Rialba.	129
2.7. La torbera de l'Estany de la Bassa.	137
3. METODOLOGIA.	145
3.1. Treball de camp.	145

3.1.1. Extracció dels testimonis sedimentaris.	145
3.1.1.1. La torbera dels Clots de Rialba.	145
3.1.1.2. La torbera de l'Estany de la Bassa.	147
3.2. Tractaments de laboratori i processat de les dades.	148
3.2.1. Mostreig dels testimonis sedimentaris.	148
3.2.2. Model cronològic de BAS1.	149
3.2.3. Pol·len i palinomorfs no pol·línics (NPPs).	149
3.2.4. Macrocarbons sedimentaris de diàmetre superior a 150 µm.	152
4. RESULTATS.	154
4.1. Torbera dels Clots de Rialba (CDR1).	154
4.1.1. Descripció sedimentària de CDR1.	154
4.1.2. Model Cronològic de CDR1.	155
4.1.3. Pol·len i palinomorfs no pol·línics (NPPs) de CDR1.	156
4.1.3.1. CDR1 / A-PAZ. Del c. 3,5 al 2,85 ka cal BP.	156
4.1.3.2. CDR1 / B-PAZ. Del c. 2,85 al 2,5 ka cal BP.	157
4.1.3.3. CDR1 / C-PAZ. Del c. 2,5 ka cal BP a l'any 800 cal BP.	158
4.1.3.4. CDR1 / D-PAZ. De l'any c. 800 al 450 cal BP.	158
4.1.3.5. CDR1 / E-PAZ. De l'any c. 450 cal BP fins al present.	159
4.1.4. Macrocarbons sedimentaris de diàmetre superior a 150 µm de CDR1.	161
4.2. Torbera de l'Estany de la Bassa (BAS1).	165
4.2.1. Descripció sedimentària de BAS1.	165
4.2.2. Model cronològic de BAS1.	166
4.2.3. Pol·len i palinomorfs no pol·línics (NPPs) de BAS1.	167
4.2.3.1. BAS1 / A-PAZ. Del c. 10,2 al 8,5 ka cal BP.	168
4.2.3.2. BAS1 / B-PAZ. Del c. 8,5 al c. 6,75 ka cal BP.	169
4.2.3.3. BAS1 / C-PAZ. Del c. 6,75 al c. 4,75 ka cal BP.	170
4.2.3.4. BAS1 / D-PAZ. Del c. 4,75 al c. 3,35 ka cal BP.	170
4.2.3.5. BAS1 / E-PAZ. Del c. 3,35 al c. 1,75 ka cal BP.	171
4.2.3.6. BAS1 / F-PAZ. Del c. 1,7 al 1 ka cal BP.	173
4.2.3.7. BAS1 / G-PAZ. De l'any c. 1000 cal BP al present.	174
4.2.4. Macrocarbons sedimentaris de diàmetre superior a 150 µm de BAS1.	177
5. DISCUSSIÓ.	182
5.1. L'inici de l'Holocè. La consolidació forestal de <i>Pinus</i> , l'expansió dels caducifolis, l'arribada dels avets i dels incendis naturals.	182

5.2. Neolític inicial i mitjà. Consolidació de l'avetosa, aparició de la fageda i dels primers cereals.	187
5.3. Neolític final i inici de l'Edat del Bronze. L'inici de la torbera. L'impacte antròpic es fa evident: augmenten els cereals i la pineda decau. Els caducifolis tornen a expandir-se i l'avetosa arriba als màxims.	192
5.4. De l'Edat del Bronze mitjana a l'Edat del Ferro, El clima es refreda i augmenten els indicadors antròpics.	194
5.5. El període Romà. Un nou escalfament climàtic. Gestió forestal romana amb un mosaic d'activitats.	198
5.6. Del període Medieval i la Petita Edat del Gel al present (des de c. 1,5 ka cal BP al present). Oscil·lacions climàtiques (LALIA, MWP, LIA), forta irrupció antròpica i recuperació forestal actual en progrés.	201
5.7. Dinàmica d'incendis a l'Holocè. Clima, humans, cultius i ramats.	213
6. CONCLUSIONS.	221
7. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES.	228

TAULA DE FIGURES

1.- INTRODUCCIÓ.

Figura 1. Quadre geocronològic extret de la <i>International Chronostratigraphic Chart</i> de setembre de 2023, publicada per la ICS (<i>International Commission on Stratigraphy</i>).	23
Figura 2. Extensió dels Inlandsis Laurentidià i Fennoscandià al Weichsel tardà (glaciació de Würm) a l'hemisferi nord durant el darrer màxim glacial, fa uns 20 ka.	24
Figura 3. Extensió dels Inlandsis, línies de costa i zonació climàtica (Köppen-Geiger) durant el darrer màxim glacial (LGM).	24
Figura 4. Cicles climàtics durant el Quaternari i la seva correspondència amb els paràmetres orbitals de Milankovich.	25
Figura 5. Reconstrucció de la temperatura, utilitzant dades dels sis nuclis de gel, es mostra amb la línia negra i abasta el període des del 11,69 ka cal BP fins al 1970 CE.	26
Figura 6. Registre dels events climàtics 8,2 ka, 9,3 ka i 11,4 ka als diversos testimonis de gel extrets a Grenlàndia,	27
Figura 7. Cicles de Bond i concentració de CO ₂ .	29
Figura 8. Augment de la humitat a la Península Ibèrica a l'inici de l'Holocè segons diverses <i>proxies</i> .	30

Figura 9.	Línia temporal amb els principals esdeveniments entre els anys 530 i el 600 CE.	32
Figura 10.	Recreació d'un habitatge tradicional Viking i estàtua de bronze de Leif Erikson al jaciment L'Anse aux Meadows a Terranova, Canadà.	33
Figura 11.	"El cens de Betlem". Quadre pintat per Pieter Brueghel el Vell en 1566. L'autor representa condicions glacials als Països Baixos.	33
Figura 12.	$\delta^{13}\text{C}$ de les estalagmites de 3 coves (Kaite, Cueva del Cobre i Cueva Mayor) al nord d'Ibèria.	34
Figura 13.	Anomalies globals de la Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en els dos darrers 2 ka.	35
Figura 14.	Evolució de la temperatura mitjana estival respecte la mitjana del període 1850-1950.	35
Figura 15.	Localització geogràfica d'alguns dels jaciments esmentats als Pirineus.	36
Figura 16.	Mapa del PNAESM amb tots els vestigis arqueològics descoberts.	37
Figura 17.	Jaciment de la Balma de la Margineda (Aixovall, Principat d'Andorra).	39
Figura 18.	Muntanyes del sector oriental del PNAESM des del Pic de lo Covil (Vallferrera) amb la ubicació del Dolmen de la Font dels Coms i la seva planta.	40
Figura 19.	Dues imatges de l'Abric de les Obagues de Ratera.	42
Figura 20.	Peces lítiques tallades procedents de les ocupacions prehistòriques de l'abric de les Obagues de Ratera.	42
Figura 21.	Abric de l'Estany de la Coveta I.	43
Figura 22.	Imatge de l'Abric 1 del Portarró i detall de la ceràmica trobada.	46
Figura 23.	Imatge de la Cova del Sardo de Boí durant l'excavació del 2008 i detall de fragments ceràmics del nivell 7.	46
Figura 24.	Nuclis i làmines de sílex prehistòriques recuperades de la Cova del Sardo de Boí. Fogar recuperat al nivell 7.	47
Figura 25.	Túmulo de la Pleta d'Erdo i Dolmen de la Cabaneta d'Envall.	48
Figura 26.	Esquerra: Lloc arqueològic VB.015. Tarter del Bony del Graller i detall de la troballa in situ del recipient ceràmic. Dreta: Ubicació de la troballa d'una làmina de sílex de 2 cm al lloc ESP-007, Serrat de Muntanyó.	49
Figura 27.	Mapa de la zona del PNAESM i els diferents contextos arqueològics del II i el I mil·lenni cal ANE.	50
Figura 28.	Abric 2 del Portarró, al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Excavació de les restes d'una casa de l'Edat del Bronze antic.	51
Figura 29.	Material obtingut de la Cova de l'Home Mort: clavícula humana i destal polida.	52
Figura 30.	Urnes d'incineració ibèriques de la necròpolis d'Ulldecona.	53
Figura 31.	El Castellot de Bolvir, jaciment ibèric dels Ceretans.	54
Figura 32.	Esquelet carbonitzat de la cabra localitzada a l'estable de l'edifici G del Tossal de Baltarga durant el seu procés d'excavació, recipient ceràmic i arracada d'or del mateix jaciment.	55
Figura 33.	Recreació artística de l'edifici G del Tossal de Baltarga.	55
Figura 34.	Jaciment de Coll de Molleres I, Meranges, a sota del Puigpedrós.	57
Figura 35.	Jaciment de coll de Molleres I, Meranges. Treballs de camp al 2019.	58
Figura 36.	Mapa de dispersió dels vestigis arqueològics de la mineria i la producció siderúrgica al Bosc de Virós	60

Figura 37.	Reproducció a escala 1:1 del forn romà trobat al jaciment del bosc de Virós	61
Figura 38.	Restes de l'estructura del forn de reducció de ferro ja excavat al 2023, i un altre possible forn en segon terme.	61
Figura 39.	Mapa dels jaciments d'Època Romana i de l'Alta Edat Mitjana al PNAESM.	64
Figura 40.	Jaciment i plantes general i d'una habitació del Despoblat de Casesnoves.	65
Figura 41.	Jaciment del Despoblat de Santa Creu de Llacunes, a 1628 metres d'altitud, a la vall de Siarb.	66
Figura 42.	Orri del Cubil (Estany del Cubil, Encamp, Andorra) a 2301 m d'altitud.	67
Figura 43.	Vistes des de l'Orri Vell, a 2266 m d'altitud i abric utilitzat com a bivac a prop de l'Estany xic de Mainera.	68
Figura 44.	Mapa del PNAESM amb la localització de l'Estany de la Bassa i els 4 estanys o torberes amb estudis paleoambientals del PNAESM	69
Figura 45.	Mapa amb la localització en quadres vermells dels altres registres paleoecològics exteriors al PNAESM descrits en l'apartat: Estanilles, València d'Àneu, Estany de la Coma de Burg i Lac Redon.	70
Figura 46.	Imatge panoràmica de l'Estany de Llebreta.	71
Figura 47.	Imatges de diferents fases del sondeig de l'Estany de Llebreta al juny de 2010	72
Figura 48.	Diagrama pol·línic simplificat del sondeig de l'Estany de Llebreta.	72
Figura 49.	Imatge de l'Estany Redó.	73
Figura 50.	Lac Redon i palinograma simplificat.	74
Figura 51.	Imatges de l'Estany de Sant Maurici abans i després de la construcció de la presa.	77
Figura 52.	Estany de Sant Maurici.	78
Figura 53.	Diagrama pol·línic de Sant Maurici.	78
Figura 54.	Imatge actual de la Bassa Nera.	80
Figura 55.	Diagrames resum de la Bassa Nera.	80
Figura 56.	imatges dels dies 19 a 21 de setembre de 2006, data de l'extracció del testimoni CMB-8 i CMB-9 a l'estany de la Coma de Burg.	81
Figura 57.	Palinograma de CMB-9.	82
Figura 58.	Ubicació de la l'Estany de la Coma de Burg.	86
Figura 59.	Fotografia actual de la Mata de València.	87
Figura 60.	Ortofotografia de l'avetosa de la Mata de València al 2023 i al 1956.	90
Figura 61.	Imatge d'Estanilles, a la Vall de Cardós.	91
Figura 62.	Palinograma amb els principals tàxons de la torbera d'Estanilles (EST-IV).	92
Figura 63.	Mapa de vegetació de la Vall del Madriu amb la localització de les tres seqüències estudiades: BDE, ODS i RDO.	94
Figura 64.	Palinograma amb els principals tàxons de la torbera del Bosc dels Estanyons.	94
Figura 65.	Palinograma amb els principals tàxons de la torbera del Riu dels Orris (RDO).	95
Figura 66.	Fotografies de la torbera del Riu dels Orris, a la vall del Madriu.	96
Figura 67.	Palinograma amb els principals tàxons de la torbera dels Orris de Setut (ODS).	98

Figura 68.	Mapa de vegetació de la Serra del Cadí amb la localització de la torbera del Pradell i estructures arqueològiques presents a l'àrea d'estudi.	102
Figura 69.	Vista del vessant sud de la Serra del Cadí (La Vansa – Fórnols) des del poble d'Ossera, amb indicació de l'emplaçament del Goleró.	103
Figura 70.	Principals tàxons pol·línics, estomes de <i>Pinus</i> i macrocarbons sedimentaris de la seqüència del Pradell.	104
Figura 71.	Fotografia del forn 43 al Goleró (Serra del Cadí, La Vansa – Fórnols).	106
Figura 72.	Vista aèria dels recintes o “cercles” preromans del jaciment del Goleró (La Vansa – Fórnols), de funció desconeguda.	107

2.- ÀREA D'ESTUDI.

Figura 73.	Imatge de satèl·lit dels Pirineus presa el 18 de gener de 2002	110
Figura 74.	Imatge de la topografia dels Pirineus a partir d'un model digital del terreny (SRTM90) de resolució 90 m.	111
Figura 75.	Localització de les dues torberes estudiades i dels PNAESM i PNAP.	111
Figura 76.	Mapa geològic esquemàtic dels Pirineus, indicant la distribució de les principals unitats litològiques i estructures tectòniques	113
Figura 77.	Talls geològics que travessen la serralada pirinenca completa a través de la part central.	114
Figura 78.	Foto de la superfície d'aplanament terciari del Plaús de Boldís – Montarenys des del Monteixo (vessant est).	115
Figura 79.	Circ i Ibón de Cregüena, al massís de la Maladeta, vistos des del Collado Maldito.	116
Figura 80.	Vall d'Ordesa, al Parc Nacional d'Ordesa i Mont Perdut.	116
Figura 81.	Principals elements d'una glacera de vall.	117
Figura 82.	Imatge de la glacera del Mont Perdut al 1981 i al 2017.	119
Figura 83.	Imatge del Pic d'Aneto i de la glacera de Maladeta – Aneto al 2020.	119
Figura 84.	Ubicació i imatge de l'estació meteorològica XEMA Bonaigua.	120
Figura 85.	Ombroclimograma mensual de l'estació de la Bonaigua, que forma part de la XEMA.	121
Figura 86.	Corba d'innivació anual a l'estació de la Bonaigua.	122
Figura 87.	Mapes de Temperatures mitjanes als mesos de gener i juliol.	123
Figura 88.	Mapa de Precipitació mitjana anual.	124
Figura 89.	Classificació Climàtica de Köppen – Geiger a la Península Ibèrica (1981 – 2010).	124
Figura 90.	Arbres caducifolis de l'estatge montà i subalpí.	126
Figura 91.	Arbres de l'estatge subalpí. Esquerra: avetosa d' <i>Abies alba</i> . Dreta: <i>Pinus mugo</i> subsp. <i>Uncinata</i> .	126
Figura 92.	Poaceae de l'estatge alpí. Esquerra: <i>Festuca skia</i> . Dreta: <i>Nardus stricta</i> .	127
Figura 93.	<i>Saxifraga bryoides</i> a l'estatge subnival. Detall de la flor. Habitant de la tundra àrtica i del PNAESM.	128
Figura 94.	Principals dominis de vegetació a Catalunya.	128

Figura 95.	Els Clots de Rialba (quadrat vermell) estan ubicats a dins de la Xarxa Natura 2000, en color verd. Modificat del visor del ICGC	129
Figura 96.	Mapes geogràfics i fotografies de la torbera dels Clots de Rialba.	130
Figura 97.	Pic del Muntanyó d'Àrreu i Estany del Muntanyó o Pudo.	131
Figura 98.	Fotografia estival de les molles dels Clots de Rialba.	131
Figura 99.	Mapa geològic dels Clots de Rialba.	132
Figura 100.	Ubicació dels Clots de Rialba.	132
Figura 101.	Ubicació dels Clots de Rialba.	133
Figura 102.	Ortofotografies dels Clots de Rialba del 2023, 2021 i 2009.	134
Figura 103.	Ortofotografies dels Clots de Rialba del 1997, 1988 i 1945.	135
Figura 104.	Ortofotografies de la vegetació circumdant als Clots de Rialba al 2023 i al 1945.	136
Figura 105.	Fotografies de l'Estany de la Bassa i de l'Estany de Ratera.	137
Figura 106.	Imatge estival de l'Estany de la Bassa.	137
Figura 107.	Imatge hivernal de l'Estany de la Bassa.	138
Figura 108.	Ortofotografies de l'Estany de la Bassa del 2023, 2021 i 2009.	139
Figura 109.	Ortofotografies de l'Estany de la Bassa del 2003, 1992 i 1945.	140
Figura 110.	Ortofotografies de la vegetació circumdant a l'Estany de la Bassa al 2023 i al 1945.	141
Figura 111.	Imatges de la ubicació de l'Estany de la Bassa.	142
Figura 112.	Ubicació de l'Estany de la Bassa i dels Clots de Rialba.	143

3.- METODOLOGIA.

Figura 113.	Base del tub de PVC amb les vores esmolades i forat deixat per l'extracció de CDR1.	145
Figura 114.	Tres moments de l'extracció del testimoni sedimentari CDR1 el 19 d'octubre de 2013	146
Figura 115.	Dues imatges del testimoni sedimentari CDR1 de la torbera de Clots de Rialba.	146
Figura 116.	Testimoni sedimentari CDR1 de la torbera de Clots de Rialba.	146
Figura 117.	Imatges de l'extracció del testimoni BAS1 de la torbera de l'Estany de la Bassa.	147
Figura 118.	Detalls de la base del tub d'extracció amb les vores esmolades del testimoni sedimentari BAS1.	147
Figura 119.	A. Determinació del color del sediment amb la carta Munsell. B. Visió general del laboratori de Geografia Física del Departament de Geografia de la UAB. C. Detall del testimoni amb la serra. D. Bosses amb el segment que correspon a una fracció de les mostres, a partir de les quals es va dur a terme l'anàlisi pol·línica.	148
Figura 120.	Tauletes amb espores de <i>Lycopodium</i> .	149
Figura 121.	Filtrat amb malla de 300 µm. Sedimentació i decantació del sediment.	150
Figura 122.	Tractament amb HF a dins de la campana de gasos.	150
Figura 123.	A. Mostres a punt per ser muntades. B. Mostres preparades per a ser observades al microscopi.	151
Figura 124.	A. Centrifugadora. B. Cubeta al bany maria a on té lloc l'acetòlisi.	151

4.- RESULTATS.

Figura 125.	Model cronoestratigràfic d'edat, descripció sedimentària, matèria orgànica i taxa d'acumulació sedimentària del registre dels Clots de Rialba (CDR1).	154
Figura 126.	Model cronològic i taxa d'acumulació sedimentària del registre de CDR1.	156
Figura 127.	Diagrama percentual de pol·len i NPPs de CDR1.	160
Figura 128.	CHAC, CHAR, events de Bond, taxes d'acumulació de pollen AP+NAP i pics de carbons en CDR1.	163
Figura 129.	CHAR, IRD i taxes d'acumulació pol·línica de <i>Pinus</i> , <i>Abies</i> , <i>Fagus</i> i Poaceae a CDR1.	159
Figura 130.	Model cronològic de BAS1 superposat amb la taxa d'acumulació sedimentària i la columna sedimentària.	165
Figura 131.	Model cronològic de BAS1.	167
Figura 132.	Diagrama de pol·len i NPPs de BAS1.	176
Figura 133.	Concentració de macrocarbons (CHAC), matèria orgànica, taxa d'acumulació de macrocarbons (CHAR), events de Bond i pics d'incendis i la seva magnitud i índex de soroll de BAS1.	179
Figura 134.	Taxa d'acumulació de macrocarbons (CHAR), events de Bond, pics de carbons i percentatges de <i>Pinus</i> , herbàcies, <i>Abies</i> i <i>Fagus</i> en BAS1.	180

5.- DISCUSSIÓ.

Figura 135.	Localització de les 52 poblacions d'avet mostrejades a l'extrem occidental de la distribució geogràfica d' <i>Abies alba</i> (Mill.) a Europa.	185
Figura 136.	Síntesi dels principals conreus cerealístics trobats en fases de poblament neolític de jaciments situats a la regió pirinenca.	189
Figura 137	Composició amb els principals cultius neolítics.	191
Figura 138	Àrea de distribució actual i fitoclimàtica potencial d' <i>Abies alba</i> al Pirineu.	196
Figura 139	Imatges de <i>Podospora</i> , un fong copròfil.	202
Figura 140	Mapa de 1718. «Carte de partie de Catalogne...» i mapa actual del Portarró.	207
Figura 141	Fotografies del <i>Santuario dera Mair de Diu</i> de Montgarri (Val d'Aran), amb un segle de diferència.	208
Figura 142	Pont de la Perosa a Bonabé, sobre la Noguera Pallaresa, amb un segle de diferència.	209
Figura 143	Imatges de la factoria de la Matussière amb l'avetosa de Bonabé al darrera.	210
Figura 144	Fotografies dels Encantats i de l'Estany de St. Maurici al llarg d'un segle.	211
Figura 145	Fotografies del campanar de l'església de Sant Just i Sant Pastor de Son (Valls d'Àneu).	211
Figura 146	Fotografies de l'extracció de fusta amb mules a Son als anys 1910-20, panoràmica d'Esterri d'Àneu al 1919 i segador de la vall de Camprodon al c 1900.	212

LLISTA DE TAULES

1.- INTRODUCCIÓ.

Taula 1.	Events de Bond.	28
Taula 2.	Datacions i ocupacions del PNAESM.	38
Taula 3.	Principals jaciments de muntanya del Pirineu català del Paleolític Superior i el Mesolític.	42
Taula 4.	Principals jaciments de muntanya del Pirineu català del Neolític.	47

4.- RESULTATS.

Taula 5.	Dades d'edat i calibració de CDR1. Les edats de radiocarboni han sigut calibrades utilitzant IntCal20.	155
Taula 6.	Dades d'edat de ^{14}C i calibració de BAS1.	166



Estany de la Bassa, al juliol del 2023.

1. INTRODUCCIÓ.

1.1. Presentació.

Aquest treball forma part i ha estat finançat pels Projectes de Recerca atorgats per l'Estat titulats: *“Estudio biogeográfico histórico comparado (montaña Cantábrica, Sistema Central y Pirineos): 18000 años de cambios climáticos y antrópicos sobre especies forestales indicadoras (CSO2015-65216-C2-1-P; Ministerio de Economía y Competitividad, Gobierno de España)”* pel quadrienni 2016-2019 i *“Calibración de indicadores de influencia humana y climática para la (re)interpretación de la expansión post-glacial y de las dinámicas de los bosques en los últimos 18.000 años” (CALIB18k-GeoHis). (PID2019-108282GB-I00). Ministerio de Ciencia e Innovación, Gobierno de España.”*, pel quadrienni 2020-2024.

Aquesta tesi ha estat dirigida pel Dr. Ramon Pérez i Obiol i el Dr. Marc Sánchez i Morales, dos investigadors del Departament de Biologia Animal, de Biologia Vegetal i d'Ecologia de la Facultat de Biociències de la Universitat Autònoma de Barcelona. Tots dos també formen part activa de l'equip interdisciplinari del GRAMP o *Grup de Recerca en Àrees de Muntanya* de la UAB, en el que biòlegs i geògrafs conflueixen.

El GRAMP fa més de tres dècades que està interessat en la recerca i l'estudi dels factors que conformen els paisatges de l'alta muntanya pirinenca i en la seva evolució temporal, especialment en els derivats de l'activitat antròpica i de la variabilitat climàtica. Col·labora activament amb el GAAM o *Grup d'Arqueologia de l'Alta Muntanya*, de la UAB-CSIC, conformat per arqueòlegs i arqueòlogues interessats/-des en la documentació i l'estudi dels jaciments de l'alta muntanya a casa nostra. Aquesta col·laboració en la recerca ha esdevingut molt fructífera en forma de treballs de doctorat, articles d'investigació i presentació en congressos nacionals i internacionals.

Aquesta tesi ha estudiat els testimonis sedimentaris extrets de les torberes dels Clots de Rialba i de l'Estany de la Bassa, al Pallars Sobirà, i pretén contribuir a millorar el coneixement sobre l'evolució holocènica del paisatge d'alta muntanya dels Pirineus catalans. Per aconseguir-ho s'ha desenvolupat un estudi multivariant a on pol·len i NPPs, macrocarbons sedimentaris i contingut en matèria orgànica del sediment han permès establir una interpretació de totes dues zones.

1.2. Objectius.

Aquest treball recull la recerca *multiproxy* dels dos testimonis sedimentaris extrets de dues torberes pirinenques. El primer testimoni sedimentari pertany a la torbera dels Clots de Rialba, molt a prop del límit sud del Parc Natural de l'Alt Pirineu (PNAP), al municipi de l'Alt Àneu (Pallars Sobirà, Lleida), a una altitud de 2073 m i amb unes coordenades geogràfiques LAT 42° 40' 03" N i LON 1° 01' 14" E. El segon testimoni sedimentari va ser extret de la torbera de l'Estany de la Bassa, al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNAESM), situada a 2147 metres d'altitud, al municipi d'Espòt (Pallars Sobirà, Lleida) i amb unes coordenades geogràfiques LAT 42° 35' 34" N i LON 0° 59' 14" E.

La recerca inclou les anàlisis de pol·len i de palinomorfs no pol·línics (NPPs), el contingut en matèria orgànica (LOI) i els macrocarbons sedimentaris de més de 150 micròmetres, un bon indicador dels incendis a nivell local.

El principal objectiu d'aquesta tesi és la voluntat d'augmentar el coneixement sobre la dinàmica i l'evolució paleoambiental i paleoecològica del paisatge, intentant correlacionar els canvis climàtics, l'impacte antròpic i el règim d'incendis als Pirineus centrals catalans, en els darrers c. 10 ka. De forma més específica, serien aquests:

- Establir la dinàmica del paisatge al llarg de l'Holocè a partir de les dues seqüències estudiades.
- Estudiar el règim d'incendis locals i la seva relació amb les activitats antròpiques agropecuàries i/o la variabilitat climàtica.
- Determinar els inicis de les activitats agrícoles i /o ramaderes i la seva evolució temporal.

1.3. Estat de la qüestió. Paleoclimatologia, arqueologia i context paleoecològic regional a l'Holocè.

1.3.1. Paleoclimatologia a l'Holocè.

Els dos testimonis estudiats en aquesta tesi provinents de la torbera dels Clots de Rialba i de l'Estany de la Bassa han aportat valuoses dades paleoambientals dels darrers 10,3 i 3,5 ka cal BP, respectivament. Amb aquestes cronologies podem situar les dues seqüències a l'Holocè, la darrera època del Quaternari.

El Quaternari és el segon i darrer període de l'Era Cenozoica, que segueix al període Terciari i s'estén al llarg dels darrers 2,58 Ma. Aquest període s'ha caracteritzat per la continuació del creixement dels casquets de gel sobre l'hemisferi nord que s'havien iniciat ja durant el Pliocè, fa uns 3 Ma (Cohen *et al.*, 2013). Es divideix en dues èpoques de durada desigual: el Plistocè i l'Holocè. L'Holocè ocupa els darrers 11,7 ka i suposa l'època interglacial més recent (Figura 1)

Period	Epoch	Age	GSSP	numerical age (Ma)
Quaternary	Holocene	U/L Meghalayan	⚡	present
		M Northgrippian	⚡	0.0042
		L/E Greenlandian	⚡	0.0082
	Pleistocene	U/L Upper		0.0117
		M Chibanian	⚡	0.129
		L/E Calabrian	⚡	0.774
		L/E Gelasian	⚡	1.80
				2.58

Figura 1. Quadre extret de la *International Chronostratigraphic Chart* de setembre de 2023, publicada per la ICS (*International Commission on Stratigraphy*). Legenda: U/L (*Upper/Late*), M (*Middle*) i L/E (*Lower/Early*). GSSP (*Global Boundary Stratotype Section and Points*), (Cohen *et al.*, 2013).

<https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2023-09.pdf>

Durant el Plistocè, fa aproximadament 2,5 Ma s'inicia l'acumulació de casquets de gel al nord d'Amèrica i d'Euràsia, afegits als que ja existien de manera més o menys permanent des del plistocè sobre l'Antàrtida i Groenlàndia. Aquests nous inlandsis septentrionals, anomenats Laurentidià i Finoescandinau (*Laurentide* i *Fennoscandian Ice Sheets*), creixien i avançaven cap al sud, mentre que en els breus períodes interglacials s'invertia la tendència, retrocedint i desapareixent gairebé per complet.

Per a que es produís l'acumulació de gel en aquests mantells no només es necessitaven precipitacions abundants de neu hivernal sinó sobretot que no es fongués a l'estiu. Per això es creu que el detonant de les glaciacions quaternàries va ser de caràcter astronòmic, quan va començar a haver èpoques en què els estius a les latituds altes de l'hemisferi nord rebrien una menor insolació (Figures 2 i 3). Aquesta possibilitat es va començar a verificar just al final del Pliocè, fa uns 3 Ma, quan l'oscil·lació en els valors de la inclinació de l'eix de la Terra va anar augmentant amb seguides d'èpoques en les quals la inclinació era força menor que la actual.

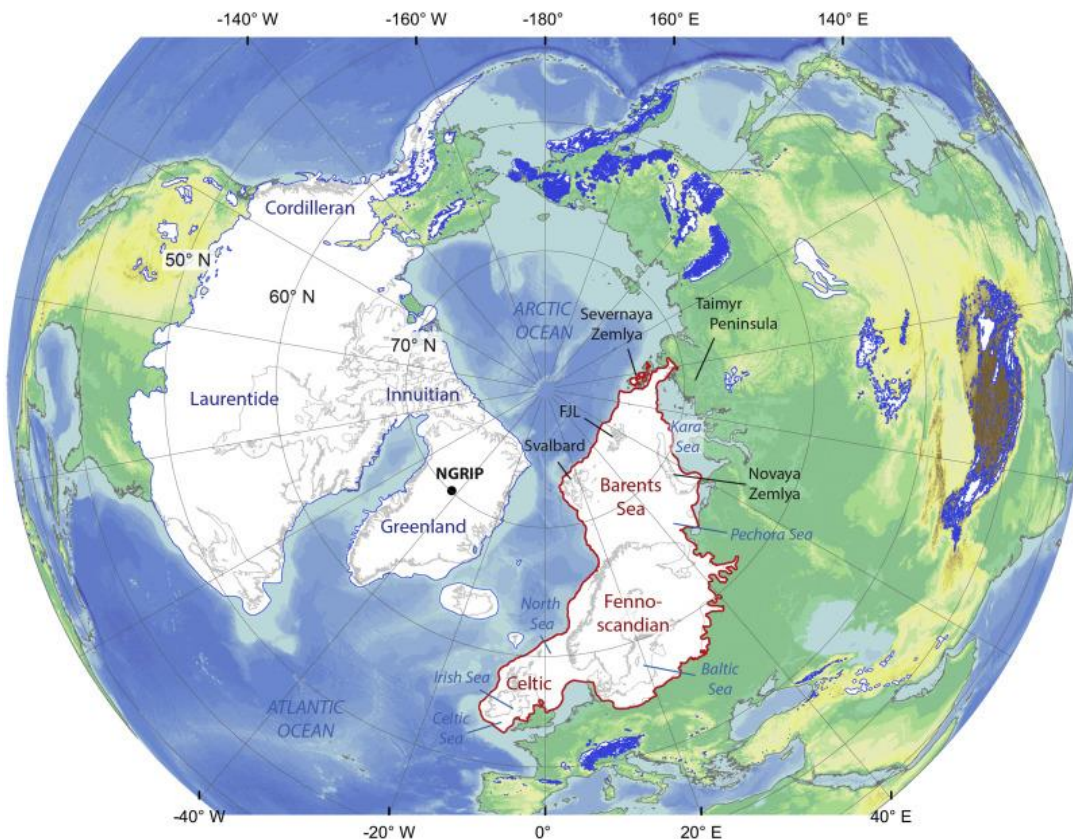


Figura 2. Extensió dels Inlandsis Laurentidià i Fennoscandià al Weichsel tardà (glaciació de Würm) a l'hemisferi nord durant el darrer màxim glacial, fa uns 20 ka. Acrònims utilitzats: FJL (Franz Josef Land), NGRIP (North Greenland Ice Core Project) (extret de Patton *et al.*, 2016)



Figura 3. Extensió dels Inlandsis, línies de costa i zonació climàtica (Köppen-Geiger) durant el darrer màxim glacial (LGM o *Last Glacial Maximum*), fa uns 20 ka. (Extret de Becker *et al.*, 2015).

Periòdicament, quan els valors d'inclinació de l'eix terrestre eren baixos i coincidien amb altres paràmetres astronòmics favorables (alta excentricitat de l'òrbita i màxima

llunyania del Sol durant el solstici d'estiu de l'hemisferi nord) es donaven estius frescos que afavoririen l'entrada en una glaciació. Aquests canvis van ser suggerits per primera vegada pel científic autodidacta escocès James Croll, amb la publicació al 1864 d'un controvertit assaig per a l'època, sobre com les variacions en l'òrbita terrestre podrien haver influït en les edats de gel. Posteriorment, el serbi Milutin Milankovitch va desenvolupar als anys 70 del segle XX, la teoria dels cicles astronòmics d'una forma precisa, tot i que les seves implicacions no han sigut fàcils de verificar (Figura 4).

Una segona condició important per al començament de les glaciacions seria que les precipitacions sòlides hivernals fossin importants. Per això caldria que els oceans d'on provenia la humitat estiguessin relativament calents. S'ha acceptat considerar que un corrent del Golf prou actiu i un Atlàntic Nord relativament càlid podrien explicar les fortes acumulacions de neu necessàries. El tancament de l'istme de Panamà hauria facilitat aquest funcionament (Uriarte, 2010).

L'últim període interglacial abans de l'actual, també conegut com l'Eemià o interglacial de Riss-Würm, va presentar temperatures mitjanes globals similars a les actuals (Kukla, *et al.*, 2002).

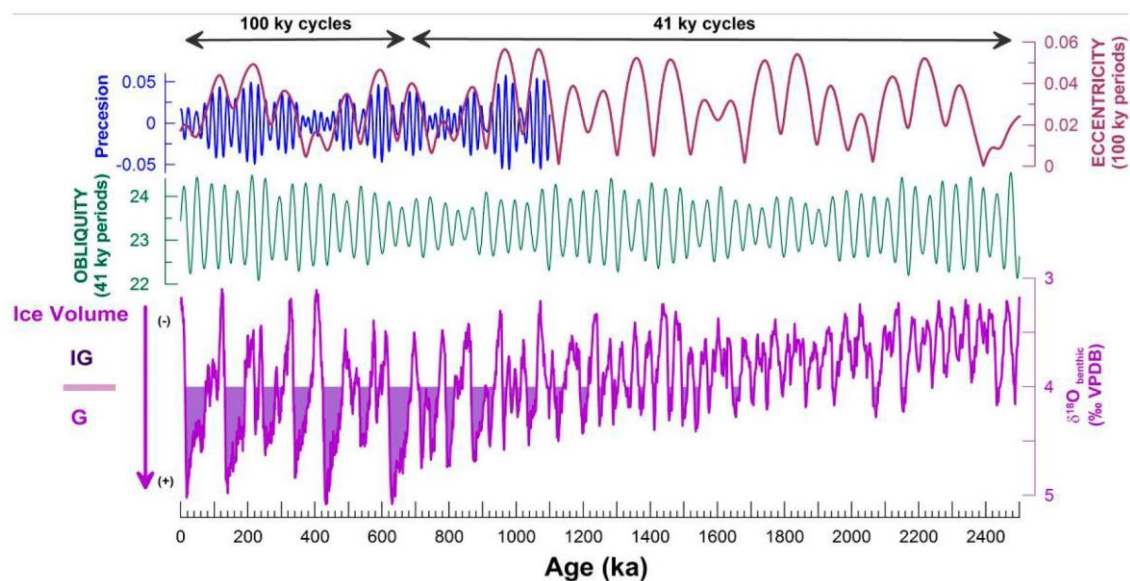


Figura 4. Cicles climàtics durant el Quaternari i la seva correspondència amb els paràmetres orbitals de Milankovich. De baix a dalt: volum de gel segons $\delta^{18}\text{O}$ bentònic. El farciment porpra mostra el llindar de volum de gel que separa les condicions glaciacionals (G) de les interglaciacionals (IG). (Extret de Martín-García, 2021)

Aquest estadi climàtic OIS 5e (Estadi Isotòpic Marí) s'inicià fa c. 130 ka i va acabar ràpidament fa c. 110 ka amb un refredament global accelerat. Des del final de l'interglacial Eemià fa c. 124 ka fins a l'inici de l'Holocè fa c. 11,7 ka (Adams, *et al.*, 1999; Walker, *et al.*, 2009), durant el darrer període glacial Würm o Weichsel, la tendència

climàtica es va dirigir cap a condicions oscil·lants cada cop més fredes i seques en les que es van alternar interestadials més càlids amb altres de més freds, coneguts com a cicles Dansgaard-Oeschger (Martinson, *et al.*, 1987; Broecker *et al.*, 1989). Les condicions més rigoroses de fred i d'augment de la sequedat es van donar durant l'últim event de Heinrich (Últim Màxim Glacial) entre fa només c. 17 i 15 ka, just després que els casquets polars marquessin la seva màxima extensió (Dansgaard *et al.*, 1982, 1993; Heinrich, 1988; Adams, *et al.*, 1999).

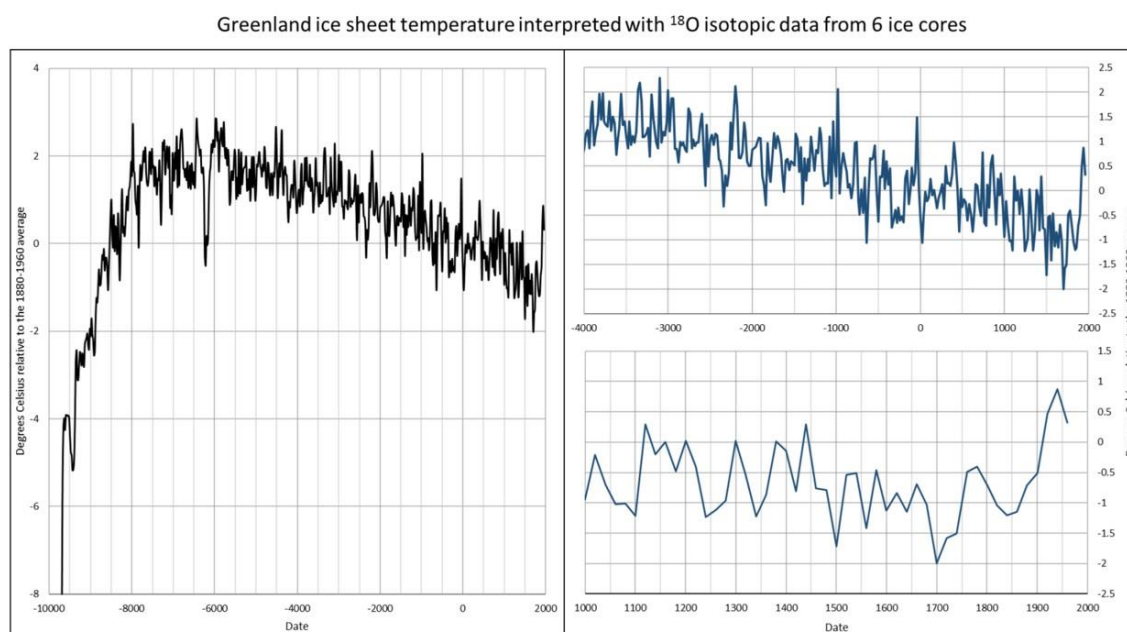


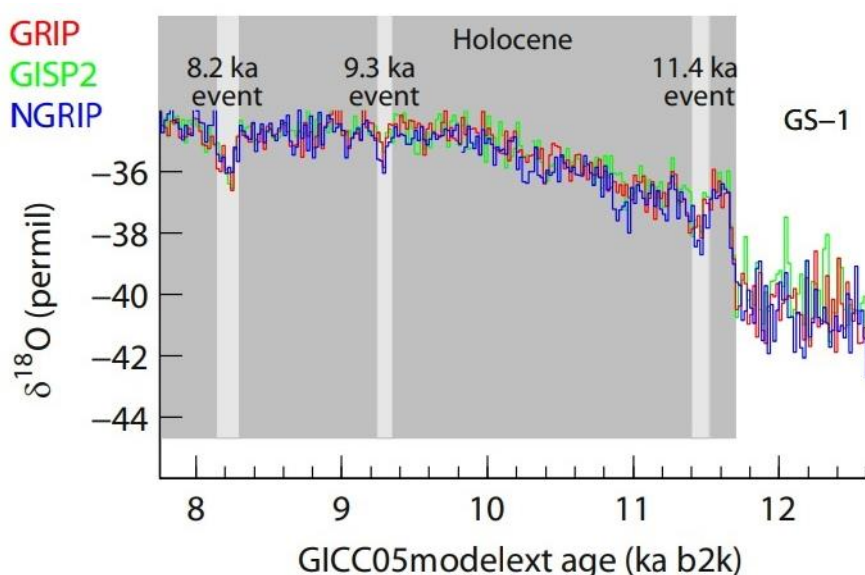
Figura 5. La reconstrucció de la temperatura, utilitzant dades dels sis nuclis de gel, es mostra amb la línia negra i abasta el període des del 11,69 ka cal BP fins al 1970 CE. Les gràfiques blaves de la dreta representen el Megalaià i després a l'últim mil·lenni amb una resolució d'uns 20 anys. El final del registre (1970 dC) mostra la temperatura mitjana entre 1960 i 1980. (Vinther *et al.*, 2009).

Posteriorment, el període de millora climàtica postglacial comprès entre l'últim màxim glacial i l'inici de l'Holocè es va veure interromput per la pulsació freda del Dryas Recent, entre c. 12,9 i 11,5 ka (Rahmstorf, 2003; Walker, *et al.*, 2009). En canvi, les condicions climàtiques s'han mantingut relativament estables al llarg de l'Holocè, tot i una certa variabilitat (Dansgaard, *et al.*, 1993). Les condicions més càlides i humides de l'Holocè es van assolir fa c. 9 ka, durant l'anomenat Òptim Climàtic de l'Holocè. Aquest període es va veure interromput per un esdeveniment brusc de refredament fa c. 8,2 ka cal BP (event de Bond 8,2 ka) (Daley *et al.*, 2011) (Figura 6; Taula 1), constatant-se un refredament a partir de llavors (Marchal *et al.*, 2002).

En aquesta tesi, la primera de les seqüències (CDR) inclou la major part de l'Holocè, l'època actual, que s'inicià fa 11,7 ka cal BP (Walker *et al.*, 2009) i que inclou tres

estatges, edats o subdivisions, segons la *International Commission on Stratigraphy* (ICS):

- el Grenlandià (des del 11,7 ka cal BP fins al 8,2 ka cal BP),
- el Nordgripià (des del 8,2 ka cal BP fins al 4,2 ka cal BP) i
- el Megalaià (des del 4,2 ka cal BP fins al present).



Onsets of events in the updated and extended INTIMATE event stratigraphy.

Event	NGRIP depth (m)	Age (a b2k) and definition uncertainty	Maximum counting error (years)
End of 8.2 ka BP event	1219.47	8140 + 50/-10	45
Volcanic peak inside 8.2 ka	1228.67	8236 ± 1	47
Start of 8.2 ka BP event	1234.78	8300 + 10/-40	49
End of 9.3 ka BP event	1322.88	9240 + 30/-10	68
Start of 9.3 ka BP event	1331.65	9350 + 10/-20	70
End of 11.4 ka BP event	1476.16	11,400 ^a	96
Start of 11.4 ka BP event	1482.32	11,520 ^a	97
Start of Holocene	1492.45	11,703 ± 4	99

Figura 6. Registre dels events climàtics 8,2 ka, 9,3 ka i 11,4 ka als diversos testimonis de gel extrets a Grenlàndia. Llegenda: GRIP (*Greenland Ice Core Project*); GISP2 (*Greenland Ice Sheet Project 2*); NGRIP (*North Greenland Ice Core Project*); b2k (*before the year AD 2000*); GS (*Greenland Stadial*). Extret de Rasmussen *et al.*, 2014.

La segona seqüència estudiada (BAS1) engloba una bona part del Megalaià. L'Holocè mitjà (Nordgripià) és l'edat en la que transcorre el Neolític i es defineix com una transició entre l'Holocè inicial (Grenlandià), en el qual dominen els processos naturals, i l'Holocè Recent (Megalaià), dominat per les activitats humanes (Roberts *et al.*, 2011; Piqué *et al.*, 2022). Tot i que l'Holocè és un període relativament estable, s'han produït fluctuacions fredes i seques, així com d'altres càlides i humides. Gerard Bond va

proposar l'existència de cicles climàtics d'uns 1500 anys (1470 ± 500 anys) basant-se en l'augment de les traces detrítiques deixades pels icebergs (*ice-rafted debris*) transportats per l'Atlàntic Nord (Bond, 1992; 1997; 2001), en un equivalent als cicles Dansgaard-Oeschger (D-O) de la darrera glaciació (Dansgaard, 1982).

De fet, alguns d'aquests episodis, concretament el 4,2 ka BP i el 8,2 ka BP s'han pres com a referència per dividir l'Holocè en tres edats. La major part dels cicles no tenen un impacte climàtic clar, únic o uniforme. En alguns casos corresponen amb moments de refredament mentre que en d'altres es registra una davallada de les precipitacions afavorint les condicions seques. En altres cicles la relació és feble. S'han detectat 3 esdeveniments Bond amb un impacte clar en els testimonis de gel de Grenlàndia: un és l'event del 8,2 Ka (Rasmussen *et al.*, 2014; Thomas *et al.*, 2007), un abrupte retorn a condicions fredes i seques (-6 ± 2 °C a Summit, Grenlàndia), la meitat de l'amplitud del Dryas Recent (Dansgaard, 1982, 1993; Alley *et al.*, 1997; Alley *et al.*, 2005; Johnsen *et al.*, 2001). Els altres dos events registrats són els 9,3 ka i 11,4 ka. (Rasmussen, 2014)

Taula 1. Events de Bond. Font: Elaboració pròpia a partir de diversos autors (Bond, 1997 i 2001; Dahl *et al.*, 2002; Parker *et al.*, 2006; Swindles *et al.*, 2007).

Cicle Bond	Datació (ka BP)	Interval event previ (ka)	Cronologia i Events més importants
0	0.5	0,9	Segles XVI a XIX CE Petita Edat del Gel (LIA).
1	1.4	1,4	Segles VI i VII CE. Antiga Petita Edat del Gel (LALIA).
2	2.8	1,4	Anys 900 a 300 BCE Època freda de l'Edat del Ferro.
3	4.2	1,7	Inici Megalaià. Disminució severa de les precipitacions.
4	5.9	2,3	Inici de l'Edat del Bronze. Augment de l'extensió dels deserts.
5	8.2	1,1	Fort i ràpid refredament. Inici del Nordgripià.
6	9.3	1	Forta expansió de les glaceres a Noruega (Event Erdalen)
7	10.3	1,1	-
8	11.4	-	Transició del Dryas recent al Boreal.

Repassem ara els principals esdeveniments climàtics coneguts de les tres edats holocèniques.

- **Edat del Grenlandià** (entre 11,7 ka i 8,2 ka BP)

L'inici de l'Holocè es caracteritza pel final del Dryas Recent (entre 12.7 ka i 11,4 ka BP) i un ascens de la temperatura global reconegut gràcies a l'estudi d'indicadors terrestres i marins (Marcott *et al.*, 2013) i de la humitat a la Península Ibèrica, segons indiquen els registres de sediments lacustres (llacs Enol, Sanabria, Laguna Grande, Banyoles, Padul, etc.), pol·len i espeleotemes (Morellón *et al.*, 2018). Tot i això, es registren pulsacions fredes als testimonis de gel grenlandesos (Figures 6 i 7), com els events 11,4, 9,4 i 8,2 ka BP, abans esmentats (Alley *et al.*, 1997 i 2005; Rasmussen *et al.*, 2014).

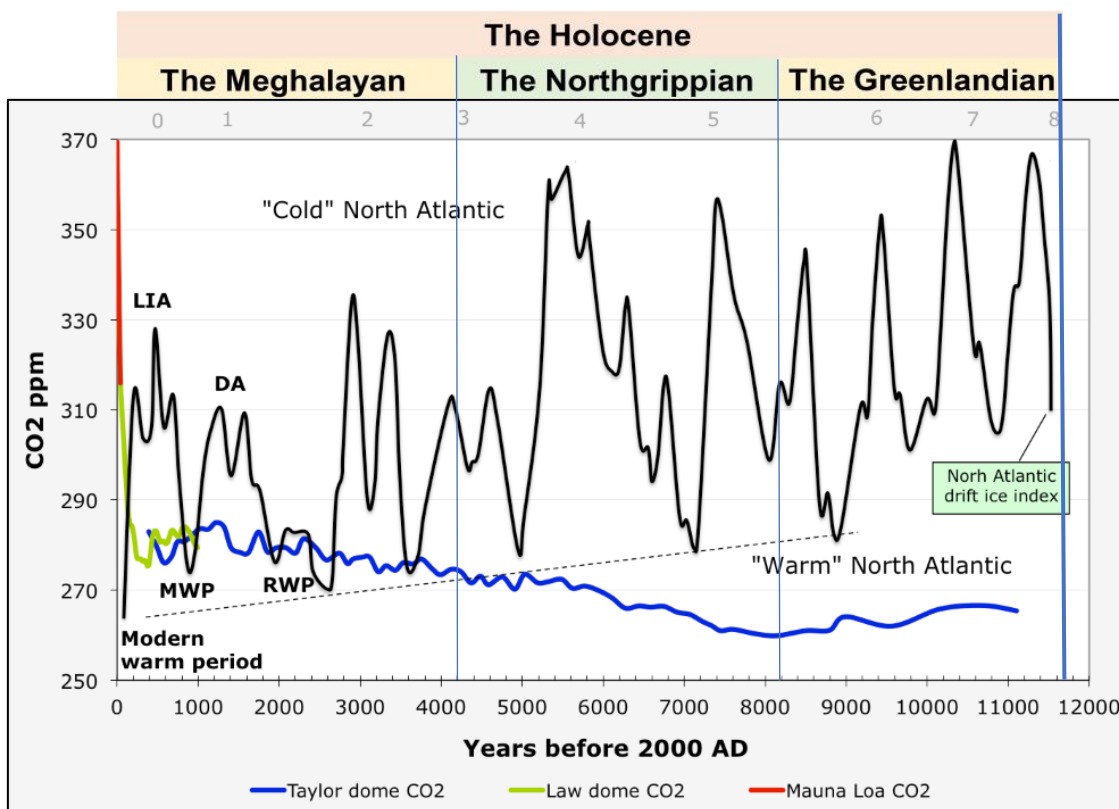


Figura 7. Cicles de Bond i concentració de CO₂, sense correlació aparent. En gris, els 9 cicles assignats per Bond, iniciat pel 0 de la LIA (*Little Ice Age*). Llegendat: MWP = *Medieval Warm Period*; DA = *Dark Ages*; RWP = *Roman Warm Period*. Línia Negra: Índex *Ice-Rafted Debris* (IRD). Els màxims de la corba IRD mostren períodes càlids, i els mínims, pulsacions fredes/seques. (Adaptat de Bond *et al.*, 2001).

- **Edat del Nordgripià** (entre 8,2 ka i 4,2 ka BP).

Al Nordgripià es registra un descens de la insolació en els mesos estivals a l'hemisferi Nord (Berger *et al.*, 1991; Davis, 2007), fet que portaria les temperatures de l'Europa occidental mediterrània a un descens progressiu. En alguns casos sembla

existir una certa correlació d'episodis freds amb fluctuacions en els cicles de Milankovich i amb episodis coneguts d'activitat volcànica (Wanner *et al.*, 2008; Wanner *et al.*, 2011). Durant el Nordgripià es produeixen alguns episodis de refredament i descens en les precipitacions, com els que es detecten en c. 7,4 ka cal BP en registres paleoclimàtics globals (GISP2, Bond *et al.*, 1997, 2001) i regionals, com al mar d'Alboran (Cacho *et al.* 2001), a Menorca entre c. 7,4 i 6,9 ka cal BP (Frigola *et al.* 2007) i entre 7,5 i 7,0 ka cal BP en dipòsits lacustres de la península Ibèrica (Figura 8) (Vegas *et al.*, 2009; Pérez-Sanz *et al.*, 2013).

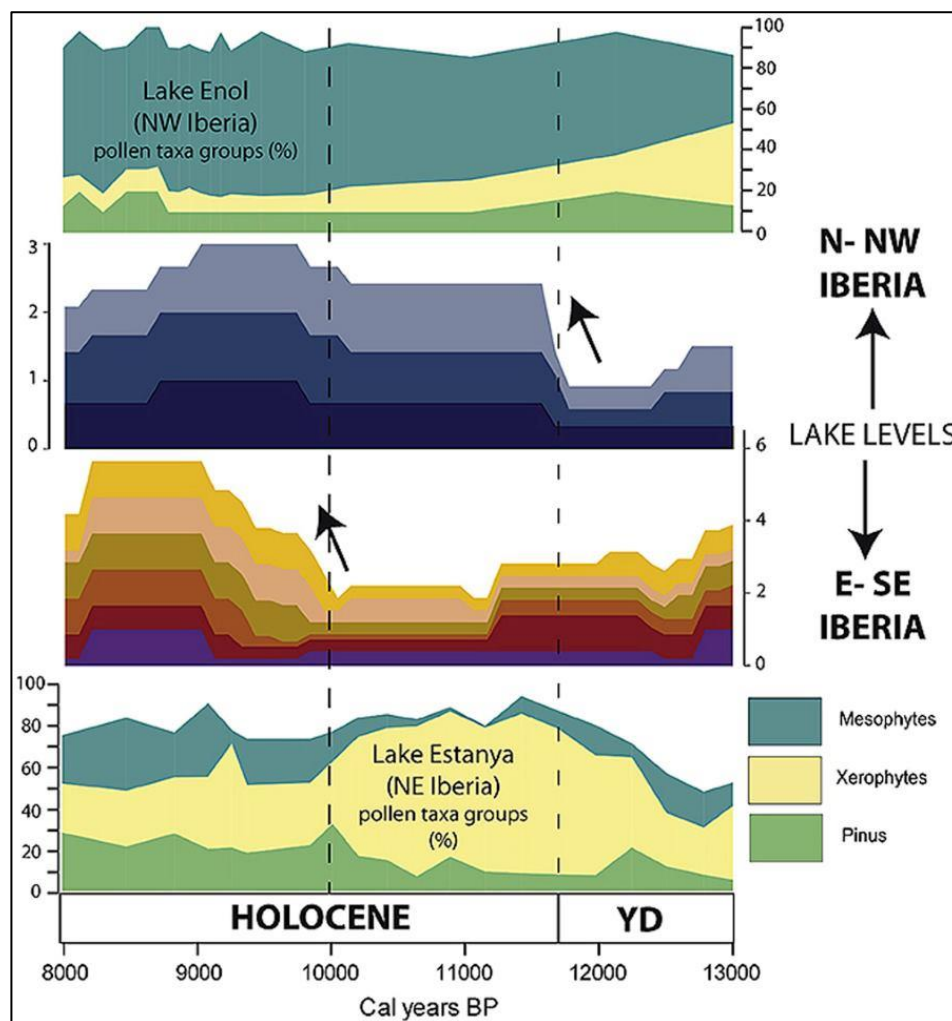


Figura 8. Augment de la humitat a la Península Ibèrica a l'inici de l'Holocè segons diverses *proxies*. YD: *Younger Dryas* (Extret de Morellón *et al.*, 2018).

A inicis del VI mil·lenni BP, coincidint amb l'inici del neolític mitjà, s'inicià una tendència global cap a unes condicions més fredes, amb una davallada paral·lela de les precipitacions al Mediterrani occidental (Jalut *et al.* 2009). A partir d'aquest moment, alguns registres paleoclimàtics mostren canvis en l'estacionalitat de les precipitacions, amb una sequera estival més pronunciada a la regió Mediterrània (Morellón *et al.* 2008;

Morellón *et al.* 2009; Pérez-Obiol *et al.* 2011; Morellón *et al.* 2018). Aquesta disminució de les precipitacions creixent i l'establiment d'una estacionalitat amb una sequera estival marcada, es van consolidar a partir de l'episodi de refredament que va tenir lloc al c. 4,2 ka cal BP (Bond *et al.* 2001; Roberts *et al.* 2011; Bini *et al.* 2019; Di Rita *et al.*, 2019), coetani del Neolític final i que va donar pas a l'Holocè recent o l'Edat del Megalaià.

- **Edat del Megalaià** (entre c. 4,2 ka i el present).

És important assenyalar que aquest període serà el marc ambiental en què es produirà la transició, a bona part del centre i occident d'Europa, entre l'Edat del Bronze Final i la Primera Edat del Ferro. De fet és el període de pas entre les fases climàtiques que anomenem Subboreal i Subatlàntic (sobre el 2,5 ka cal BP).

Durant el primer mil·lenni (entre c. 4,2 a 3 ka cal BP) es registra una millora climàtica amb temperatures relativament més càlides respecte el període anterior (Figura 12). En canvi, durant el període que s'estén del c. 2,9 ka cal BP fins al c. 2,3 ka cal BP aproximadament, es registra un període inusualment fred a l'Atlàntic Nord, amb una pulsació especialment freda sobre els segles VIII i VII BCE. Posteriorment es registra una breu recuperació en els segles V i IV BCE (s'estima un refredament d'uns 0,5 °C respecte el segle XX CE). A la Península Ibèrica, la temperatura mitjana hauria pogut davallar en uns 2 °C respecte el segle XX, generant unes condicions de fred encara més intens a les muntanyes del nord peninsular. Aquest episodi és conegut com el Període Fred de l'Edat del Ferro o *Iron Age Cold Epoch* (Swindles *et al.*, 2007; Plunkett *et al.*, 2008), a on també hi ha indicis de l'augment de precipitacions estivals des del 2800 cal BP fins al 1800 cal BP (Baldini *et al.*, 2019). Aquest refredament, que va tenir repercussió a escala global amb efectes relativament ben coneguts a Europa i Àsia central, haurien significat una major dificultat per mantenir la productivitat agrícola i ramadera i haurien provocat modificacions a les rutes de comunicació tant terrestres com marítimes. En aquest context de deteriorament climàtic s'haurien produït les migracions cèltiques que es van dirigir cap al centre i l'occident europeu. També és en aquest moment quan es produeix la transició de l'Edat del Bronze final a l'Edat del Ferro a la Península Ibèrica (Fagan, 2007c; Fagan 2009c; Torres-Martínez, 2011; Torres-Martínez, 2014).

Després d'aquest període d'intens refredament, es va tornar a una situació de millora climàtica amb un escalfament durant l'època romana (tot i un breu període fred a mitjans del c. 2,2 ka cal BP) que alguns autors situen en un increment de fins a dos graus en la temperatura mitjana estival (Margaritelli, 2020). És el conegut com a Període Càlid Romà o Òptim Climàtic Romà (*Roman Warm Period*, RWP) i abastà entre c. 2,25 i 1,6 ka cal BP (Hu *et al.*, 2022). Altres autors proposen que aquest RWP

seria d'àmbit local i no pas global (Werner *et al.*, 2019). Aquesta millora climàtica s'estabilitzarà ràpidament i es mantindrà fins a molt entrada l'època imperial romana (segle IV CE). En aquest període poden situar-se històricament fenòmens com la intensificació de l'agricultura o el sorgiment dels *oppida* romans com a centres d'articulació territorial i social, nuclis dels protoassentaments medievals, i altres importants canvis socials. Es tracta d'un període amb un enorme desenvolupament cultural dels pobles d'Europa occidental, però també de l'expansió de Roma en aquests territoris, cosa que suposa del final d'aquestes cultures per assimilació (Torres-Martínez, 2014).

Després del període favorable romà, tenim evidències d'una nova pulsació climàtica freda, que ha sigut denominat com la Petita Edat de Gel Antiga (*Late Antique Little Ice Age*, LALIA), que s'estén al llarg dels segles VI i VII CE i que inclou possiblement la dècada més freda dels darrers dos mil anys (del 536 al 545 CE) (Figura 9). Aquest refredament coincideix amb tres grans erupcions volcàniques als anys 536 CE (segurament a Islàndia o amb menor probabilitat a Alaska), al 540 CE (El Llopango, a El Salvador o el Rabaul, al Pacífic occidental,) i al 547 CE, que han sigut detectades gràcies a l'anàlisi d'un nucli de gel extret de la glacera suïssa de Colle Gnifetti al 2013 (Gibbons, 2018). També s'especula amb una sèrie de cicles de mínima activitat solar (Büntgen, 2016).

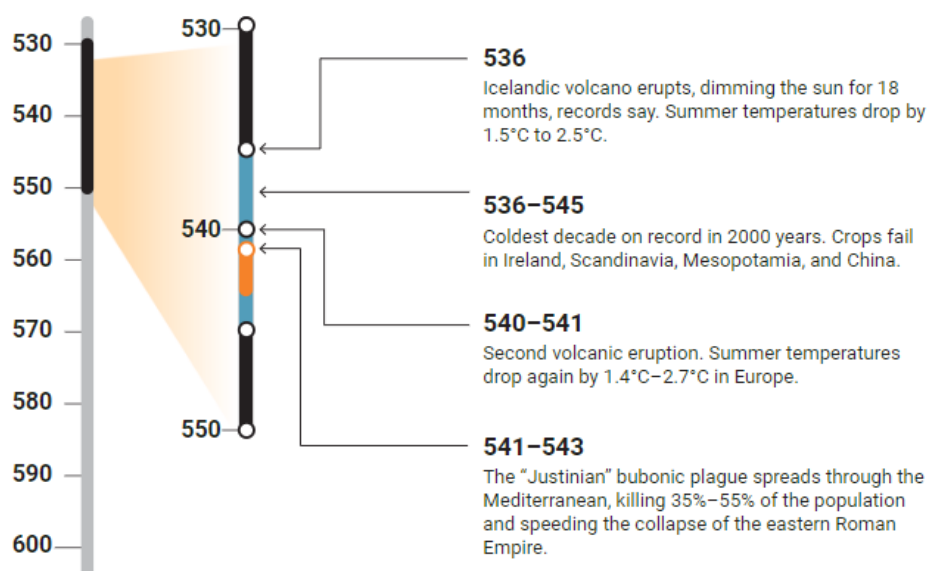


Figura 9. Línia temporal amb els principals esdeveniments entre els anys 530 i el 600 CE. (Extret de Gibbons, 2018).

Posteriorment tindrà lloc una notable millora denominada Òptim Climàtic Medieval o *Medieval Warm Period* (MWP), entre els anys c. 1350 i 750 cal BP, especialment al segle XII CE. Hiverns més suaus, estius càlids i llargs i una major freqüència i abundància de precipitacions a la conca mediterrània occidental, augmenten el

rendiment de les collites, provocant un increment demogràfic europeu que permet assolir els 80 milions d'habitants, just abans de l'arribada de la pesta negra al 1347 CE. Les ciutats creixen amb més de 1500 nous nuclis urbans entre el segle XI i mitjans del segle XII. Les glaceres reculen a les muntanyes (Broecker, 2001) i el cultiu de la vinya s'estén al sud d'Escandinàvia, Alemanya, Andorra o al centre i sud de les Illes Britàniques. Aquesta millora afavoreix l'expansió vikinga i els seus assentaments a Islàndia, Grenlàndia i Terranova a L'Anse aux Meadows (Uriarte, 2010).



Figura 10. Esquerra: recreació d'un habitatge tradicional viking al jaciment L'Anse aux Meadows a Terranova, Canadà. Dreta: estàtua de bronze de Leif Erikson al petit poble de L'Anse aux Meadows. (Extret del lloc web de la *UNESCO World Heritage Site*).

En línia amb les fluctuacions del clima al llarg del Megalaià, es produeix a continuació un nou deteriorament, l'anomenada Petita Edat de Gel o *Little Ice Age* (LIA), entre els anys c. 750 i 150 cal BP. Cap a l'any 1350 CE s'inicia un període prolongat d'empitjorament climàtic, especialment amb dues grans pulsions fredes al segle XIV i a la primera meitat del segle XIX (DeMenocal, 2000). Possiblement el clima



Figura 11. "El cens de Betlem". Quadre pintat per Pieter Brueghel el Vell en 1566. L'autor representa condicions glacials als Països Baixos. Font: Museus Reials de Belles Arts de Bèlgica, Brussel·les.

no va ser uniformement fred sinó que s'intensificaren els episodis de fred extrem. Un altre estudi basat en la data d'inici de les veremes a la Borgonya (Regió Borgonya – Franc-Comtat, França), indica que des de l'any 1370 CE, s'han succeït estius càlids semblants als actuals, tot i que sense arribar al calculat per al 2003 CE (+5,86 °C). L'estudi s'assenyala un llarg refredament ocorregut des de l'any 1680 CE, que va durar fins pràcticament el 1970 CE (Chuine *et al.*, 2004). Les causes de la LIA s'han buscat a les fluctuacions de la radiació solar (mínims solars de Spoerer, Maunder i Dalton), a factors astronòmics o a l'activitat volcànica, que va arribar als seus màxims amb les devastadores erupcions de l'Huaynaputina al Perú (febrer del 1600 CE), del Laki a Islàndia (1783) i del Tambora a Indonèsia (abril del 1815 CE) (Figura 13) (Uriarte, 2010).

El segle XX CE s'inicia amb la mateixa tendència freda marcada per la LIA a l'hemisferi nord (Marcott *et al.*, 2013). Tot i això, es registra cap al terç final del segle XX CE un augment sobtat de les temperatures provocat probablement per l'alliberament massiu de gasos d'efecte hivernacle. (Wanner *et al.*, 2008; Marcott *et al.*, 2013). Aquest escalfament continua i s'intensifica al llarg de la primera part del segle XXI. Recentment, un estudi ha revelat que l'estiu del 2023 va ser el més calorós a l'hemisferi nord mai registrat en els darrers 2000 anys. En concret + 3,93 °C més càlid de mitjana que l'estiu més fred dels darrers dos mil·lennis (Figura 14). La investigació va combinar dades instrumentals i dendroclimàtiques (Esper *et al.*, 2024).

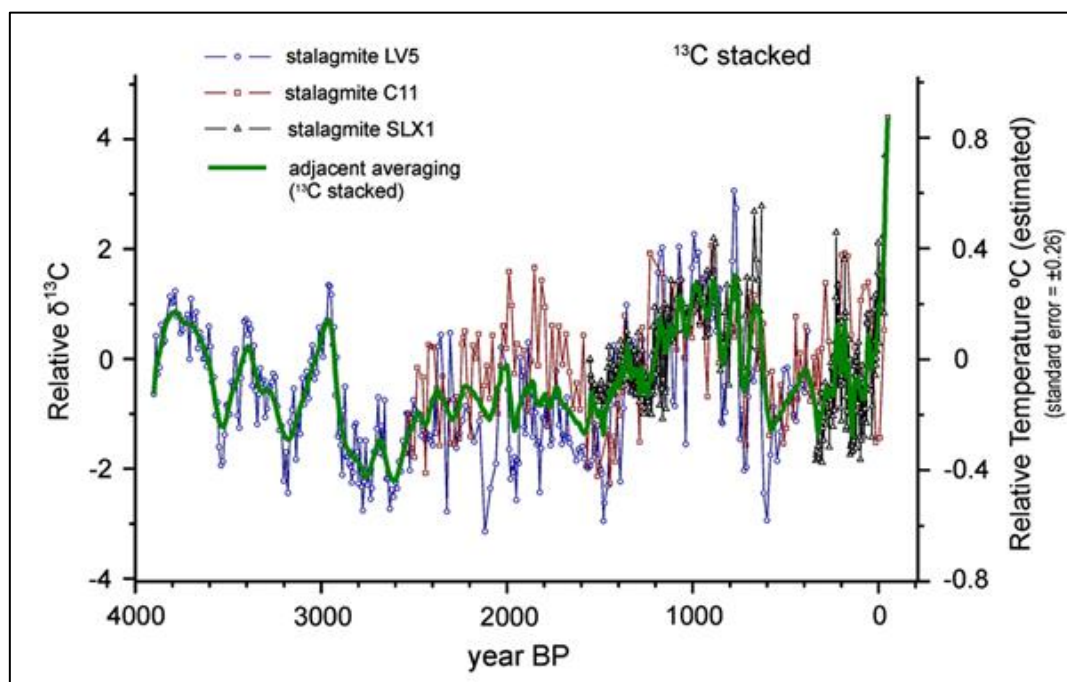


Figura 12. $\delta^{13}\text{C}$ de les stalagmites de 3 coves (Kaite, Cueva del Cobre i Cueva Mayor) al N d'Ibèria, han sigut utilitzats com a *proxies* de temperatura per als darrers 4 ka BP (Extret de Martín-Chivelet *et al.*, 2011).

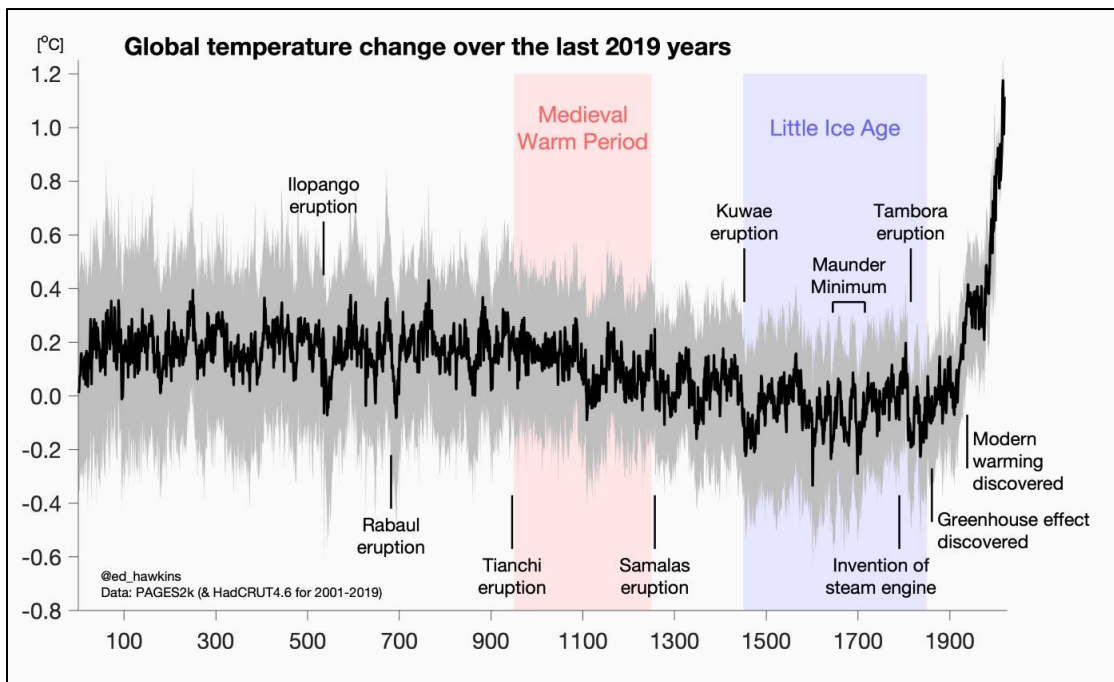


Figura 13. Anomalies globals de la Temperatura (°C) en els darrers 2 ka. La gràfica mostra alguns esdeveniments rellevants (Hawking, 2020).

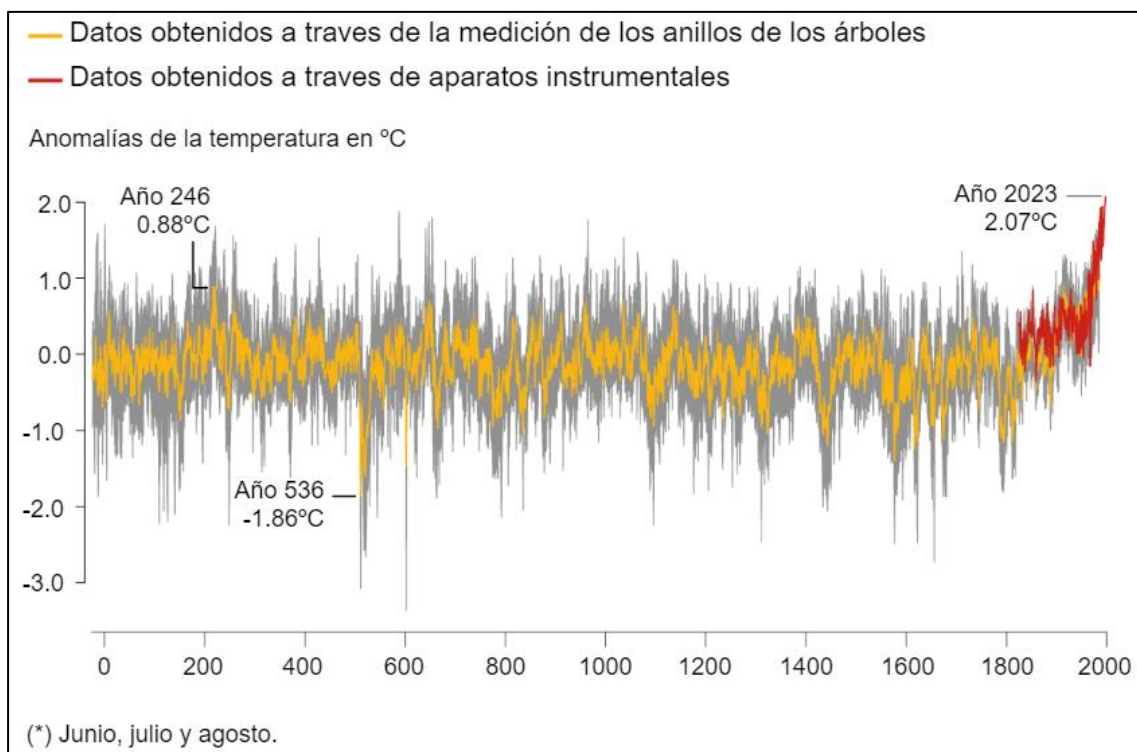


Figura 14. Evolució de la temperatura mitjana estival respecte la mitjana del període 1850-1950 (modificat per *La Vanguardia* d'Esper et al., 2024)

1.3.2. Registre arqueològic i ocupació humana al Pirineu al llarg de l'Holocè.

Les últimes dues dècades han significat una transformació notable en la comprensió de l'ocupació humana dels Pirineus després que les àrees d'alta muntanya rebessin una escassa atenció per part dels arqueòlegs al segle XX CE. Les darreres campanyes d'intervenció realitzades en ambdós vessants de la serralada han incrementat significativament el volum de dades arqueològiques disponibles sobre els seus antics habitants (Clemente *et al.*, 2019; Gassiot, 2016; Laborda *et al.*, 2017; Palet *et al.*, 2005, 2007, 2019; Rendu, *et al.*, 2003, etc.) i han permès establir que els primers indicis d'ocupació humana es situen, com a mínim, a inicis de l'Holocè, uns mil·lennis després que els Pirineus perdessin bona part de la seva coberta permanent de gel (Figura 15). Aquests programes d'investigació han compartit dos aspectes comuns: l'enfocament diacrònic i la preocupació per entendre com, al llarg del temps, s'han configurat els espais físics de les ocupacions humanes (Gassiot, 2017; Gassiot, 2016; Gassiot *et al.*, 2014b) generant la necessitat d'un treball interdisciplinari entre arqueòlegs i especialistes paleoambientals (Galop, 1998; Davasse, 2000, Galop *et al.*, 2001; Esteban *et al.*, 2003)

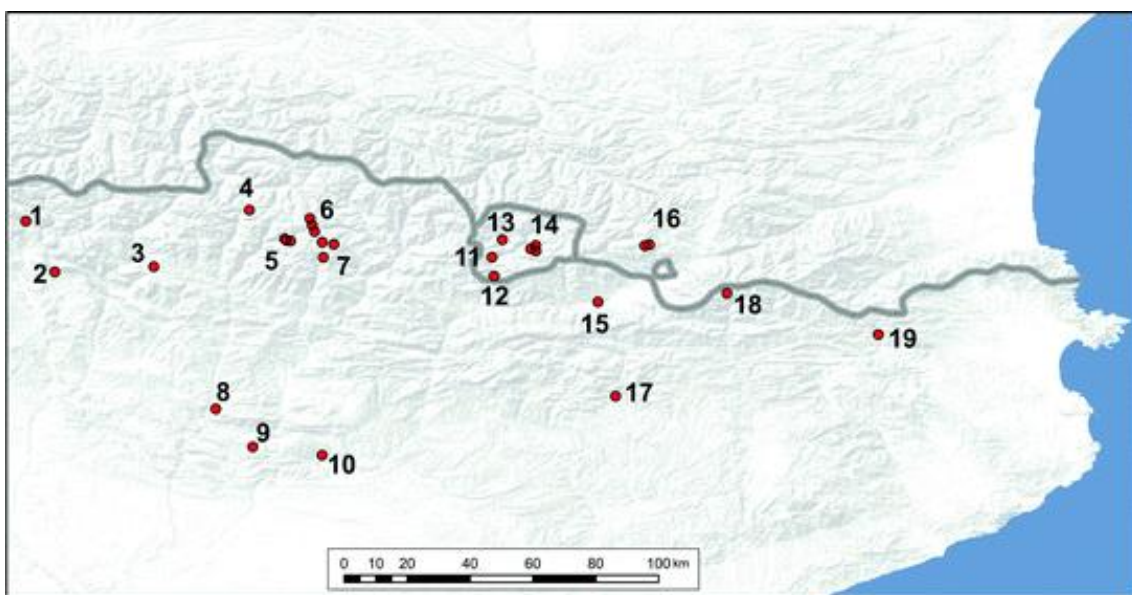


Figura 15. Localització geogràfica d'alguns dels jaciments esmentats. **1.** Coro Trasito, **2.** La Puyascada, **3.** Els Trocs, **4.** Tuc deth Lac Redon, **5.** Jaciments al PNAESM (1): Covetes, Cova de Sarradé, Cova del Sardo, **6.** Jaciments al PNAESM (2): Abric del Lac Major de Saboredó II, Portarró, Obagues de Ratera, **7.** Jaciments al PNAESM (3): Girada Gran de Monestero, Abric de l'Estany de la Coveta I, Coma d'Espós, Dolmen de la Font dels Coms, **8.** Cova Colomera, **9.** Cova Gran de Santa Linya, **10.** Cova del Parco, **11.** Balma Margineda, **12.** Juverri, **13.** Cista de Segudet, **14.** Jaciments al VMPC, **15.** Montlleó, **16.** Jaciments a Enveig, **17.** Font del Ros i Ca l'Oliaire, **18.** Vall de Núria, **19.** Balma del Serrat del Pont (extret de Mangado, 2018).

Aquesta evolució està provocant un canvi en el paradigma amb què s'aborda l'alta muntanya des de la perspectiva científica i està transformant fonamentalment la nostra comprensió de les regions d'alta muntanya dels Pirineus. El que abans es considerava com una successió d'espais essencialment naturals, gairebé intactes i sense pràcticament intervenció humana, ara es comença a percebre com un conjunt de territoris que han acollit poblacions humanes durant milers d'anys i també han estat influenciats i modelats per l'acció antròpica (Bal *et al.*, 2010; Catalan *et al.*, 2013 i 2019; Garcés-Pastor *et al.*, 2017; Miras *et al.*, 2010, Rodríguez-González *et al.*, 2023, etc.).

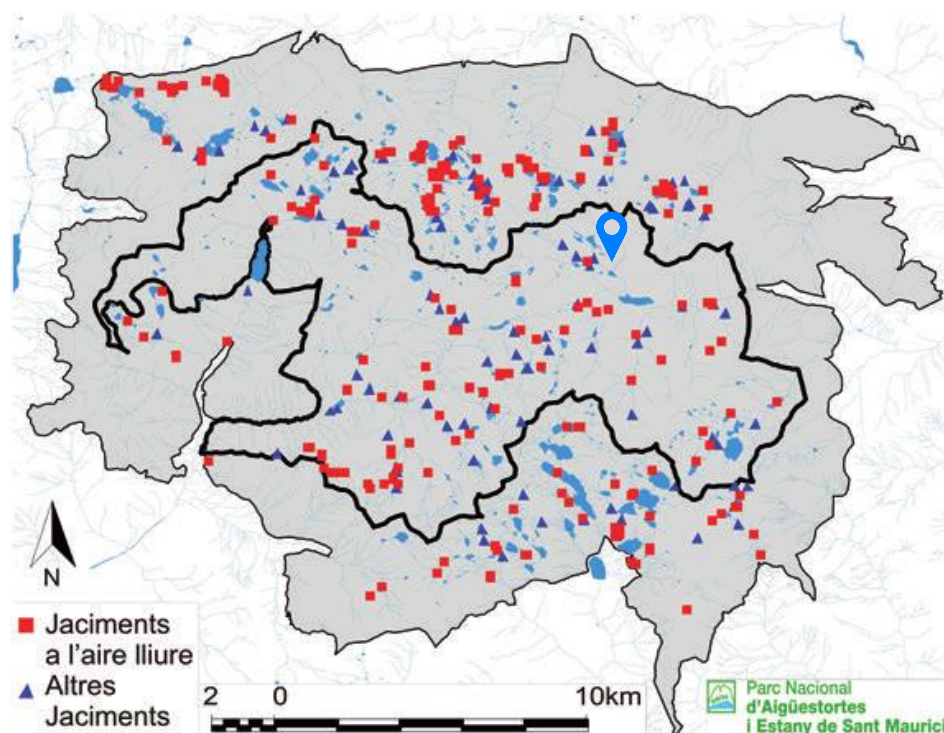


Figura 16. Mapa del PNAESM amb tots els vestigis arqueològics descoberts. El pin blau indica la situació de BAS1. Extret de Garcia-Casas, 2013.

La investigació arqueològica al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNAESM) per part del Grup d'Arqueologia a l'Alta Muntanya (GAAM, UAB) i d'altres, ha jugat un paper crucial en aquesta transformació en l'estudi de la història humana de les zones d'alta muntanya. En l'actualitat, aquesta àrea constitueix la regió de la serralada amb la major quantitat de jaciments arqueològics identificats i catalogats (Figura 16). La realització de més de 90 datacions de ^{14}C en prop de 40 jaciments identificats, ha proporcionat una extensa seqüència de la presència humana que abasta els últims 10 ka (Gassiot i Rodríguez, 2020; Gassiot *et al.*, 2020a). Un dels aspectes més interessants d'aquesta seqüència d'ocupació és la seva àmplia durada temporal, que destaca que les primeres comunitats presents eren caçadores-recol·lectores. Això

ens permet avaluar com va ser el procés posterior d'introducció de la ramaderia i l'agricultura (Gassiot *et al.*, 2021).

Taula 2. Datacions i ocupacions del PNAESM. S'observa el hiatus de 2 mil·lennis entre el c. 2,3 ka cal BCE i el 300 cal BCE. Extret de Rodríguez-Antón, 2016, a partir de Gassiot *et al.*, 2016a.

Període	N datacions	N ocupacions	N ocupacions datades
8700-6500 calANE	2	2	2
5600-3400 calANE	13	1	3
3400-2300 calANE	12	10	11
2300-300 calANE	2	2	2
300 calANE -450 calNE	15	13	13
450-1050 calNE	13	11	12
1050-1450 calNE	9	7	8
1450-1850 calNE	11	10	11

Encara que molt tènues i episòdiques, les evidències més antigues de presència humana al Parc Nacional o a les seves zones més properes es remunten a principis de l'Holocè, i són d'una època en què les poblacions peninsulars encara no practicaven ni l'agricultura ni la ramaderia (Taula 2). Uns quants mil·lennis abans, fa uns 14 ka, les grans glaceres havien pràcticament desaparegut amb l'ascens tèrmic que caracteritza el final del Plistocè (Rodríguez, 2011). Entre c. 10,7 i 9,5 ka cal BCE va tenir lloc un breu període fred conegut com a Dryas Recent (*Younger Dryas*, *YD*) i que es manifesta a l'hemisferi Nord (Alley, 2000). Als Pirineus aquest episodi va ser força sec. Encara que per les temperatures es van donar condicions perquè es tornessin a formar de glaceres, l'escassetat de precipitació va limitar aquest procés. En canvi, sí que es van desenvolupar les denominades glaceres rocalloses en diversos punts del Parc Nacional. En acabar aquest episodi les temperatures van remuntar i, malgrat lleugeres fluctuacions tèrmiques a l'Holocè, ja no es tornarien a produir condicions per al desenvolupament de les glaceres (Gassiot, 2016).

Fins a finals del segle XX CE, l'única troballa arqueològica amb nivells de caçadors-recol·lectors als Pirineus centrals era la Balma Margineda (Guilaine, 1985, 1995 i 2007; Martzluff, 2012; Oms, 2016), situada al fons de la vall del Valira, a prop de Sant Julià de Lòria (Principat d'Andorra) (Figura 17). Aquesta petita bauma, situada a una altitud de 970 m d'altitud, es considerava un assentament excepcional i anecdòtic de grups humans que freqüentaven des de fa quasi 14 ka el fons de la vall. Al final del Plistocè les ocupacions es fan més intenses i l'abric es mantindrà fins entrat el Neolític amb vestigis de restes de ceràmica, agricultura i ramaderia.



Figura 17. Jaciment de la Balma de la Margineda (Aixovall, Principat d'Andorra) (Mangado, 2018).

1.3.2.1. Paleolític Superior i Mesolític.

Diverses intervencions arqueològiques posteriors van canviar aquest percepció d'excepcionalitat. Una de les troballes notables va ser el descobriment del jaciment de Montlleó, ubicada al coll de Saig, al terme municipal de Prats i Sansor, a la Cerdanya, a una petita elevació al fons de la vall del riu Segre. En Jordi Grimaó el va trobar el 1998, tot i que les excavacions sistemàtiques van començar l'any 2000. Les continuades campanyes realitzades en aquest indret han registrat com a mínim dues fases d'ocupació datades entre el 18,7 i el 16,6 ka cal BCE. Va ser ocupat per un grup de caçadors-recol·lectors quan Montlleó era un punt clau en la travessa del Pirineu. És un dels pocs jaciments d'aquest tipus en alçada i un dels situats a més altitud d'Europa. Està dalt d'un turó que s'eleva uns 50 m sobre la plana circumdant, a una altitud de 1140 m des del qual es pot veure una bona part de la comarca, cosa que el feia òptim per controlar les peces de caça o els moviments d'altres grups. El jaciment és abandonat al voltant dels 15 ka cal BP. Entre les troballes destaquen un miler de peces de sílex per fer ganivets o puntes de llança o de sageta, restes d'ossos de cavall, cérvol, isard, cabra, conill, llebre i bisó, una dent de cérvol decorada i diverses petxines de sis espècies diferents (Mangado *et al.*, 2005, 2009, 2018).

El Dolmen de la Font dels Coms, situat a la capçalera de la vall de Baiasca (Llavorsí, Pallars Sobirà), va revelar descobriments arqueològics rellevants (Figura 18). Sota la base d'aquest sepulcre megalític, es va realitzar una intervenció que va permetre documentar els vestigis d'un forat de pal i alguns fragments de sílex tallat associats. La

datació d'un petit carbó de l'interior del forat va proporcionar una cronologia del Mesolític, d'entre c. 8,74 i 8,56 ka cal BCE (Gassiot *et al.*, 2014, Gassiot, 2016). A la vall del Madriu, al Principat d'Andorra, es va produir una troballa similar sota una cabana medieval prop de la Torbera de Perafita, a una altitud d'uns 2360 m. La datació d'un estrat amb algunes restes lítiques va proporcionar una cronologia semblant (Orengo *et al.*, 2014). Aquests dos darrers casos van posar clarament de manifest la presència d'activitats humanes antigues sota la forma d'estructures megalítiques i artefactes del període Mesolític.

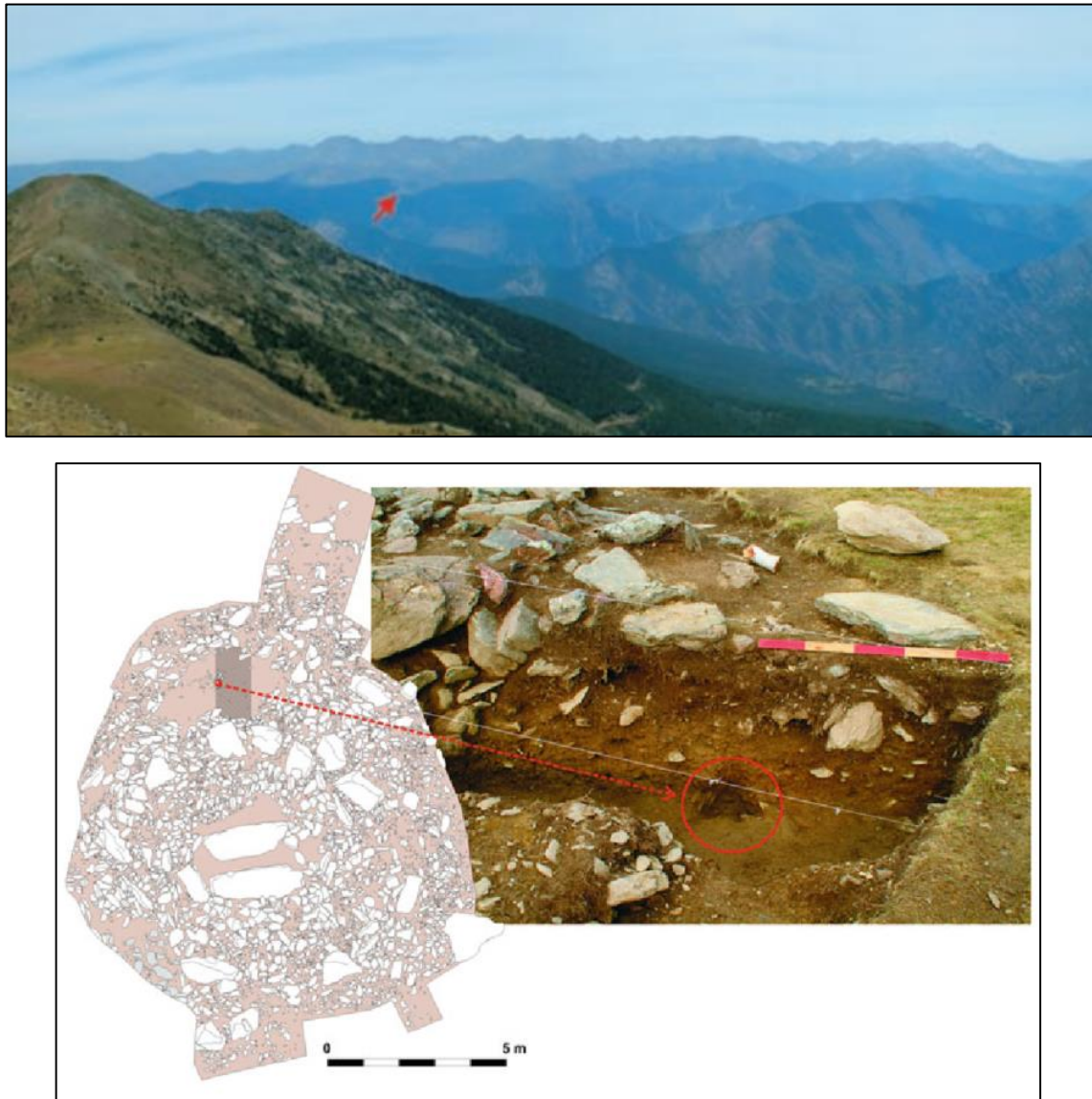


Figura 18. Imatge superior: Muntanyes del sector oriental del PNAESM des del Pic de lo Covil (Vallferrera). La fletxa indica la ubicació del Dolmen de la Font dels Coms. Imatge inferior: Planta del Dolmen de la Font dels Coms. La imatge mostra la prospecció realitzada sota el megàlit al 2003. En vermell s'observa el possible forat de pal (Gassiot *et al.*, 2016, 2017).

Aquests jaciments suggereixen que ja en els inicis de l'Holocè, grups de caçadors-recol·lectors freqüentaven l'alta muntanya pirinenca (Gassiot *et al*, 2017). Actualment, els primers indicis arqueològics de presència humana al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNAESM) provenen de dos petits abrics situats ja a l'estatge alpí: l'Abric de Les Obagues de Ratera i l'Abric de l'Estany de la Coveta I tots dos situats entre els 2300 i 2400 m d'altitud.

L'Abric de Les Obagues de Ratera es troba a 2320 m d'altitud a la vall de Ratera, al municipi d'Espot. Té una orientació cap al nord-oest i està limitada pel port de Ratera. Aquesta vall és força escarpada i està en gran part coberta per restes rocalloses dels dipòsits glacials del parc. La seva orientació i altitud determinen que es tracti d'un lloc molt fred, amb l'acumulació freqüent de gruixos de neu. Té diverses ocupacions d'inicis de l'Holocè, totes elles associades al mesolític i que abracen un període comprès entre el 8 i el 5,64 ka cal BCE, dividit en dues fases distintes.

Durant la primera fase, que va tenir lloc entre el c. 8 i el 7 ka cal BCE, l'abric va ser visitat de manera esporàdica. En aquesta fase més antiga, es va construir un petit foc que va estructurar l'espai. Els grups que el van utilitzar van deixar pocs materials, principalment eines lítiques i rastres de combustió. Entre el c. 5,73 i el 5,64 ka cal BCE, coincidint amb la fi del Mesolític, es detecta un augment en la intensitat de l'ocupació. Es va construir una base de pedra que va servir com a fonament per a una estructura que tancava l'abric amb fusta o pells. A l'interior d'aquesta estructura es van realitzar reparacions i es van descartar nombroses puntes de projectil fetes de sílex i, en alguns casos, de cristall de roca, associades a activitats cinegètiques (Gassiot *et al.*, 2019, 2020a i 2021).

L'ocupació de l'Abric de l'Estany de la Coveta I durant el Mesolític data d'entre el c. 7 al 6,5 ka cal BCE (Taula 3) (Gassiot, 2016; Gassiot *et al.*, 2014). En aquesta fase, es va construir un petit foc a prop de l'entrada de l'abric, una acumulació de blocs de granit, on es va cremar fusta de pi. Les poques restes lítiques trobades en aquesta fase inclouen petits fragments de sílex i quars (Figura 21). Algun d'aquests fragments es va utilitzar per treballar possiblement pells i carn. Les evidències materials són molt escasses en aquest jaciment, i tot semblaria indicar que es tractaria de grups que organitzarien caceres i que es resguardarien de forma breu i ocasional (Gassiot, 2021).

Taula 3. Principals jaciments de muntanya del Pirineu català del Paleolític Superior i el Mesolític.

Jaciment	Cronologia dels nivells del paleolític superior i mesolítics	Altitud (msnm)	Articles relacionats (Autor, any)
Montlleó	23 ka a 15 ka BP	1140	Mangado (2005, 2009 i 2018).
Dolmen de la Font dels Coms	8775 a 8550 cal BCE	1800	Mangado (2018); Gassiot (2014 i 2016).
Abric de les Obagues de Ratera	8000 a 5640 cal BCE	2320	Gassiot (2020a i 2021).
Abric de l'Estany de la Coveta I	7000 a 6500 cal BCE	2465	Gassiot (2014 i 2016).

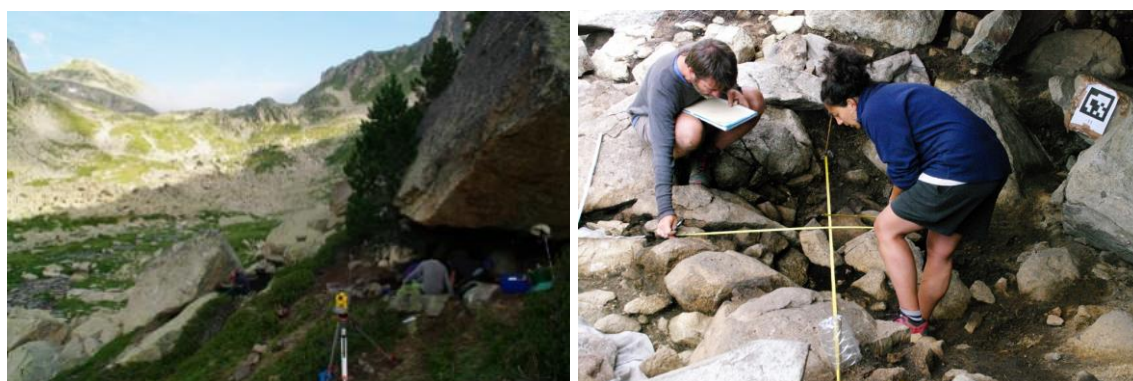


Figura 19. Dues imatges de l'Abric de les Obagues de Ratera. A la imatge de la dreta, presa al 2015, s'observa l'abric i la vall homònima, amb els dipòsits de blocs morrènics. La imatge de l'esquerra mostra un moment de la intervenció arqueològica (Gassiot, 2019).

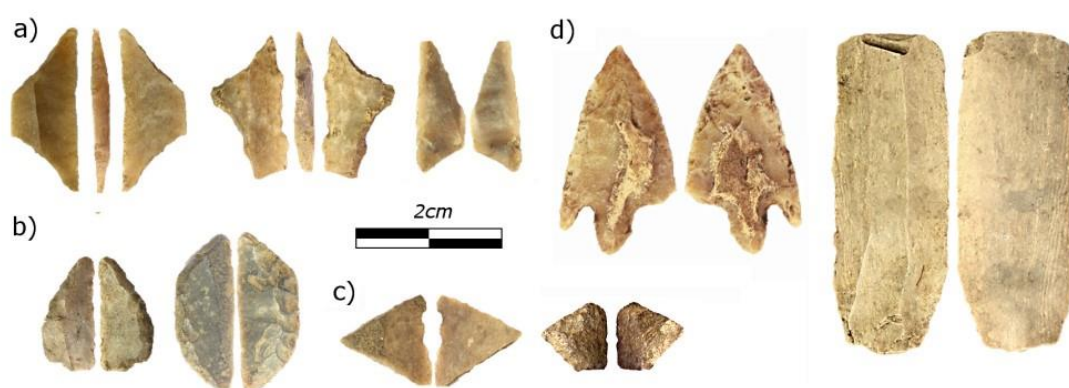


Figura 20. Peces lítiques tallades procedents de les ocupacions prehistòriques de l'abric: a) trapezis isòsceles i escalens amb retoc abrupte; b) segments de doble bisell; c) triangles amb retoc abrupte i de doble bisell; d) peces lítiques del Neolític mitjà i final (extret de Gassiot, 2019).

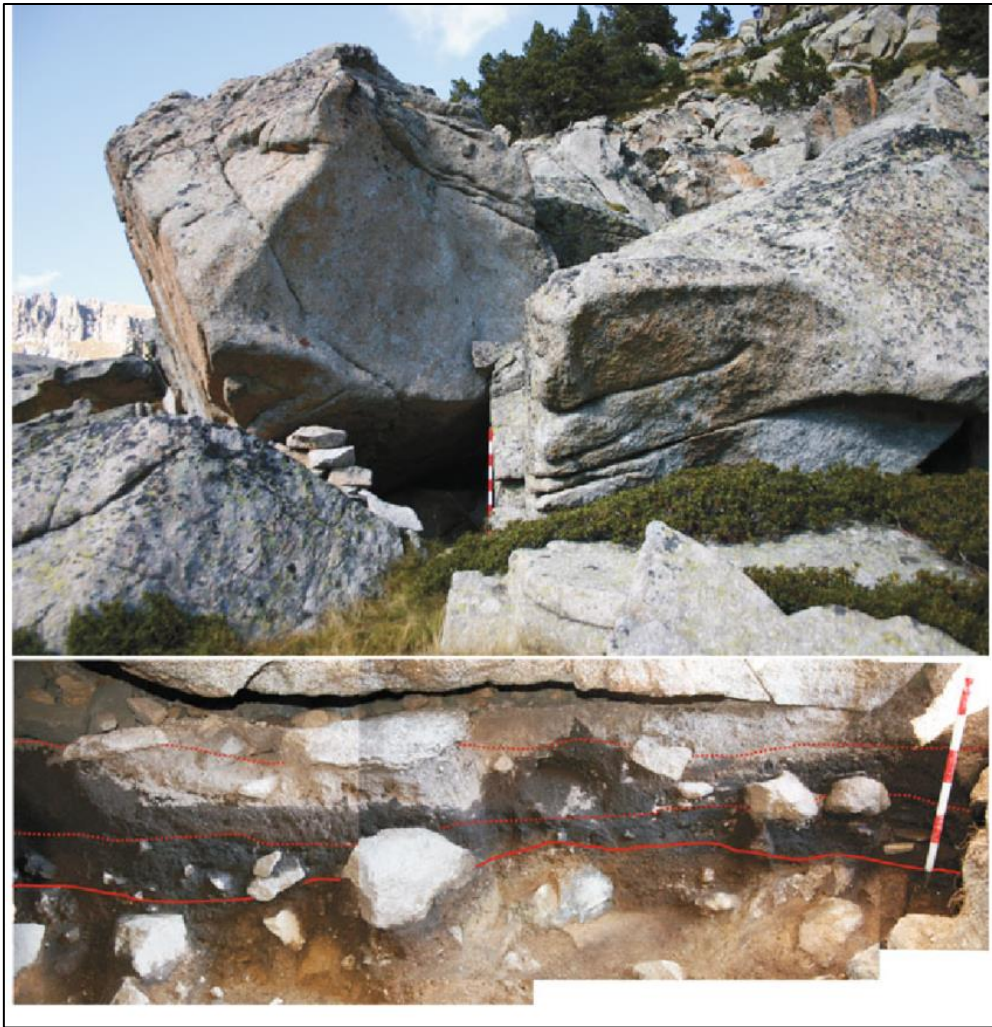


Figura 21. Imatge superior: Abric de l'Estany de la Coveta I, situat en una zona de grans blocs acumulats durant l'Últim Període Glacial. Imatge inferior: detall de la secció oriental de l'excavació. La línia vermella sòlida marca l'ocupació mesolítica del refugi. Les línies puntejades indiquen les ocupacions neolítiques i del període històric (tard medieval o medieval), respectivament (extret de Gassiot, 2017).

1.3.2.2. Neolític.

El Neolític es caracteritza per l'arribada d'un nou sistema econòmic basat en l'agricultura i la ramaderia, que a més va comportar importants canvis a nivell social i en el patró d'assentament dels grups humans amb l'aparició dels primers poblats estables. Aquesta transformació no es va donar a tot arreu, ni al mateix moment, ni de forma similar. El consens actual situa el seu inici a la zona del Pròxim Orient i s'anirà implantant amb major o menor rapidesa a les diverses àrees geogràfiques de la conca Mediterrània i de la resta d'Europa. Fa uns c. 12 ka s'inicià la progressiva domesticació d'animals i plantes al sud-est asiàtic i que en uns c. 3 ka es van estendre cap al Creixent Fèrtil (Edwards *et al.*, 2007; Haak *et al.*, 2010; Zeder, 2011)

Els Neolítics eren grups sedentaris amb assentaments estables que cultiven plantes, sobretot cereals i lleguminoses, i criaven ramats d'ovelles, cabres, vaques i porcs. Les noves activitats productives, l'agricultura i la ramaderia, potencien el desenvolupament de noves eines lítiques (falç, destral, aixà i aixada), i d'altres materials nous com la ceràmica que s'utilitzaran per preparar i servir els aliments. Tots aquests canvis generen un creixement progressiu de la població, que vindrà acompanyat de noves creences i nous rituals vinculats amb les pràctiques funeràries (Price, 2000; Colledge i Conolly, 2007; Alday-Ruiz, 2009; Gassiot, 2016a).

A Catalunya es diferencien tres etapes al Neolític (Molist *et al.*, 2003):

Neolític Antic, entre c. 7,5 i 6 ka cal BP. Es documenten les primeres societats agrícoles a la Península Ibèrica i en el Mediterrani Occidental, les quals s'associen a les primeres espècies domèstiques de cereals, lleguminoses i animals. Aquests primers agricultors fabriquen ceràmiques amb decoracions impreses i/o cardials (terme relacionat amb la petxina del gènere *Cardium* que s'utilitzaven com a tampó per a les impressions). Al final del període s'incrementen les practiques sepulcrales i apareixen els primers sepulcres megalítics.

Neolític Mitjà, entre c. 6 i 5 ka cal BP. Es consoliden les primeres societats agrícoles en la Península Ibèrica i en el Mediterrani Occidental. Es tracta de grups amb una agricultura i ramaderia estabilitzades, amb un desenvolupament tecnològic significatiu i unes xarxes d'intercanvi de productes i matèries primeres molt importants que poden aconseguir cobrir distàncies de fins a 800 km. Els trets més destacats es relacionen amb les pràctiques funeràries d'algunes regions, com els Sepulcres de Fossa del prelitoral i litoral central català, els enterraments en cistes amb túmul del Solsonès, les cistes soterrades del Baix Ebre i els primers dòlmens de l'Empordà.

Neolític Final-Calcolític, entre c. 5 i 4,2 ka cal BP. En aquesta etapa es produeix una intensificació de les activitats: agricultura intensiva i ramaderia més diversificada (recursos làctics, llana i força de tracció dels animals). Apareixen també els primers objectes de metall, primer d'or i després de coure. Un atuell ceràmic es fa molt popular: el vas campaniforme amb formes i decoracions molt precises s'entén per tot Europa, de tal manera que s'interpreta com un reflex de les àmplies xarxes de comunicació, difusió i intercanvi existents en aquells moments. En les practiques funeràries es fa més habitual el ritual múltiple i es diversifiquen els tipus d'enterrament (cova natural, hipogeu, fosses, etc.), entre els quals destaca la gran expansió dels sepulcres megalítics.

Amb posterioritat a la intensa ocupació mesolítica de l'Abric de l'Estany de la Coveta I i de l'Abric de les Obagues de Ratera, desapareixen les traces de presència humana

al PNAESM durant uns 1000 anys. Únicament a partir del c. 7,5 ka cal BP tornen a aparèixer vestigis arqueològics, tot i que de forma molt puntual.

Fins ara, aquests vestigis es limiten únicament a dos petits fogars excavats en dos jaciments diferents amb àmplies seqüències: la Cova del Sardo i l'Abric del Portarró (Figura 22) (Gassiot, 2016, 2021). La Balma Margineda també ofereix algunes de les datacions neolítiques més antigues, entre el 7470 i el 7320 cal BP, i es va consolidant la presència de comunitats que practicaven l'agricultura, la ramaderia i la ceràmica en diversos jaciments dels Pirineus centrals, com Els Trocs, Coro Trasito o Cueva Lobrica, tots ells a l'Aragó (Oms, 2016; Díaz-Bonilla, 2016; Gassiot, 2021).

Un dels fogars procedeix de la Cova del Sardo de Boí, una petita cavitat situada a la part baixa del vessant de la vall de Sant Nicolau, a prop del Planell del Sant Esperit, a una altitud de 1790 m. A partir d'aquest moment, i amb una primera interrupció de 6 o 7 segles, aquesta cavitat va ser utilitzada com a lloc d'hàbitat o refugi de forma recurrent fins aproximadament el 4,5 ka cal BP. Com veurem més endavant, la primera de les ocupacions de la Cova del Sardo va implicar un ús molt puntual del lloc, del qual només queden les restes d'una petita llar. Caldrà esperar uns segles fins que el 6,8 ka cal BP es registri una utilització molt més intensa i continuada del lloc i on ja seran evidents trets propis del Neolític, com el consum de plantes domèstiques, possibles pràctiques ramaderes i la utilització de la ceràmica (Gassiot, 2016; Gassiot *et al.*, 2021)

Pel que fa a l'Abric del Portarró, consta de dos refugis, Abrics 1 i 2, aquest darrer més petit. Està situat una mica per sota del coll del mateix nom, al municipi d'Espot, a una altitud d'uns 2280 m i ocupa una petita àrea en forma de circ que, tot i que proporciona certa protecció contra el vent, rep una acumulació considerable de neu durant els mesos d'hivern (Gassiot, 2021). Es tracta d'un jaciment arqueològic amb una llarga seqüència d'ocupació humana que s'estén, com a mínim, des del Neolític antic (c. 7,2 ka BP) fins al s. XX CE, amb vestigis del Neolític final (c. 5,3 a 5 ka BP), de l'Edat del Bronze (c. 3,6 a 3,2 ka BP), d'èpoques ibèrica, romana i de l'alta Edat Mitjana. Les restes es localitzen tant a l'aire lliure com en dos petits blocs erràtics desplaçats a l'indret per les darreres geleres, ara fa més de 12 ka.

A la part més profunda d'aquest abric, les excavacions realitzades l'any 2020 han documentat l'existència d'un fogar que s'ha datat en el període de 7,3 a 7,2 ka cal BP. Tot i que pràcticament no s'han trobat altres restes materials associades a aquesta troballa, la seva presència indica que aquest refugi va ser ocupat breument com a lloc de resguard durant el Neolític antic.



Figura 22. A l'esquerra: imatge de l'Abric 1 del Portarró, situat en una zona de grans blocs erràtics acumulats durant l'últim període glacial. A la dreta: ceràmica datada en uns 3,6 ka cal BP (extret de Gassiot, 2017).

La Cova del Sardo de Boí és un dels jaciments de referència del PNAESM perquè ha permès documentar una àmplia seqüència d'ocupació moderna, medieval i prehistòrica (Figura 23). És una petita bauma formada per la sobreexcavació glacial de la base d'un espadat de granit, molt a prop del fons de la vall de Sant Nicolau, al sector del Planell del Sant Esperit, a 1790 m d'altitud. La ubicació és especialment favorable ja que rep molta insolació i evita les acumulacions de neu. Es va documentar durant la campanya de prospeccions arqueològiques de l'any 2004, gràcies a les indicacions d'en Jaume Perelada. El jaciment va ser excavat completament entre els anys 2006 i 2008 (Gassiot *et al.*, 2014, 2015; Rodríguez, 2020).



Figura 23. A l'esquerra: imatge de la Cova del Sardo de Boí durant l'excavació del 2008. A la dreta: fragments ceràmics del nivell 7, d'entre c. 5,9 i 5,5 ka cal BP (extret de Gassiot, 2014).

Com ja hem comentat abans, aquesta activitat va permetre documentar una extensa seqüència d'ocupació de la petita cavitat, amb diverses fases prehistòriques i també d'època històrica (medievals i moderna). Cal destacar la successió d'ocupacions que

cobreixen pràcticament tot el Neolític i que evidencien una freqüentació reiterada del refugi. De fet, en l'actualitat és un dels pocs jaciments del nord-est de la Península i del Pirineu axial amb tal continuïtat d'ocupacions. Finalment, tot i que el volum de materials

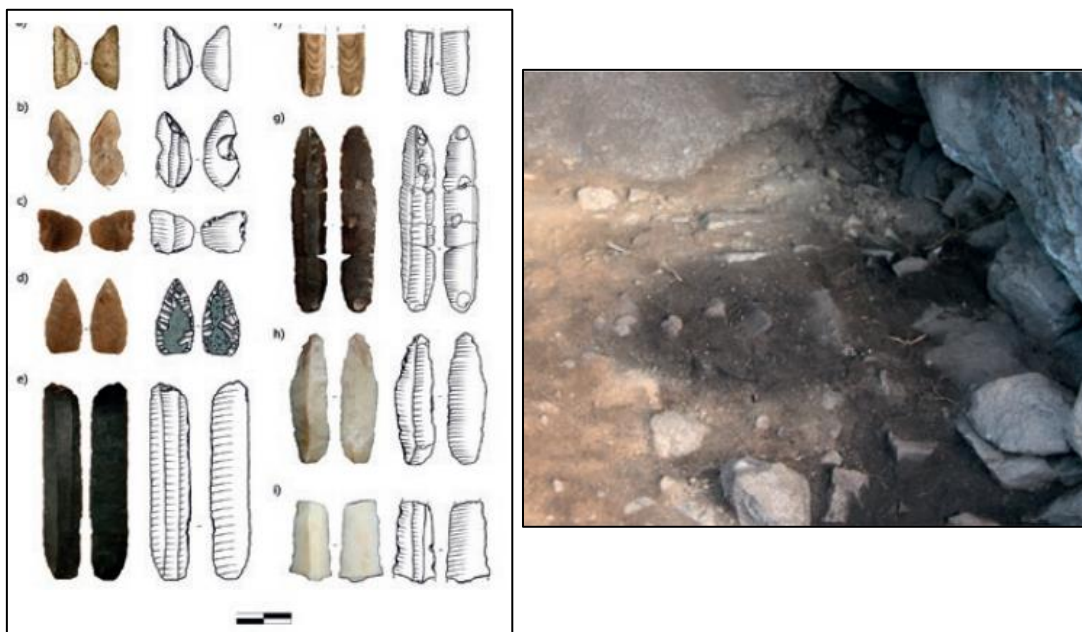


Figura 24. A l'esquerra: nuclis i làmines de sílex prehistòriques recuperades de la Cova del Sardo de Boí. A la dreta: focar recuperat al nivell 7, d'entre 5,9 i 5,5 ka cal BP (extret de Gassiot, 2014).

que han proporcionat les excavacions no és molt elevat (sílex provinent de la Conca de Graus-Tremp, carbons i ossos, sent el vestigi més recent és una moneda recuperada de Felip V), el seu estudi detallat ha permès obtenir informació rellevant sobre els grups humans que es van assentar al lloc. La base de la seqüència arqueològica la conforma la Fase 9, definida a partir d'un focar en una petita coveta amb molt poc material arqueològic associat (Figura 24). La datació per radiocarboni ha facilitat un resultat de 7,6 a 7,375 ka cal BP, coherent amb les primeres datacions absolutes de contextos neolítics als Pirineus (Gassiot *et al.*, 2014, 2015).

Taula 4. Principals jaciments neolítics de muntanya del Pirineu català.

Jaciment	Cronologia dels nivells neolítics	Altitud (msnm)	Articles relacionats (Autor, any)
Abric del Portarró	7,3 – 7,2 ka cal BP	2280	Gassiot (2017)
Cova del Sardo	7,6 – 7,37 ka cal BP	1790	Gassiot (2016); Gassiot <i>et al.</i> (2014 i 2015); Rodríguez (2020).
Balma Margineda	7,47 – 7,32 ka cal BP a 6,8 – 6,6 ka cal BP	970	Guilaine (1995a); Martzluff (2012); Oms (2016).

Tot i que en el futur el nombre de jaciments d'aquesta època pugui augmentar, la pobra evidència arqueològica neolítica actual en comparació amb la major densitat mesolítica sembla indicar que durant els primers segles del Neolític, el poblament documentat a zones de fons de vall i de muntanya mitjana es trasllada molt puntualment a les cotes més altes, possiblement en el marc d'activitats de cacera.

1.3.2.3. Edat del Bronze i Edat del Ferro.

Després d'un episodi d'elevada ocupació del Neolític final en zones d'alta muntanya, a on a la zona del PNAESM es coneixen fins a 9 jaciments amb datacions que comencen en 5,4 ka cal BP (Gassiot *et al.*, 2014, 2016), es detecta un hiatus d'uns 2 ka (aproximadament entre 4,3 a 2,3 ka cal BP) a on les ocupacions pràcticament desapareixen a l'entorn del PNAESM (Gassiot *et al.*, 2017), a la vall del Madriu-Perafita-Claror i a l'àrea d'Enveig a Andorra (Rendu, 2003). A la vall del Madriu-Perafita-Claror (Andorra) es coneixen fins a 6 jaciments amb cronologies neolítiques, des de 5,3 a 4 ka cal BP (Orengo *et al.*, 2014). En aquest hiatus només s'ha documentat un abric a prop de l'Estany Blau de la vall de Cabanes datat a mitjans del II mil·lenni cal BCE que, d'altra banda, contrasta amb la presència de diversos vestigis funeraris tant a l'interior del PNAESM (el Túmul de la Pleta d'Erdo (Figura 25) i el Túmul de la Font de la Portella) com en àrees d'alta muntanya relativament properes, com el Dolmen de la Font dels Coms (Garcia-Casas, 2011).



Figura 25 . Esquerra: Túmul de la Pleta d'Erdo, abans d'iniciar la intervenció arqueològica. Dreta: Dolmen de la Cabaneta d'Envall (Gassiot, 2016).

També s'han efectuat varies troballes de material ceràmic tipològicament corresponents al II Mil·lenni cal BCE a diversos amagatalls naturals a la Vall de Sant Nicolau, entre 1800 i 2450 m d'altitud (Figura 26). En definitiva, aquests vestigis semblen

indicar que hi va haver una continuïtat en la freqüentació humana de les àrees d'alta muntanya dels Pirineus occidentals catalans al llarg dels II i I mil·lennis cal BCE, si bé possibles canvis en les estructures d'habitat o la reocupació posterior en època medieval o moderna, n'ha fet difícil identificar els assentaments (Garcia-Casas, 2011).

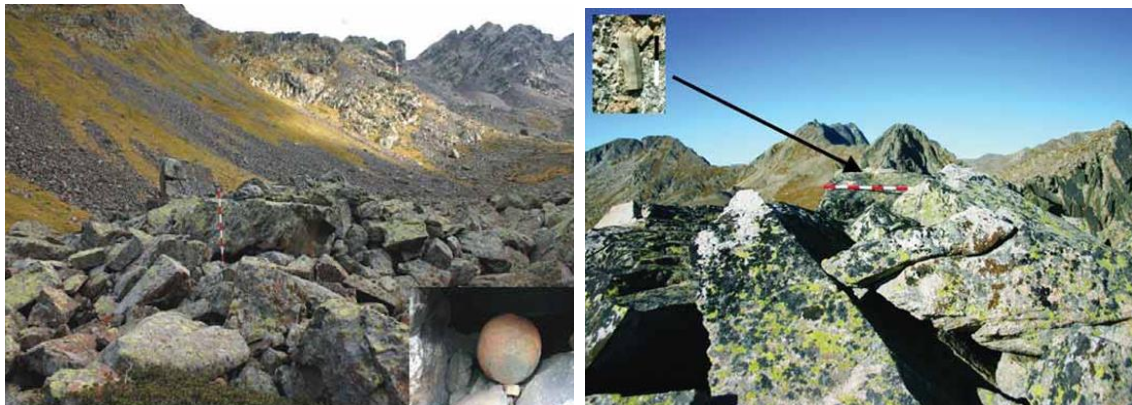


Figura 26. Esquerra: Lloc arqueològic VB.015. Tarter del Bony del Graller i detall de la troballa in situ del recipient ceràmic (extret de Quesada, 2016a). Dreta: Ubicació de la troballa d'una làmina de sílex de 2 cm al lloc ESP-007, Serrat de Muntanyó. En el requadre, detall de la làmina (extret de Gassiot *et al.*, 2016).

La descoberta de dues cabanes just a l'inici i al final del hiatus de radiocarboni abans esmentat, podria donar llum a aquesta qüestió. La primera d'aquestes és la Cabana de la Coma d'Espós, identificada a 2230 m d'altitud sobre el nivell del mar, tot just a sobre de l'Estany Gento, a la vall Fosca (Gassiot *et al.*, 2010a, 2010b). En ella s'hi poden distingir els murs, molt enderrocats i sedimentats, així com un espai interior de 3 x 6 metres una mica enfonsat respecte de l'exterior. Al sondeig realitzat s'hi va trobar un nivell de troncs cremats associat a l'enderroc dels murs i fragments ceràmics congruents amb la datació del nivell de col·lapse (entre 4,82 i 4,67 ka cal BP).

La segona és la Cabana del Lac deth Mieï, una estructura rectangular localitzada a la Vall d'Aran, a 2291 m d'altitud, amb un espai interior de 2x4 m, datada a finals del I mil·lenni (de 2350-2300 a 2210-2040 cal BP). Per sota de l'enderroc de pedres, es va recuperar ceràmica i molts carbons.

Durant les campanyes de prospecció, també s'han localitzat dins i als voltants del PNAESM un mínim de quatre elements que, per paral·lelismes, s'han identificat com a estructures funeràries que pertanyen a la franja cronològica entre el II i el I mil·lenni cal BCE. Les dues primeres són dues cistes o "cambres pirinenques". Una és el Dolmen de la Cabaneta d'Envall que es localitza en el punt més elevat del Serrat de la Cabaneta (Torre de Cabdella, Pallars Jussà), a 1327 m d'altitud. L'altra estructura megalítica és el Dolmen de la Font dels Coms (Gassiot *et al.*, 2006) localitzada a la capçalera de la Vall

de Baiasca (Llavorsí, Pallars Sobirà), a 1850 m d'altitud. Les altres dues consisteixen en dos cercles de pedra o "cromlecs pirinencs". La primera d'elles és el Túmul de la Font de la Portella. Es localitza prop de l'Estany Tort (Torre de Cabdella, Pallars Jussà) a uns 2230 m d'altitud. La segona és el Túmul de la Pleta d'Erdo, situat a l'àmplia zona pastures que defineix la Vall de Llacs de Boí a 2250 m d'altitud (Gassiot *et al.*, 2006).

Aquesta absència arqueològica d'assentaments és extensible a moltes altres zones del Pirineu, i contrasta paradoxalment amb l'increment dels indicadors paleoecològics d'alteració antròpica. Els registres paleoambientals d'àrees properes dels Pirineus mostren que al llarg d'aquest període es consoliden els indicis d'alteració de les cobertes vegetals associades a l'expansió de practiques ramaderes i, més puntualment, agrícoles. Encara no hi ha una raó clara a aquesta discrepància tot i que s'apunta a la manca de recerca i al fet que els campaments a l'aire lliure haurien sigut reocupats durant l'Edat Medieval o l'Època Moderna, emascarant les fases prehistòriques (Gassiot *et al.*, 2006; Pèlachs *et al.*, 2011; Bal *et al.*, 2011; Pérez-Obiol *et al.*, 2012).

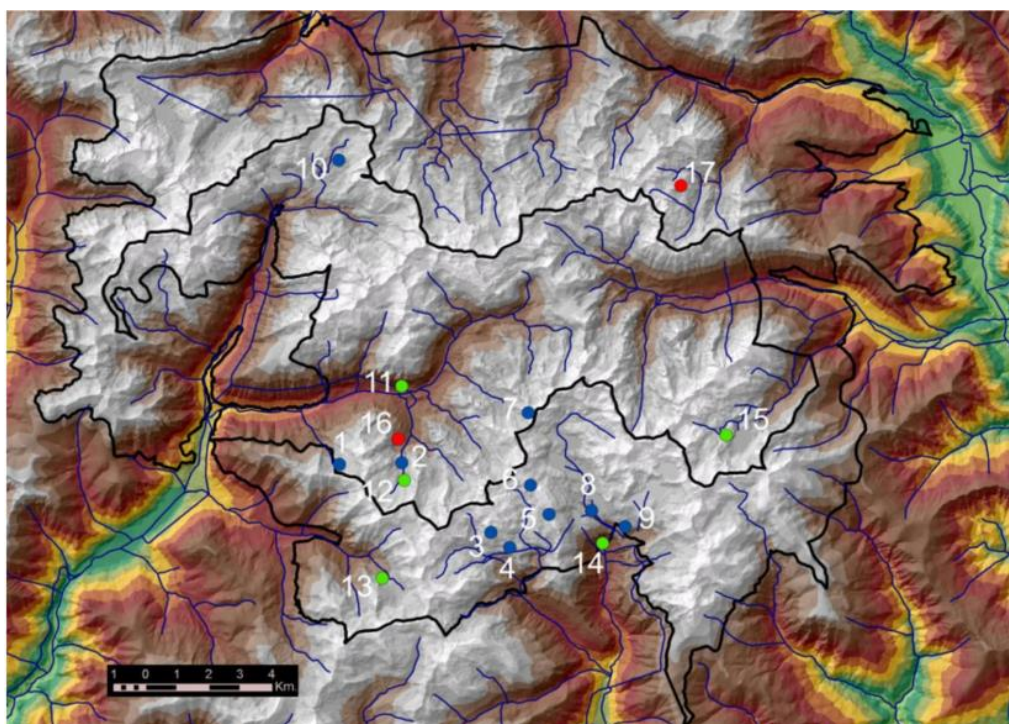


Figura 27. Mapa de la zona del PNAESM i els diferents contextos arqueològics del II i el I mil·lenni cal ANE. En blau, 1. Túmul de les Cometes de Casesnoves. 2. Túmul de la Pleta d'Erdo. 3. Cercle de pedres de la Carena de l'Estany Salat. 4. Cercle de pedres del Pic Salat. 5. Cercle de pedres de la Collada de les Arenes. 6. Cercle de pedres de la Collada de Mariolo. 7. Cercle de pedres de la Collada de Delui. 8. Túmul de la Font de la Portella. 9. Cercle de pedres de la Parada de Jou i 10. Cercle de pedres de Mangades. En verd, 11. Dipòsit del Sant Esperit. 12. Dipòsit de Llacs. 13. Dipòsit del Port de Rus. 14. Dipòsit de l'Abric del Luque i 15. Dipòsit de l'Abric de l'Estany de la Coveta I. En vermell, 16. Conjunt del Despoblat de la Cova i 17. Abric de l'Estany de la Xemeneia (extret de Carrasco, 2016).

Al 2023, el Grup d'Arqueologia de l'Alta Muntanya (GAAM) de la UAB-CSIC va documentar les restes d'una casa de l'Edat del Bronze al jaciment de l'Abric 2 del Portarró, a 2280 m d'altitud, a dins del PNAESM (pendent de publicació) (Figura 28). Probablement és la resta de construcció més antiga documentada a tot el Pirineu, amb uns 3,8 ka BP. També s'han localitzat restes ceràmiques i alguna punta de fletxa. Les peces de ceràmica per cuinar, menjar o guardar aliments, són abundants, fet que indicaria que aquest assentament era més estable del que es podia pensar, probablement amb estades d'entre quatre o cinc mesos i no pas una cabana de pastor on es prioritzava la mobilitat i portar pocs utensilis.



Figura 28. Abric 2 del Portarró, al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Excavació de les restes d'una casa de l'Edat del Bronze antic (datada entre 3825 i 3775 anys BP) on s'observa la base d'una paret de pedra (Gassiot *et al.*, 2022).

La Cova de l'Home Mort és un jaciment situat al Pallars Sobirà, a l'extrem sud del Parc Natural de l'Alt Pirineu, a la Vall de Siarb (Soriguera, Pallars Sobirà), localitzat i documentat per primer cop l'any 2008. És una petita cavitat reblerta per una quantitat considerable de sediment que constitueix un nou exemple de cavitat en una zona relativament abrupta, que durant la prehistòria recent va ser utilitzada com a lloc d'inhumació. L'actuació efectuada l'any 2017 confirma aquest aspecte i assenyala el potencial arqueològic del jaciment, ja que conté diversos dipòsits funeraris encara per avaluar. La petita cata efectuada ha permès constatar la presència de les restes, sense connexió anatòmica de, com a mínim, 5 individus, datats entre el 1,61 i el 1,435 ka cal BCE. Aquesta cronologia és pràcticament calcada a l'obtinguda en un altra cova

funerària relativament propera, la Cova de Montanissell (Armentano *et al.*, 2006, 2014) a 1557 m d'altitud, a l'Alt Urgell. Les datacions disponibles per aquest jaciment indiquen que entre el 1,624 i el 1,3 ka cal BCE s'hi van inhumar 8 individus (un home i una dona adults i 6 subadults). Sigui com sigui, la Cova de l'Home Mort conforma un nou exemple de pràctica funerària en una cova petita i amagada gairebé inèdita als Pirineus occidentals catalans fins la troballa de Montanissell (Sánchez *et al.*, 2019).



Figura 29. Material obtingut de la Cova de l'Home Mort. Imatge superior esquerra: Clavícula humana; imatge superior dreta: destal polida; imatge inferior: Punxó d'esquist (extret de Sánchez *et al.*, 2019)

1.3.2.4. Ibers, Romans i Edat Medieval.

Període Iber (entre c. 2,6 i 2,2 ka cal BP).

Al voltant de l'any 1000 BCE, poblacions vingudes de l'altra banda dels Pirineus que parlaven una llengua indoeuropea i que coneixen la metal·lúrgia del ferro, pel seu origen a la zona danubiana, a Centre Europa, es superposa sobre el substrat indígena del país, amb una cultura material del bronze i que no havia rebut gaires aportacions estrangeres, sent, de fet, una pervivència de la població neolítica. A més de la llengua, aquesta població centreeuropea porta un nou ritual d'enterrament, la incineració o cremació dels cadàvers, les cendres dels quals es col·locaran directament a terra dintre d'urnes de ceràmica (Figura 30), fet pel que rebran el nom de "pobles dels camps d'urnes" (Belarte *et al.*, 2022).

A partir de mitjans del segle VI BCE la cultura ibèrica ja apareix ben constituïda, i es considera que el seu període de màxima esplendor va ser cap al segle II BCE. A partir del segle I BCE, la romanització creixent començà a esborrar-la. A Catalunya, la

civilització ibèrica pot dividir-se en tres fases, la de l'ibèric antic, entre mitjans del segle VI i mitjans del V BCE, l'ibèric ple, entre aquella data i principis del segle II BCE (època de la conquesta romana) i la iberoromana, des d'aquesta última data fins a la seva desaparició, assimilada en la cultura romana (Alday *et al.*, 2009).

Segons el substrat indígena i la proximitat als nuclis colonials costaners podem trobar diferents fàcies; no només hi ha diferències amb les tribus del litoral llewantí i andalús (amb una gran influència fenícia i cartaginesa), sinó que dins de Catalunya podem matisar diferències entre comarques costaneres (amb una gran influència de la cultura grega, establerta a Roses i Empúries), i de l'interior, ja que la distribució d'aquests pobles ibers es basa en la compartimentació en comarques naturals. Al Pirineu i Prepirineu català es troben citats, d'est a oest, els olositans, sembla que relacionables amb Olot, els bergistans o bargusis, relacionables amb Berga, els ceretans de la Cerdanya, els andosins i els airenosis, noms que suggereixen els d'Andorra i la Vall d'Aran (Alday *et al.*, 2009).



Figura 30. Urnes d'incineració ibèriques de la necròpolis d'Uldecona, Montsià trobades al 2015. Esquerra: Conjunt d'urnes intactes abans de la seva extracció. Dreta: Sepultura 21, una urna a torn de tancament hermètic, delimitada per petites lloses verticals (extret de Belarte *et al.*, 2022).

No conservem evidència arqueològica d'assentaments ibèrics ni al Pallars Sobirà ni a la Vall d'Aran. Al Pallars Jussà, en el decurs de les obres de millora de la carretera C-31 entre Tremp i la Pobla de Segur al 2004, es van localitzar dos jaciments amb fases de l'Edat del Bronze, Ibèrica i Romana: Els Llirians del Mas i Les Torres. Pel que fa a la fase Ibèrica, apareixen grans sitges i cubetes de fins a 4000 litres lligades probablement a la producció agrícola dels camps del costat, restes òssies de bòvids, ovicàprids, conills, porcs i èquids, a més d'uns pocs fragments de ceràmica (Piera *et al.*, 2013).

El Castellot de Bolvir és un dels pocs poblats ibèrics localitzat al Pirineu i el més important dels ceretans entre els segles IV i II BCE localitzats fins avui (Figura 31). El

jaciment es localitza a l'extrem i zona més elevada de La Corona, (a 1144 m d'altitud), una terrassa fluvial de la plana cerdana, amb una bona panoràmica de ponent de la comarca, un indret estratègicament situat per la via Segre-Tet, que va facilitar el control del territori en moments claus de la història. Per aquest assentament probablement passà el general cartaginès Anníbal, de camí a combatre Roma, durant la 2a guerra Púnica (Morera *et al.*, 2010, 2020). En aquest sentit, una recerca al jaciment arqueològic de Tossal de Baltarga, a Bellver de Cerdanya, ha tret a la llum les restes carbonitzades d'un edifici a causa d'un incendi fa c. 2,2 ka. L'edifici tenia dues plantes i el foc va provocar que el sostre, les bigues de suport i el pis superior de fusta caiguessin. S'han localitzat les restes carbonitzades d'un cavall, quatre ovelles i una cabra, juntament amb objectes de valor com un piquet de ferro, diverses monedes d'Emporion i del sud de la Gàl·lia i una arracada d'or amagada dins d'una olla (Figura 32). També s'han trobat cereals (com civada i ordi) i alguns recipients de cuina sencers, amb residus que demostraven que les persones que utilitzaven l'edifici havien consumit llet i formatge i menjat guisats de porc i xai. El Tossal de Baltarga era un lloc de residència (Figura 33) i punt de guaita de la comunitat ceretana amb un important assentament fortificat a prop, el Castellot de Bolvir. Sembla que no tenia muralles defensives, però disposava d'una excel·lent vista sobre el riu i de les principals rutes de viatge. Els autors proposen que podria ser una evidència dels enfrontaments de les tropes d'Aníbal amb els ceretans en la seva travessa dels Pirineus (Olesti *et al.*, 2024).



Figura 31. El Castellot de Bolvir. Jaciment ibèric dels Ceretans. Font: Museu d'Arqueologia de Catalunya.

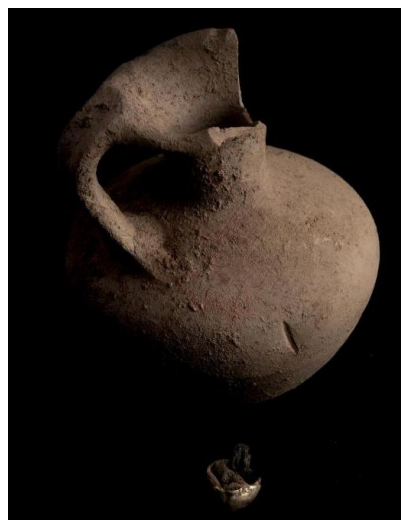


Figura 32. Fotografia de l'esquerra: esquelet carbonitzat de la cabra localitzada a l'estable de l'edifici G del Tossal de Baltarga durant el seu procés d'excavació. Fotografia de la dreta: recipient ceràmic i arracada d'or. Fotos: ICAC-CERCA.

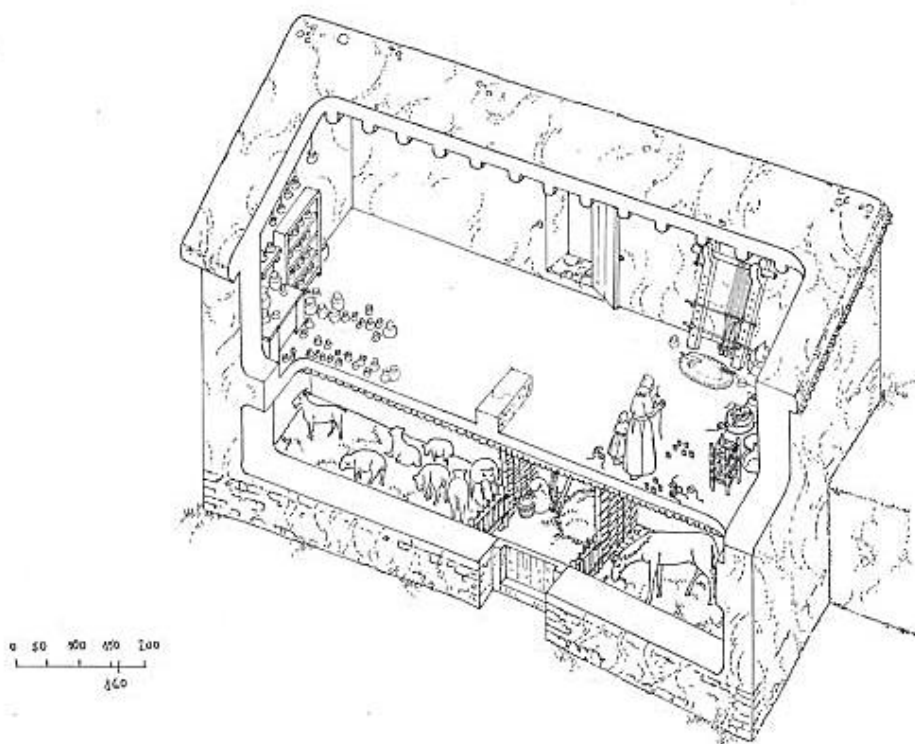


Figura 33. Recreació artística de l'edifici G Tossal de Baltarga (il·lustració de Francesc Riart).

Període romà (entre c. 2,2 i 1,47 ka cal BP).

La petjada romana al Pirineu és molt més antiga i profunda del que crèiem fins fa pocs anys. La imatge d'una Roma poc interessada per les àrees muntanyenques ha canviat totalment, i ara coneixem jaciments romans en cotes per sobre dels 2000 m d'altitud, mostrant el veritable interès de l'Imperi per recursos com la ramaderia, el bosc,

o pels metalls com el ferro i l'or (Augé *et al.*, 2012). Durant els segles III i II BCE, s'acaba l'hiatus arqueològic d'uns 2000 anys (des de c. 4,4 ka cal BP) del PNAESM esmentat abans, tot i que els indicis són encara escassos. Un recinte d'habitació al circ de Saboredo (Lac deth Mieï), a la capçalera de la vall de Ru datat al segle II BCE i un forn obert de la mateixa època a la vall de Monestero, molt similar per tipologia i cronologia al localitzat a la propera vall de Baiasca, s'han vinculat a l'explotació del mineral de ferro a algunes zones del PNAESM i les seves àrees adjacents (Crespo *et al.*, 2008; Augé *et al.*, 2012; Gassiot, 2017).

La trobada d'una construcció al jaciment, del Lac deth Mieï a 2280 m d'altitud, a una zona de pastures, marca l'inici d'una reocupació del PNAESM amb assentaments habitacionals. Amb alguna excepció puntual a l'Edat del Bronze, es tracta del primer assentament humà documentat des del final del Neolític. La informació és molt preliminar, però es tracta d'un recinte amb una planta rectangular i un espai interior d'uns 4x2 m, que ha estat datat per un carbó en el segle II cal BCE (Gassiot, 2016; Gassiot *et al.*, 2017).

El jaciment de Pletiu del Pòrt de Caldes II (2200 m d'altitud) el conformen les restes d'una construcció de planta rectangular d'uns 4x3 m, interpretada com un espai d'hàbitat. Un carbó va oferir una datació que mostra que l'abandonament es va produir entre el c. 129 i 330 cal CE. És possible que ens trobem davant d'un petit assentament ramader d'època romana (Gassiot *et al.*, 2017).

A partir del canvi d'era les evidències d'assentament humà s'incrementen i, dins d'aquestes, les d'ocupacions de petits abrics rocosos. Aquests espais havien estat objecte d'un aprofitament humà recurrent al final del Neolític, entre el darrer terç del IV mil·lenni i la primera meitat del III mil·lenni (Gassiot *et al.*, 2014, 2016; Gassiot, 2016). Posteriorment, i durant la resta de la prehistòria, els senyals del seu ús com a lloc de refugi pràcticament van desaparèixer. No serà fins al segle I CE que tornaran a ser un lloc de refugi i hàbitat humà que, a diferència del Neolític, també es vincula a l'existència de recintes a l'exterior, molt possiblement tancats. Això passa per primera vegada a partir dels segles I o II CE (Gassiot *et al.*, 2017). Dues intervencions que ho demostrarien:

La primera intervenció es troba al jaciment de l'Estanh de Mar a 2250 m d'altitud, a on s'han identificat restes de murs de pedra que defineixen almenys sis recintes, dels quals com a mínim un era de dimensions relativament grans. En un sondeig arqueològic en un dels recintes es va trobar ceràmica vidrada i una fulla de ganivet de ferro en nivells superiors. Per sota es va constatar la presència de dos nivells de llar, amb terra negra,

cedres i carbons. S'hi van recuperar també fragments de ceràmica modelada tant a mà com a torn. La datació del llar més antic, ha donat un resultat entre 0 i 130 cal CE. L'abric hauria funcionat com un espai d'habitació amb estructures d'estabulació (Gassiot *et al.*, 2017).

La segona intervenció es troba al costat de l'Estany Xic de Subenuix, a 2270 m d'altitud, en un paisatge de pins negres, pastures i blocs erràtics fracturats, a on hi ha un espai gran usat com a refugi. A l'exterior diversos murs de pedra conformen entre tres i quatre tancats que abasten entre 50 i 150 m², amb una mida pròpia per a bestiar oví i cabrum. La datació d'un carbó va donar una edat entre el 70 i 225 cal CE que il·lustra una ocupació del s. II cal CE a la que es vinculen les construccions exteriors (Gassiot *et al.*, 2017).

Fora de l'àmbit del PNAESM, els sondejos de l'Institut Català d'Arqueologia Clàssica (ICAC) han confirmat un punt estratègic de l'imperi romà a 2500 m d'altitud al jaciment del Coll de Molleres, al Puigpedrós, al municipi de Meranges, a la Baixa Cerdanya (Figures 34 i 35). Es tracta d'un lloc de pas que connectava els territoris de Gàl·lia amb Hispània. Un punt de control com els que localitzem a la Jonquera o a Navarra. Tot i que es tracta d'un petit establiment militar, aquest punt de control va tenir un caràcter administratiu pel moment pacífic que vivia l'imperi en aquell moment, en l'època de canvi a l'era d'August. Probablement és de cronologies paral·leles al de *Iulia Libica* de Llivia, de fundació augusta o tiberina, i la seva època d'esplendor es trobaria entre els segles I i II CE.



Figura 34. Jaciment de Coll de Molleres I, Meranges, a sota del Puigpedrós, a 2450 m d'altitud. Foto: Josep M. Palet (ICAC).



Figura 35. Jaciment de coll de Molleres I, Meranges. Treballs de camp al 2019. Foto: Josep M. Palet (ICAC).

Període tardoromà (entre 300 i 550 cal CE)

En època imperial es constata el primer cas d'una modalitat d'assentament desconeguda de l'aprofitament ramader dels Pirineus centrals. Es tracta de conjunts arquitectònics conformats per moltes habitacions de dimensions reduïdes i d'espais d'estabulació, que es presenten de forma agrupada i mesuren entre 50 i 100 m². Fins fa poc, es pensava que la construcció d'aquest tipus d'assentaments agrupats arrencava en època visigòtica i es perllongava fins a la baixa Edat Mitjana (García *et al.*, 2013; 2015).

Tres intervencions arqueològiques al PNAESM mostren que aquesta modalitat és anterior en el temps: el conjunt del Tuc deth Lac Redon (2415 m d'altitud) a l'extrem nord-oest del PNAESM amb 14 recintes d'entre 50 i 100 m² per habitacions i estabulació datat per un carbó entre c. 135 i 335 cal CE, avançant la cronologia en varis segles. A la vora del Lac Tort de Rius, també hi ha un conjunt format per diversos recintes. La datació d'un carbó de l'ocupació inferior va facilitar un resultat d'època baix imperial, concretament d'entre c. 260 i 420 cal CE (amb més probabilitat durant el segle IV CE). En canvi, l'ocupació superior es va situar entre c. 1290 i 1410 cal CE. El tercer cas similar és el del Poblament de la Passada deth Nebot (2335 m d'altitud), amb moltes estructures. Una d'elles, formada per 10 tancats i 6 possibles cabanes o recintes d'habitació i magatzem. Encara no hi ha datacions del complex (Rodríguez-Anton *et al.*, 2016).

Al llarg del que tradicionalment anomenem època Baix Imperial, des de la crisi del segle III CE fins a la Caiguda de Roma, els testimonis arqueològics de presència humana al PNAESM es fan cada vegada més freqüents i intensos sobretot al vessant nord del parc o en zones relativament accessibles des del nord. És possible que sigui degut a la creixent presència romana a la Val d'Aran els darrers segles de l'imperi (Còts,

2005). Un fet que podria indicar la influència del poblament romà de la capçalera de la conca de la Garona, la ciutat de *Lugdunum Convenarum* (l'actual Saint Bertrand de Comminges, al departament francès de l'Alta Garona). A més, les evidències arqueològiques al PNAESM durant els segles IV, V i inicis del VI CE, mostren una continuïtat amb els paràmetres dels segles anteriors que es mantindrà essencialment fins ben entrada l'Edat Mitjana.

Durant el baix imperi també trobem abrics rocosos emprats com llocs de refugi. S'han identificat vestigis d'ocupació humana en tres d'aquests abrics: Abric de l'Estany de Llebrete (1626 m d'altitud) datat entre c. 432 i 600 cal CE, d'on s'ha recuperat ceràmica, l'Abric de l'Estany de la Ribera (2380 m d'altitud) datat entre c. 243 i 393 cal CE i el jaciment Gerber I (l'únic amb indicis d'estabulació) a 2240 m d'altitud datat entre els segles V CE i la primera meitat del segle VI CE.

Al llarg del període tardoromà es van seguir construint recintes habitacionals de més de 15 m² d'espai interior. Aquest tipus de construccions contrasta amb el model típic de cabana de pastor petita documentada els segles XIX i XX (Kruger, 1995; Violant, 2001) i arqueològicament per els darrers 1000 anys (Calastrenc, 2014; Gassiot i García, 2014; Orengo, 2010; Rendu, 2003). Exemples d'això serien l'edifici 1 de la Pletiu de Subenuix II (2165 m d'altitud) a on s'ha recuperat sílex, ceràmica, fauna i vidre. La datació del pis d'ocupació donà una antiguitat d'entre c. 250 i 401 cal CE, sent abandonat durant el s. IV CE. A més es van descriure per primer cop alguns bancals que s'interpretarien com a terrasses de cultiu de cereal.

Des dels darrers segles de l'imperi romà (i probablement abans), el mineral de ferro de gran qualitat del bosc de Virós (a la Vall Ferrera, PNAP), va ser explotat en fargues. La Vall Ferrera està íntimament relacionada, com el seu nom indica, amb l'explotació i la producció de ferro. Un inventari de carboneres va ser realitzat a l'espai del Bosc de Virós que rastrejà unes 925 ha de les 2000 ha totals, a partir dels 1200 m d'altitud per descartar el major nombre possible de zones conreades en el passat i fins als 2515 m d'altitud per estendre l'inventari més enllà del límit altitudinal actual del bosc. L'espai de bosc estudiat es va seleccionar de manera que hi estigués representada tota la vegetació arbòria principal de l'estatge subalpí (*Pinus uncinata*, *Pinus sylvestris*, *Abies alba*, *Fagus sylvatica* i *Betula pendula*) i el major nombre possible de mines de ferro. Aquest treball va permetre localitzar 942 carboneres, repartides entre 1300 i 2230 m d'altitud. Quinze d'aquestes carboneres tenien restes de la producció directa de mineral de ferro (escòries), en un espai amb més de 89 boques de mines i 15 cabanes relacionades amb les mines i la metal·lúrgia en general (Pèlachs, 2004).

Al Bosc de Virós hi ha documentació històrica que il·lustra la seva explotació minera entre els segles XVIII i XIX CE (Figura 36). Fins a quatre fargues van explotar el ferro simultàniament: la farga de Santa Maria, la farga nova d'Alins, la farga vella d'Ainet i la farga de Llavorsí (Mas, 2000; Rovira, 2009). Els treballs efectuats per diversos investigadors (Castellarnau *et al.*, 2002; Pèlachs, 2004; Gassiot *et al.*, 2005, 2009; Augé, 2012) han permès documentar unes 225 possibles boques de mina i indicis miners, 200 d'ells força clars (Augé, 2014). Específicament del període tardoromà s'han documentat una vintena de forns de reducció del mineral de ferro datats entre el segle III i mitjans del segle VI CE.

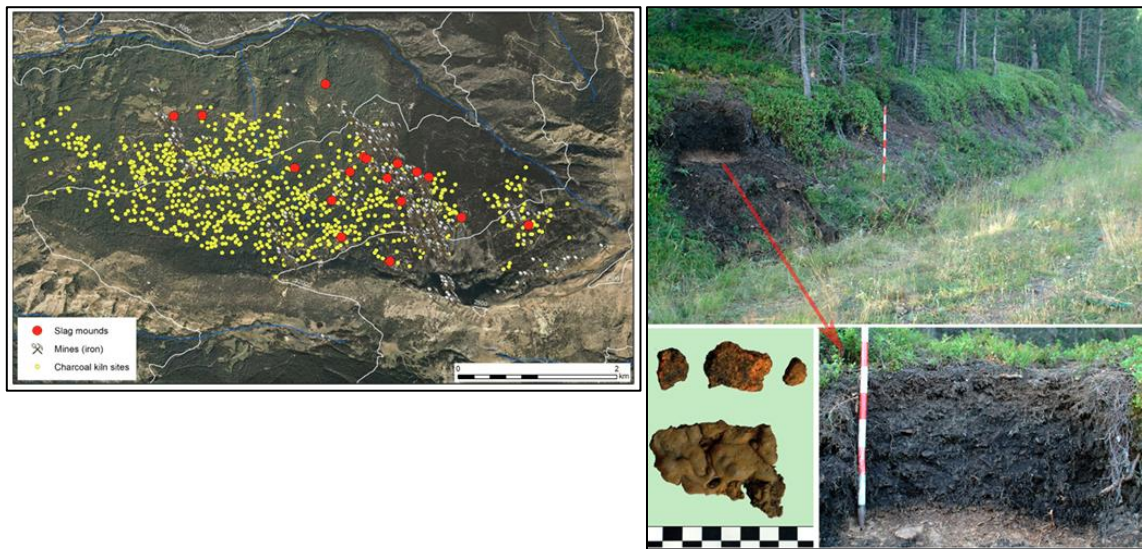


Figura 36. Imatge de l'esquerra: mapa de dispersió dels vestigis arqueològics de la mineria i la producció siderúrgica al Bosc de Virós. Imatges de la dreta: La neteja d'una secció del perfil va permetre la recuperació de carbons, escòries de reducció directa de ferro i fragments de parets del forn (Gassiot, 2022).

A la campanya de 2023 es va trobar la que podria ser la primera farga documentada del Pirineu català, a 1710 m d'altitud. Han aparegut restes de tots els elements que conformaven un taller siderúrgic. Durant la campanya anterior ja es va documentar un forn de reducció i l'actual ha tret a la llum altres elements que formaven el taller com ara dos fornals. Aquest jaciment ja havia estat descrit per un equip de recerca de la UAB entre els anys 2003 i 2004, però fins a l'estiu de 2022 no s'havia intervingut. Es tracta de la cubeta, on es dipositava el ferro al final del procés, i que estava excavada directament al terreny natural, i un petit mur de pedra que la rodejava, damunt del qual s'hi aixecaria la xemeneia del forn i que era per on es carregava el mineral i el carbó vegetal, i permetia assolir la temperatura adequada pel procés de reducció, que

oscil·lava entre 900 i 1300 °C. Aquest forn ha sigut reproduït pels arqueòlegs a escala 1:1 (Figura 37).



Figura 37. Reproducció a escala 1:1 del forn romà trobat al jaciment del bosc de Virós. Foto: Òscar Augé.

S'entreveuen dos forns més a pocs metres del ja excavat i també s'hi intueixen cabanes que es podrien tractar de llocs on vivia la gent que treballava el ferro (Figura 38). De confirmar-ho, es tractaria d'un jaciment de "certa entitat" donat que comptaria amb la zona de treball i la zona d'habitatge, probablement estacional, als mesos de primavera i estiu. Com ja s'ha fet esment, aquest jaciment seria un cas únic als Pirineus catalans donat que no hi ha referents similars tan grans en una zona de producció de



Figura 38. Restes de l'estructura del forn de reducció de ferro ja excavat al 2023, i un altre possible forn en segon terme. Foto: Òscar Augé.

ferro no associada a un poblat, tot i que hi ha gran similitud amb els forns excavats a la veïna vall francesa de l'Arieja, amb cronologies del segle III CE.

L'alta Edat Mitjana (entre c. 550 i 950 CE).

Des del segle III CE, la unitat política de l'Imperi Romà es va fragmentar. En debilitar-se l'autoritat romana, els territoris imperials van ser envaïts per onades successives de poblacions bàrbares. La història de l'entrada dels pobles germànics a la península comença l'any 406 CE. En aquest mateix any diversos pobles bàrbars havien travessat el *limes* (o *limites romani*) i ja ocupaven zones de la Gàl·lia. El 409 CE es va produir la primera entrada de pobles germànics a Hispània, concretament els sueus, els vàndals i els alans. Sueus i vàndals asdinges es va repartir la Gal·lècia, els vàndals silinges es van quedar la província Bètica i els alans la Lusitània i la Cartaginesa. Només quedava en poder de l'imperi romà, la província de la Tarraconense (Arce, 2005).

No es pot parlar ni d'una ocupació sistemàtica del territori, ni d'organització administrativa, ni de política monetària, etc. No hi ha per tant una ocupació total del territori, tenint en compte el baix nombre d'individus estimat (els sueus serien uns 25000, els vàndals uns 80000 i els alans uns 30000, encara que no hi ha consens entre els historiadors), conformant una minoria dins de la gran població hispano-romana. Així és lògic pensar que les ciutats i moltes *villae* quedarien encara en mans dels seus antics propietaris. No sabem en realitat si es van establir a les ciutats o en àmbits rurals, si van ocupar terres abandonades o van expulsar habitants autòctons per establir-se. En tots els casos sí que hi ha implicada una convivència amb la població autòctona (Arce, 2005).

Les tropes visigodes travessen els Pirineus i a la tardor de 456 CE van prendre Astorga, la capital del regne sueu, quedant la resta dels sueus al territori de l'actual Galícia, part d'Astúries i Lleó i meitat nord de Portugal. El regne sueu es va mantenir independent fins a finals del segle VI CE. La resta de la península va quedar en mans visigodes, passant a formar part del Regne visigot de Tolosa. L'any 476 CE, els visigots ja s'havien assentat a la península Ibèrica i el 490 CE va acabar el gruix de les migracions des del nord (Arce, 2005).

Pel que fa al registre arqueològic (Figura 39) del segle V CE, els circs, teatres, amfiteatres i altres edificis baix imperials ja no s'utilitzen i es reocupen amb altres funcions. Moltes *villae* rurals s'empobreixen, els temples pagans s'abandonen i la vida urbana retrocedeix. A més, és un període sense quasi elements de cultura material, sense quasi inscripcions ni escultures (Arce, 2005). No s'experimenta cap canvi brusc durant els primers segles de l'alta Edat Mitjana i s'observa una certa continuïtat durant els segles VI i VII CE. En canvi, en aquest període disminueixen de manera molt

acusada els indicis de producció de ferro que en algunes zones properes al PNAESM als segles precedents havien tingut una certa entitat (Augé *et al.*, 2012; Pèlachs *et al.*, 2016). L'ús de petits abrics com a refugi es consolida i es poden dividir en dos modalitats: o bé formen part d'assentaments molt més extensos amb moltes altres construccions, o bé són abrics aïllats que, com a màxim, es vinculen a un o dos tancats, moltes vegades de dimensions reduïdes. Aquest va ser un fenomen força estès des de temps del Baix Imperi i el segle IX CE. Exemples s'han localitzat al Pletiu de la Coveta (s. VI i VII CE), a la vall de Monestero i a l'Estany Gran de Colieto II (s. IX i X CE)

Les grans agrupacions de molts tancats en un mateix lloc esdevenen més freqüents i s'incrementen. Generalment la seva superfície no supera els 100 m², com veiem a la Pleta d'Erdo, a la vall de Llacs a 2250 m d'altitud (García *et al.*, 2013). En total hi ha 17 possibles tancats, a on la majoria d'ells no superen els 30 m², impossibilitant allotjar més de 30 ovelles o cabres adultes. En un sondeig es va identificar una llar, ceràmica feta a mà, algun clau de ferro i restes de sílex tallat. La seva datació es troba entre el 540 i 640 CE. A la vall de Cabanes (perifèria nord del PNAESM) també hi ha un assentament amb una gran quantitat de tancats. Es tracta del jaciment Abris de l'Estany de Xemeneia (ocupat durant l'Edat del Bronze). La datació d'un dels seus estrats va proporcionar una antiguitat del segle V, VI o principis del VII CE i s'assembla al de la Pleta d'Erdo. L'assentament del Gerber II (2240 m d'altitud) és una altra ocupació formada per una gran quantitat de tancats i recintes i novament es localitza en una de les valls septentrionals del parc. Té un interès especial per l'existència de tres terrasses o bancals superposats que escalonen el vessant, fet que torna a plantejar la possibilitat que es practiqués algun tipus d'agricultura (Gassiot *et al.*, 2016).

Durant el feudalisme es reforça o culmina un tipus de paisatge molt concret a les zones d'alta muntanya, amb una expansió de les pastures, una presència notable de bestiar així com també activitats agrícoles, explotació del bosc i extracció de matèries primeres. Potser, en certa manera, va ser en aquesta època quan es podrien haver consolidat una bona part dels usos de l'alta muntanya que han configurat la imatge que hem tingut d'aquests paisatges durant gran part del segle XX CE. Tanmateix, cal retenir dues idees importants juntament amb aquesta afirmació. La primera és que aquest procés no va néixer del no-res. És veritat que a partir del segle X i, sobretot, del segle XI CE comencen a haver-hi referències escrites al poblament de les valls de la serralada, en gran mesura a partir de la menció a la consagració de noves esglésies i al repartiment feudal del territori. Fins i tot rastrejant la creació de monestirs i el domini carolingi és possible retrocedir, amb les fonts escrites, fins al segle IX CE. La segona idea és que aquest procés no es va dur a terme en un territori buit. A partir del canvi d'era i d'una

manera cada cop més intensa en època romana sota imperial i durant els segles posteriors, al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici ja s'aprecia un augment incipient del nombre de jaciments arqueològics, de la seva diversitat i de les seves dimensions (Gassiot *et al.*, 2016).

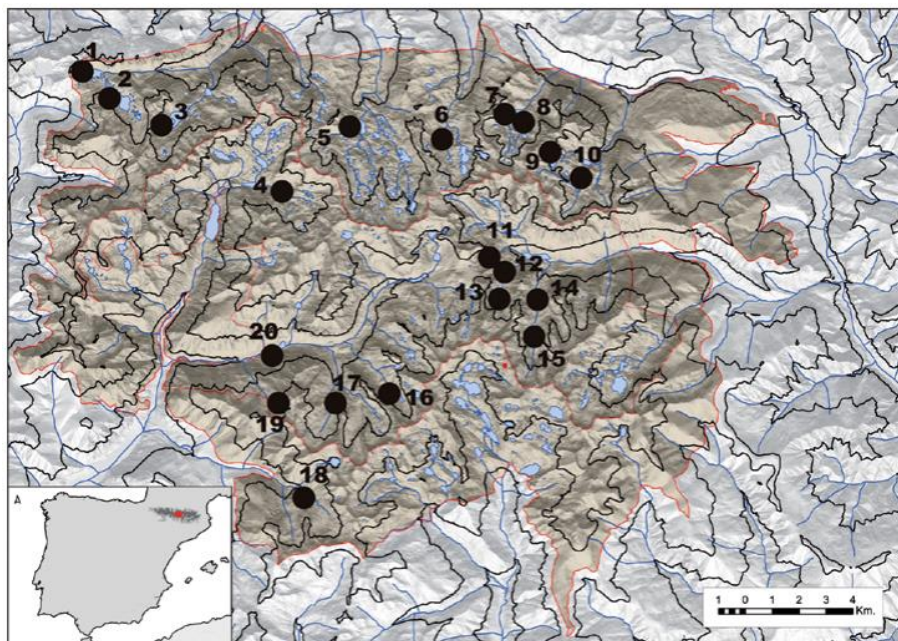


Figura 39. Mapa dels jaciments d'època romana i de l'Alta Edat Mitjana al PNAESM. 1- Tuc deth Lac Redon, 2- Lac Tort de Rius, 3- Conjunt de l'Estanh de Mar, 4- Estany Gran de Colieto II, 5- Pletiu deth Pòrt de Caldes II, 6- Lac deth Mieí, 7- Gerber II, 8- Gerber I, 9- Abric de l'Estany de Xemeneia, 10- Riu de les Abadies I, 11- Abric del Portarró, 12- Pletiu de Subenuix II, 13- Estany Xic Subenuix, 14- Fangassals, 15- Pletiu de la Coveta, 16- Abric de l'Estany de la Ribera, 17- Pleta d'Erdo, 18- Port de Rus, 19- Cometes de Casesnoves II, 20- Abric de l'Estany Llebreia (extret de Gassiot, 2017).

La Baixa Edat Mitjana (segles X a XIV CE). La fi d'un model.

En general les restes arqueològiques identificades al PNAESM són el producte d'una ocupació de l'espai vinculada a activitats ramaderes. Si bé la ramaderia es documenta ja en els nivells neolítics de la Cova del Sardo (Catalan *et al.*, 2013), el cert és que les modalitats d'assentament humà i les formes de gestió del ramat experimenten canvis rellevants al llarg del temps. El registre arqueològic actual mostra com al llarg de l'època medieval hi ha un increment del nombre de jaciments i, tot i que ocupen petit abrics abans del segle XI CE, també hi ha una expansió de la construcció de tancats i cabanes a l'aire lliure. El model d'assentament conformat per un elevat nombre de petits tancats de bestiar que es comença a veure a l'època baix Imperial i que està ben documentat en època Visigòtica (Pleta d'Erdo i Gerber II), es pot resseguir a l'Alta Edat Mitjana als assentaments del Despoblat de la Cova, Lac de Mar i Bony del Graller. Els

assentaments més grans en superfície ramadera i nombre de cabanes es situen entre els segles XIII i XIV CE (Gassiot *et al.*, 2014).

L'assentament del Despoblat de Casesnoves a 2225 m d'altitud (Figura 40), a la Vall de Casesnoves, una de les menys conegudes del PNAESM, va ser abandonat al segle XIII CE, i és paradigmàtic per les seves grans dimensions a on podria acollir fins a 800 ovelles (2500 m² i fins a 16 cabanes i magatzems), amb un patró constructiu diferent dels referents històrics i etnogràfics existents als Pirineus.

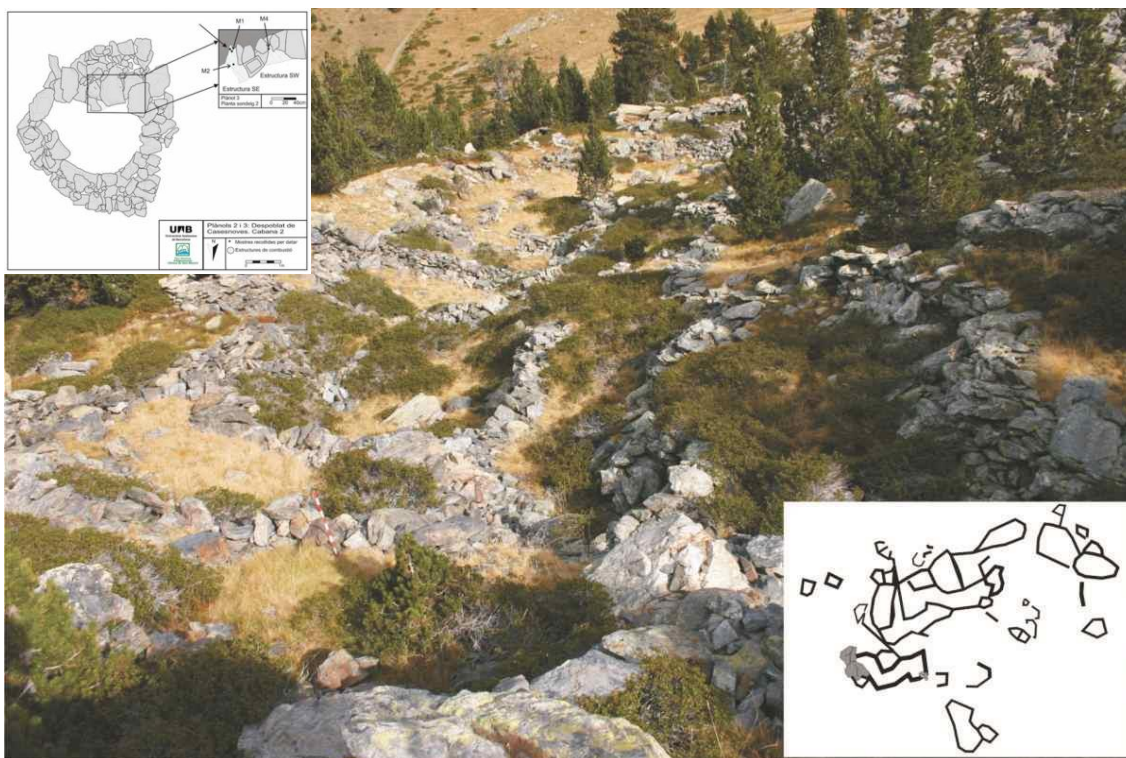


Figura 40. Jaciment i plantes general i d'una habitació del Despoblat de Casesnoves a 2225 m d'altitud, a la vall homònima. Font: GAAM.

Al llarg de la baixa Edat Mitjana l'explotació de les pastures d'estiu va esdevenir cada cop més intensa. En aquest procés es van crear assentaments de dimensions considerables, possiblement inèdites fins aquest període, com el Despoblat de Casesnoves, a on s'hi agrupaven diversos ramats estabulats de no més de 100 ovelles i cabres, i on els pastors mantenien espais d'habitació separats. Les prospeccions fetes a Casesnoves fan pensar que hi havia una producció de formatge ben establerta. Si es confirmés l'existència d'una església en aquest jaciment, ens trobaríem davant d'un dels primers nuclis relativament estables (Gassiot *et al.*, 2014).

El jaciment de Santa Creu de Llacunes, al PNAP, és un despoblat d'època medieval que es troba al cim d'un turó a la Vall de Siarb (Soriguera, Pallars Sobirà), situat a 1628 m d'altitud, essent el jaciment excavat d'aquestes característiques més alt de Catalunya (Figura 41). L'assentament conté també restes d'ocupacions anteriors, concretament de l'Edat del Bronze (entre c. 1,5 i 1,15 ka BCE), i representa un dels exemples més ben coneguts del poblament d'època medieval al Pirineu, donat que conserva tot el seu traçat urbà, amb restes de parets de les cases, dels carrerons, del mur de defensa, d'una torre circular, dos fossats defensius oberts a la roca i una petita església, que fou restaurada després de les excavacions, consolidant-se com a vilatge medieval a cavall dels segles IX a XIV CE.



Figura 41. Jaciment del Despoblat de Santa Creu de Llacunes, a 1628 m d'altitud, a la vall de Siarb (PNAP) (Font: Museu de Camins).

1.3.2.5. Època Moderna i Contemporània.

Edat Moderna (segles XV a XVIII CE). Orris, tancats mitjans i poques cabanes.

Entre els segles XIII i XIV CE, el sistema d'assentaments amb ramat i ramaders agrupats en un mateix emplaçament, sembla arribar a la seva fi. No s'ha trobat cap assentament abandonat més tard de la segona meitat del segle XIV CE. Aquest fenomen es correlaciona amb importants transformacions en els sistemes de pasturatge i d'explotació ramadera de l'alta muntanya. Des del segle XVI CE es registra una nova intensificació de les ocupacions de baumes i petits abrics i d'assentaments ramaders amb unes poques cabanes petites de planta circular o rectangular. Els vestigis de tancats associats als espais d'habitació són poc clars o simplement no n'hi ha. En són

un exemple les cabanes de Tallada Llarga i Vidals de Dalt. Totes dues cabanes van ser abandonades després d'haver estat utilitzades intensament i sense netejar l'espai. Això ha permès recuperar nombroses restes comunes al segle XVI CE, entre les quals destaquen fragments ceràmics i objectes personals com sivelles o un penjoll en forma de creu. En el cas de Tallada Llarga hi ha un nucli esgotat de sílex i petites ascles per tallar herba. També es recuperen algunes bales d'arcabús, un botó d'una casaca militar i una punta de llança de ferro (Gassiot *et al.*, 2014).



Figura 42. Orri del Cubil (Estany del Cubil, Encamp, Andorra) a 2301 m d'altitud. Consta de totes les estructures que pot tenir un orri. La seva distribució forma un conjunt compacte, amb la munyidora, el tancat i les tres cabanes connectats entre ells. Va ser excavat durant el 2008-2009 i posteriorment va ser reconstruït. Es creu que aquest orri pot ser del segle XVIII CE (font: Josep Font Piquer).

A l'inici de l'època moderna, apareix un altre tipus d'estructura de planta quadrada o rectangular de dimensions clarament superiors a les cabanes de pastor, amb parets de pedra i sostres de bigues de fusta. La construcció del Bony del Graller representa un exemple d'aquest segon tipus de construcció, datat al segle XVI o a la primera meitat del segle XVII CE. D'aquesta època també són un tipus de recintes molt característics: les munyidores o orris (Rendu, 2003), com l'Orri del Cubil a Encamp, Andorra (Figura 42). Consisteixen en tancats de planta molt allargada de 20 a 45 m de llarg per no més de 2 m d'ample. En el seu interior s'hi guardava un ramat d'ovelles o cabres i, a mesura que s'anaven munyint, es passaven els animals d'una banda a l'altra del tancat (Gassiot *et al.*, 2014).

Els assentaments amb orris semblen respondre a l'existència d'un únic ramat, que en general no superaria els 125 caps de bestiar vigilats per un nombre reduït de pastors. Representen una solució innovadora per munyir els ramats, que no s'observa en èpoques anteriors i situa la producció de llet com a una activitat central. Tot i això, no

s'han documentat formatgeres com les localitzades a Casasnoves, fet que planteja alguns interrogants sobre la divisió del treball ramader (Gassiot *et al.*, 2014).

Edat Contemporània (segles XIX i XX CE). La ramaderia tradicional, un model propi de l'Edat Contemporània.

Les fonts etnogràfiques de principi del segle XX CE mostren un tipus de pràctica ramadera on un o pocs pastors condueixen un sol ramat de grans dimensions (Violant, 2001). També parlen d'assentaments de pastors als prats d'estiu, amb un o diversos corrals i un habitatge de dimensions reduïdes construït amb pedra seca. Al parc s'han pogut documentar diferents conjunts amb aquest patró i que són els que associem a la transhumància tradicional descrita pels etnògrafs (Garcia, 2013).

Un jaciment model és el de l'Orri Vell, situat al Barranc de Berasti, a sota l'Estany de Mainera (Figura 43). Aquí trobem les restes d'una cabana amb un tancat de grans dimensions de la fi del segle XIX o principis del segle XX CE i altres recintes força més antics. Aquest jaciment mostra el sorgiment d'una ramaderia més extensiva amb un menor contingent humà. També es documenten molts vestigis de múltiples activitats humanes com ara soques de fusta cremada en els bivacs de pastors o abrics utilitzats com a refugis o magatzems puntuals.



Figura 43. Imatge de l'esquerra: Vistes des de l'Orri Vell, a 2266 m d'altitud. Imatge de la dreta: abric utilitzat com a bivac a prop de l'Estany xic de Mainera, a 2351 m d'altitud (Gassiot *et al.*, 2014).

Un altre canvi respecte èpoques anteriors, és la desaparició dels indicis de munyida dels animals, fet que apunta a què l'activitat principal és l'engreix del bestiar, ja sigui per obtenir llana o carn. Sobre la base de les relacions econòmiques entre el pla de Lleida i les cases grans pallareses, es podria haver consolidat una demanda major de carn de moltó i, sobretot, de llana, per abastir la naixent indústria tèxtil catalana. Tot plegat portaria les cases grans a intentar maximitzar la producció ramadera, tot reduint la mà d'obra, contractant a pastors assalariats especialitzats en la conducció dels ramats

d'estiu. En definitiva, les àrees pirinenques aparentment remotes i allunyades, també formarien part dels processos de canvi de l'economia catalana en època contemporània (Gassiot *et al.*, 2014).

1.3.3. Context paleoecològic al PNAESM i al seu entorn.

A dins del nucli del PNAESM i de la seva zona perifèrica s'han dut a terme quatre estudis paleoambientals, sense incloure el de l'Estany de la Bassa, presentat en aquesta tesi (Figures 44 i 45). Els tres situats a la zona interior del Parc Nacional són el de l'Estany de Llebreta (LLEB) a 1619 m d'altitud (Catalan *et al.*, 2013), el de l'Estany Redó (RED) a la Vall de St. Nicolau a 2114 m d'altitud (Catalan *et al.*, 2013) i el de l'Estany de Sant Maurici (SM) a 1914 m d'altitud (Rull *et al.*, 2021, 2024). A la zona perifèrica del Parc es situa el quart sondeig, a la Bassa Nera d'Aiguamòg (BN) a Naut Aran, a 1891 m d'altitud (Garcés-Pastor *et al.*, 2017a, 2017b).

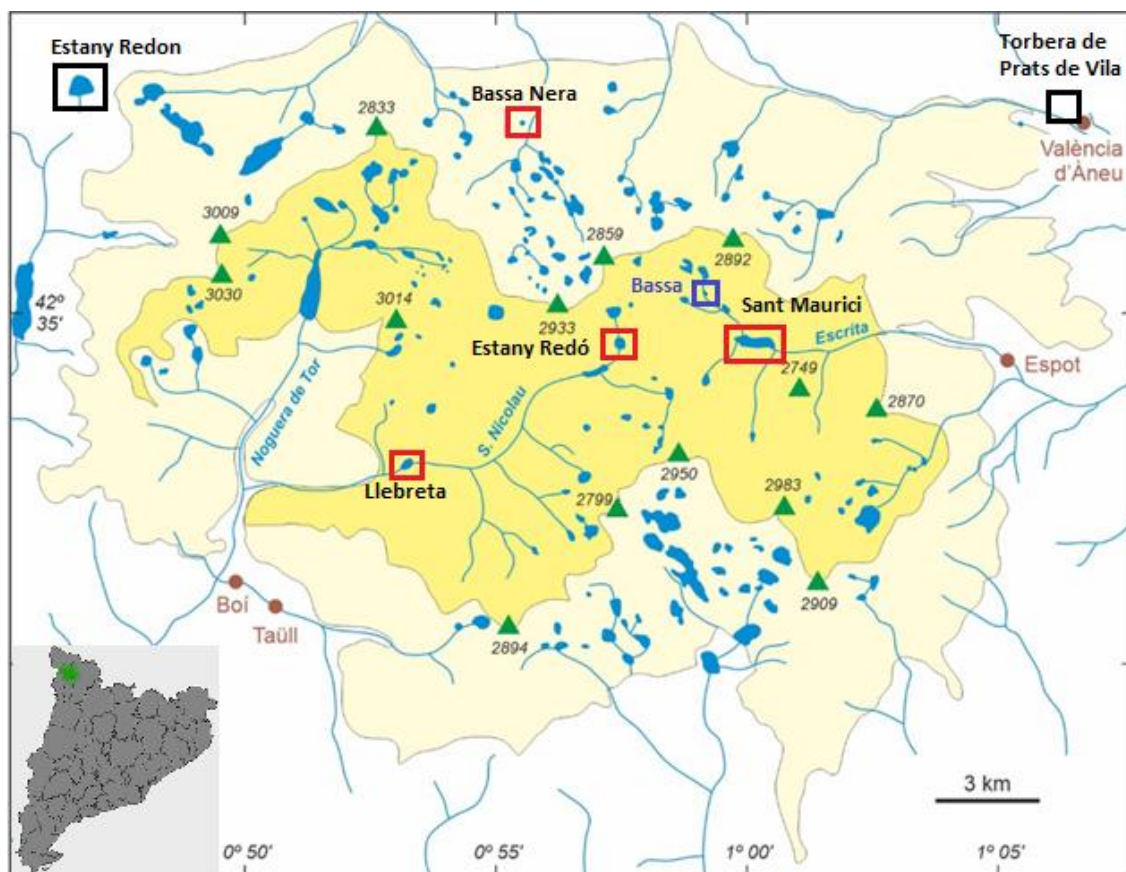


Figura 44. Mapa del PNAESM amb la localització en un requadre violeta l'Estany de la Bassa. En requadres vermells, els 4 estanyos o torberes amb estudis paleoambientals del Parc: a la zona interior (àrea en groc intens) Estany de Llebreta, Estany Redó i Estany de St. Maurici. A la zona perifèrica (àrea en groc clar), la Bassa Nera d'Aiguamòg. En requadres negres, ja fora dels marges del Parc Nacional hi ha l'Estany Redon i la torbera de Prats de Vila, a València d'Àneu. Els triangles verds corresponen a pics a on s'indica l'altitud. Llacs i rius estan indicats en blau (modificat de Rull *et al.*, 2021, 2024).

Pel que fa a les cronologies, els que abasten un major lapse temporal són el de RED que recull aproximadament els darrers 14 ka (Catalan *et al.*, 2013) i els dos nuclis extrets a la BN, el nucli A amb més de 10,2 ka cal BP en 270 cm de sediment i el nucli B amb c. 7,5 ka cal BP en uns 7 metres de sediment (Garcés-Pastor *et al.*, 2017a, 2017b). El realitzat a SM registra els darrers c. 4,3 ka però malauradament presenta un important hiatus de quasi 2 ka entre c. 3,4 i 1,5 ka cal BP (Rull *et al.*, 2021). El sondeig LLEB abasta els darrers c. 3,5 ka, amb una molt bona resolució aconseguida amb 9 metres de sediment (Catalan *et al.*, 2013).

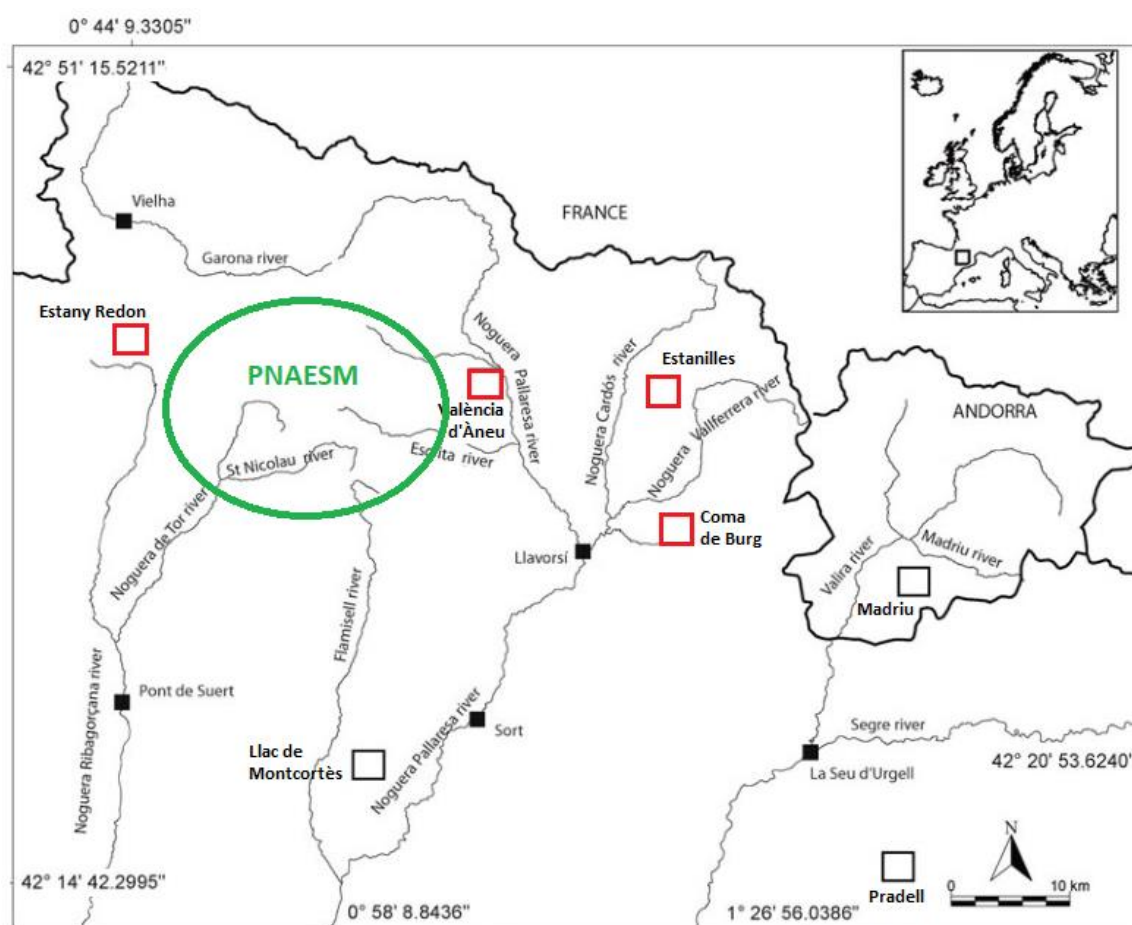


Figura 45. Mapa amb la localització en quadres vermells dels altres registres paleoecològics exteriors al PNAESM descrits en l'apartat: Estanilles, València d'Àneu, Estany de la Coma de Burg i Estany Redon. En quadres negres altres registres paleoecològics (modificat de Pérez-Obiol *et al.*, 2012).

Altres seqüències relativament més allunyades del PNAESM que també aporten informació paleoambiental dels Pirineus centrals catalans són les obtingudes a l'Estany de la Coma de Burg (Farrera de Pallars), a 1821 m d'altitud, un paleollac actualment reblert de sediment del que s'han recuperat 16,50 m amb una sonda mecànica (Bal *et al.*, 2011; Pèlach *et al.*, 2011) i la de la torbera d'Estanilles (Alins), una altre paleollac reblert a uns 2200 m d'altitud, tots dos amb unes cronologies respectives de c. 17 i c. 11,7 ka cal BP respectivament (Pérez-Obiol *et al.*, 2012). Un altre testimoni interessant

és el de la torbera de Prats de Vila a poc menys d'un kilòmetre de distància de València d'Àneu i que es troba a només 1150 m d'altitud. Aquí es van recuperar 3 metres de sediment que abasten els darrers 2,2 ka. Aquest registre és especialment interessant ja que es troba a la Mata de València, l'avetosa més gran de la Península Ibèrica, i ens permet conèixer l'evolució de l'avet i el faig des d'Època Romana (Pèlach *et al.*, 2010). També disposem del registre de l'Estany Redon a 2240 m d'altitud, situat a la Vall de Conangles, a la frontera oest del PNAESM (Pla *et al.*, 2005). Altres registres d'interès són els de la Vall del Madriu a Andorra (Miras *et al.*, 2009; Ejarque *et al.*, 2010), el llac càrstic de Montcortès i la seva seqüència de varves lacustres excepcionals, situat a poc més de 1000 m d'altitud, que abasten els darrers 1500 anys (Corella *et al.*, 2011, 2012) i la torbera del Pradell situada a 1970 m d'altitud, a l'extrem occidental de la serra del Cadí (Ejarque *et al.* 2009).

1.3.3.1. Estanys de Llebre, Redó i Redon.

L'Estany de Llebre és el llac de menor altitud, situat a 1619 metres d'altitud, a la Vall de Sant Nicolau amb una extensió d'unes 8 ha i uns 12 m de fondària màxima (Figura 46). El llac no es forma degut a la sobreexcavació glacial com passa en altres estanys, sinó a una esllavissada en un dels vessants de la muntanya que va ocasionar una barrera en la vall. El sondeig per extreure un nucli de l'Estany de Llebre es va dur a terme al juny de 2010 (Figura 47) i es van recuperar 9 m de sediment sense arribar encara al sòcol i amb una datació a la base de c. 3,54 ka cal BP (Catalan *et al.*, 2013).



Figura 46. Imatge panoràmica de l'Estany de Llebre (extret del web de Parcs Naturals de Catalunya).

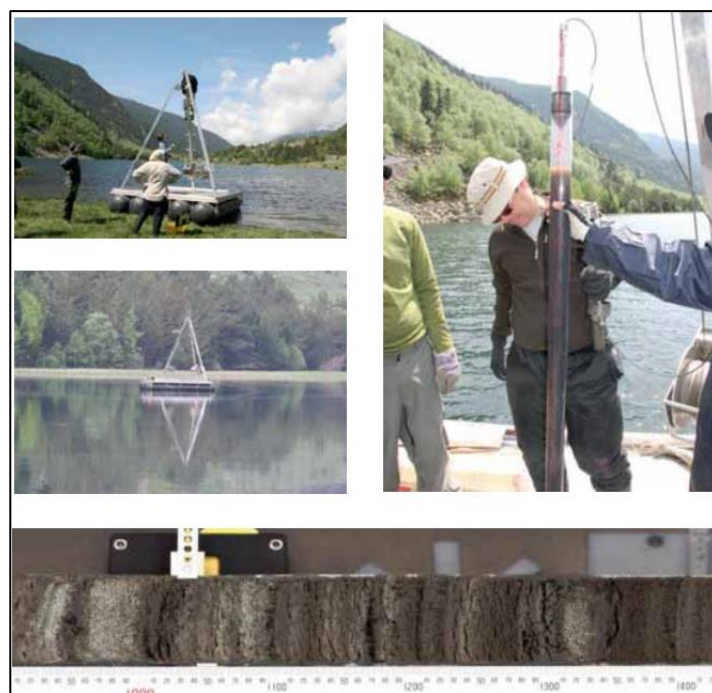


Figura 47. Imatges de diferents fases del sondeig de l'Estany de Llobrega al juny de 2010. Fotos de J.M. Soriano (Extret Catalan *et al.*, 2013).

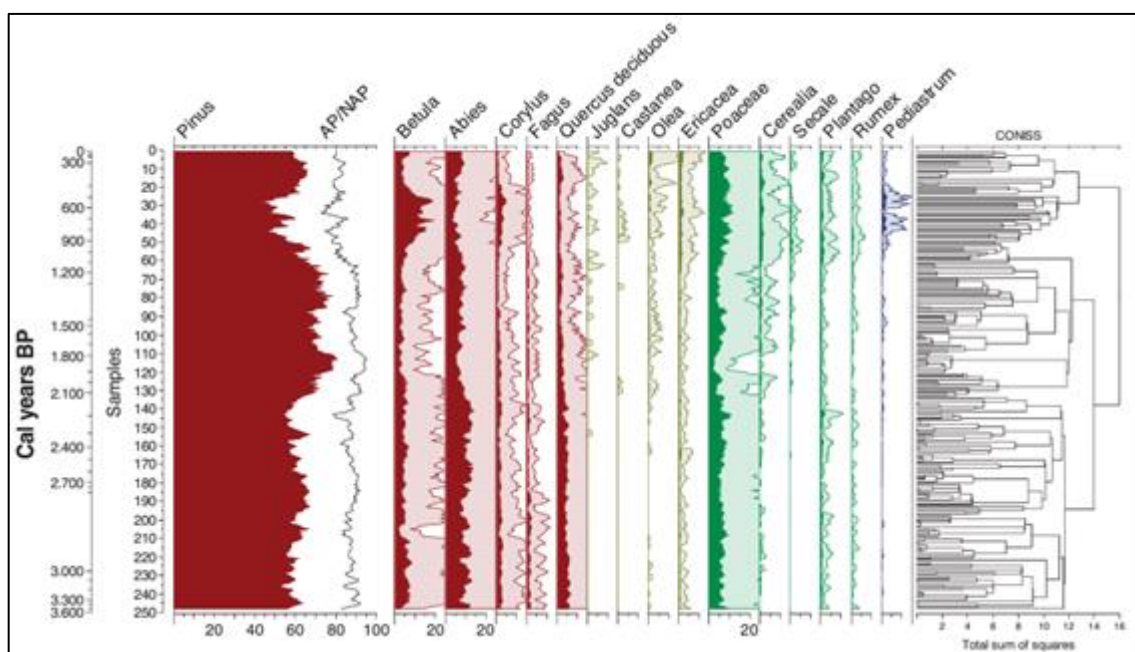


Figura 48. Diagrama pol·línic simplificat del sondeig de l'Estany de Llobrega (extret Catalán *et al.*, 2013).

L'objectiu principal dels autors no era obtenir una reconstrucció paleoecològica del paisatge i la vegetació, tot i que es va realitzar el diagrama pol·línic (Figura 48) sinó realitzar una reconstrucció quantitativa del clima utilitzant les diatomees (la temperatura sobre la meteorització de la roca quan no hi ha neu influeix sobre l'alcalinitat de l'aigua

i aquesta sobre les algues unicel·lulars) i els cists de crisofícies (relacionades amb la durada de la coberta de gel sobre el llac i, per tant, de les temperatures primaverals) per després comparar els valors i les pautes obtingudes amb el pol·len i NPPs (Catalan *et al.*, 2013).

L'Estany Redó és un llac d'origen glacial situat a la capçalera de la Vall de Sant Nicolau, a uns 2114 m d'altitud, tancant Colomers d'Espot pel sud (Figura 49). Abasta unes 6,3 ha i la màxima profunditat és d'uns 11 m. El sondeig va recuperar un testimoni que es va datar a la base en uns 14 ka cal BP el que va permetre reconstruir una part del tardiglacial (Catalan *et al.*, 2013).

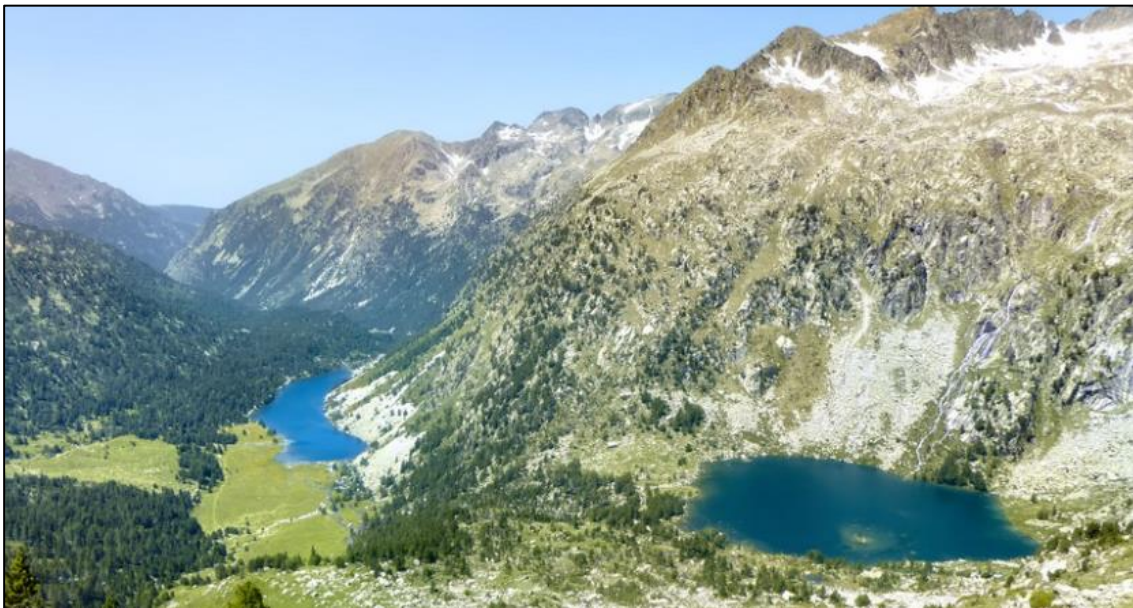


Figura 49. Imatge de l'Estany Redó a la dreta en primer pla i l'Estany Llong al fons (extret del web de Parcs Naturals de Catalunya).

El llac Redon està situat a l'oest del Parc Nacional, a uns 2240 m d'altitud i té una superfície de 24 ha amb una profunditat mitjana de 32 m (Figura 50). L'objectiu principal és la reconstrucció de la variabilitat paleoclimàtica utilitzant com a metodologia, l'estudi de cist de crisofícies del sediment, unes algues daurades d'aigua dolça que permeten la reconstrucció paleoclimàtica en un lloc sensible com un estany d'alta muntanya i que pot aportar informació valuosa a d'altres *proxies* com la palinològica. D'aquest mateix *core* recuperat (RCA94) també es va analitzar el pol·len i NPPs, tot i que l'objectiu final, com ja s'ha comentat, no era pas una reconstrucció paleoecològica del paisatge sinó una calibració paleoambiental de les dades obtingudes amb les crisofícies (Pla *et al.*, 2005).

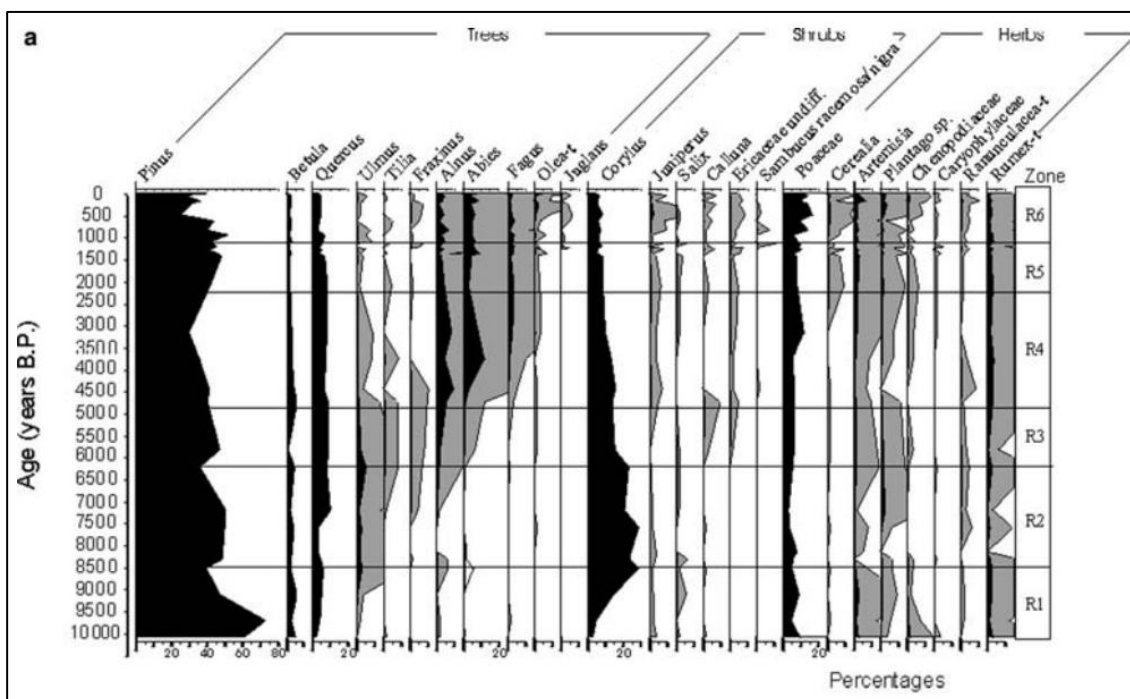
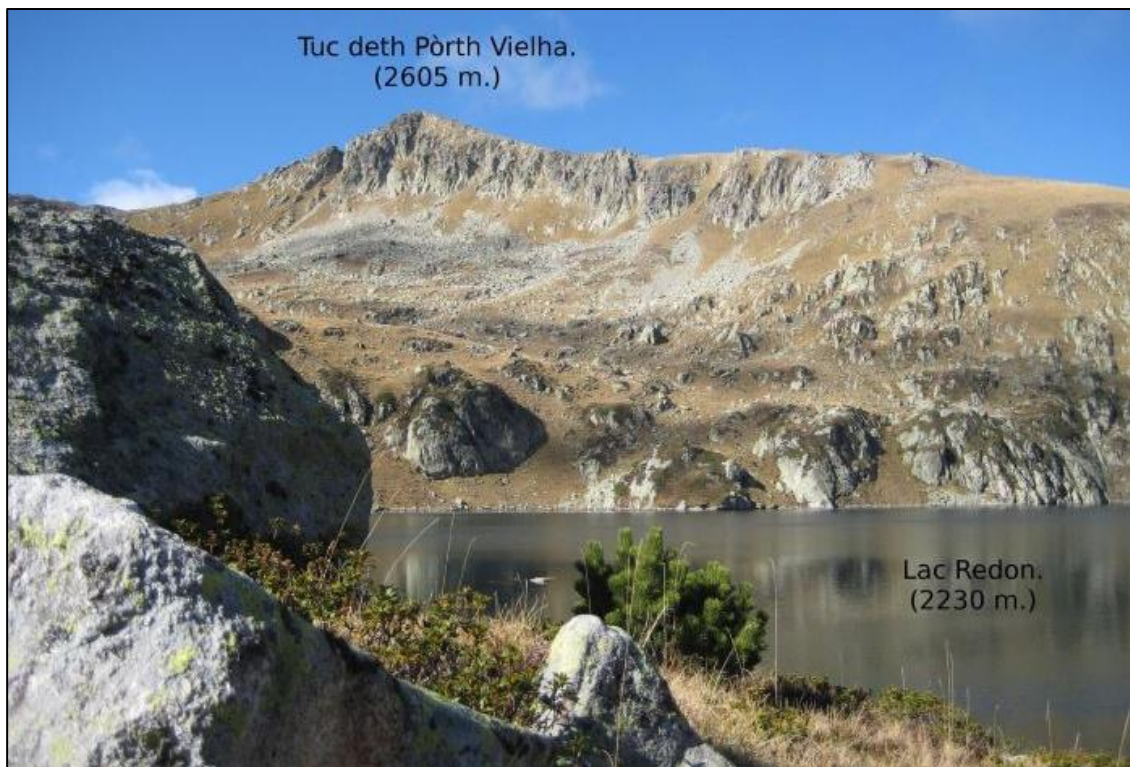


Figura 50 . Imatge superior: Lac Redon (Extret del web de Parcs Naturals de Catalunya). Diagrama inferior: Palinograma amb els principals tàxons del llac Redon (extret de Pla *et al.*, 2005).

La interpretació que ofereixen els autors inclou la reconstrucció dels darrers c. 15 ka cal BP (Pla *et al.*, 2005; Catalan *et al.*, 2013), en la que el Tardiglacial es basa en l'únic sondeig disponible que arriba a aquesta cronologia tan antiga al PNAESM (c. 15 ka cal BP del llac Redó). Per a l'Holocè es van incloure el registre del llac Redon (Figura 48) i,

parcialment, el del Llebrete (Figura 46) que va ser considerat més adequat per a visualitzar l'impacte humà a la zona.

El paisatge vegetal del PNAESM durant els últims c.15 ka cal BP presenta dos grans transicions, una entre c. 11 i 10 ka cal BP i una altra entre c. 6 i 5 ka cal BP, determinant tres fases ben diferenciades ecològicament: una primera fase de vegetació estepària semiàrida; una segona fase forestal amb boscos de coníferes i caducifolis amb característiques climàtiques de marcada continentalitat, i una tercera fase, on la continentalitat desapareix i hi ha una substitució d'algunes coníferes i caducifolis predominants, consolidant-se un paisatge similar al que coneixem en el present. La incidència antròpica es fa evident des de c. 3,5 ka cal BP, tot i que amb anterioritat ja hi ha indicis de la seva presència. A grans trets els canvis en el paisatge serien els següents (Catalan *et al.*, 2013):

Entre c. 15 i 11 ka cal BP el paisatge és clarament estepari de muntanya amb molts espais oberts, amb només alguns arbres a les altituds menors. El registre pol·línic es caracteritza per formacions herbàcies (gramínies, *Artemisia* i *Ephedra*), arbustives (*Juniperus*) i masses arbòries disperses (*Pinus*). Cap a c. 12,5 ka cal BP, durant el Dryas Recent, apareixen al diagrama *Betula* i *Salix* i es produeix un increment de les ciperàcies. Posteriorment, en c. 12 ka cal BP, es registra una forta caiguda dels tàxons esteparis que es recuperen una mica abans de finalitzar aquesta fase. Al llarg de tot el període s'observen fluctuacions de les ciperàcies, potser relacionades amb canvis en la quantitat o l'estacionalitat de les precipitacions.

Entre c. 11 i 10,5 ka cal BP, a l'inici de l'Holocè, es detecta una transició relativament ràpida d'un paisatge vegetal estepari a una colonització arbòria ja sense estrès hídric, que mostra variabilitat en funció de l'altitud i la insolació (Catalan *et al.*, 2013).

Entre c. 10,5 i 8,5 ka cal BP es consoliden les formacions forestals amb *Pinus* i *Betula* com a protagonistes principals i es constata l'aparició de *Corylus avellana* i dels *Quercus* caducifolis. Al fons de vall el paisatge és cada vegada més forestal i es produeix una progressiva colonització arbòria en altitud. *Corylus avellana* s'apropia de les obagues i probablement substitueix *Pinus* a molts indrets (Catalan *et al.*, 2013).

Entre c. 8,5 i 6,5 ka cal BP el diagrama mostra un paisatge dominat per forests de caducifolis des dels fons de vall fins al pis subalpí. En aquesta quarta fase el predomini forestal correspon als avellaners i a les rouredes, amb la presència d'altres caducifolis com *Ulmus* i *Tilia*. *Pinus* probablement es consolida en altitud i apareixen les ericàcies. També s'observa una estabilització de *Betula* a les solanes i els indrets amb sòls prims i escassos (Catalan *et al.*, 2013).

Entre c. 6,5 i 5 ka cal BP apareixen *Abies alba* i *Alnus*. L'avet es consolida ràpidament en espais d'obaga de cotes mitjanes i amb disponibilitat de sòls ben desenvolupats. Tot i això, el paisatge forestal continua estant dominat per caducifolis, si bé al final del període es produeixen caigudes brusques d'ericàcies, *Corylus*, *Tilia* i *Ulmus*. Aquí apareixen els primers indicadors antròpics relacionats amb ramaderia probablement ovicaprina i pràctiques agrícoles locals, segurament al voltant dels abrics que ocupen (Catalan et al., 2013).

Entre c. 5 i 3,5 ka cal BP els boscos de coníferes es consoliden a l'estatge subalpí, amb una presència important d'*Abies alba*. També apareix *Fagus sylvatica* que pot ser un competidor parcial amb *A. alba* per un mateix espai forestal. En contrapartida es detecta un abandonament progressiu dels caducifolis al pis subalpí i la seva migració cap al pis muntà i el fons de vall. En aquesta davallada també desapareixen del registre pol·línic *Tilia*, *Ulmus* i *Acer* (Catalan et al., 2013).

Entre c. 3,5 i 2,1 ka cal BP, les masses forestals dominants són la pineda, l'avetosa i les fagedes, amb la consolidació de caducifolis al fons de vall mostrant un paisatge vegetal que adquireix la fesomia actual. Els diagrames pol·línics dels estanys Redó i Llebrete mostren evidents senyals d'impacte antròpic sobre la vegetació des de fa 3,5 ka cal BP. També es constata l'aparició de cultius cerealístic amb un senyal feble però continuat en el temps (Catalan et al., 2013).

Entre c. 2,1 i 0'85 ka cal BP l'impacte antròpic tardoromà i alt medieval és clar, amb una forta modificació del límit superior del bosc i l'obertura de prats en altitud. El desenvolupament dels cultius de cereals es dona al fons de la vall, conjuntament amb altres indicadors pol·línics d'humanització: *Juglans*, *Castanea* i *Olea* (aquests darrers fruit d'aportacions llunyanes) (Catalan et al., 2013).

Entre c. 0,85 i 0,45 ka cal BP es registra el moment de major alteració antròpica del paisatge al llarg de la història amb una obertura generalitzada del sistema forestal en tots els pisos de vegetació. L'ús antròpic del territori tant en el fons de vall com en altitud és intens i l'increment notable de *Betula* indica l'estat d'alteració general afavorit per una important desforestació dels boscos de coníferes. L'activitat als voltants del llac Llebrete arriba a provocar un fenomen d'eutrofització de les aigües, com indica la presència d'algues verdes d'ambients mesotròfics (*Pediastrum*) en el registre pol·línic. L'augment d'indicadors de sistemes humanitzats (*Poaceae*, *Rumex*, *Plantago*) és més que notable (Catalan et al., 2013).

Entre fa c. 0,45 ka cal BP i el present, es registra una recuperació forestal de les coníferes acompanyada d'una important davallada dels caducifolis fruit probablement

d'una explotació forestal selectiva. Continuen sent elevats els indicadors antròpics (Poaceae, cereals, *Secale*, *Plantago*,...) però la intensitat de la pressió humana decreix respecte als segles anteriors (Catalan *et al.*, 2013).

1.3.3.2. Estany de Sant Maurici.

L'Estany de Sant Maurici està situat en un circ glacial dins de l'estatge subalpí, envoltat per boscos de coníferes d'altitud de *Pinus mugo* subsp. *uncinata*. L'antic llac glacial era considerablement més petit i menys profund que l'actual, però la construcció d'una presa l'any 1953 va transformar el petit estany original en un de major per assegurar generació hidroelèctrica, regadiu i consum humà (Figures 51 i 52).

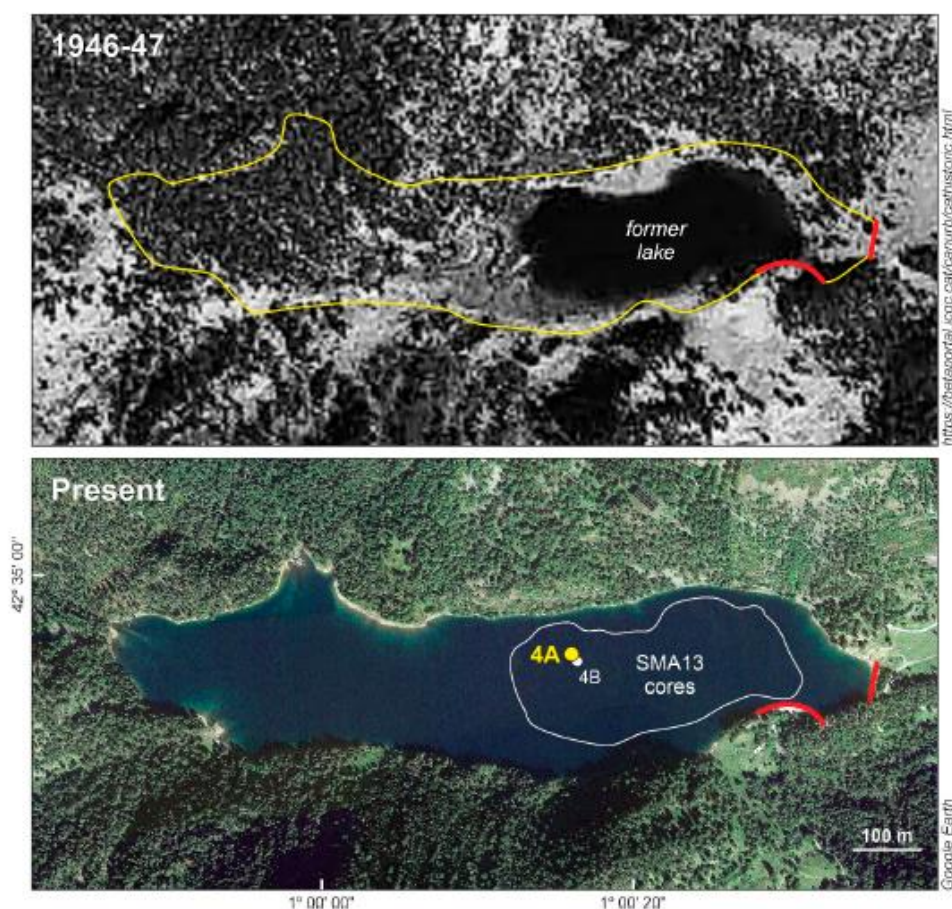


Figura 51. Imatges de l'Estany de Sant Maurici abans i després de la construcció de la presa. Els punts 4A i 4B indiquen les extraccions (extret de Rull *et al.*, 2024).

Un dels dos registres sedimentaris recuperats de l'Estany de Sant Maurici al 2013, l'anomenat SMA13-4B (Rull *et al.*, 2021), que presenta un important hiatus abans esmentat, contrasta amb estudis previs dels altres nuclis estudiats a PNAESM i la seva zona perifèrica que contenen paisatges força més antropitzats durant l'Edat del Bronze

final (c. 3,2 a 2,7 ka cal BP) a la Bassa Nera i a l'Edat Mitjana (850 a 450 a cal BP) als llacs Redó i Llebreja (Català *et al.*, 2013; Garcés-Pastor *et al.*, 2017a, 2017b).



Figura 52. Imatge de l'Estany de Sant Maurici (extret del web *Más allá de la ciudad*).

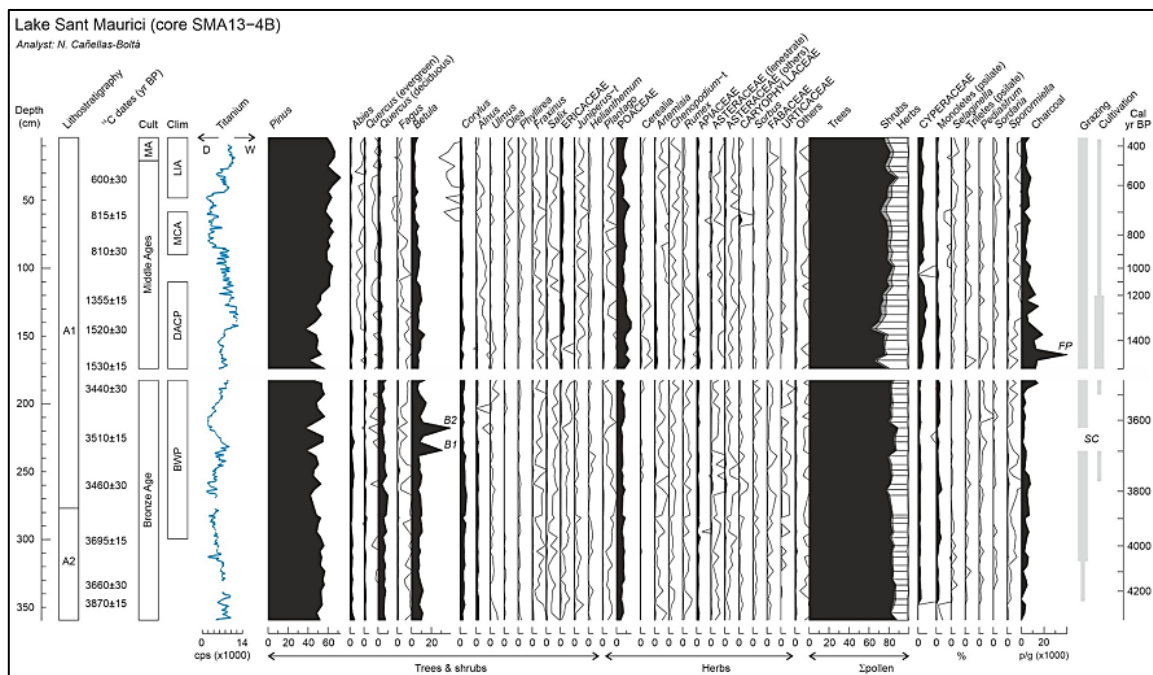


Figura 53. Diagrama pol·línic de Sant Maurici. Les línies sòlides indiquen una exageració 10x. A1, llim orgànic negre; A2, alternant llim orgànic negre i sorra fina negra amb macrorestes vegetals. Els macrocarbons s'expressen en unitats de concentració (partícules/g). D: sec; W: humit; *Culte*: fases culturals; *Clim*: fases climàtiques; BWP: Període càlid de bronze; DACP: Període fred de l'edat fosca; LIA: Petita edat de gel; MA: Edat Moderna; MCA: Anomalia del clima medieval (extret de Rull *et al.*, 2021).

La conca de l'Estany de Sant Maurici no presentava indicis de desforestació ni d'un ús extensiu o intensiu del sòl per part dels humans durant els períodes estudiats. En canvi, *Pinus* va mostrar una expansió constant des de c. 1,2 ka cal BP fins el present (Figura 53). Cal destacar que aquesta expansió es va produir durant l'Edat Mitjana, quan la major part dels nuclis alpins i subalpins del Pirineu meridional central recuperats amb registres paleoecològics disponibles estaven fortament desforestats i a on l'evidència d'un pasturatge extensiu és clara. Encara es desconeixen les causes de la resiliència dels boscos de Sant Maurici als canvis climàtics i de la pressió antropogènica relativament baixa en el context local. També cal esbrinar si el mateix procés de conservació es va produir durant l'Edat del Ferro i l'Època Romana, que encara resten per estudiar pel buit sedimentari registrat (Rull *et al.*, 2021).

1.3.3.3. La Bassa Nera d'Aiguamòg (o Pletiu dera Muntanheta).

La Bassa Nera d'Aiguamòg o Pletiu dera Muntanheta és una massa d'aigua dins d'una cubeta d'origen natural, de dimensions molt reduïdes (no més de mitja hectàrea) i d'escassa profunditat (Figura 54). Es localitza a una altitud d'uns 1900 m, a dins d'un bosc de pi negre a la conca del riu d'Aiguamòg, i forma part del conjunt de les torberes i mulleres d'Aiguamòg dins del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici.

Si ens fixem en l'interessant registre paleoecològic de la Bassa Nera (Figura 55) que ocupa al voltant dels darrers 10 ka, la interpretació suggereix que durant la primera meitat de l'Holocè (entre c. 10,2 i 6,7 ka cal BP) la vegetació respon exclusivament de forma natural a la variabilitat climàtica. *Abies* apareix per primera vegada en el registre pol·línic el c. 6356 cal BP, iniciant la seva expansió. La pressió humana va ser força limitada fins a l'inici del Neolític, amb els primers indicis (en macrocarbons i pol·len) d'activitat ramadera entre c. 7,3 i 5,8 ka cal BP. Ja aquí s'assenyala l'ús del foc com a eina per tal de guanyar pastures o mantenir els espais oberts (Garcés-Pastor *et al.*, 2017).

La segona meitat de l'Holocè presenta fases que mostren un increment de pràctiques agrícoles i pasturatge alternant amb el probable abandonament en moments de refredament climàtic. El primer pol·len d'un cereal (*Secale cereale*, una espècie resistent a climes freds i secs) identificat a la Bassa Nera es va datar en c. 5,19 ka cal BP i l'evidència de conreus cerealístics intermitents i de poca extensió es situa entre c. 5,2 i 2 ka cal BP. L'estudi de la matèria orgànica i les unitats sedimentàries de BN ha permès deduir que el sistema sedimentari va esdevenir un llac entre c. 4,5 i 3,9 ka cal BP. Tot i aquest augment de la freqüentació humana a l'alta muntanya, la pressió

antròpica va ser moderada fins al final de l'Edat del Bronze, entre c. 3,2 i 2,7 ka cal BP, quan les activitats agropecuàries van començar a modelar el paisatge. Els períodes notables de pressió antròpica inclouen l'Edat del Bronze Final, amb l'establiment de terres agrícoles, seguit de l'època romana i l'Edat Mitjana. Durant l'últim mil·lenni, els conreus han disminuït i la intensitat del pasturatge ha augmentat en detriment de la massa forestal (Catalan *et al.*, 2013; Garcés-Pastor *et al.*, 2017a, 2017b; Rull *et al.*, 2021).



Figura 54. Imatge actual de la Bassa Nera (extret de Flickr).

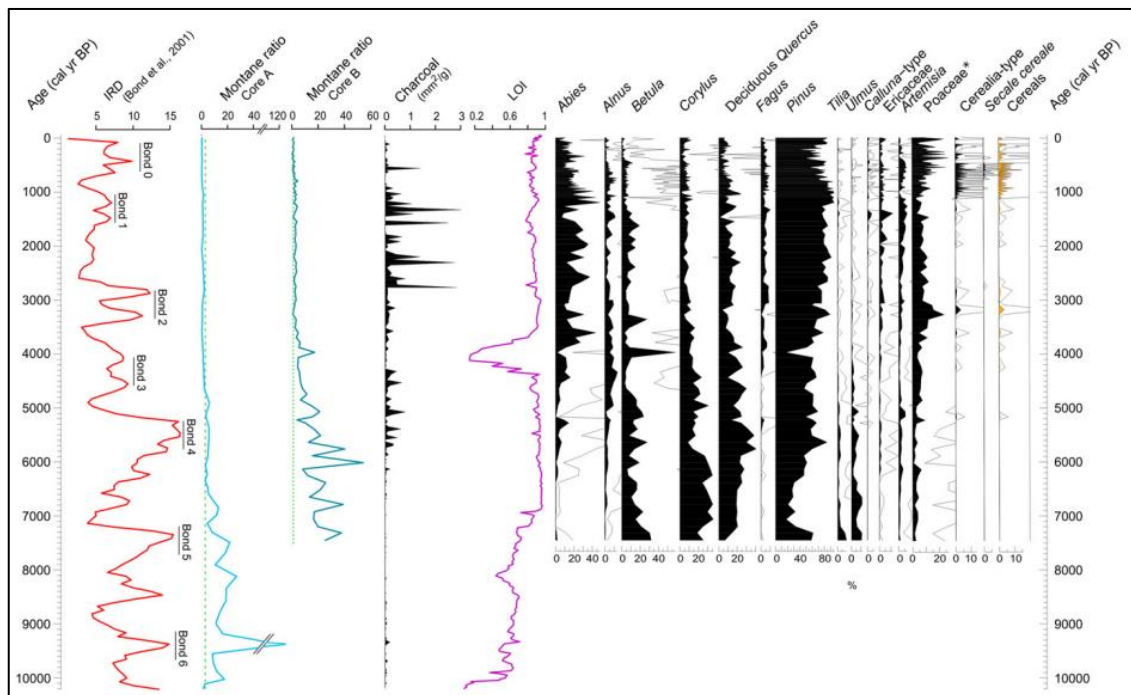


Figura 55. Diagrames resum de la Bassa Nera. S'indiquen els events de Bond, la proporció montana dels nuclis A i B, concentració de macrocarbons (mm^2/g) i tàxons pol·línics representatius del nucli B (extret de Garcés-Pastor *et al.*, 2017).

1.3.3.4. Estany de la Coma de Burg.

La tercera campanya d'estudi de l'estany de la Coma de Burg va tenir lloc entre els dies 19 i 21 de setembre de 2006. Aquesta actuació va permetre recuperar una important seqüència de sediment inalterat de més de 16 metres de potència en un total de 18 maniobres amb una màquina industrial a rotació. La mostra recuperada es va dividir en dos testimonis que van ser denominats CMB-9 (de la superfície fins a als 228 cm), l'anàlisi palinològic del qual va conformar el meu treball de final de Màster a la URV al 2009, i CMB-8 (dels 228 cm als 1650 cm) que encara no ha estat publicat. La integració de tots dos testimonis va permetre obtenir una seqüència única, unitària i continua que abasta aproximadament els darrers c. 17 ka.



Figura 56. Algunes imatges dels dies 19 a 21 de setembre de 2006, data de l'extracció del testimoni CMB-8 i CMB-9 a l'estany de la Coma de Burg (fotos: Dr. Joan Manuel Soriano i Dr. Albert Pèlachs)

Els 228 cm de sediment extret de l'Estany de la Coma de Burg i anomenat com a CMB-9, va ser mostrejat cada 2 cm. La datació a la base va oferir una edat de c. 3,3 ka cal BP. Jo mateix vaig realitzar l'anàlisi pol·línica (Figura 57) i la Dra. Marie-Claude Bal, l'anàlisi de macrocarbons sedimentaris. Aquesta és la interpretació de les dades obtingudes:

Entre c. 3,3 i 3,1 ka cal BP. L'estany de Burg era un aiguamoll amb les vores ocupades per ciperàcies, a on es registra una activitat ramadera incipient. Les poàcies es mantenen més o menys estabilitzades sobre el 10% durant tot aquest període i existeix un molt tènue senyal de pol·len de cereals. Altres tàxons relacionats amb desforestació o activitat antròpica com *Artemisia*, les asteràcies, les apiàcies o *Plantago* davallen al final de la zona. També s'observa una suau disminució de tàxons

asteràcies, *Plantago* o *Rumex*, que ens faria pensar en una ramaderia intensa amb possibles transhumàncies i una incipient agricultura a la zona, especialment pel primer senyal clar de l'arribada dels cereals. Això va acompanyat d'un decrement de *Pinus* i altres taxons arboris com *Betula*, *Quercus* caducifolis i perennifolis. Existirien dos aspectes importants que podrien explicar aquest clar increment de la pressió antròpica: una nova fase seca que afectà el llevant mediterrani s'iniciaria en aquest moment (entre c. 2,85 a 1,73 ka cal BP). Unes condicions climàtiques menys rigoroses permetrien, de nou, una ocupació més intensa de les àrees d'alta muntanya del Pallars (Jalut *et al.*, 2000a). També s'han detectat diversos pics d'incendis entre c. 2,85 i 2,68 ka cal BP que es podrien relacionar amb el manteniment d'espais de conreu i/o de pastures a Burg (Rodríguez-González, 2008).

Entre c. 2,5 i 2,1 ka cal BP. Destaca la recuperació de l'avetosa com a element important del paisatge i que es mantindrà fins gairebé l'espetec medieval que tindrà lloc posteriorment. Aquest fet ve acompanyat d'una important disminució de les gramínies (i també dels cereals), les asteràcies, *Plantago* o *Rumex*. També l'avet pren espai a les pinedes i existeix una expansió de les rouredes amb una disminució de *Quercus ilex*. Tot plegat ens fa pensar en una davallada de la pressió antròpica, que permet una recuperació de l'avetosa i dels taxons arboris en general Burg (Rodríguez-González, 2008).

Entre c. 2,1 i 1,8 ka cal BP. S'observa un manteniment de la coberta forestal tot i que declinen sensiblement *Pinus* i *Quercus ilex*. En canvi, les avetoses arriben al seu màxim a la sèrie mentre rouredes i fagedes es mantenen i declinen molt suaument al voltant de c. 1,8 ka cal BP. També s'observa un important retrocés dels principals indicadors antròpics assenyalant, per tant, una baixa pressió humana. També podem destacar la diferencia d'intensitat que es dona en diferents valls del sud dels Pirineus pel que fa a la romanització. Aquesta serà més alta a la Val d'Aran, menys important a la Noguera Ribagorçana i molt inferior a la Noguera Pallaresa, que restaria parcialment aïllada (Esteban, 2003). Aquest fet estaria en consonància amb les dades pol·líniques de l'estany de Burg. Així podem inferir que les pastures disminueixen mostrant un desinterès per l'explotació dels prats d'altura. Una hipòtesi plausible seria una substitució en la cabana ramadera preferida. Si la cabana predominant a l'Edat del Bronze era la ovicaprina, a l'Edat del Ferro i en la Romanització, predominaria la cabana porcina. Aquesta substitució podria haver afectat negativament a la dinàmica natural de l'alzinar de fons de vall. L'agricultura també semblaria estar poc representada. Si es consideren les pràctiques romanes, s'establiria una rotació de conreus biennal (un any

de conreu i un de guaret) que es situarien al fons de la vall a on també es plantarien fruiters (Esteban, 2003; Rodríguez-González, 2008).

Entre c. 1,8 i 1,65 ka cal BP. Assistim al moment amb els majors indicis d'impacte antròpic de tota la seqüència sedimentària a CMB-9. En c. 1,8 ka cal BP s'inicia una de les més brusques desforestacions amb un fort pic de macrocarbons locals, que afecta a tota la major part de taxons arboris com *Pinus*, *Abies*, *Quercus* caducifolis o *Fagus*. Els indicadors antròpics s'eleven fortament com ara les poàcies i els cereals, que irrompen bruscament al diagrama en aquest moment. Altres indicadors antròpics com les asteràcies, *Artemisia*, *Plantago* o les apiàcies també augmenten la seva presència. Per tant es produiria un canvi en el model de subsistència de les comunitats tardoromanes en les que es tornaria a desenvolupar activitats ramaderes, s'expandirien els cultius al fons de la vall cremant àmplies zones de bosc i es potenciaria la mineria del ferro, amb la desforestació associada per ser utilitzades a les carboneres, principalment de fusta d'abet i pi (Esteban, 2003; Pèlachs, 2004; Rodríguez-González, 2008).

Entre c. 1,65 i 1,4 ka cal BP. Després de la forta desforestació detectada al nivell anterior a on tots els indicadors antròpics augmentaven, apareix al diagrama una sorprenent recuperació transitòria dels taxons forestals com *Pinus*, *Abies*, *Quercus* caducifoli, *Alnus* i alhora una regressió important de poàcies i cereals, així com d'*Artemisia*, *Plantago* o les apiàcies que tenen el seu màxim al voltant de 1,5 ka cal BP. L'explicació a aquest fet és complexa. A la relativa estabilitat romana succeeix la invasió de pobles germànics (Vàndals, Alans, Sueus o Visigots) que afectaran al Pirineu central. Els motius podrien estar relacionats amb disminució important de la densitat de població i un abandonament parcial de l'alta muntanya, fet que permet una recuperació notable de les masses forestals. També podria ser explicada per un augment de l'activitat metal·lúrgica, en detriment de les activitats agropecuàries. Cal destacar també el deteriorament climàtic, que segons alguns autors, augmentà la pressió dels pobles germànics del nord d'Europa cap al sud. Després d'un període càlid que bàsicament coincideix amb la durada de l'Imperi Romà, es va produir un deteriorament a partir del segle V CE, a on el clima es va tornar més fred i sec, de tal manera que molts autors parlen d'una petita glaciació (LALIA). Aquest refredament climàtic potser fou decisiu per l'abandonament dels cultius i la ramaderia a l'alta muntanya. Tot i això, la lleu recuperació d'*Abies* (que no arriba als màxims registrats durant el període romà) ens indicaria unes condicions climàtiques no massa seques (Esteban, 2003; Rodríguez-González, 2008).

Entre c. 1,4 ka cal BP i l'any 1900 CE l'impacte de la pertorbació antròpica es torna a accentuar a partir del període Alt Medieval amb l'aparició de febles pics de carbons entre 1,4 i 1 ka cal BP i que posaran les bases dels actuals paisatges de la Coma de Burg. És, de fet, un retorn a la forta pressió humana que hi hagué durant l'època tardoromana. Destaca una forta davallada de tàxons arboris com *Pinus* i una de progressiva al llarg de la seqüència, en tàxons com *Abies* o *Fagus*, de forma que el pol·len arbori (AP) registra el percentatge més baix de la seqüència (al voltant del 35%) mentre augmenten els bedollars, rouredes i alzinars. Reapareixen taxons conreats com *Olea* o *Juglans*. Paral·lelament s'estenen prats, pastures i conreus de cereals. Cal fer èmfasis en el paper del feudalisme en el profund impacte sobre el paisatge, ja que consistia en un sistema de dominació social i territorial basat en una forta explotació dels recursos naturals (Oliver, 1997b; Rodríguez-González, 2008).

El final de l'Edat Mitjana suposa un seguit de canvis socials amb una davallada demogràfica degut a diverses causes: l'epidèmia de pesta negra i les guerres al final del segle XIV CE fins a la derrota del Comte de Pallars al 1487 CE. Aquesta crisi comporta la desaparició de 79 nuclis de població al Pallars Sobirà entre els segles XI a XIV CE. A la Vallferrera desapareixen 3 pobles de 10. A la Coma de Burg desapareixen 2 pobles de 9 totals (Bringué *et al.*, 1996). De totes formes sembla que aquesta pèrdua poblacional no va afectar massa la dinàmica del paisatge, ja que s'observa una continuïtat de les activitats agrícoles i ramaderes. Al diagrama pol·línic s'observa al voltant del 1400 CE una lleu disminució de les poàcies (no dels camps de cereals, tot el contrari) però sense que sigui una tendència massa clara. Tot sembla indicar que no es va produir cap abandonament massiu del camp ni, per tant, una clara recuperació forestal (Rodríguez-González, 2008).

El registre de la LIA al testimoni sedimentari és feble i no permet reconèixer canvis importants. Sembla que no hauria perjudicat en gran mida les activitats humanes a la Coma de Burg. L'extensió de prats augmentarà durant els segles XVII i, sobretot, XVIII CE, moguda per una creixent valoració de la cria i el comerç de bestiar (Oliver, 1997). Durant els segles XVIII, XIX i principis del XX CE el ramat bàsic per al manteniment de les pastures és l'oví, tot i la diversitat de bestiar com ara vaques, cavalls, mules i eugues, porcs i ases. Cal remarcar la importància de la transhumància per al comerç de llana i carn. Per tant, el bestiar manté les pastures i els camins i és un element que contribueix al contacte entre les poblacions de la plana i la muntanya. Pel que fa a l'agricultura, a partir del segle XVI es produeix una extensió dels camps de conreu, coincidint amb una recuperació demogràfica, amb el repartiment de terres i boscos comunals entre els veïns, formant petites parcel·les (Bringué *et al.*, 1996). La Coma de Burg estaria sotmesa

entre els segles XVIII i XIX CE a una important desforestació, tant en intensitat com en extensió. El bedollar apareix ininterrompudament en aquest nivell indicant colonització posterior a un event de desforestació. La finalització de l'activitat metal·lúrgica a la Vallferrera té lloc entre 1850 i 1890 CE, fet que decanta les activitats cap la ramaderia, l'agricultura i l'aprofitament de la fusta (Pèlachs, 2004).

Des del 1900 CE fins a l'actualitat, l'activitat antròpica, lluny de disminuir, s'intensifica a inicis del segle XX CE. Tot i el final de la metal·lúrgia al segle XIX CE, l'explotació fustera (els ingressos per fusta són cada vegada més importants) i la pressió de la ramaderia són força evidents. Es continua amb els petits incendis per mantenir les pastures (Pèlachs, 2004). La Guerra Civil espanyola va ser força cruenta als municipis de Tírvia i Farrera, ja que el front estava situat just a Llavorsí. Durant els 3 anys de la guerra, les activitats extractives de fusta es van alentir molt. Durant uns anys, el bosc no s'explotarà comunament. Després de la guerra i del retorn a casa, calgué reconstruir espais i, de nou, la matèria primera va ser la fusta. Les declaracions de producció agrícola a que eren obligats els pagesos, demostraren que es va mantenir la capacitat agrícola. Només un any després del final de la guerra (1940 CE) a Ferrera es conreava blat, ordi, civada, sègol i blat de moro, a més de mongetes i patates. Tot i els efectes devastadors del conflicte armat, l'activitat agropecuària a la Coma de Burg es va poder recuperar aviat. A partir de la segona meitat del segle XX CE el nombre de veïns disminueix però no la pressió sobre els recursos. En tot cas un cert abandonament de les activitats agrícoles i no tant les ramaderes poden explicar la disminució de la corba de cereals i una petita tendència de recuperació de l'estrat arbori (Pèlachs, 2004; Rodríguez-González, 2008).

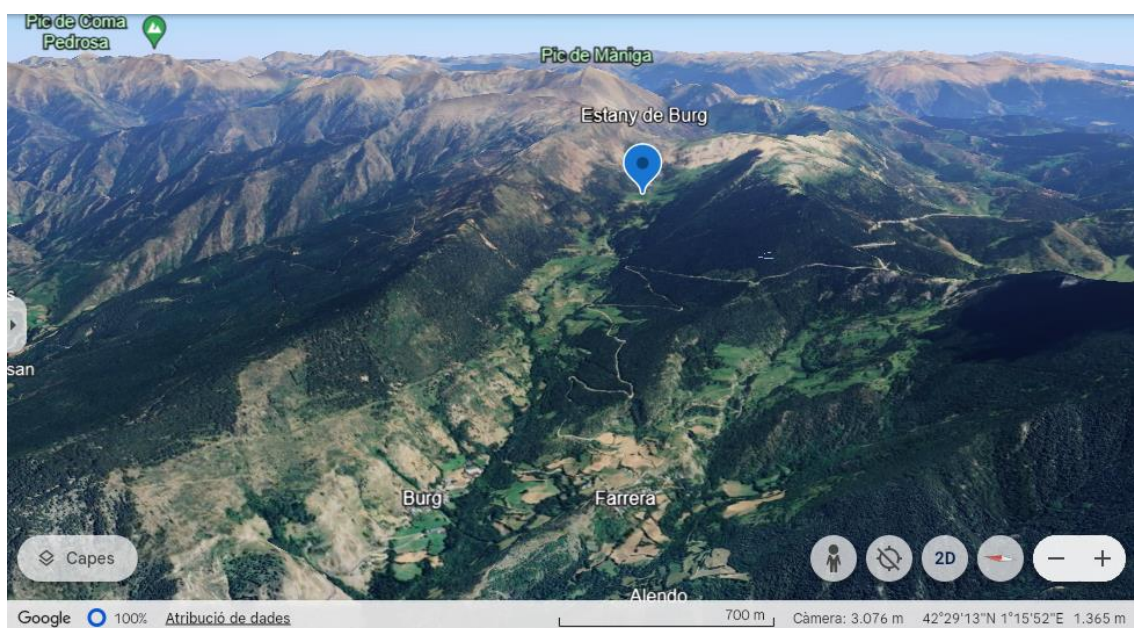


Figura 58. Imatge de la ubicació de la l'Estany de la Coma de Burg (Google Earth).

1.3.3.5. Torbera de València d'Àneu.

La torbera analitzada a València d'Àneu està situada entre Prats de la Vila i Campolado, al marge dret del riu de la Bonaigua, a una altitud de 1150 m i amb una extensió estimada de 2,8 ha. La vegetació actual al voltant de l'obaga de la torbera està representada per alguns *Quercus* caducifolis que es combinen amb *Corylus*, *Betula* i *Pinus*, i que en molts casos ocupen antics camps de conreu i que donen pas a l'avetosa més extensa de la Península Ibèrica: la Mata de València (Figura 59). Al vessant de solana els *Quercus* caducifolis comparteixen espai amb el *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* (Pèlachs *et al.*, 2010).



Figura 59. Imatge actual de la Mata de València, l'avetosa més extensa de la Península Ibèrica i una de les més importants del sud d'Europa, amb 774 ha. Es troba al vessant obac de la vall de la Bonaigua (extret del web de Xtec.cat).

Es van realitzar 3 perforacions que van permetre obtenir 3 nuclis sedimentaris d'una profunditat d'entre 2 i 3 metres. Per a l'anàlisi pol·línica únicament es van seleccionar els dos primers metres del testimoni VAL-III que estaven formats per un paquet de torba i que corresponen als darrers c. 2,2 ka cal BP. Per sota aparegué un conglomerat de graves, pobre en pol·len, que fou desestimat (Pèlachs *et al.*, 2010).

En la fase més antiga, la denominada VAL-III / I (entre c. 2,2 a 2 ka cal BP), la interpretació dels autors suggereix que estem davant del declivi de l'avetosa "original". Les freqüències d'*Abies* per damunt del 10% amb un pic al voltant del 22% només s'expliquen per la presència de l'abet *in situ* al voltant de la torbera i el fons de vall. El descens acusat d'*Alnus* i la presència del fong micorrízic *Glomus* a l'inici d'aquesta

seqüència podrien estar relacionats amb un descens del nivell freàtic de la torbera i, per tant, amb la colonització de l'avet fins a la cota de 1150 m. La forta davallada d'*Abies* en c. 2 ka cal BP (passem d'un 22% a un 5%) pot ser degut a una extracció selectiva de l'avet que afavoriria tàxons com *Corylus* i l'arribada de *Quercus ilex* a la solana de València d'Àneu, colonitzant l'espai deixat per l'avet. Cal destacar que la fusta és un element indispensable del sistema econòmic i social romà i la fusta d'avet era especialment ben valorada. La mineria és un altre sector relacionat amb l'explotació forestal que podria haver-hi contribuït. Hi ha proves de l'explotació de les mines de plom a Vilaller (Alta Ribagorça), ja que va provocar un augment de les partícules de plom sedimentades a l'estany Redon durant la romanització (Catalan *et al.*, 1998). També hi ha evidència de l'explotació de minerals de ferro d'època romana i tardoromana al Pallars Sobirà, en forns amb carbons de pi i avet al bosc de Baiasca (Llavorsí) i a la Vallferrera (Pèlachs *et al.*, 2010).

A la segona fase, entre c. 2 i 1,3 ka cal BP, l'avetosa es manté al voltant del 5% probablement localitzada a una cota superior a la del període precedent. L'extracció selectiva de l'avet deixa al descobert espais que s'ocupen primer per herbàcies (Poaceae, *Plantago*, Asteraceae, etc.) i posteriorment per espècies arbòries que competeixen amb *Abies* per l'espai com *Corylus* a les parts més baixes i *Fagus*, *Pinus* i *Betula* en les franges altitudinals superiors. Per això l'avetosa de la Mata de València probablement era mixta i, a diferència d'ara, comptava amb la presència de *Fagus* al seu interior. Les espècies herbàcies citades anteriorment amb presències puntuals de *Juglans*, *Juniperus* i *Artemisia* i l'inici de la corba de cereals i *Castanea*, es poden relacionar amb activitats ramaderes i agrícoles, sense que s'observi cap pertorbació forestal, ni climàtica ni antròpica prou important (Pèlachs *et al.*, 2010).

A la tercera fase, entre c. 1,3 i 0,65 ka cal BP, es registra un esclat de les activitats antròpiques, registrant-se una disminució de l'estrat arbori amb una regressió de *Pinus* i *Abies* per sota del 20% i del 5 % respectivament, i un fort augment de la presència de tàxons herbàcies i arbustius. La causa es trobaria amb la intensificació de la desforestació i de les pràctiques ramaderes i agrícoles amb un fort increment dels cereals (*Secale*). L'arribada del pol·len d'*Olea* (en aquell moment l'olivera està documentada als dominis del monestir de Gerri de la Sal) podria correspondre a l'Òptim Climàtic Medieval. També es destaca l'increment d'*Alnus* i *Salix*, degut probablement a una recuperació del bosc de ribera. Al final d'aquesta etapa es constata la desaparició de l'avetosa amb *Fagus*. Els autors proposen que aquí s'assentarien les bases dels paisatges actuals, amb una estructuració del territori entorn de l'ordre feudal, que articula i controla el territori (Pèlachs *et al.*, 2010).

Entre fa c. 0,65 i 0,35 ka cal BP, s'assisteix a una certa recuperació de l'avetosa acompanyada de tres tàxons arboris més: *Corylus*, *Betula* i *Pinus*. Tot i que la presència d'indicadors antròpics es manté, la intensitat no és tan elevada. Aquest fet coincideix amb la "crisi baixmedieval", que va suposar l'abandonament d'alguns pobles a l'àmbit pallarès, la disminució de la pressió sobre el medi natural i la conseqüent recuperació del bosc en antics espais de conreu i de pastura. També es dedueix que les repercussions de la LIA no van ser prou importants per afectar les activitats econòmiques de les classes dominants, majoritàriament ramaderes. No obstant això, als Pirineus hi ha documents que constaten davallades importants d'algunes espècies conreades (com la vinya), la qual cosa fa pressuposar que aquest episodi climàtic sí que va tenir efectes negatius per a una base de la societat eminentment agrícola (Pèlachs *et al.*, 2010).

Entre fa c. 0,35 i 0,15 ka cal. BP, es constata un nou augment de la pressió humana. Les caigudes brusques i les oscil·lacions lleugeres de diversos tàxons arboris com *Abies*, *Corylus*, *Betula* i *Pinus* s'acompanyen d'un gran augment de les Poaceae i *Juglans*, que denoten l'obertura de pastures i les plantacions d'arbres. L'explotació del bosc sembla del tot evident i l'aprofitament de l'avetosa també, tenint en compte la dinàmica del bosc. A més, l'aparició d'Ericaceae podria denotar un augment de les espècies ruderals per l'ús de la xarxa de camins i *Ephedra* i *Glomus* explicarien unes condicions de sequera a la torbera. Sembla que amb l'arribada del segle XVII CE i sobretot durant els segles XVIII i XIX CE, les activitats s'intensifiquen molt. El registre documental d'aquests segles destaca conflictes sobre els béns comunals de la vall d'Àneu com ara disputa dels drets sobre els béns dels pobles, l'increment de la pressió sobre boscos i pastures i sobre els canvis en la propietat (Bringué *et al.*, 1996). Per si això no fos prou, també s'ha de considerar el possible paper de la marina a l'hora d'explotar la fusta d'avet (Pèlachs *et al.*, 2010).

Finalment, en els darrers 150 anys el paisatge ja s'entreveu la configuració actual, amb uns percentatges d'*Abies* al voltant del 5%, a la vegada que *Pinus* retrocedeix significativament i augmenten progressivament colonitzadors d'antigues zones de conreu com *Corylus* i *Betula* (sobretot al final de la seqüència). En aquesta zona també es constata el pas dels cereals a les pastures de fons de vall. A principis del segle XX CE, l'historiador i geògraf Francesc Carreras Candi escriu que "*Isil, Sorpe i Son tenen muntanyes cobertes de boscos de gran riquesa i amb una important explotació forestal*", comentaris que Joaquim Morelló confirma l'any 1904 dient que "*sembla que els habitants de la vall d'Àneu hagin declarat la guerra als arbres, ja que els tallen sempre i no en planten de nous*" (Esteban *et al.*, 2003). Es sap que l'avetosa de la Mata de València es



Figura 60. Imatge superior: ortofotografia de l'avetosa de la Mata de València al 2023; imatge inferior: ortofotografia de l'avetosa de la Mata de València al 1956 presa en el vol americà. S'observa l'explotació rotatòria d'àmplies zones de l'avetosa (font: Vissir ICC).

tallava regularment, com demostra la fotografia aèria de l'any 1956, en la qual es pot observar una tallada recent i una altra de més antiga que contrasta amb la gran zona de conreus al voltant de l'àmbit d'estudi (Figura 60) i que el diagrama pol·línic recull de manera precisa quan s'observa l'oscil·lació negativa de l'avet, en un moment en el qual la construcció de les grans centrals hidroelèctriques i les infraestructures demanaven fusta. A més, no s'ha d'oblidar que durant el segle XX CE l'explotació comunal s'ha basat sobretot en l'activitat silvícola i la ramadera com a principal font d'ingressos d'unes poblacions molt mancades de recursos (Pèlachs *et al.*, 2010).

1.3.3.6. Torberes d'Estanilles i Montarenyo.

La dinàmica de la vegetació a les torberes d'Estanilles (Figura 61) que abasta des de c. 11,7 ka cal BP i la veïna de Montarenyo, amb un registre de c. 450 a cal BP va ser

descrita al 2011 (Pérez-Obiol *et al.*, 2012). A la base del diagrama pol·línic (Figura 62) que comença fa c. 7,5 ka cal BP, el paisatge estava dominat per un bosc de *Pinus*, amb contribucions de *Quercus* caducifolis i perennes, conjuntament amb *Corylus* i *Betula*. *Abies* ja havia començat la seva expansió, com es mostra per el registre continu del seu pol·len. A partir de c. 7 ka cal BP, apareixen indicadors de tàxons clarament associats a espais oberts (*Poaceae*, *Artemisia*, *Plantago*, *Rumex*), fet que provaria l'increment de la influència humana durant el Neolític. Aquesta activitat antròpica també estaria relacionada amb l'augment de senyals d'incendi i un estrat d'erosió. Al llarg del Neolític, els percentatges de *Pinus* disminueixen i l'augment de les *Poaceae* es torna important. Les comunitats de les ciperàcies intensifiquen la seva presència, fet que indicaria la transformació gradual de l'estany en una torbera (Pérez-Obiol *et al.*, 2012).



Figura 61. Imatge d'Estanilles, a la Vall de Cardós. Font: GRAMP.

L'ocupació humana des de l'Edat del Bronze (aproximadament de 4,25 a 2,65 ka cal BP) amplifica la desforestació associada a l'augment de la producció metal·lúrgica. També es detecta un increment dels macrocarbons sedimentaris i la reducció de la biomassa forestal entre c. 4,7 i 3,4 ka cal BP. Tot i això, l'absència de dades arqueològiques durant aquest període a l'àrea d'estudi sembla indicar l'existència de canvis en els patrons de poblament. L'entorn natural a les valls d'aquesta zona va experimentar nivells desiguals d'intervenció humana durant l'Edat del Ferro (c. 2,65 a 2,15 ka cal BP) i el Període Romà (2,15 a 1,475 ka cal BP). Localment, el Període Romà

sembla ser un moment de pressió humana moderada sobre l'àrea d'estudi tot i que es troba un augment moderat de l'activitat pastoral (Pérez-Obiol *et al.*, 2012).

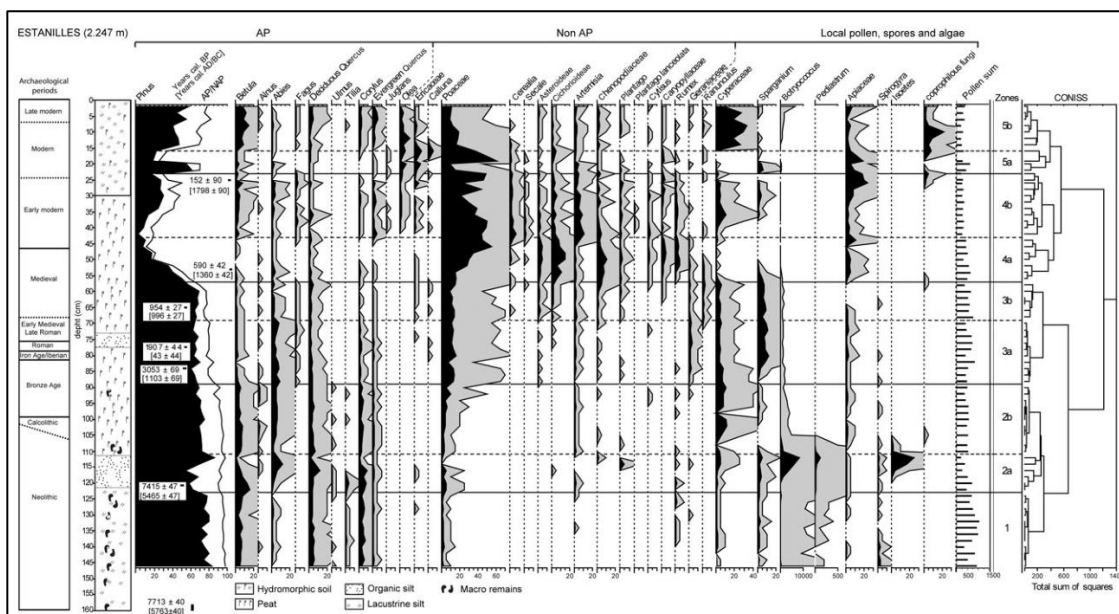


Figura 62. Palinograma amb els principals tàxons de la torbera d'Estanilles (EST-IV) (extret de Pérez-Obiol *et al.*, 2012).

Durant l'Edat Mitjana hi ha un declivi en el pol·len arbori, en el qual podria tenir un paper un esdeveniment climàtic com la LIA. No obstant, es registra un gran augment en indicadors humans que permet considerar aquesta davallada com a antròpica amb registres de *Plantago* i Asteraceae que suggereixen una sèrie d'aclariments temporals del bosc. L'inici d'aquest episodi és una de les característiques més marcades en el diagrama i correspon a una fase de desbrossament important que va reduir el pol·len arbori a menys del 10%. El pol·len herbaci està dominat per les Poaceae, però es registren una gran varietat d'altres tàxons, amb Asteraceae, Amaranthaceae, Caryophyllaceae, *Rumex*, *Plantago* i *Artemisia* que arriben a proporcions importants. Cal ressenyar l'aparició de fragments d'anteres de cereal que evidencia el cultiu local i la presència de pol·len d'*Olea*, que es comença a cultivar intensament a partir d'aquest període medieval. Durant l'Era Moderna i especialment durant l'Edat Contemporània, la biomassa forestal reduïda reflecteix nombrosos períodes amb una explotació contínua dels recursos naturals (fusta, activitat minera o pasturatge). L'abandonament del sistema tradicional d'ús del sòl (des del segle XIX CE fins als nostres dies) implica una disminució de la pressió humana a les àrees de muntanya altes. Val a dir que els valors de pol·len arbori augmenten durant l'últim segle i el foc ja no és part de la gestió del paisatge (Pérez-Obiol *et al.*, 2012).

1.3.3.7. Torberes de les valls del Madriu i Perafita–Claror.

Les valls del Madriu i Perafita–Claror (MPCV) (Pirineus Orientals, Andorra) van ser objecte d'un projecte de recerca microregional i transdisciplinari del paisatge, amb l'objectiu d'estudiar la conformació a llarg termini d'aquesta zona d'alta muntanya catalogada com a Patrimoni de la Humanitat per la UNESCO en la categoria de Paisatge Cultural (Orengo *et al.*, 2014). Durant la campanya de l'any 2005 es van fer les prospeccions per seleccionar torberes adequades on dur a terme els estudis paleoambientals. Els criteris de selecció dels registres van ser: la localització (altitudinal, orientació i sectors d'ús del sòl diferenciats) i la potència dels sediments recuperats. Un total de 5 torberes foren sondejades mitjançant una sonda russa Egendorf (Palet *et al.*, 2007). Es van escollir tres petites torberes d'alta muntanya a la Vall del Madriu, menors a 1 ha de superfície (entre 50 i 60 m de diàmetre) per augmentar la sensibilitat dels senyals locals i dels testimonis recuperats es va analitzar pol·len, NPPs i macrocarbons sedimentaris. Les tres torberes escollides (Figura 63) van ser la del Bosc dels Estanyols (BDE), situada a 2180 m d'altitud, la d'Orris de Setut (ODS), situada a 2300 m d'altitud i la de Riu dels Orris (RDO), situada a 2390 m d'altitud (Ejarque *et al.*, 2010). Cal esmentar l'estudi paleoambiental fet a l'estany Blau, a 2471 m d'altitud a la Vall del Madriu, tot i que l'Edat Moderna presenta problemes de sedimentació i, per tant, la interpretació paleoambiental d'aquest període és limitada (Ejarque *et al.*, 2006; Palet *et al.*, 2007).

A la Vall de Perafita i Claror es van escollir 2 torberes: la de Planells de Perafita a 2209 m d'altitud i de la qual s'extragueren 241 centímetres de torba i la de la Collada de la Maiana, a 2400 m d'altitud, de la qual s'extragueren 95 centímetres de torba (Palet *et al.*, 2007).

Tornant a la Vall del Madriu, la primera torbera i la de menor altitud és la del Bosc dels Estanyons. Es troba a 2180 m d'altitud, envoltada de pins al vessant nord de la vall del Madriu, que es caracteritza pel seu relleu abrupte amb nombroses tarteres, fruit d'un gran morfodinamisme glacial i periglacial. La torbera de poc més de 0,7 ha de superfície, es troba dins d'una depressió ocupada per petites basses i delimitada per una morena. De BDE es va recuperar un testimoni de 550 cm al centre, datat a la base per radiocarboni en c. 11,9 ka cal BP del que es van obtenir mostres cada 5 cm per al seu tractament pol·línic (Miras *et al.*, 2007; Ejarque *et al.*, 2010).

La segona torbera és la d'Orris de Setut amb 1,2 ha de superfície. Es troba a 2300 m d'altitud, a la part més oriental de la conca principal formada pel riu Madriu. Delimitada per dues morenes glacials, es situa al límit dels prats alpins, per sobre de la línia altitudinal forestal. Tot i que ja existien anàlisis prèvies de pol·len (Esteban, 1994) no

van ser datades per radiocarboni. El nucli sedimentari extret de la zona central mesurà 67 cm de profunditat amb una datació per radiocarboni a la base de c. 1,7 ka cal BP. Es van obtenir mostres per l'estudi *multi-proxy* cada 2 cm (Ejarque *et al.*, 2010).

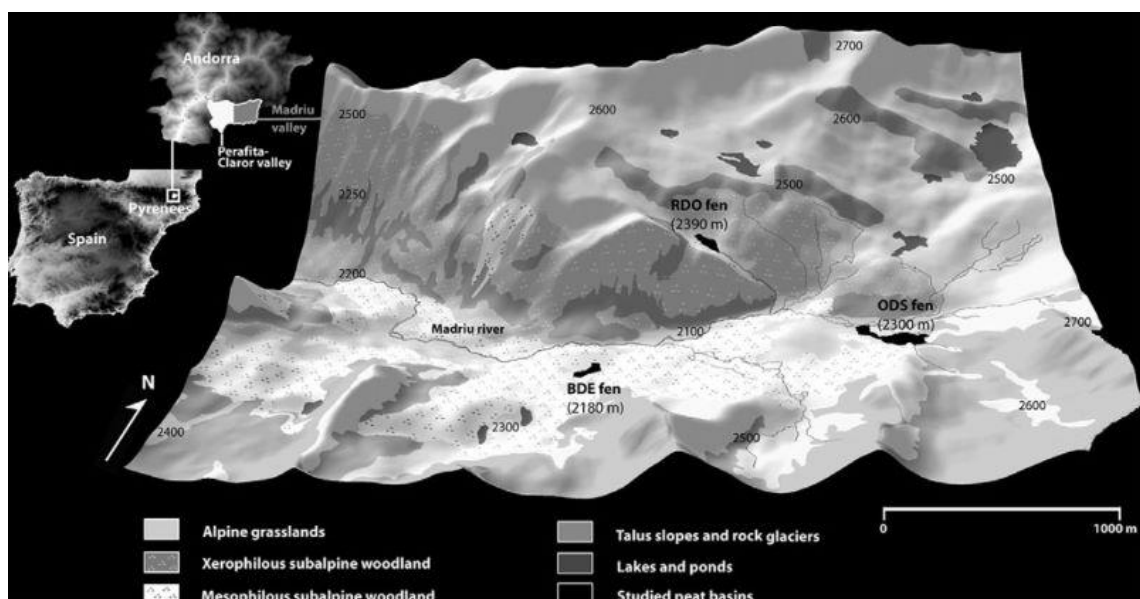


Figura 63. Mapa de vegetació de la Vall del Madriu amb la localització de les tres seqüències estudiades: BDE, ODS i RDO (extret d'Ejarque *et al.*, 2010).

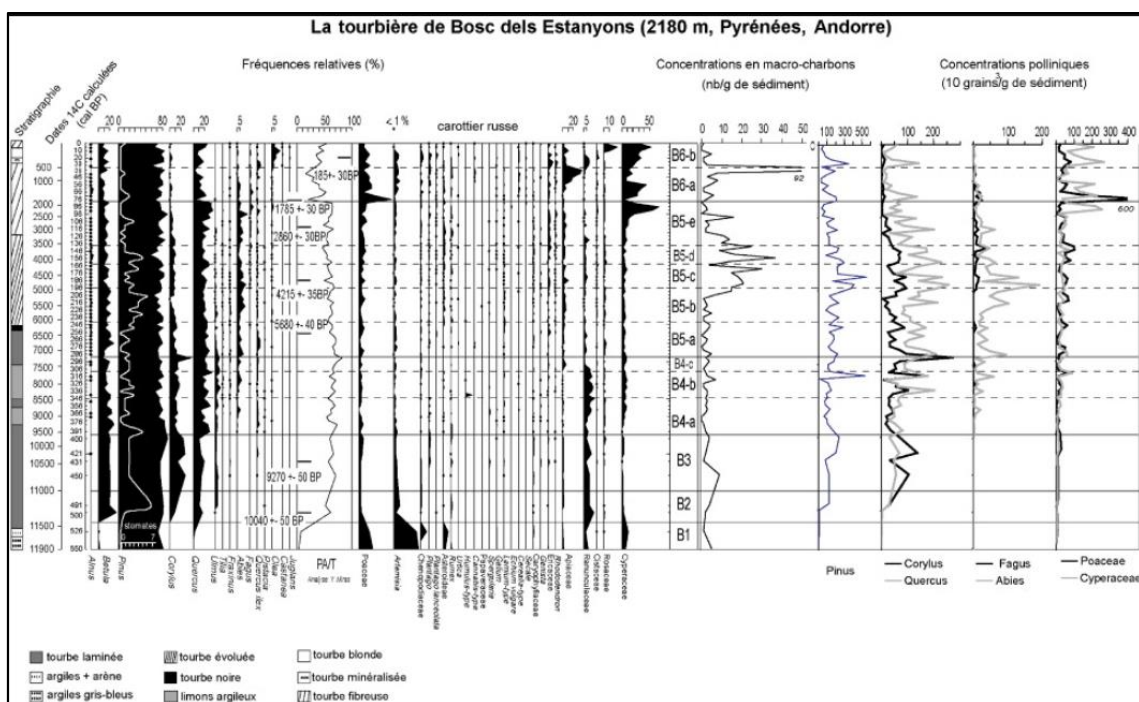
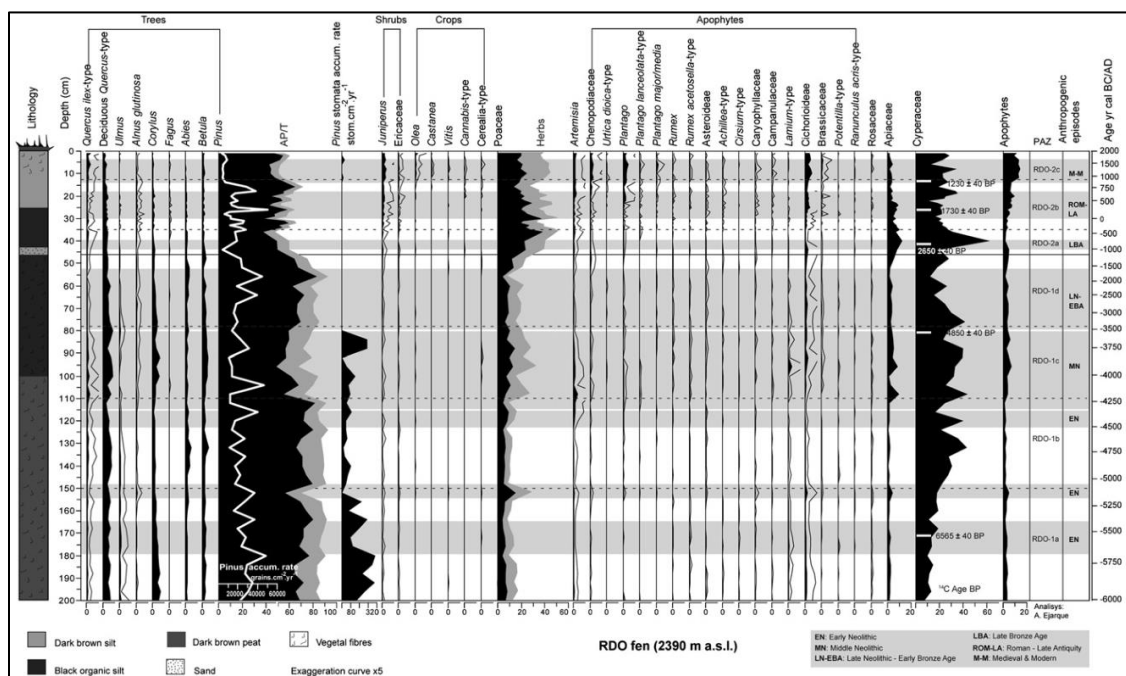


Figura 64. Palinograma amb els principals tàxons de la torbera del Bosc dels Estanyons (extret de Miras *et al.*, 2007).

La tercera torbera és la del Riu dels Orris (Figura 66) i es troba a 2390 m d'altitud, a l'estatge alpí del vessant sud de la vall del Madriu. Ocupa una petita conca de

sobreexcavació glacial allargada d'unes 0,8 ha de superfície. Envoltat de prats alpins, es troba just per sobre del límit altitudinal forestal. El nucli sedimentari extret de l'extrem sud del dipòsit mesurà 200 cm de profunditat i es van prendre mostres cada 4 cm. La base de la seqüència va ser datada a per radiocarboni en c. 8 ka cal BP. Paral·lelament, entre els 18 i els 36 cm es van obtenir mostres cada 1 cm per aconseguir una major resolució de l'impacte antròpic des de l'Edat del Ferro (Ejarque *et al.*, 2010).



A partir de 9,4 ka cal BP, les rouredes es diversifiquen amb l'arribada de noves espècies mesòfiles com el til·ler i el freixe, i ascendeixen en altitud en detriment dels

avellaners. En aquest moment, es documenta l'aparició de l'avet, tot i que la seva presència a la vall serà sempre limitada (Palet *et al.*, 2007).

Durant el Neolític inicial, del c. 8 al. c. 6,3 ka cal BP, s'assoleixen nivells alts de *Pinus* i es mantenen baixos els valors d'herbàcies tant a RDO com a BDE, revelant l'existència d'un paisatge forestal a la Vall del Madriu. L'aparició d'estomes de pi confirma la presència local de bosc subalpí en ambdós llocs (MacDonald, 2001) i la presència del límit superior del bosc per sobre dels 2390 m d'altitud. En cotes inferiors s'aprecia el domini de rouredes a BDE durant aquest període (Miras *et al.*, 2007), i l'expansió de l'avetosa des de c. 7,2 ka cal BP, sent coincident en el temps en ambdues seqüències amb l'observada a la Pirineu oriental (Guiter *et al.*, 2005; Ejarque *et al.*, 2010).



Figura 66. Fotografies de la torbera del Riu dels Orris, a la vall del Madriu (imatges de David Mas i Canalís).

Cal assenyalar tres punts d'inflexió a RDO dins del predomini local de la pineda, en c. 7,65, 7,48 i 7,13 ka cal BP, tal com indiquen lleugers descensos dels percentatges de *Pinus* i l'augment del pol·len herbaci. Tot això suggereix l'existència eventual i moderada d'obertura de boscos, donant lloc a una pineda oberta a l'entorn de la conca hidrogràfica. La presència puntual de fongs com *Sordaria* i *Sporormiella* (Davis i Shafer, 2006; van Geel i Aptroot, 2006) suggereixen la presència d'herbívors en un marc de pressió humana moderada en aquestes zones boscoses, tot i que es fa difícil de precisar donada la debilitat del senyal de pol·len i dels NPP (Ejarque *et al.*, 2010).

La confluència de la major presència humana i ramadera amb unes condicions climàtiques fredes registrades al Pirineu central entre c. 8,45 i 7,05 ka cal BP (Pla i Catalan, 2005) podria haver afavorit la formació d'un bosc obert a gran altitud durant aquest primera etapa del Neolític inicial. La disponibilitat d'aigua i els prats humits probablement van convertir les torberes com RDO en zones atractives per al pasturatge. L'existència de l'agricultura local a menor altitud també s'ha demostrat a través de la presència dels primers pòl·lens de tipus cereal a RDO entre c. 7,55 i c. 7,13 ka cal BP. La presència humana i ramadera a l'alta muntanya en zones desforestades així com evidències agrícoles primerenques a les valls, ja ha estat documentada al sud dels Alps francesos des de 7,2 ka cal BP (Court-Picon, 2007). També s'han identificat pertorbacions associades a activitats de pasturatge en zones de mitja muntanya al Pirineu occidental (Galop, 2006; Ejarque *et al.*, 2010).

L'últim període de canvi que cal subratllar a la RDO va des de c. 6,5 a 6,35 ka cal BP quan es registra un retrocés de *Pinus* i l'augment dels tàxons herbacis, especialment Poaceae, augmentant l'extensió de les praderies alpines en detriment de la pineda. L'augment de taxons com *Plantago*, *Rumex* o Asteroideae poden ser indicadors locals de pasturatge (Mazier *et al.*, 2009) reforçat per la presència d'espores de fongs copròfils com *Sporormiella* i *Cercophora* (Blackford i Innes, 2006; Davis i Shafer, 2006; van Geel i Aptroot, 2006). També s'observa una dinàmica similar a BDE des de c. 7,05 a 6,35 ka cal BP (Miras *et al.*, 2007). Aquestes dades donen suport a l'extensió del pasturatge en ambdós vessants de la vall del Madriu, i que es reforça amb la documentació d'una cabana de pastors situada a 2530 m d'altitud datada per radiocarboni en 6481 ± 112 anys cal BP. Aquestes pràctiques ramaderes incipients són observades també al jaciment proper de la Balma de la Margineda (Andorra, 970 m d'altitud), on hi ha evidència arqueològica d'ovelles i cabres domesticades des de la primera meitat del VIII mil·lenni cal BP (Geddès, 1995; Ejarque *et al.*, 2010).

Durant el Neolític Mitjà, del c. 6,35 a 5,5 ka cal BP, s'observa a RDO un fort descens percentual de *Pinus*, fet que suggereix un esclat de les pinedes acompanyat de l'augment de les praderies alpines formades principalment per Poaceae però també per *Artemisia*, Cichoroideae i Apiaceae. L'ascens de pol·len de tàxons nitròfils i ruderals com *Urtica*, *Plantago*, *Rumex*, Asteroideae, *Cirsium*, *Lamium*, Brassicaceae o *Potentilla*, (indicadors locals de pasturatge a les zones pirinenques) són indicatius d'una pressió de pastura més intensa (Mazier *et al.*, 2009). L'augment d'espores de fongs copròfils com *Sporormiella*, *Cercophora* i *Chaetomium* indiquen la presència d'herbívors pasturant a la torbera, mentre que els macrocarbons sedimentaris suggereixen l'existència d'incendis locals ocasionals probablement vinculats a l'activitat humana.

L'augment simultani del fong micorrízc *Glomus* pot ser un indicador de processos d'erosió provocats per tala de boscos, el trànsit d'animals i l'aparició d'incendis a l'entorn de la conca (Marinova i Atanassova, 2006; van Geel *et al.*, 2003). Els valors màxims d'espores de fongs indiferenciats i dels oòcits de *Turbellaria* i de *Polyadosporites* suggereixen l'existència de condicions més eutròfiques, possiblement relacionades amb l'augment del pasturatge (Carrion i Navarro, 2002; Haas, 1996). Finalment, la desaparició dels estomes de *Pinus* al voltant de c. 5,5 ka cal BP suggereix una reducció de la cota de la *tree-line* als voltants de RDO com a conseqüència última de la pressió del pasturatge evidenciat durant aquest període. La presència o absència esporàdica d'estomes de pi al llarg de les següents zones de pol·len a RDO indiquen que l'arbrat no arribaria mai més als 2390 m d'altitud en aquesta zona, deixant la torbera ja per sobre de la *tree-line*, tal i com es troba actualment (Ejarque *et al.*, 2010). En canvi es pot observar un paisatge diferent al vessant nord de la vall. El registre de BDE mostra una recuperació moderada de la pineda, interpretada a partir de l'augment dels valors dels estomes de pi i la disminució de les herbàcies, acompanyada d'una lleu reducció de la pressió humana tot i que el pasturatge no desapareix, com es dedueix de la presència de *Cercophora* i *Chaetomium*. Per tant aquest període mostra una marcada variabilitat en l'ús del sòl a petita escala a la vall del Madriu entre un vessant alpí meridional esclarissat amb molt pasturatge i aclarit i un bosc subalpí al vessant nord resultat d'una menor pressió antròpica (Ejarque *et al.*, 2010).

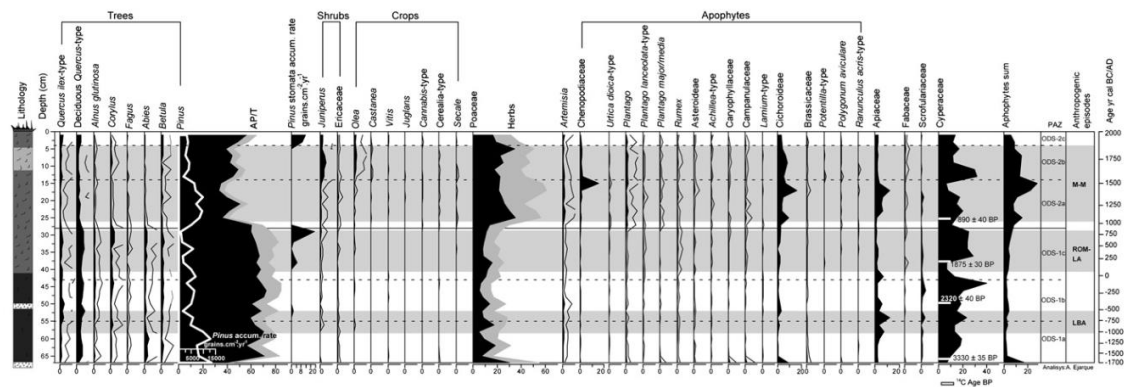


Figura 67. Palinograma amb els principals tàxons de la torbera dels Orris de Setut (ODS) (extret d'Ejarque *et al.*, 2010).

Al Neolític final i a l'Edat del Bronze inicial, des del c. 5,5 al 3,65 ka cal BP, s'observa a RDO el lleuger retrocés de Poaceae i altres herbàcies i la desaparició dels fongs copròfils, reflectint un davallada en la intensitat ramadera que permetria una moderada recuperació de la pineda en aquest entorn alpí. Això ve referendat per l'augment tant dels percentatges de *Pinus* com de la seves taxes d'acumulació. No obstant això, es segueixen veient pics de macrocarbons sedimentaris, fet que indicaria l'aparició d'incendis a prop de la torbera. Les evidències arqueològiques d'activitats de pasturatge

es documenten a major altitud: dues cabanes de pastor i un recinte ramader datats entre el c. 4,4 i el 4,16 ka cal BP s'han documentat a 2530 m d'altitud, assenyalant així els prats alpins superiors com el focus de les activitats de pasturatge durant el Neolític final i principis de l'Edat del Bronze. El registre de pol·len a BDE revela que la pressió antròpica també afectava al cinturó subalpí, a 2180 m d'altitud, ja que el registre mostra el progrés d'herbàcies, apòfits i espores de fongs copròfils i una reducció del percentatge de *Pinus*. L'ús del foc va afavorir probablement l'obertura d'espais tal i com suggereix l'augment significatiu de macrocarbons sedimentaris a BDE durant aquest període (Ejarque *et al.*, 2010). Per tant, es pot considerar el Neolític Final i l'Edat del Bronze Inicial com un període en que s'intensifica l'explotació del sòl en àrees d'alta muntanya. Això es confirma encara més en altres zones dels Pirineus, a on augmenta l'ocupació humana, la intensificació d'activitats ramaderes i de crema i obertura de boscos i el retrocés de la *tree-line* des de c. 5,3 ka cal BP (Galop, 1998, 2006).

A l'Edat del Bronze Mitjana i l'Edat del Ferro tardana, des de c. 3,65 a 2,3 ka cal BP, el palinograma de RDO mostra el descens dels percentatges de *Pinus* a partir de c. 3,65 ka cal BP, conjuntament amb la proliferació de Poaceae i altres herbes, fets que indiquen una marcada obertura del paisatge al cinturó alpí de la vall del Madriu. L'aparició lleu d'apòfits i l'absència de fongs copròfils no situarien les activitats ramaderes com a factor principal desencadenant. L'augment de *Juniperus*, *Artemisia*, Cichoroideae i Chenopodiaceae poden, en realitat, suggerir que l'extensió de prats i arbustos heliòfils durant aquest període podria tenir un origen climàtic. Cal tenir en compte el refredament registrat entre c. 4,55 i 3,15 ka cal BP que podria haver beneficiat l'extensió de les praderies alpines. Sobre aquest tema, s'ha reconegut que el descens de la temperatura estival és un factor clau que afecta la producció de pol·len arbori i que induiria canvis de la cota de la *tree-line* a gran altitud (Kofler *et al.*, 2005). No obstant això, el fet que condicions més fredes ja van tenir lloc molt abans que la caiguda documentada de *Pinus* a RDO no satisfà una explicació estrictament climàtica (Ejarque *et al.*, 2010).

A partir de c. 3 ka cal BP, el diagrama mostra un increment de les activitats humanes en un paisatge persistentment obert. Des d'aquest punt fins a c. 2,7 ka cal BP, l'obertura del paisatge avançaria cap a cotes més baixes. Així, a ODS (2300 m d'altitud), la retirada de *Pinus*, juntament amb l'augment de les herbàcies com *Plantago*, *Rumex* o Asteroideae, l'aparició de *Sordaria* i l'aparició a la corba de *Juniperus*, suggereix l'existència de clarianes al bosc dedicades als ramats amb l'assentament d'una coberta arbustiva. Un patró similar s'evidencia a BDE, mostrant un cert retrocés del percentatge de *Pinus*, un increment moderat d'apòfits i l'aparició de *Sordaria* des de c. 3,2 ka cal BP. Finalment, durant l'Edat del Ferro, des de c. 2,7 a 2,4 ka cal BP, l'augment gradual de

Pinus a RDO, a ODS i a BDE reflecteixen una regeneració general del bosc a la vall (Ejarque *et al.*, 2010).

Durant l'Època Romana, l'Antiguitat tardana i l'alta Edat Mitjana, a partir de c. 2,3 a c. 1,2 ka cal BP, es constata a BDE la baixada dels percentatges de *Pinus* i dels seus estomes en paral·lel amb l'increment de les Poaceae, indicarien l'existència de desbrossades forestals i l'extensió de praderies al cinturó subalpí. Altres indicadors com l'augment de la majoria d'apòfits i l'augment important d'espores de fongs copròfils com *Sporormiella*, *Cercophora*, *Podospora* o *Chaetomium* (Blackford i Innes, 2006; Davis i Shafer, 2006; van Geel i Aptroot, 2006), demostren la presència local de bestiar a la torbera des del 2,2 ka cal BP fins al segle V cal CE. Del segle I al V cal CE, es documenta una major pressió ramadera a la vall del Madriu especialment a les cotes més altes. En aquest sentit, a ODS l'augment d'espores de fongs copròfils com *Podospora*, suggereixen activitats de pasturatge local, mentre que l'augment del senyal de macrocarbons sedimentaris fa evident l'existència d'incendis de manteniment freqüents a la conca. L'augment de les poàcies indiquen l'afavoriment antropogènic dels espais oberts, mentre que l'estabilitat dels percentatges de *Pinus* i dels seus estomes, subratllen la presència local de boscos locals força estables. Aquest fet fa pensar que les activitats de pasturatge es van centrar principalment en els voltants de la torbera en comptes de provocar una neteja generalitzada de boscos. El patró d'ús estaria probablement relacionat amb ocupacions més estables, tal i com demostra la documentació d'un recinte ramader proper datat l'any c. 14 cal CE (Riera *et al.*, 2009). A més, reflecteix l'ús romà de les torberes com a pastures humides dins del bosc subalpí, tant a ODS com a BDE en aquest moment. D'altra banda, a RDO (2390 m d'altitud), el descens de *Pinus* conjuntament amb un augment de les Poaceae entre els segles I i V CE suggereix l'existència de desforestació de les pinedes i una expansió de pastures semblant a la que es troba a les cotes d'inferior altitud a BDE (Ejarque *et al.*, 2010).

L'augment moderat d'alguns apòfits i l'absència de fongs copròfils a la vora del RDO suggereix una baixa pressió local de pasturatge sobre el pantà i planteja dubtes sobre la preponderància de la ramaderia en la recessió del bosc. En aquest sentit, la documentació de forns, probablement relacionats amb la producció de reïnes, a prop de RDO i BDE, datades entre els segles II i VII CE (Riera *et al.*, 2009), revela l'existència d'altres activitats locals (silvicultura o conreus) que també contribuïen a la neteja del terreny. La gestió durant l'època romana va donar lloc a un complex mosaic de vegetació que no es limitava a les zones altes sinó que afectava a tots els estatges altitudinals. Aquest sistema d'ús del sòl a totes les cotes contrasta amb l'observada al sud dels Alps, on la gestió romana se centra preferentment a les zones de mitja muntanya més que a

les terres altes (Court-Picon, 2007; Galop, 2005; Walsh, 2005). D'altra banda, a ODS es registra una gestió romana del paisatge diferent, a on hi ha pasturatge, crema i ocupació ramadera realitzada dins d'un paisatge local obert però encara boscós (Ejarque *et al.*, 2010).

Durant la transició entre l'Antiguitat tardana i l'Alta Edat Mitjana, des del segle VI al IX CE, a BDE es detecta una nova davallada del pol·len de *Pinus* i d'estomes, acompanyat d'un pic en apòfits, que suggereixen la continuació d'un paisatge de pastures obert a la conca hidrogràfica. De forma similar a ODS, l'augment d'espores de fongs copròfils, una major representació d'alguns tàxons ruderals i nitròfils i l'augment dels macrocarbons sedimentaris, indiquen l'existència d'una major pressió ramadera i una freqüent activitat incendiària a la conca de la torbera.

Entre c. 1,2 ka cal BP (baixa Edat Mitjana) i fins a l'actualitat, es constata un pronunciat declivi de *Pinus* a RDO, paral·lelament amb l'augment de les herbàcies, la majoria d'apòfits i l'increment d'espores de fongs copròfils, que proporcionen evidència de retrocés dels boscos i l'extensió de prats alpins a gran altitud. Hi ha evidència arqueològica a la conca hidrogràfica amb la documentació de dues cabanes de pastor datades a mitjans del segle X CE (Palet, 2008). Del segle X CE, i més notablement del segle XIV CE en endavant, a ODS i, en menor mesura, a BDE, també es registra una reculada del pol·len de *Pinus* i els seus estomes, mentre que l'augment d'herbàcies mostra una nova expansió de les praderies alpines cap a l'estatge subalpí. De fet, existeix evidència arqueològica de les activitats ramaderes (Palet *et al.*, 2007) i les pràctiques de transhumància a les valls andorranes entre els segles XIV i XVIII CE estan ben documentades (Codina, 2005). Tanmateix, també es van desenvolupar altres aprofitaments, com evidencien múltiples monticles de carbó vegetal al vessant nord de l'estatge subalpí de la vall del Madriu datat d'època moderna, i que reflecteixen la producció local de carbó vegetal relacionada amb l'activitat de la forja de ferro (Palet *et al.*, 2007; Euba, 2008). A BDE es constata la recuperació progressiva del bosc de pins durant aquest període, l'expansió medieval i moderna de la ramaderia a gran altitud i l'expansió dels conreus com l'olivera, el castanyer, la vinya, el cànem i els cereals a una menor altitud i un declivi del bosc mixt de muntanya al llarg del període baixmedieval (Galop, 1998; Rendu, 2003; Ejarque *et al.*, 2009).

1.3.3.8. Torbera del Pradell.

Al 2005 es van extreure dos testimonis sedimentaris de dues petites torberes a la Serra del Cadí, utilitzant una sonda russa: la de Pradell, a 1975 m d'altitud i la del Clot del Prat Major a 1870 m d'altitud de la que s'extragueren 70 centímetres de torba poc evolucionada. Ens centrarem a la torbera alcalina del Pradell (Figura 68) d'unes 1,92 ha i recoberta per *Carex*, situada a 1975 m d'altitud a la part més occidental del vessant nord, dins de l'estatge subalpí. Es van recuperar 180 centímetres de registre sedimentari continu que van proporcionar 38 mostres separades per 5 cm i es van datar 3 macrorestes per radiocarboni que van revelar una edat a la base propera als c. 1,5 ka.

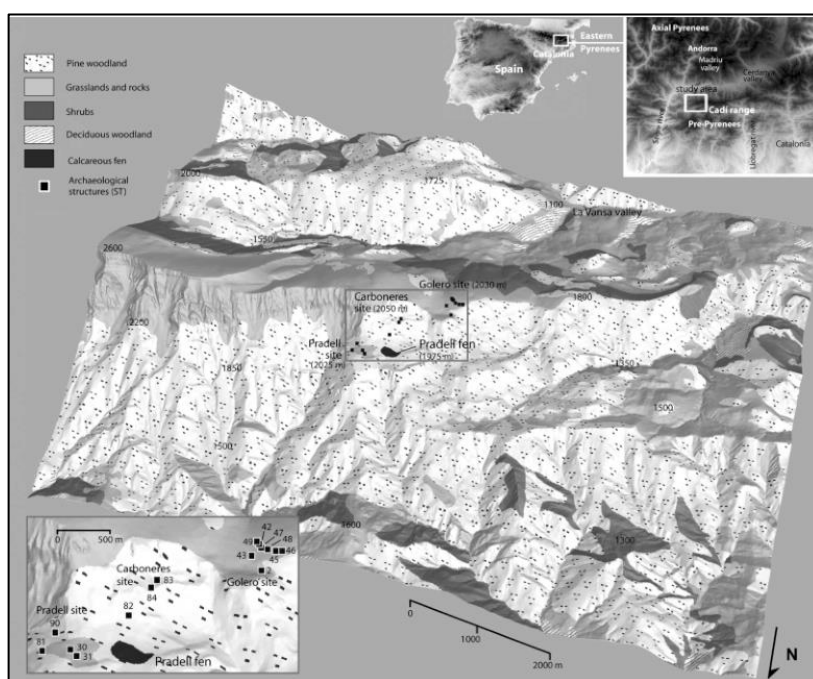


Figura 68. Mapa de vegetació de la Serra del Cadí amb la localització de la torbera del Pradell i estructures arqueològiques presents a l'àrea d'estudi (extret d'Ejarque *et al.*, 2009).

Es van realitzar anàlisis de pol·len, NPPs i estomes de *Pinus*, macrocarbons sedimentaris, contingut en matèria orgànica i geoquímica (K, Na, Mg, Ca, Sr, Ti, Al, Fe, Mn, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As i Pb; una mostra cada 2 a 4 cm). El registre de plom, com a molts llacs europeus, s'intensifica en els 15 cm superficials, presentant un pic entre 5 i 7 cm (durant els anys 60 del segle XX CE) i ha sigut associat a la contaminació industrial als Pirineus des de 1875 CE (Rose, 1999; Ejarque *et al.*, 2009).

Pel que fa a l'evidència arqueològica, s'han efectuat treballs de camp als estatges altitudinals subalpí i alpí de la serra del Cadí des de l'any 2004, amb la documentació de 107 estructures arqueològiques, incloent-hi cabanes de pastor, recintes circulars, carboneres, túmuls, forns metal·lúrgics i terrasses de cultius (Palet *et al.*, 2007 i 2009).

Les excavacions arqueològiques es van dur a terme principalment al vessant oest de la serra, on es troba el Pradell. Les estructures més rellevants situades a prop de la torbera són els jaciments del Pradell amb activitat minera datada en c. 709 CE i estructures de pastor, Carboneres i Goleró amb mineria de ferro d'època romana i estructures de pastor (Figura 69), abastant aproximadament els darrers 2000 anys (Ejarque *et al.*, 2009).



Figura 69. Vista del vessant sud de la Serra del Cadí (La Vansa-Fórns) des del poble d'Ossera, amb indicació de l'emplaçament del Goleró (extret de Palet *et al.*, 2006).

Les principal fases ambientals relacionades amb l'activitat humana, interpretades pels autors (Figura 70), són les següents (Ejarque *et al.*, 2009):

Fase 1. Els primers assentaments estables després d'un període de transició inestable (del c. 525 al 950 cal CE). Els valors baixos de pol·len de *Pinus* contraposats als valors elevats de pol·len d'herbàcies, suggereixen l'existència de boscos relativament oberts probablement a causa de l'existència d'activitats agrícoles, ramaderes i mineres, que es remuntarien com a mínim a l'època romana. La presència de tàxons ruderals i nitròfils com ara *Plantago*, *Rumex*, *Cirsium*, *Asteroidae*, *Polygonum* o *Urtica* indiquen activitats de pasturatge, tot i que la baixa presència d'espores de fongs copròfils com ara *Sporormiella*, *Cercophora* o *Podospora* suggereix un baix impacte de la ramaderia a l'entorn de Pradell (Blackford i Innes, 2006; Davis i Shafer, 2006; van Geel i Aptroot, 2006). A partir de l'any c. 850 fins al c. 950 cal CE, es registren incendis més freqüents com a conseqüència de l'agricultura i l'activitat dels assentaments humans més estabilitzats després de la conquesta cristiana de la zona en el 846 CE (Baraut, 1986; Ejarque *et al.*, 2009).

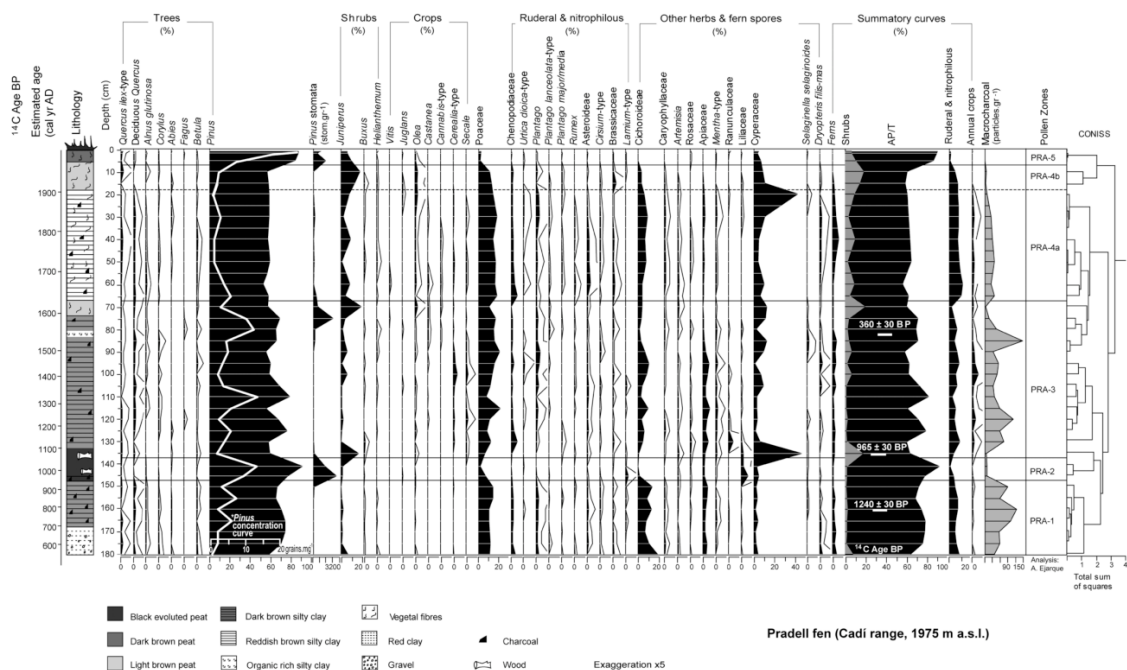


Figura 70. Principals tàxons pol·línics, estomes de *Pinus* i macrocarbons sedimentaris de la seqüència del Pradell. També s'inclou la litologia (extret d'Ejarque *et al.*, 2009).

Fase 2. L'auge medieval en la producció de metalls (del c. 950 al 1100 cal CE). La mineria va ser la principal activitat humana amb el desenvolupament de la indústria del ferro baix medieval als Pirineus. En aquesta època el registre de ciperàcies augmenta i l'aparició sincrònica d'algues (*Spirogyra*, Zygnemataceae, etc.), el protozou *Arcella* i els oòcits de *Neorhabdocoela* són indicatius de l'existència de condicions més humides i eutròfiques (van Geel *et al.*, 1986; Haas, 1996; Wilmshurst *et al.*, 2003). No obstant això, l'aparició del fong micorrízic *Glomus* suggereix que, fins i tot en condicions climàtiques més humides, els nivells freàtics es van mantenir baixos (Chmura *et al.*, 2006). S'observa una recuperació forestal relacionada amb la reducció de les activitats ramaderes i de pasturatge, tal i com també assenyalen la reducció d'herbàcies i els tàxons ruderals i nitròfils, així com la davallada d'espores de fongs copròfils com *Sporormiella* (Davis *et al.*, 2006). En aquesta capa s'observa també una anomalia positiva amb un augment del senyal d'alguns metalls com Fe, Ni, Cr i Cu, probablement com a resultat de l'explotació de les margues pirítiques terciàries que afloren al vessant nord de la serra. L'evidència arqueològica també indica l'establiment des del segle XI CE, de fargues de ferro tardomedievales a l'est dels Pirineus. Aquest episodi mostra una configuració del paisatge molt similar al que trobem actualment a Pradell (Ejarque *et al.*, 2009).

Fase 3. Desenvolupament dels cultius a l'Edat Mitjana amb dues crisis econòmiques i poblacionals entremig (del c. 1100 al 1600 cal CE). La litologia d'aquesta fase evidencia

un augment de l'erosió edàfica. El pol·len arbori està dominat per *Pinus*, amb la presència ocasional del bedoll i l'avet, que desapareix al voltant del 1240 cal CE, mentre que en altituds inferiors dominen els boscos caducifolis. S'observen regressions i expansions dels boscos de l'estatge subalpí en sincronia amb l'augment i la disminució del registre de macrocarbons sedimentaris. En aquest sentit, l'explotació tardomedieval de les pinedes ha sigut documentada arqueològicament a prop del Pradell amb la troballa de dues carboneres datades en c. 1326 cal CE i 1342 cal CE (Euba, 2008). L'expansió dels tàxons herbacis i arbustius mostren un paisatge obert, especialment notable a partir de c. 1400 cal CE. L'aparició de tàxons ruderals i nitròfils suggereixen l'increment d'activitat ramadera en època medieval i moderna. Això estaria en línia amb el desenvolupament de la transhumància lligada a les ordres dels templers des de finals del segle XII CE (Sarobé, 1998). A més, la transhumància tardomedieval està ben documentada a la banda oriental dels Pirineus, amb un registre arqueològic i palinològic del seu impacte ambiental a gran altitud a la Cerdanya (Jalut, 1974; Rendu *et al.*, 1995; Galop, 1998; Rendu, 2003). Entre els anys c. 1138 i 1490 cal CE es registra un important desenvolupament de les activitats agrícoles, principalment de cultius cerealístics com el sègol i que ha estat relacionat amb la transició cap al feudalisme documentat als Pirineus catalans des de el segle X CE. Aquest procés portarà associat un increment de la població i de la necessitat de terres disponibles per l'agricultura (Bonnassie, 1979; Salrach, 2004; Ejarque *et al.*, 2009).

Tot i l'expansió dels conreus en aquesta època, el palinograma registra dues fases de regressió de l'activitat antròpica i de recuperació forestal. La primera fase data d'entre l'any c. 1240 i 1380 cal CE amb un mínim percentual de cereals i de sègol, a on també davallen les poàcies, les cicoriòidies i *Plantago*, el que suggereix una menor pressió ramadera. Aquest primer episodi podria estar relacionat amb la crisi demogràfica global que afectà tot Europa des de 1348 CE amb l'arribada de la pesta negra. El pic percentual màxim de *Pinus* es registra l'any c. 1329 cal CE. El segon event a on els cereals cauen al seu mínim i són reemplaçats pel cultiu d'olivera, castanya i cànem, es dona entre c. 1530 i 1580 cal CE, coincidint amb la darrera recuperació de bosc de *Pinus* a la zona i a la caiguda dels valors de macrocarbons (Ejarque *et al.*, 2009).

La reducció de les activitats econòmiques humanes i la recuperació del bosc ha sigut observada a altres àrees dels Pirineus en aquest moment (Galop *et al.*, 2003; Mazier *et al.*, 2009). Aquest declivi de les activitats antròpiques podria tenir a veure amb la Petita Edat del Gel, una fase freda registrada per liquenometria entre c. 1490 i 1580 CE a la vall del Madriu (Mateo *et al.*, 2004). També ha sigut registrada una davallada a les temperatures estivals a sèries dendroclimàtiques (Büntgen *et al.*, 2008). Tot i aquesta

regressió de les activitats humanes hi ha evidència del manteniment d'algunes activitats ramaderes a l'àrea com la del Goleró datada en c. 1568 cal CE (Figura 71). Els nivells de Ni, Co i Cr estableixen un pic en c. 1520 cal CE i una esclarissada forestal es registra entre c. 1400 i 1530 ka cal BP. Els autors ho relacionen amb l'establiment ben documentat de dues fargues a la vall de La Vansa entre 1495 i 1500 CE (Madurell, 1952). Una carbonera datada en el 1542 ± 90 CE, corrobora l'explotació de pi (Euba, 2008) per abastir de carbó les fargues de ferro locals (Ejarque *et al.*, 2009).



Figura 71. Fotografia del forn 43 al Goleró (Serra del Cadí, La Vansa-Fórns) (extret de Palet *et al.*, 2006).

Fase 4. Cap a un sistema socioeconòmic d'alta muntanya més complex i intensiu (del c. 1600 al c. 1900 cal CE). Aquesta fase s'inicia amb un augment de la matèria orgànica, fet que indicaria una major i més estable columna d'aigua, probablement per unes condicions climàtiques més humides (Riera *et al.*, 2004). També s'ha detectat una anomalia geoquímica a l'any 1620 cal CE en metalls com Pb, Cd, Cu, Co i Ca, fet que suggereix l'existència d'activitat metal·lúrgica lligada, probablement, a les fargues datades el 1627 CE documentades a La Vansa (Gascón, 2009) i d'altres situades en valls adjacents. A partir d'aquest moment decauen els valors d'elements metàl·lics al sediment, el que fa pensar en un progressiu abandonament de l'activitat minera, des de la primera meitat del segle XVII CE, degut a l'esgotament de la veta de mineral de ferro. Destaca el petit pic aïllat de Cr i Ni datat l'any c. 1780 cal CE, consistent amb l'arribada de cendres volcàniques de l'erupció del volcà islandès Laki entre 1783 i 1784 (Stothers, 1996; Guilbaud *et al.*, 2007; Ejarque *et al.*, 2009).

En aquesta època es registra un retrocés de la coberta forestal i una expansió herbàcia i arbustiva (especialment *Juniperus*). L'increment dels tàxons ruderals i nitròfils indicarien una extensió ramadera i del pasturatge, corroborat per l'increment d'espores de fongs copròfils com *Sporormiella*, *Cercophora* i *Podospora*. Aquesta recuperació de les activitats agro-ramaderes es constata a partir del c. 1600 cal CE amb un augment de la població i de la prosperitat (Vilar, 1987; Gual, 2008). També existeix registre arqueològic de nombroses estructures de pastor i ceràmica als jaciments del Pradell i el Goleró (Palet *et al.*, 2006; Ejarque *et al.*, 2009).

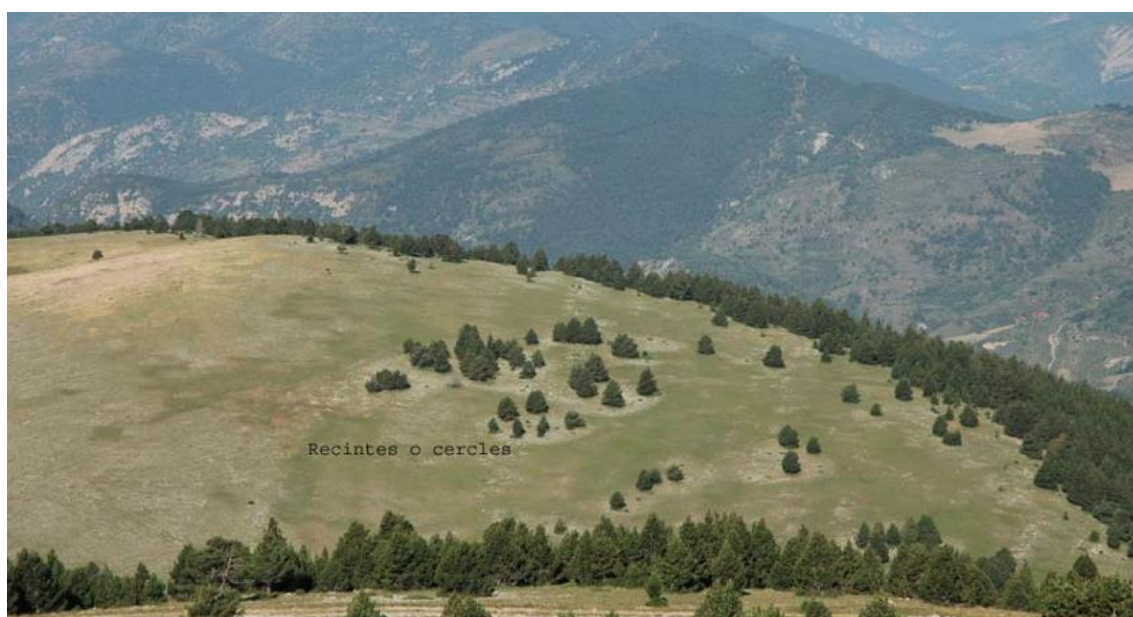


Figura 72. Vista aèria dels recintes o “cercles” preromans del jaciment del Goleró (La Vansa-Fórns), de funció desconeguda (extret de Palet *et al.*, 2006).

Durant la segona meitat del segle XVIII CE s'observa un canvi en l'abundància i composició del NPPs, amb un retrocés d'espores de fongs copròfils, dels tàxons ruderals i nitròfils i dels cultivars com *Olea*, castanyers, cereals i *Secale*. Aquest moment registraria el període de recessió econòmica històricament documentat a Catalunya i a Espanya, també reflectida en la davallada poblacional (Vilar, 1987; Ferrer, 2008). Aquests canvis tenen lloc simultàniament amb un període fred associat a la LIA (Creus *et al.*, 1999). Des de finals del segle XVIII CE es torna a observar un repunt dels indicadors antròpics, suggerint una nova intensificació de les activitats a la muntanya, amb un pic el c. 1860 cal CE. Al Goleró existeix evidència de tres tancats datats entre c. 1770 i 1810 cal CE. Tot i que el registre de macrocarbons sedimentaris es manté baix durant tota la fase, la tendència es reforça des del c. 1830 cal CE. Això podria estar relacionat amb l'explotació forestal que fa la Marina reial espanyola durant el darrer quart del segle XVIII CE i la prohibició general de les carboneres i l'extracció de fusta (Pèlachs, 2004). Al final de la fase també es constata un declivi dels cultivars, coincidint amb un

abandonament progressiu dels espais d'alta muntanya (Sabartés, 1998; Ejarque *et al.*, 2009)

Fase 5. El progressiu abandonament humà dels espais de muntanya (del c. 1900 al 1963 cal CE). Al llarg del segle XX CE es registra un augment dels metall associat a l'increment de la industrialització a la zona. El plom arriba als seus màxims just abans de la introducció de la benzina sense plom. Durant aquestes dècades es mantenen els paisatges oberts a l'alta muntanya (baixos valors de pins) mentre que en cotes inferiors també declinen les rouredes. *Juniperus* colonitza aquests espais oberts indicant un progressiu abandonament de les pastures, tal i com també apunten els indicadors ramaders (ruderals, nitròfils i copròfils). És l'inici de la recuperació forestal a l'alta muntanya (Sabartes, 1998) en un context d'escalfament climàtic (Büntgen *et al.*, 2008).

Fase 6. El retorn del bosc i la protecció legal com a Parc Natural Cadí-Moixeró (des de 1963 CE fins a l'actualitat). A la part superior de la seqüència estudiada la geoquímica continua indicant la contaminació per metalls degut a les activitats industrials. Una forta recuperació del bosc de l'estatge subalpí es registra (valors més alts de pol·len i estomes de *Pinus*) com a conseqüència de l'abandonament agropecuari. Aquest procés ha estat especialment dramàtic a aquesta zona pirinenca amb l'abandonament dels nuclis habitats, que han perdut el 90% de la seva població al llarg del segle XX CE (Sabartes, 1998). La recuperació forestal també té molt a veure amb l'establiment i preservació d'aquesta zona com a Parc Natural des del 1983 (Ejarque *et al.*, 2009).

2. ÀREA D'ESTUDI.

Geogràficament, els Pirineus són la serralada més septentrional de la península Ibèrica i conformen el punt d'unió amb la resta del continent europeu. Les dimensions dels Pirineus geogràfics o Pirineus ístmics són d'uns 600 km de llargada –la distància que hi ha entre el golf de Biscaia, al mar Cantàbric i el cap de Creus, ja a la Mediterrània– i uns 250 km d'amplada a la transversal que va des de Balaguer (La Noguera) fins a Saint Giron (L'Arieja). Al sud de la serralada es troba la depressió de l'Ebre, i al nord la de la Garona (Figura 73).



Figura 73. Imatge de satèl·lit dels Pirineus presa el 18 de gener de 2002. Font: MODIS.

El punt culminant dels Pirineus és el pic d'Aneto amb 3404 m d'altitud, situat entre la Ribagorça i la Val d'Aran. Hi ha un total de 129 pics principals i 83 secundaris per damunt dels 3000 m, repartides en onze zones (*Centre de Suport Territorial CST, ICGC*).

La torbera dels Clots de Rialba es localitza en les immediacions del Parc Natural de l'Alt Pirineu (PNAP). El PNAP és un parc natural creat per la Generalitat de Catalunya l'1 d'agost del 2003 entre les comarques del Pallars Sobirà i l'Alt Urgell. Va ser ampliat al juliol de 2018, passant de 69850 ha a 79317 ha. És el més extens de Catalunya i representa el 63% del territori total del Pallars Sobirà. El territori del Parc s'estén pels municipis d'Alt Àneu, La Guingueta d'Àneu, Esterri d'Àneu, Alins, Esterri de Cardós, Farrera, Lladorre, Llavorsí, Rialp, Soriguera, Sort, Tírvia i Vall de Cardós al Pallars Sobirà; i les Valls de Valira i Montferrer i Castellbò, a l'Alt Urgell (Parcs Naturals, Gencat) (Figures 74 i 75).



Figura 74. Imatge de la topografia dels Pirineus a partir d'un model digital del terreny (SRTM90) de resolució 90 m; l'escala de color proporciona l'alçada. Les línies de contorn indiquen l'alçada mitjana calculada al voltant de cada píxel i dins una cel·la de 30 km de diàmetre, és a dir, a la mateixa escala que el gruix de l'escorça. Estany de la Bassa, al PNAESM (marcador vermell) i els Clots de Rialba, al PNAP (marcador negre).

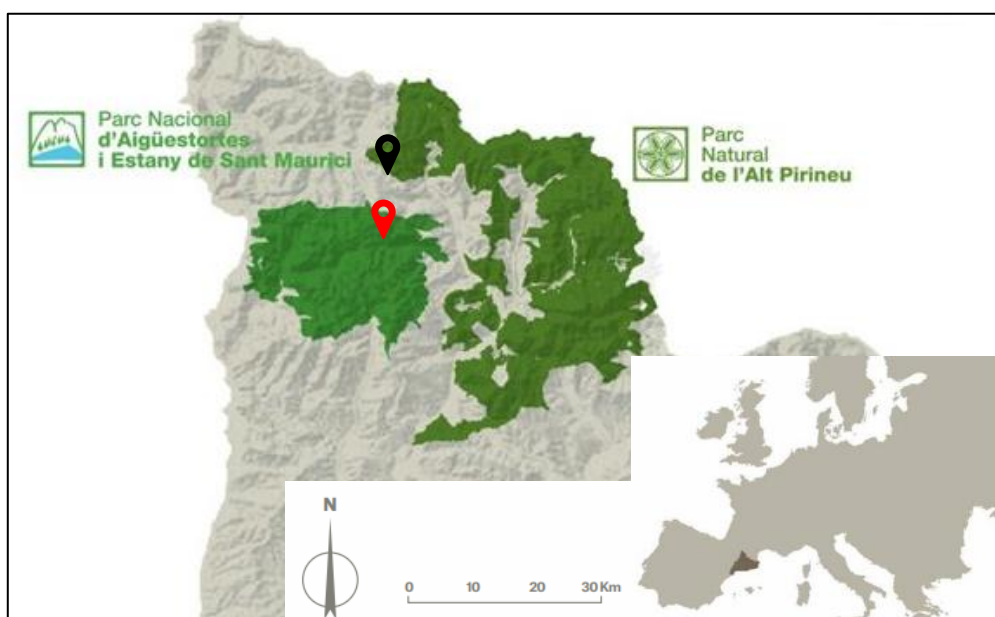


Figura 75. Localització de les dues torberes estudiades. Estany de la Bassa, al PNAESM (marcador vermell) i els Clots de Rialba, al PNAP (marcador negre) (modificat de la Guia dels Parcs Naturals de Catalunya, parcsnaturals.gencat.cat).

La torbera de l'Estany de la Bassa es localitza a l'interior del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNAESM). El PNAESM és actualment l'únic parc nacional que hi ha a Catalunya. Administrativament està dividit entre les comarques

de l'Alta Ribagorça, el Pallars Sobirà, la Vall d'Aran i el Pallars Jussà. Fou declarat parc nacional el 21 d'octubre de 1955, el segon parc nacional dels Pirineus després del d'Ordesa i Mont Perdut. Amb una superfície total de 41852 ha, és el tercer espai protegit més gran de Catalunya i el cinquè parc nacional més gran d'Espanya. Es situa a l'extrem oriental del batòlit granític de la Maladeta. S'estén al llarg de l'interfluví de la Noguera Pallaresa a la capçalera de la Noguera Ribagorçana.

En aquest sector de la serralada els cims se situen entre els 2700 i 3025 m d'altitud i hi ha desnivells interns que poden arribar fins als 1700 m, encara que la gran majoria del territori es troba per damunt dels 1500 m d'altitud, valls incloses. El relleu és abrupte i rocós, amb diferències segons si el substrat és granític o d'esquists, i modelat per l'acció glacial al llarg del Quaternari (Montserrat, 1992; Soler *et al.*, 1995).

2.1. Geologia.

Geològicament, els Pirineus són una serralada de plegament alpina situada entre els paral·lels 42° i 43° de latitud nord, amb més de 400 km de longitud i uns 150 km d'amplada. Són el resultat de la deriva continental de la placa Ibèrica durant el Mesozoic i la seva col·lisió final amb la placa Europea entre fa 83 i 20 Ma BP, procés que va empènyer i va aixecar els materials sedimentaris preexistents des de fa 540 Ma BP i que han acabat configurant aquestes muntanyes.

La col·lisió entre les dues plaques va generar a l'àrea pirinenca sistemes de plecs i mantells de corriment que van deformar els materials de la zona (CST Pirineus, ICGC). El moviment d'aquestes plaques, encara actiu, es manifesta en l'actualitat en una moderada sismicitat (Barnolas, 2004). A la part central de la serralada es va formar un "apilament antiformal de mantells de corriment" (Orri, Rialp i Nogueres) constituït majoritàriament per roques antigues del Paleozoic. Aquesta part de la serralada es coneix geogràficament com a "zona axial". Als flancs de la serralada de plegament hi ha dues conques d'avantpaís: la conca d'Aquitània, situada al peu del vessant nord, i la conca de l'Ebre, al peu del vessant sud (CST Pirineus, ICGC).

Al sud de la zona axial, els Pirineus centrals són més baixos però el relleu és molt vigorós. Constitueixen el que geogràficament es coneix com a Prepirineu. Amb una disposició de llevant a ponent, paral·lelament a la direcció de la serralada, s'identifiquen unes estructures tectòniques anomenades "mantells superiors sud-pirinenecs" i estan formats bàsicament per roques del Mesozoic i del Paleogen, més joves que les de la zona axial. Aquestes estructures tectòniques consisteixen en tres làmines encavalcants

principals que, de nord a sud, s'anomenen Bóixols, Montsec i Serres Marginals, i són equivalents de les làmines encavalcants dels mantells del Pedraforca, als Pirineus orientals.

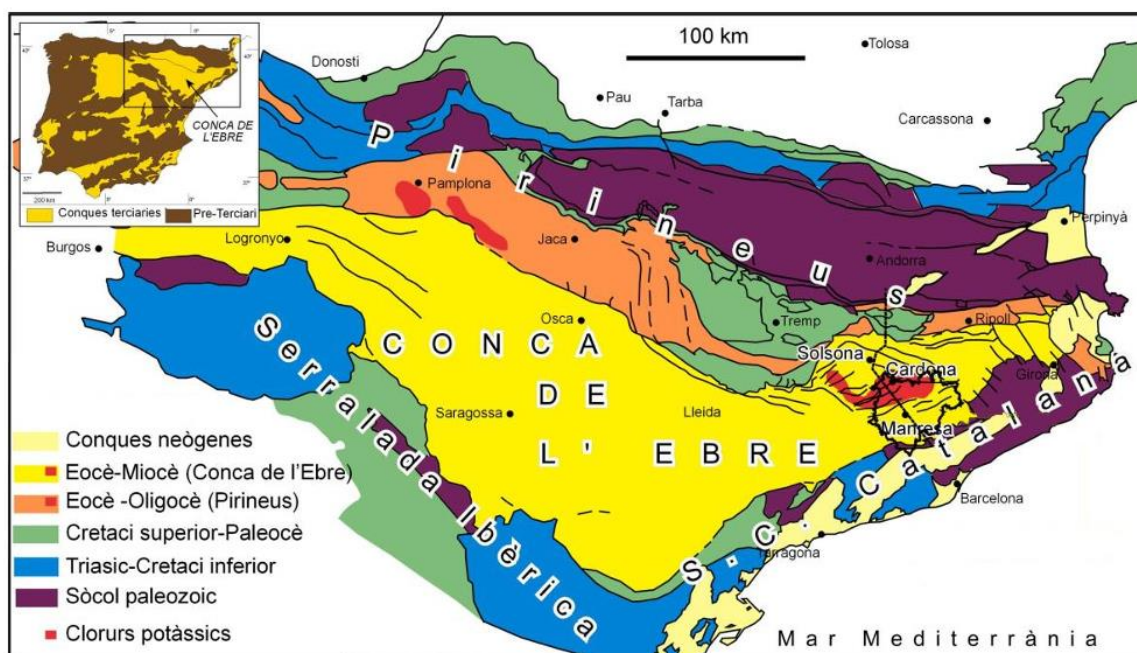


Figura 76. Mapa geològic esquemàtic dels Pirineus, indicant la distribució de les principals unitats litològiques i estructures tectòniques. ZNP: Zona Nordpirinenca (Modificat de Vergés, 1993).

Les roques que formen els mantells superiors sud-pirinenecs són els antics fangs, sorres i grava que s'havien dipositat a les conques sedimentàries que hi havia al que avui és l'àrea pirinenca, quan gairebé tota ella es trobava per sota del nivell del mar. Això passava durant el Mesozoic i una part del Cenozoic. En aquestes roques sedimentàries s'han conservat les restes dels animals i de les plantes que hi vivien juntament amb els antics sediments que s'hi van anar dipositant al llarg de 165 Ma, ara transformats en roques. Les característiques geològiques més acusades són la dissimetria dels vessants en sentit transversal, és a dir que el seu desnivell és molt més pronunciat al costat nord que al sud, i la dissimetria en sentit longitudinal: baixa suaument fins al Cantàbric i de forma més abrupta cap al Mediterrani (Soler, 1995) (Figura 76).

El nucli central del PNAESM és format per una gran massa de roques granítiques d'uns 300 Ma d'antiguitat, que gràcies a les forces de la tectònica per una banda i a l'erosió per l'altra, van aflorar a la superfície. Aquestes roques estan envoltades per d'altres d'origen sedimentari, pissarres i calcàries principalment, que van sofrir processos de metamorfisme i plegament durant el Paleozoic i que ocupen els extrems del parc. Molt més tard, durant l'orogènia Alpina, les forces causants de la formació

definitiva dels Pirineus, van tornar a treballar sobre aquests mateixos materials que van experimentar més deformacions i importants fractures que van incidir d'una manera molt important en la formació incipient del relleu actual (Soler, 1995) (Figura 77).

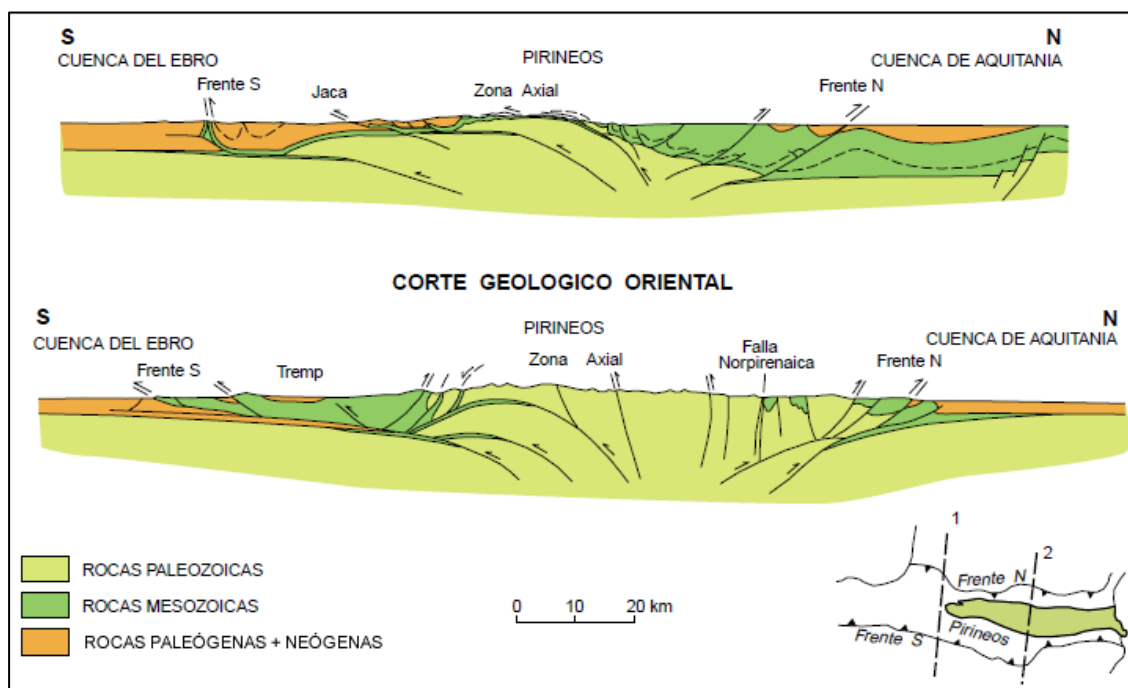


Figura 77. Talls geològics que travessen la serralada pirinenca completa a través de la part central. Aquests tallats abasten únicament la part superior de l'escorça, sector l'estructura del qual podem deduir amb fiabilitat raonable a partir de les observacions de superfície i de sondejos, i es basen en els treballs de nombrosos geòlegs d'ambdós costats dels Pirineus (Extret de Teixell, 2000).

2.2. Relleu i geomorfologia.

El relleu dels Pirineus està constituït per un conjunt de formes relacionades amb processos geomorfològics quaternaris i per nombroses formes antigues heretades. La geomorfologia del PNAESM té el seu màxim exponent en les formes de modelat del relleu producte de les glaceres durant les glaciacions quaternàries. L'acció erosiva d'aquestes importants masses de gel, que van ocupar un gran nombre de valls pirinenques, es fa especialment evident en aquest espai natural. A mode de resum podem afirmar que el relleu actual dels Pirineus és el resultat de tres períodes o etapes de morfogènesi amb processos i formes de modelatge característiques (Bordonau, 2006).

En primer lloc existeix un modelat producte de l'alteració i l'erosió del substrat rocós, produït a finals del Terciari, en el que s'observa un llarg període erosiu d'edat clarament posterior a la formació de la serralada i anterior a les èpoques fredes quaternàries.

Durant aquest període es van desenvolupar extenses superfícies d'aplanament, amb clares superfícies d'erosió truncades (Figura 78), i es va estructurar la xarxa hidrogràfica que, amb nombrosos i importants retocs posteriors, perdura fins a l'actualitat (Bordonau, 2006).



Figura 78. Foto de la superfície d'aplanament terciari del Pla de Boldís – Montarenyo des del Monteixo (vessant est) (Extret de Cunill, 2007).

En segon lloc s'ha produït un modelatge glacial, resultat de la potent acció erosiva i sedimentària de les glaceres quaternàries, caracteritzat per l'alternança d'episodis glacials i interglacials. El modelatge glacial és molt evident als sectors més elevats dels Pirineus, amb la presència grans circs glacials a les capçaleres de les valls que retallen les antigues superfícies d'erosió, de pics punxeguts i crestes, de nombrosos estanys de sobreexcavació a la roca i de valls d'origen glacial que redibuixen els perfils de les antigues valls fluvials terciàries (Bordonau, 2006).

Finalment, s'observa un modelatge molt recent, generat per processos fluvials, periglacials, de vessant, etc., similars als actuals, que van actuar durant els successius períodes glacials i que han perdurat durant l'actual període interglacial (Holocè). Després de la desaparició de les glaceres dels Pirineus (exceptuant les poques que encara persisteixen als massissos més elevats, per sobre dels 3000 metres d'altitud), diversos processos geomorfològics que encara són funcionals van retocar, i retoquen, el relleu d'origen glacial donant lloc al paisatge actual (Figures 79 i 80). Entre aquests processos destaca la dinàmica periglacial (gelifracció), la dinàmica nival representada per les allaus, les dinàmiques fluvial i torrencial que generen planures al·luvials i cons de dejecció i, finalment, els moviments de massa que afecten els vessants pirinencs (Bordonau, 2006).



Figura 79. Circ i lln de Cregüeña, al massís de la Maladeta, vistos des del Collado Maldito (extret de Bordonau, 2006).



Figura 80. Vall d'Ordesa, al Parc Nacional d'Ordesa i Mont Perdut. Exemple magnífic de vall en forma d'U, característica del modelat glacial, excavat sobre el substrat calcari (extret de Bordonau, 2006).

2.3. Glaciarisme als Pirineus.

En els moments culminants del darrer màxim glacial o *Last Glacial Maximum* (LGM), la línia d'equilibri glacial, és a dir, la línia que separa les zones d'acumulació i d'ablació d'una glacera, es situava uns 1000 metres per sota la cota actual (que es troba als 3000 metres d'altitud). Per aquest motiu, una part molt important dels Pirineus estava ocupada permanentment per gel, amb extenses plataformes i grans circs glacials als sectors més elevats, que alimentaven llargues llengües glacials que fluïen per les valls.

Els materials erosionats i transportats per les glaceres es van acumular formant les morenes, que poden ser frontals, situades al capdavant de la glacera i que permeten determinar la màxima extensió assolida per la llengua, o laterals, situades al marge i que permeten determinar el gruix de gel de la llengua (Figura 81).

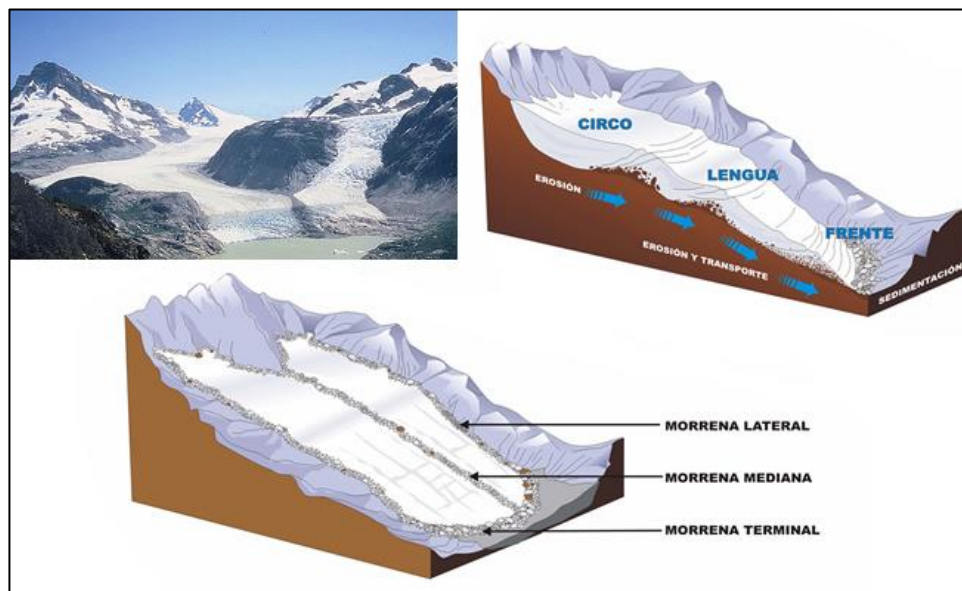


Figura 81. Principals elements d'una glacera de vall. Font: Banc d'imatges de CNICE.

Al vessant septentrional dels Pirineus, les principals llengües glacials arribaven a cotes relativament baixes, inferior als 400 m, i formaven extensos lòbuls de peu de muntanya a la conca d'Aquitània. Les quatre glaceres principals eren les de l'Ariège, la Garona, Gave d'Ossau i Gave de Pau i tenien unes longituds respectives d'uns 52, 66, 38 i 52 km. Al vessant meridional dels Pirineus, les glaceres tenien una longitud menor: uns 35 km les del Gállego, de l'Esera i de la Gran Valira; poc més de 25 km les de la Noguera Ribagorçana i del Querol, i d'uns 50 km per a la glacera de la Noguera Pallaresa, la més extensa de totes (Bordonau, 2006).

La dissimetria a les glaceres dels dos vessants dels Pirineus es pot explicar atenent al contrast orogràfic (el vessant nord dels Pirineus és molt més abrupte que el vessant sud), al diferent grau d'insolació i, finalment, a les majors precipitacions registrades a la vessant nord dels Pirineus, més exposada a les borrasques atlàntiques, en relació amb les del vessant sud, més seca i amb més influència mediterrània (Calvet, 2004; Bordonau, 2005, 2006).

Un tema molt debatut és l'edat del darrer màxim glacial al Pirineu. Tradicionalment s'ha acceptat el rang situat entre 70 i 40 ka BP, el que implicava un clar diacronisme respecte al LGM a nivell global, establert entre els 18 i 20 ka BP (Gillespie i Molnar, 1995). Estudis posteriors que han analitzat i datat amb ^{10}Be sediments morrènics,

superfícies erosives i blocs erràtics de la vall de l'Alta Noguera Ribagorçana, suggereixen que les condicions pleniglacials associades al LGM podrien haver tingut lloc durant un període més recent però més llarg entre 30 i 20 ka BP del que s'assumia generalment i que el podria incloure diverses fluctuacions glacials registrades de manera irregular en diferents valls. La desglaciació està representada en aquest estudi per una sèrie de morenes dipositades entre uns 13,7 i 10,1 ka BP, en part correlacionat amb l'estadi 1 de Groenlàndia (el *Younger Dryas*) i suggereix que aquesta podria haver continuat durant l'inici de l'Holocè (Pallàs *et al.*, 2006). Després dels moments culminants de la darrera glaciació descrits fins ara, va tenir lloc un procés generalitzat de retrocés de les glaceres fins a la seva total desaparició (exceptuant els pocs que encara persisteixen als massissos més elevats). De totes formes, aquest període de retrocés es va veure interromput per alguns períodes, de curta durada, d'estabilització i fins i tot de lleuger avenç del gel, evidenciades per diverses morenes frontals i laterals, generalment molt ben conservades (Bordonau, 2005 i 2006).

En 2022 només quedaven 18 glaceres al Pirineu, amb una superfície total de 170 ha, de les que únicament 9 tenen moviment propi i poden ser considerades glaceres com a tal. La resta són simplement geleres permanents de reduïdes dimensions. Es concentren en els massissos més elevats dels Pirineus centrals i són, de major a menor superfície, les glaceres de Maladeta – Aneto, Gavarnie – Mont Perdut, Perdiguero, Vignemale, Posets, Balaitús, Infernos, Munia, i Mont Valier. Totes elles es troben per sobre dels 2700 metres, confinades als circs envoltats per pics de més de 3000 metres d'altitud. La majoria d'aquestes glaceres presenten uns cordons morrènics frontals i laterals, amb la morfologia perfectament conservada, separats alguns centenars de metres dels fronts actuals i que corresponen a la darrera pulsació freda que va afectar els Pirineus, coneguda a nivell global com la Petita Edat del Gel, que va tenir lloc entre els segles XIV i XIX CE (Bordonau, 2005, 2006).

La disminució de la massa de gel ha assolit un ritme incontrolable en els darrers anys. Hi havia estimades més de 100 glaceres el 1850, 39 el 1984, 21 el 2020 i 18 el 2022, corresponents a una superfície de 20,6 km² l'any 1850, 8,10 km² el 1984, 2,3 km² el 2020 i 1,7 km² el 2022, que representen una pèrdua del 92 % de la superfície glacial des del final de la Petita Edat de Gel (Vidaller *et al.*, 2023). La glacera del Mont Perdut perd, de mitjana, un metre de gruix anual i podria desaparèixer en 20 o 30 anys (Figura 82). Un estudi recent amb fotogrametria i teledetecció confirma que durant el període 1981 a 2022, la superfície de la glacera de Maladeta – Aneto va disminuir un 64,7 %, passant de 135,7 ha a només 48,1 ha, i el seu front ha retrocedit dels 2828 als 3026 m

d'altitud (Vidaller *et al.*, 2023) (Figura 83). La completa extinció de les glaceres del Pirineu és molt a prop.



Figura 82. Imatge de la glacera del Mont Perdut al 1981 i al 2017. Font: Observatori Pirinenc de Canvi Climàtic.



Figura 83. Imatge del Pic d'Aneto i de la glacera de Maladeta – Aneto al 2020. Font: Diari El País.

2.4. Clima.

La proximitat i l'altitud similar de les dues torberes permeten parlar d'unes condicions climàtiques semblants. El clima és d'alta muntanya caracteritzat per hiverns llargs i rigorosos, on la neu hi és present una bona part de l'any i les temperatures davallen fàcilment per sota dels 0 °C. Els estius, per contra, són curts i amb temperatures suaus, fins i tot fredes a les nits. Durant els dies més calorosos de l'estiu és freqüent el creixement de núvols d'evolució diürna que poden descarregar forts aiguats i donar lloc a tempestes amb aparell elèctric de manera més o menys habitual.

Segons la classificació climàtica de Köppen-Geigen (Figura 89), les zones estudiades correspondrien a un clima de tipus D (continental o microtèrmic, típic de climes extrems d'altitud, caracteritzat per hiverns molt freds, amb la temperatura mitjana

del mes més càlid superior a 10 °C i la del mes més fred menor de -3 °C i a on les precipitacions excedeixen l'evaporació). Dins del grup D, les subdivisions serien les Dfc i Dsb (Bernabé, 2018):

- **Dfc.** Continental Subpolar sense estació seca.
 - f : precipitacions constants al llarg de l'any, sense període sec.
 - c: mesos amb temperatura mitjana superior a 10 °C són menys de quatre a l'any.
- **Dsb.** Continental hemiboreal mediterrani.
 - s: l'estiu és sec amb un mínim de precipitacions força marcat i coincideix amb el període de temperatures més altes. L'estació més plujosa no és l'hivern.
 - b: l'estiu és suau ja que no s'assoleixen els 22 °C de mitjana al mes més càlid. Les temperatures mitjanes superen els 10 °C almenys cinc mesos cada any.

La climatologia es troba condicionada per diversos factors geogràfics i morfològics, com ara la diferent orientació de les valls, que faciliten l'existència de microclimes diferents: la majoria de fronts i depressions atmosfèriques arriben als Pirineus des de l'Oceà Atlàntic i per tant, les valls obertes al nord i a l'oest presenten una influència oceànica més important que provoca un clima més humit, amb precipitacions més abundants i una major incidència de boires. Els espais que miren a l'est o al sud presenten una clara influència mediterrània, amb climes més secs a l'estiu i precipitacions menys abundants i irregulars.

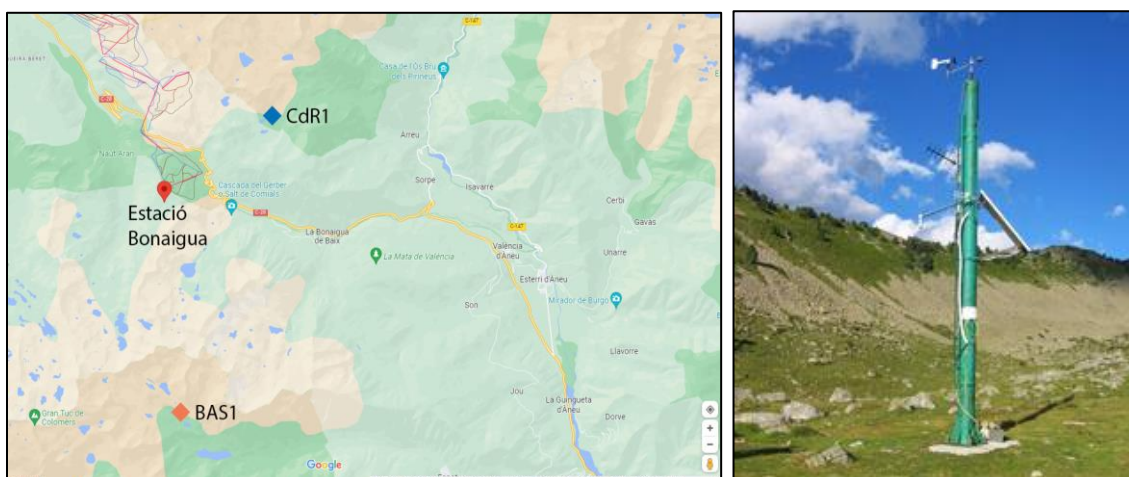


Figura 84. Ubicació i imatge de l'estació meteorològica XEMA Bonaigua (Elaboració pròpia, Google Maps)

A les parts més elevades la precipitació supera els 800 mm anuals, amb una mitjana entre els 1100 i 1300 mm anuals i arribant als 2000 mm anuals a la capçalera de la Vall

A prop de les dues torberes hi ha l'estació meteorològica XEMA (Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques) de Meteocat a la Bonaigua, a 2266 m d'altitud (Figures 84 i 85). El 12 de febrer del 2013, l'estació de la Bonaigua de Meteocat va assolir el gruix de neu més important mai registrat per aquesta xarxa, amb dades des de finals dels segle XX CE, amb 411 cm de neu acumulada a la Bonaigua i amb una temporada de neu que es va tancar el 10 de juliol, la més tardana de tota la sèrie de dades des de la temporada 1997-1998 (Figura 86).

Llegenda: **PPT**, Precipitació mitjana mensual (mm); **TXx**, Temperatura màxima extrema mensual (°C); **TXm**, Temperatura Màxima mitjana mensual (°C); **TMm**, Temperatura mitjana mensual (°C); **TNm**, Temperatura Mínima mitjana mensual (°C) i **TNn**, Temperatura mínima extrema mensual (°C).

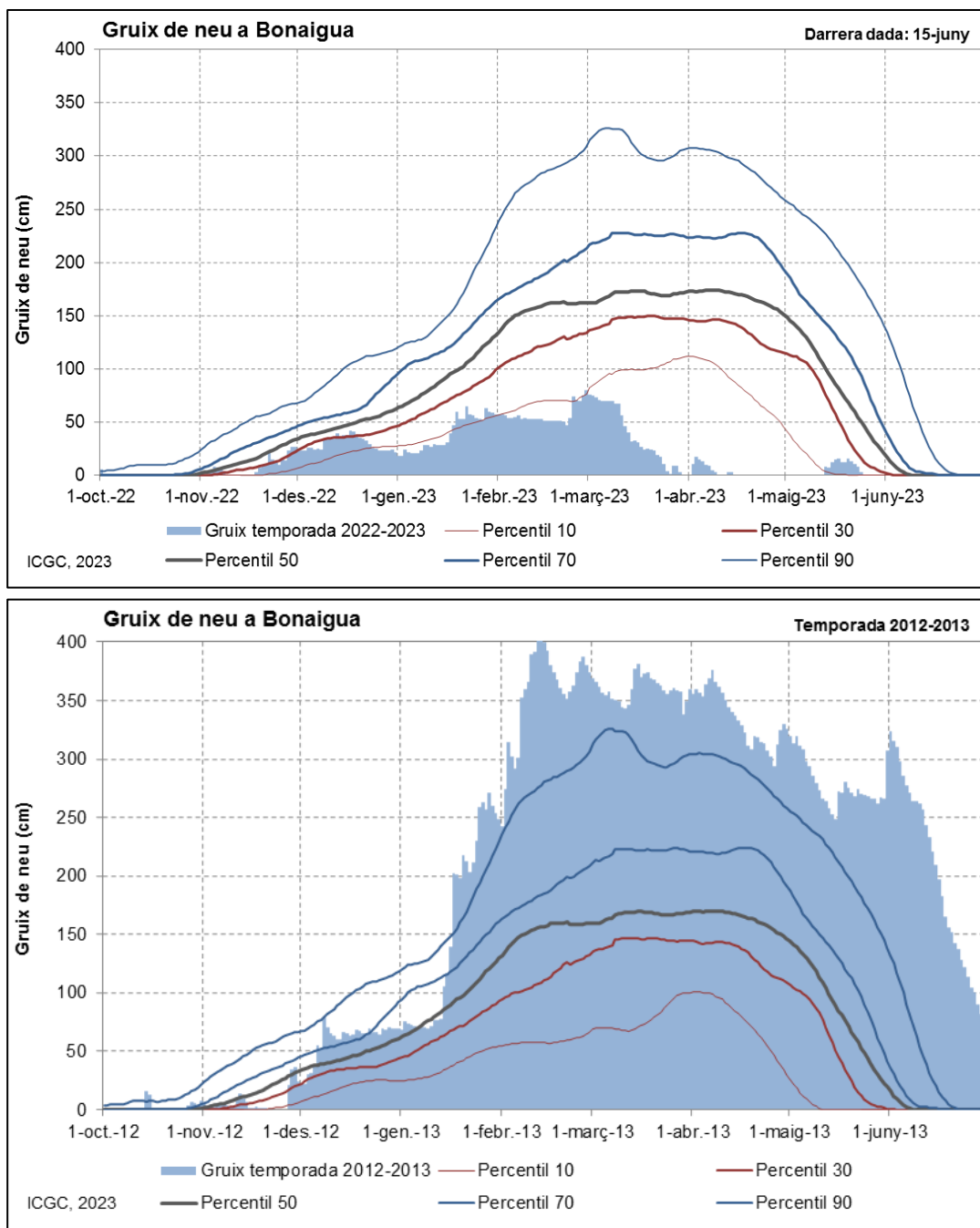


Figura 86. Corba d'innivació anual a l'estació de la Bonaigua. Percentils 10 a 90. Comparativa gruix de neu hivern 2022-2023, amb molt poca neu, amb el 2012-2013, un any rècord. Font: ICGC.

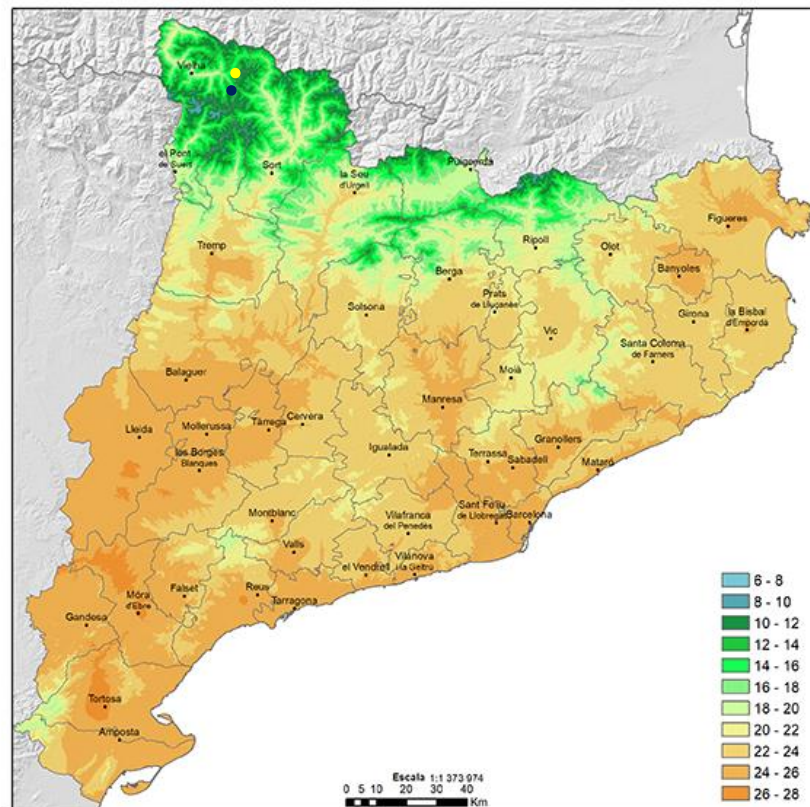
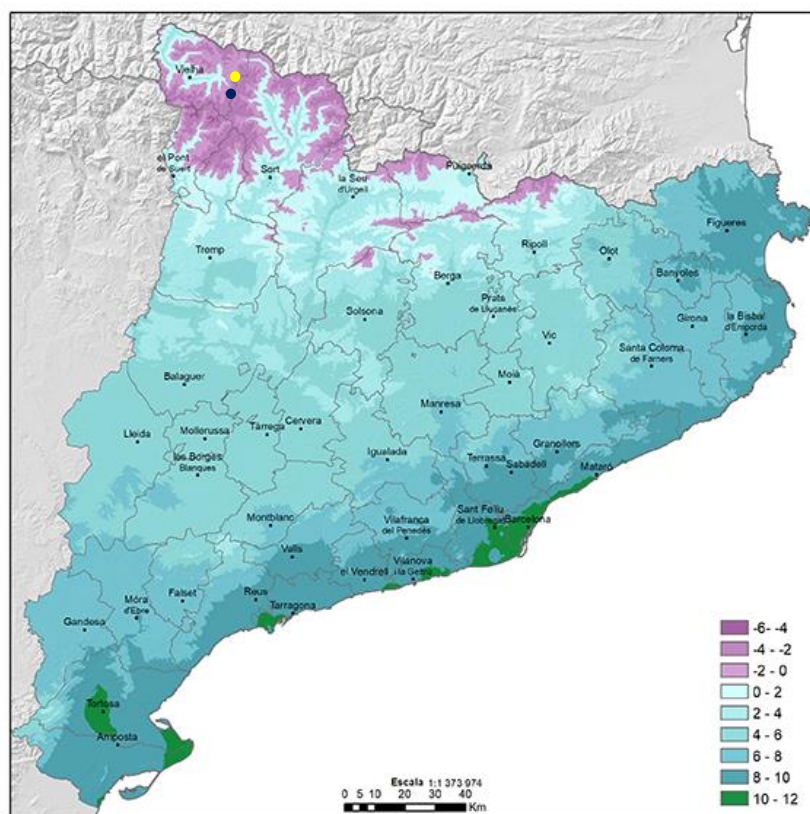


Figura 87. Mapes de Temperatures mitjanes als mesos de gener i juliol. Els punts blaus corresponen a l'Estany de la Bassa, mentre que els grocs corresponen als Clots de Rialba. Font: Atles climàtic de Catalunya. Període 1991-2020. Meteo.cat (SMC).

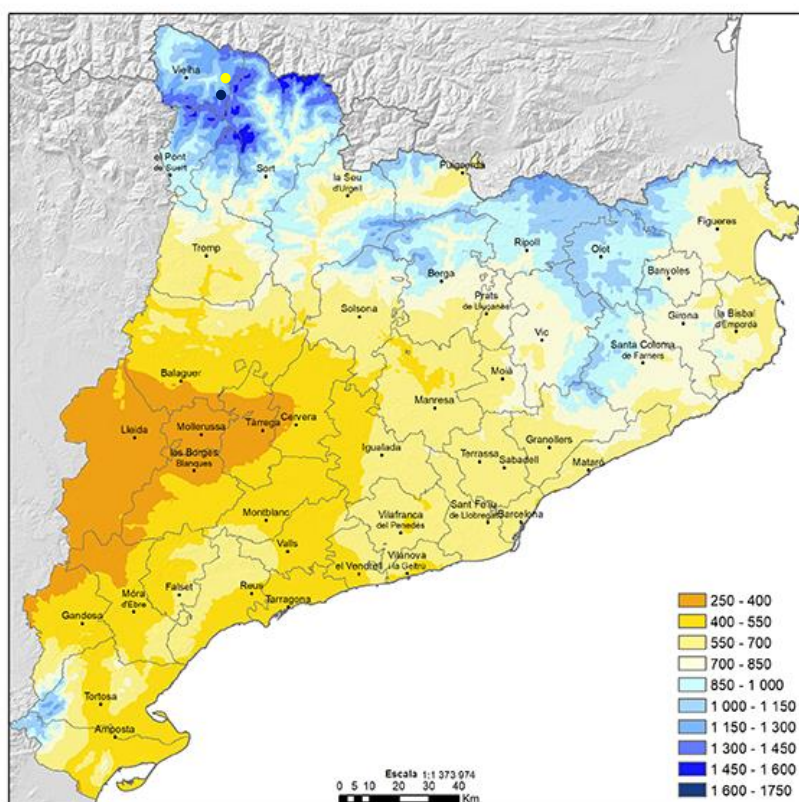


Figura 88. Mapa de Precipitació mitjana anual. El punt blau corresponen a l'Estany de la Bassa, mentre que el punt groc correspon als Clots de Rialba. Font: Atlas climàtic de Catalunya. Període 1991-2020. Meteo.cat (SMC).

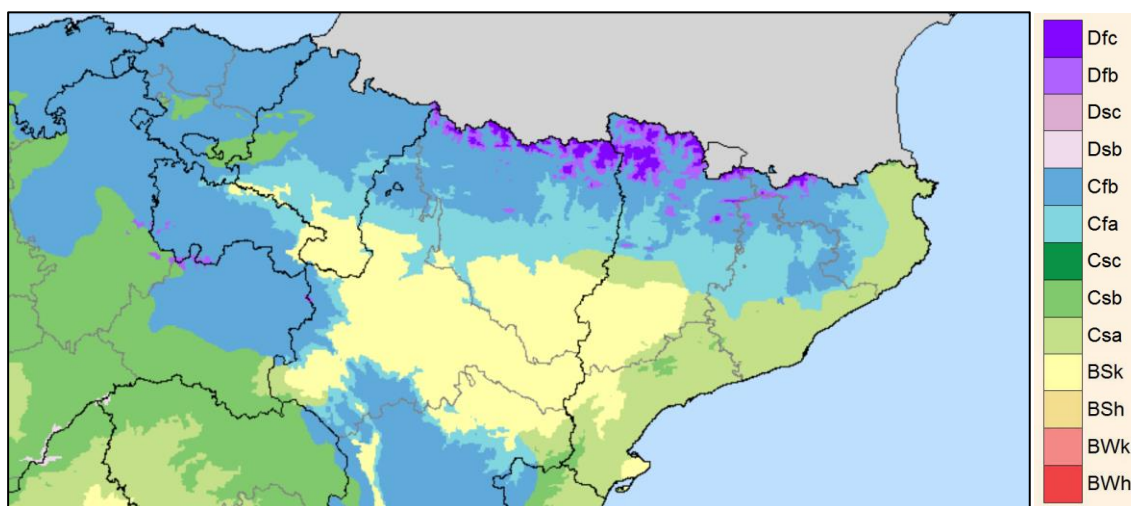


Figura 89. Classificació Climàtica de Köppen-Geiger a la península Ibèrica (1981 – 2010). Les subdivisions de les zones mostrejades corresponen a Dfc i Dsb, explicats al text. Adaptat de: *Mapas climáticos de España* (1981-2010) i ETo (1996-2016), (Bernabé, 2018).

2.5. Vegetació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNAESM) i al Parc Natural de l'Alt Pirineu (PNAP).

Al PNAESM existeix una gran diferència d'altitud entre les parts més altes (3029 m) i les més baixes (1200 m) i això fa que augmenti la biodiversitat existent. L'altitud comporta un descens general de les temperatures. A més, l'orientació i la inclinació determinen la quantitat de radiació rebuda, el règim tèrmic, l'evapotranspiració i la disponibilitat d'aigua de cada comunitat. També la circulació de vents i els contrastos entre solells i obacs originen particularitats climàtiques. Les parts altes dels vessants i les àrees culminants pateixen una erosió constant, mentre que les parts baixes esdevenen zones d'acumulació d'aigua i nutrients. Tots aquests factors fan que en una àrea relativament petita s'hagin trobat un nombre relativament alt d'espècies vegetals (Parcs Naturals de Catalunya, Gencat).

A un nivell més general s'observa una evident zonificació altitudinal: l'increment d'altitud comporta una variació en diversos paràmetres ambientals (temperatures, precipitacions, quantitat i qualitat de sòls, etc.) que es manifesten en certs canvis de vegetació relativament sobtats. Els estats de vegetació són franges que es troben en intervals similars d'altitud, identificables per la vegetació que duen (Parcs Naturals de Catalunya, Gencat):

- **Estatge montà.** Arriba aproximadament fins als 1800 m i és la zona dels típics boscos centreeuropeus amb roure martinenc (*Quercus pubescens*), roure pèrol (*Q. robur*) i roure de fulla grossa (*Q. petraea*) o faig (*Fagus sylvatica*). A les parts més baixes del PNAP encara hi ha una forta influència mediterrània, com indiquen els extensos alzinars de carrasca (*Quercus rotundifolia*) dels solells rocosos però la major part del territori és cobert per vegetació de caràcter eurosiberià o boreoalpi. Al ser la zona més accessible i propera als pobles també ha estat més profundament modificada i moltes vegades el bosc original ha estat substituït per pinedes de pi roig (*Pinus sylvestris*) principalment a les solanes. En els fons de la vall es mantenen prats de pastura o de dall i diferents comunitats arbustives.



Figura 90. Arbres caducifolis de l'estatge montà i subalpí. Esquerra: bedollar de *Betula pendula*. Dreta: detall de la fulla i el fruit de *Corylus avellana*.

- **Estatge subalpí.** Per sobre del montà, arriba fins als 2300 m d'altitud. Aquí trobarem les grans masses forestals del Parc Nacional (Figures 90 i 91): les avetoses (*Abies alba*) que s'estenen per les obagues i no pugen gaire més amunt dels 2000 m d'altitud (algunes avetoses es poden considerar de l'estatge montà, per la composició florística del sotabosc); el pi roig (*Pinus sylvestris*), gens exigent pel que fa al tipus de sòl, que prefereix àrees amb precipitacions superiors als 600 mm anuals. No és exigent pel que fa a la humitat relativa però sí que ho és pel que fa a la humitat del sòl. Per sobre trobem els boscos de pi negre (*Pinus mugo* subsp. *uncinata*) que forma boscos més esclarits amb un sotabosc arbustiu molt important de neret (*Rhododendron ferrugineum*), boixerola (*Arctostaphylos uva-ursi*) i nabiu (*Vaccinium myrtillus*) a les zones més ombrívols, o de ginebró (*Juniperus communis*) i bàlec (*Cytisus oromediterraneus*) als vessants més assolellats. Les canals d'allaus que travessen els boscos o les aclarides fetes per l'home per obtenir zones de pastura (Cunill, 2010, 2013) provoquen l'aparició d'altres comunitats pròpies de successions secundàries, com ara les bosquines de caducifolis com els bedolls (*Betula pendula*) i l'avellaner (*Corylus avellana*) o les clarianes amb

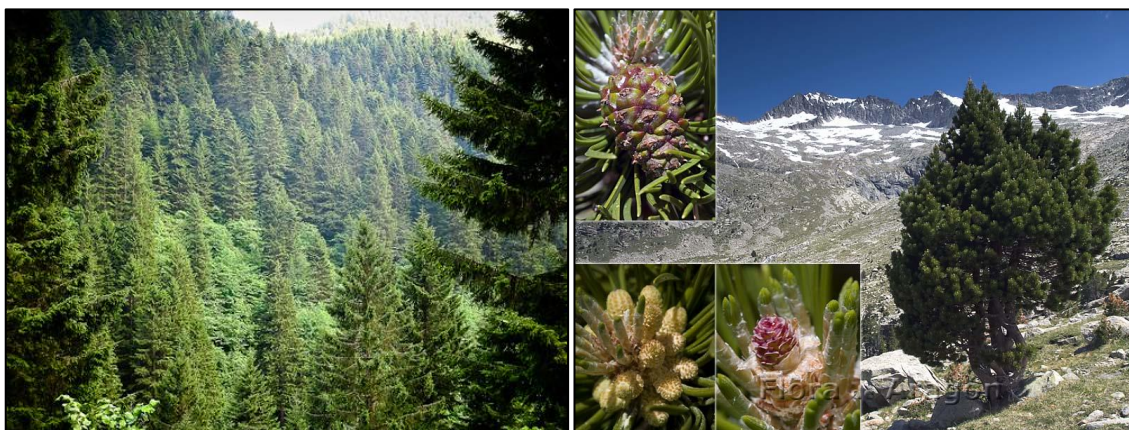


Figura 91. Arbres de l'estatge subalpí. Esquerra: avetosa d'*Abies alba*. Dreta: *Pinus mugo* subsp. *uncinata*.

gerderes (*Rubus idaeus*), l'epilobi (*Epilobium angustifolium*) o didalera (*Digitalis purpurea*). El safrà bord (*Crocus vernus*) o el lliri dels Pirineus (*Iris latifolia*) també es troben en aquesta zona.

- **Estatge alpi.** Per sobre dels 2300 m d'altitud trobem la zona dels prats rasos alpins, que ocupen l'espai on hi ha menys desenvolupament del sòl, amb major coberta de gel/neu, amb major radiació solar, més vent i condicions més fredes a l'hivern, per permetre el creixement de les masses forestals i només poden prosperar algunes espècies herbàcies com els prats de gramínies i arbusts especialment resistents. Aquestes pastures naturals, en indrets granítics amb sols àcids com els que hi ha majoritàriament al Parc Nacional, es troben dominades per prats de Poaceae com el gesp (*Festuca eskia*) i el pèl caní (*Nardus stricta*) dues gramínies molt resistents però amb molt poc valor farratger, o arbusts del gènere *Artemisia*. En aquests prats hi localitzarem nombroses espècies de la flora alpina entre les quals destacaríem la genciana alpina (*Gentiana alpina*), el ranuncle pirinenc (*Ranunculus pyrenaicus*) o la silene acaule (*Silene acaulis*). Encara trobem alguns arbustos com els rododendres, el ginebró nan i el bàlec.



Figura 92. Poaceae de l'estatge alpi. Esquerra: *Festuca eskia*. Dreta: *Nardus stricta*.

- **Estatge subnival.** Alguns autors parlen d'aquest estatge que inclouria les àrees més altes del Parc, generalment crestes rocoses per sobre dels 2700 m, exposades a les inclemències del temps. Les poques plantes que arrelen ho fan en escletxes protegides entre rocs. Un dels exemples d'aquestes petites plantes, relíquies de l'edat del gel, podria ser la *Saxifraga bryoides* (Figura 93).

A part de la variació altitudinal, també són importants els ambients lligats a les zones humides com ara estanys, fonts i molleres. Les plantes adaptades a viure en aquests indrets estan molt especialitzades i es mostren menys influenciades per altres factors

com l'altitud, la precipitació o la temperatura. Algunes d'elles com el ranuncle aquàtic (*Ranunculus aquatilis*) i les orquídiies presenten florides espectaculars. Altres presenten adaptacions ben curioses com l'herba de la gota (*Drosera rotundifolia*) que és carnívora.



Figura 93. *Saxifraga bryoides* a l'estatge subnival. Detall de la flor. Habitant de la tundra àrtica i del PNAESM.

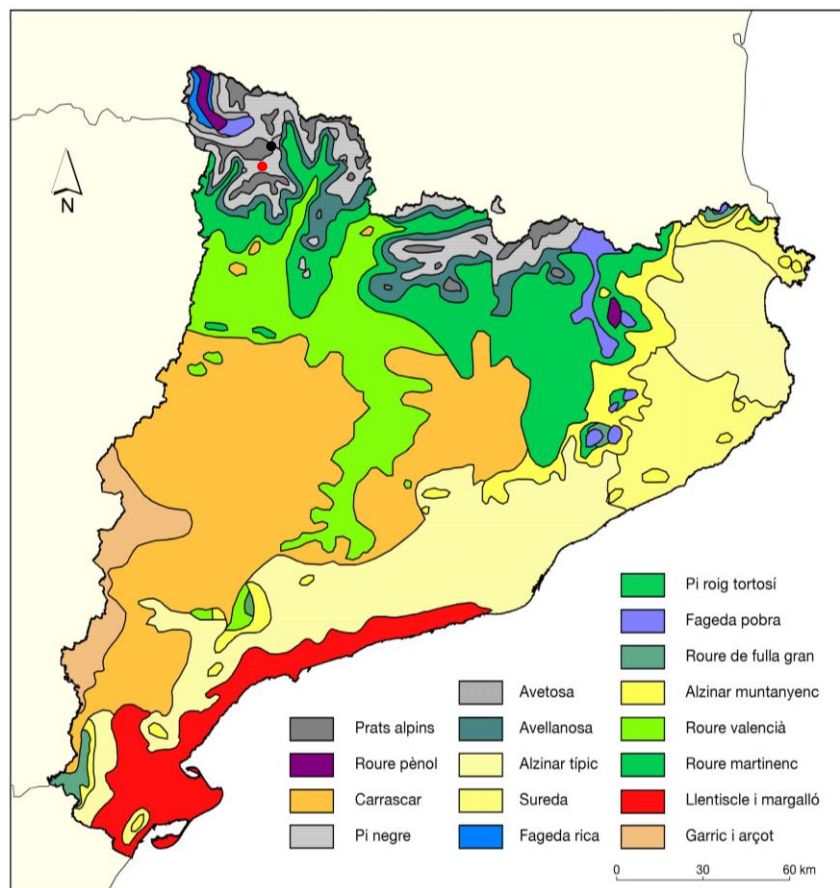


Figura 94. Dominis de vegetació a Catalunya. El punt vermell correspon a l'Estany de la Bassa, mentre que el punt negre correspon als Clots de Rialba. Font: Atlas nacional de Catalunya, ICGC.

La flora del territori volta les 1500 espècies, entre les quals hi ha un bon nombre d'endemismes pirinencs i també plantes singulars per la seva raresa. Tot i que al parc predominen àmpliament les plantes pròpies de terrenys silicis, és molt destacable la

presència a l'Alt Àneu d'un grup d'espècies d'alta muntanya de terrenys calcaris, molt rares en el conjunt de Catalunya. L'exemple més popular d'aquest grup d'espècies és la flor de neu (*Leontopodium alpinum*), que és protegida per llei i hi té bones poblacions. Més notables encara són algunes plantes que tenen al parc l'única població catalana, com l'espècie aquàtica *Hippuris vulgaris*, o que gairebé no es fan enlloc més dels Pirineus, com *Matthiola valesiaca*.

Tot i que la fusta dels boscos de la zona ha estat tradicionalment aprofitada i no resta cap bosc que pugui ser qualificat de verge, sí que n'hi ha algunes taques especialment madures que tenen caràcters de bosc vell, com els boscos de Cireres i Àrreu (Alt Àneu) o el d'Arcalís (Alins-Àrreu). L'únic arbre actualment catalogat com a monumental és l'Avet del Pla de la Selva (Alins, 1688 metres d'altitud) amb 32 m d'altura i un perímetre de la base del tronc de 8,6 m, però també se'n poden trobar de grans dimensions en molts altres indrets del Parc (font: <https://parcsnaturals.gencat.cat/>).

2.6. La torbera de Clots de Rialba.

La torbera dels Clots de Rialba es troba situada al municipi de l'Alt Àneu (comarca del Pallars Sobirà, Lleida), a una altitud de 2073 m sobre el nivell del mar, molt a prop dels límits del Parc Natural de l'Alt Pirineu (Figures 95 i 96). Les seves coordenades geogràfiques són LAT 42° 40' 03" N i LON 1° 01' 14" E. En aquest indret, als vessant hi



Figura 95. Els Clots de Rialba (quadrat vermell) estan ubicats a dins de la Xarxa Natura 2000, en color verd. Modificat del visor del ICGC. <http://srv.icgc.cat/vissir3/>.

glacials diferents. A la Ribera del Muntanyó, s'hi observen diferents cubetes de sobreexcavació i obturacions (produïdes per cons de dejecció o pels mateixos dipòsits morènics) que es van succeint de forma esglaonada al llarg de la vall (a 2090, 2070, 2010, 2000, 1940 i 1910 metres d'altitud, respectivament). Tots aquest plans al fons de vall estan reblerts de sediments i ocupats per "aigües tortes" al mig del bosc subalpí i per molles d'alta muntanya. Les més extenses, interessants i millor conservades són les dels Clots i Canals de Rialba i la del Clot del Bosc.



Figura 97. A l'esquerra trobem el Pic del Muntanyó d'Àrreu (2626 m d'altitud, a sota es troba l'Estany del Muntanyó o Pudo (2204 m d'altitud). L'extens circ glacial està modelat damunt 3 litologies diferents (pissarres, calcàries i granits). Aquest estany drena les seves aigües a la mollera dels Clots de Rialba.



Figura 98. Imatge estival de les molles dels Clots de Rialba.

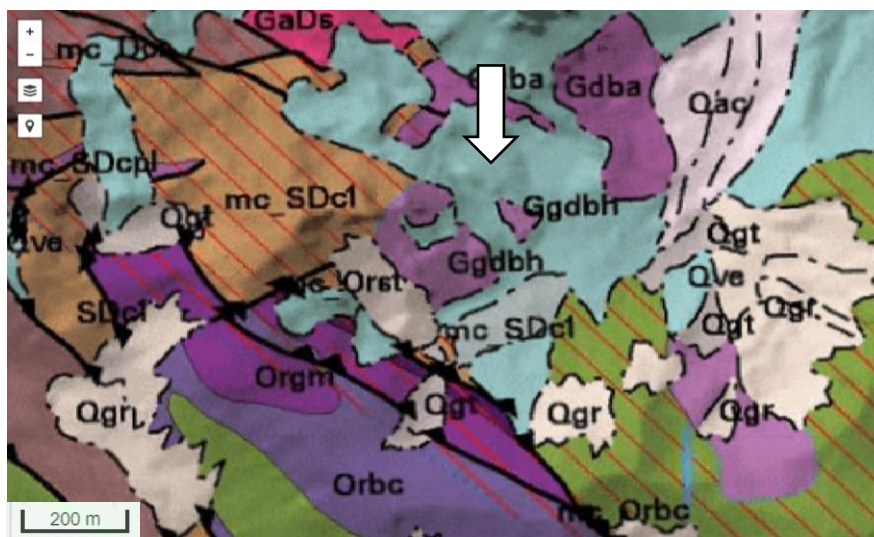


Figura 99. Mapa geològica dels Clots de Rialba. Adaptat del *Mapa geològic de Catalunya 1:50.000* (ICGC). La fletxa blanca indica la ubicació dels Clots de Rialba.

Llegenda i descripció: **Qac**, Dipòsits al·luvials-col·luvials. Graves amb matriu sorrenca i argilosa. Holocè; **Qve**, Blocs i graves holocens; **Qgt**, Blocs i sorres. Dipòsit glaciari o till. Plistocè. **Qpm**, Blocs, amb sorres i llims. Dipòsits de morrenes. Plistocè; **Qgr**, Dipòsits glacials i periglacials de clasts i blocs angulosos. Plistocè-Holocè antic; **Gdba**, Granodiorita biotítica amb amfíbol. Carbonífer-Permià; **Ggdb**, Granodiorita biotiticohornblèndica. Carbonífer-Permià; **mc_ÇOrgl**, Gresos i lutites. Carbonífer-Permià; **mc_SDcl**, Marbres, fil.lites pigallades i quarzites. Carbonífer-Permià. **Orbc**, Conglomerats quarzífics. Formació Rabassa. Ordovicià superior. Caradocià-Ashgílià; **ÇOrgl**, Alternança centimètrica de gresos i lutites. Formació Jújols. Cambroordovicià. Modificat de https://betaportal.icgc.cat/visor/client_utfgrid_geo.html

La torbera dels Clots de Rialba té el seu origen en els llacs glacials reblerts de llims i matèria orgànica. És un ecosistema considerat com a prioritari per a la conservació per la CEE i està inclòs en la Xarxa Natura 2000. La vegetació dels voltants està formada per boscos de *Pinus uncinata* amb *Rhododendron ferrugineum*, *Festuca* spp. acidòfils, prats i torberes minerotròfiques àcides dominades per *Sphagnum* spp.



Figura 100. Diferents vistes de la ubicació dels Clots de Rialba (GEarth).



Figura 101. Ubicació dels Clots de Rialba (GEarth).

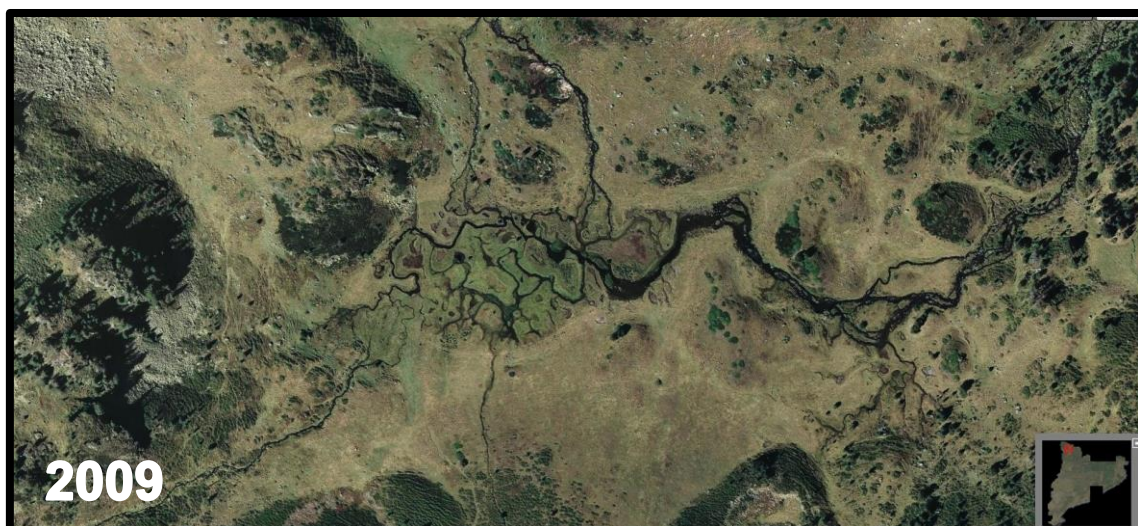
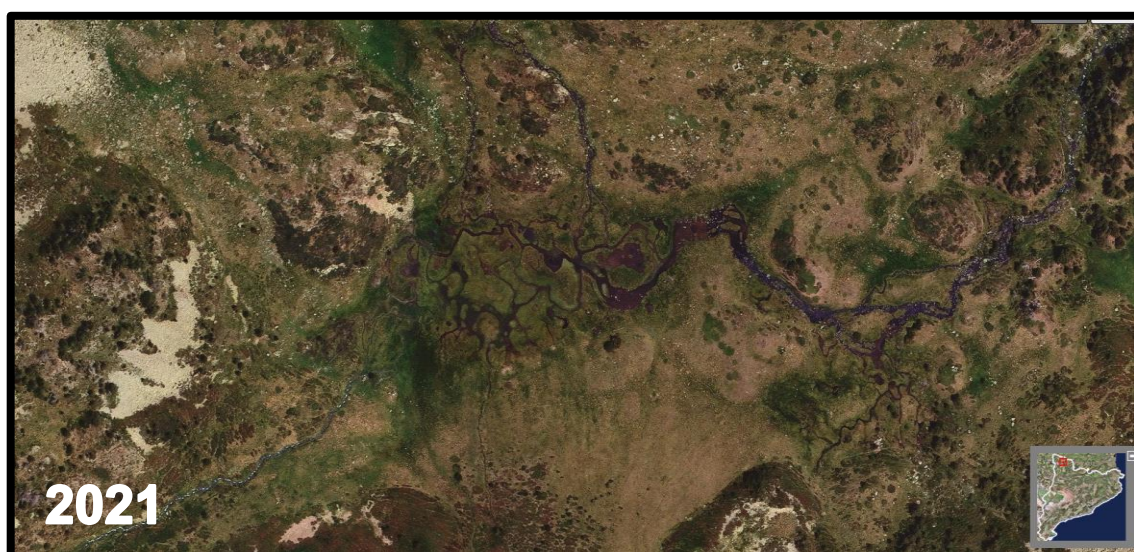
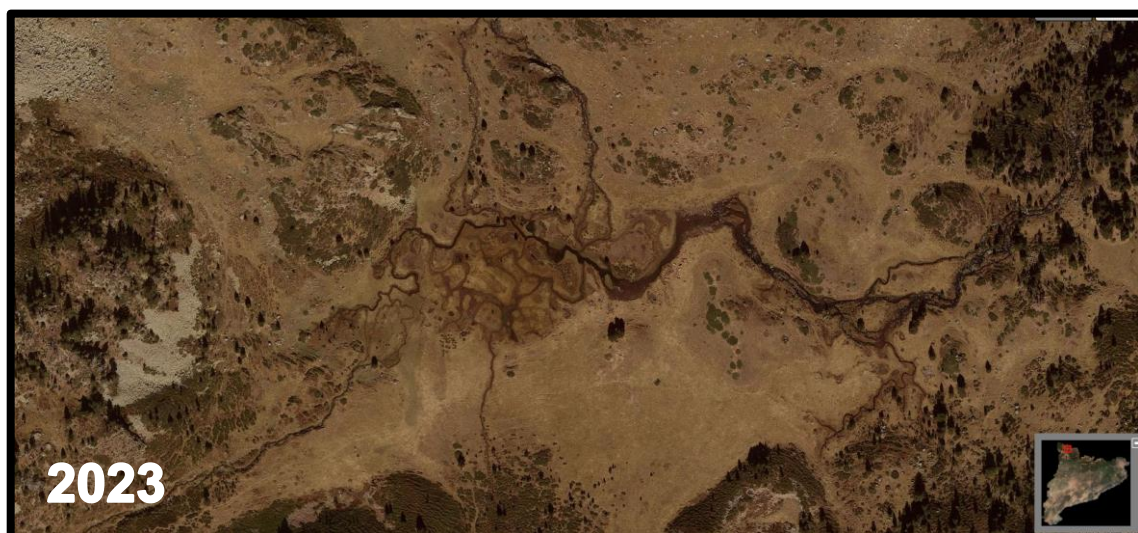


Figura 102. Ortofotografies dels Clots de Rialba (font: Vissir3 ICC).

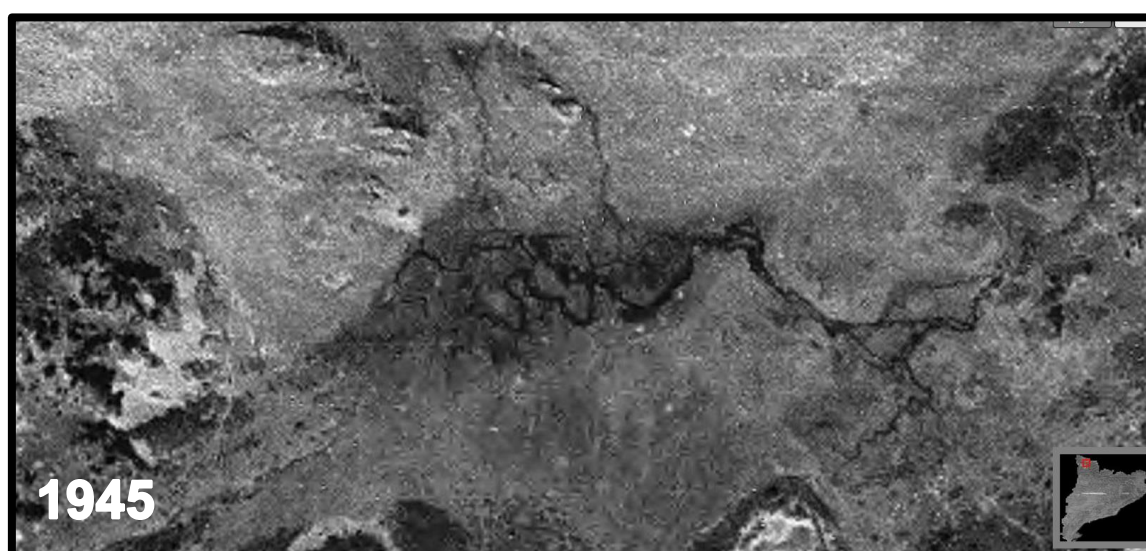
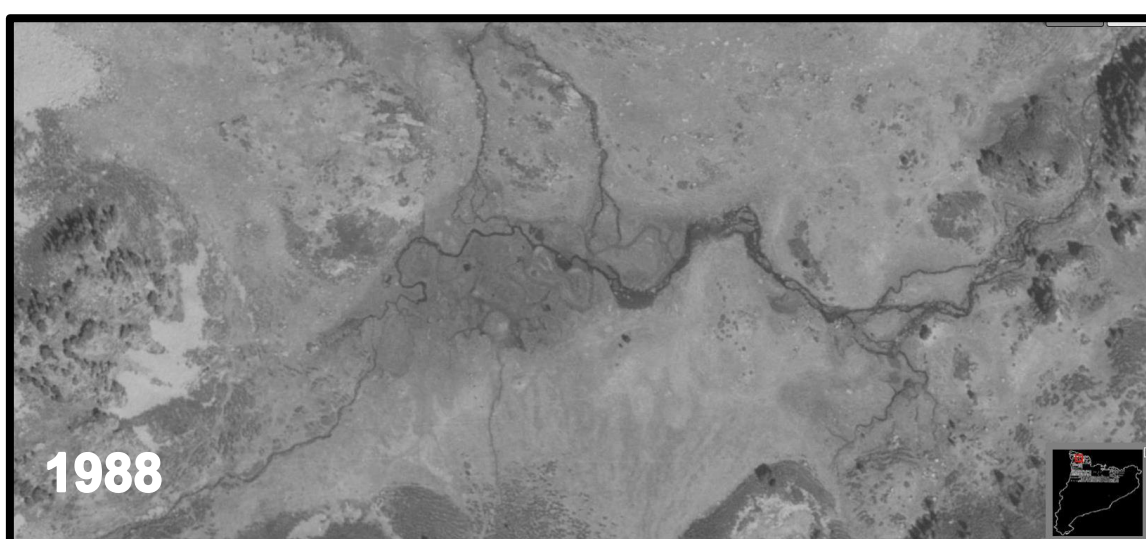
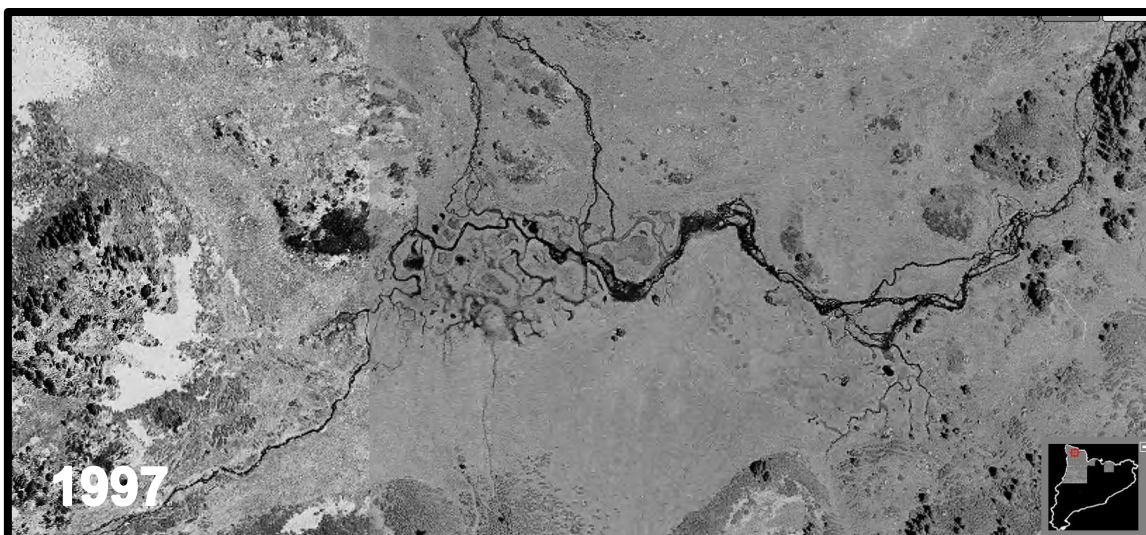


Figura 103. Ortofotografies dels Clots de Rialba (font: Vissir3 ICC).

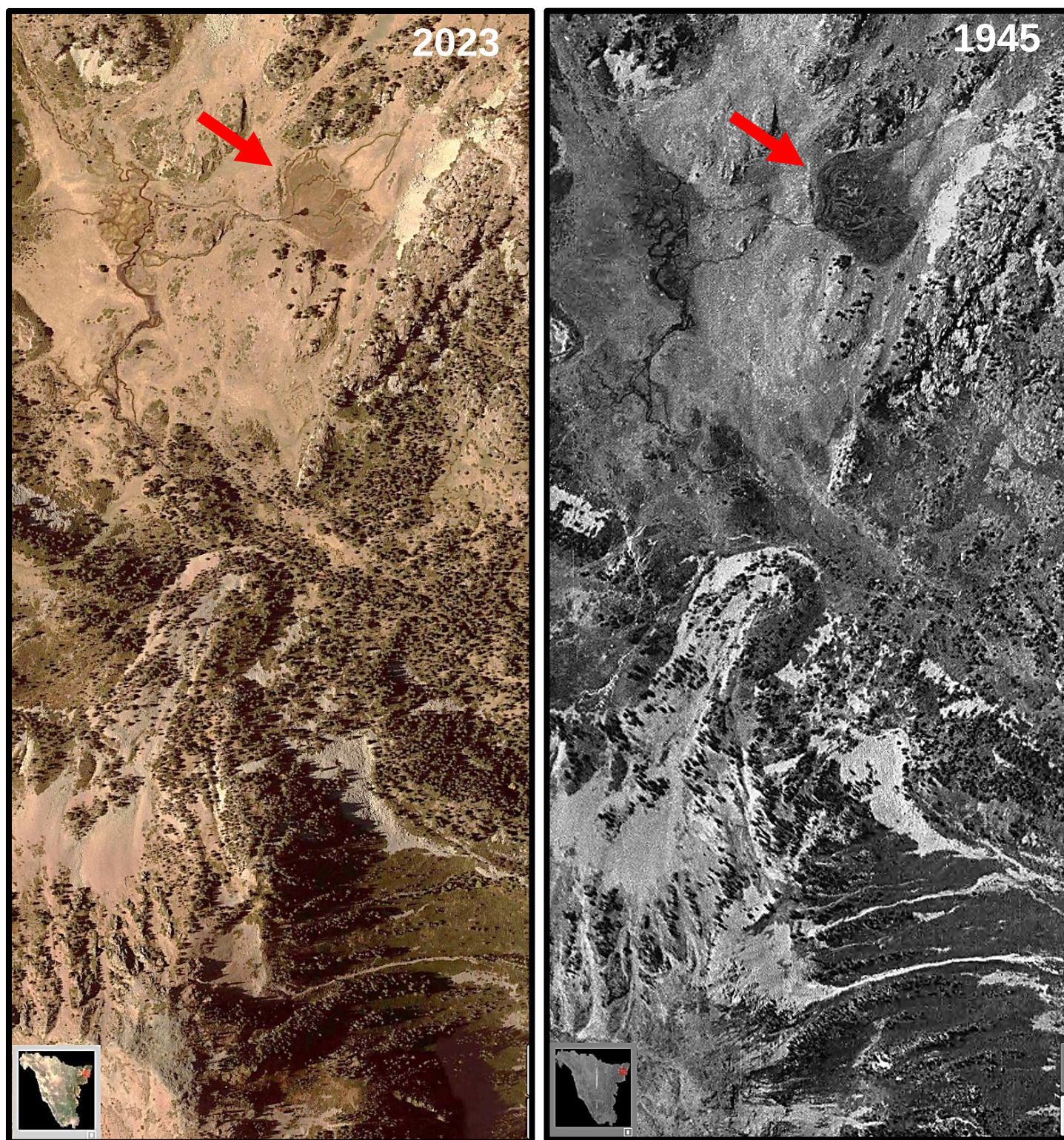


Figura 104. Ortofotografies de la vegetació circumdant als Clots de Rialba (fletxa vermella) al 2023 i al 1945. La torbera es troba a la part superior dreta de les imatges (font: Vissir3 ICC).

2.7. La torbera de l'Estany de la Bassa.

L'estany de la Bassa (Figures 105, 106 i 107) és una torbera àcida situada a 2147 metres d'altitud al municipi d'Espot (Pallars Sobirà, Lleida) amb unes coordenades geogràfiques LAT 42° 35' 34" N LON 0° 59' 14" E. És un llac d'origen glacial a la capçalera de la vall de Ratera, dins del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, a prop de la població d'Espot. La seva conca està orientada de nord-oest a sud-est, amb les Agulles d'Amitges (2638 metres d'altitud) al nord, el Pui Pla (2831 metres d'altitud) a l'est i el Pis del Portarró (2734 metres d'altitud) al sud-oest. Té una longitud màxima de 129 m, una amplada d'uns 75 metres i una superfície d'unes 0,62 hectàrees i jeu sobre un substrat granodiorític. Recull les aigües de l'Estany Gran d'Amitges i les aboca a l'Estany de Ratera.



Figura 105. En primer pla veiem l'Estany de la Bassa a 2174 metres d'altitud. En segon terme veiem l'Estany de Ratera. Al fons, s'aprecien els pics del Gran encantat (2748 m d'altitud) a la dreta i el Petit Encantat (2738 m d'altitud) a l'esquerra (fotografia pròpia).



Figura 106. Imatge estival de l'Estany de la Bassa (fotografia pròpia).



Figura 107. Imatge hivernal de l'Estany de la Bassa (fotografia pròpia).

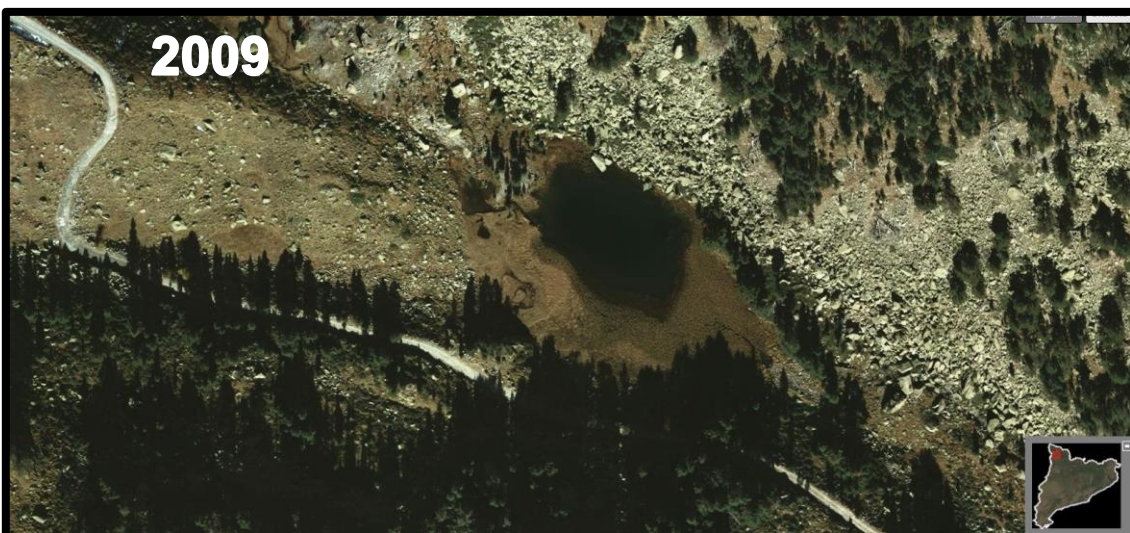
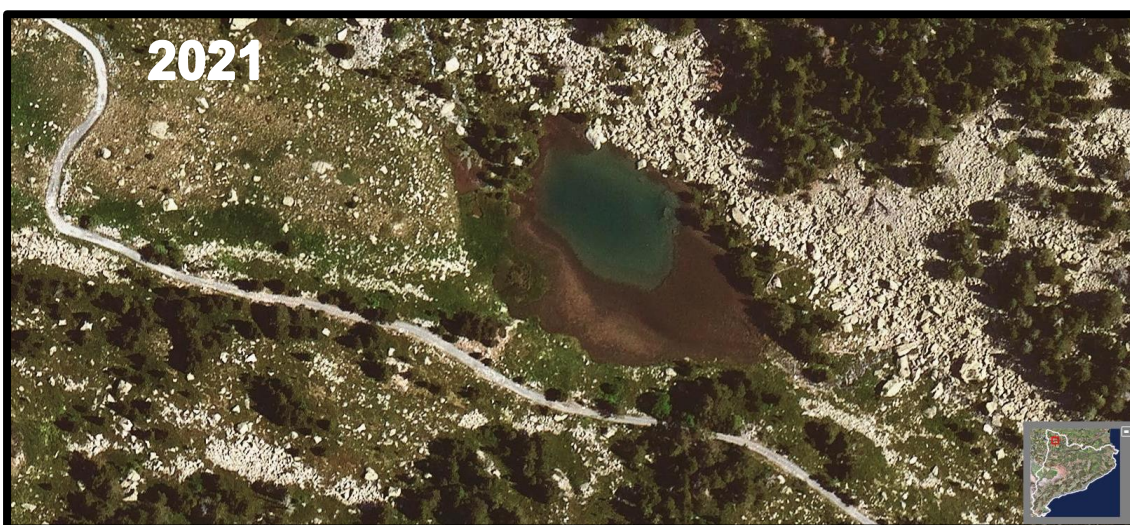
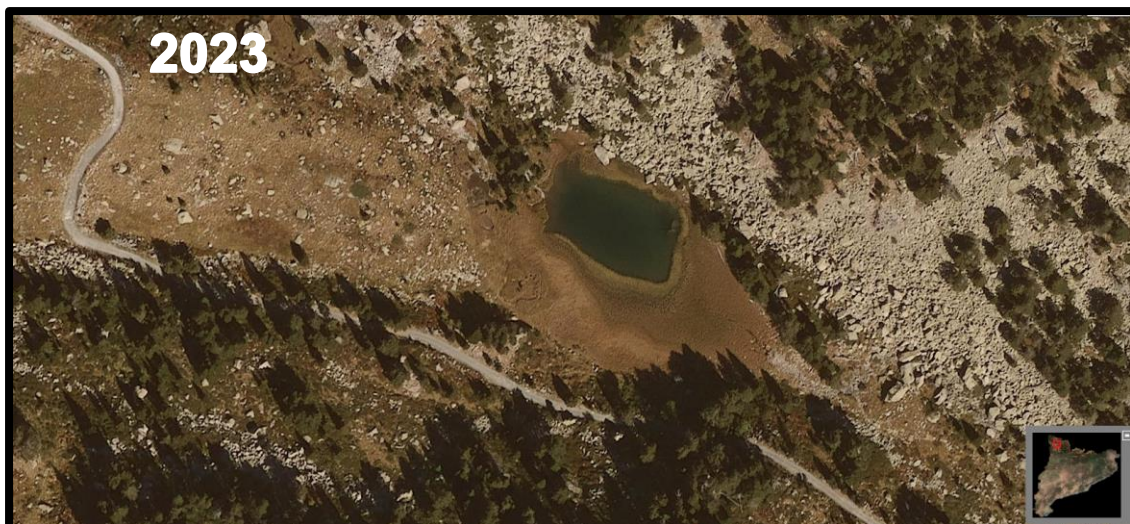


Figura 108. Ortofotografies de l'Estany de la Bassa (font: Vissir3 ICC).

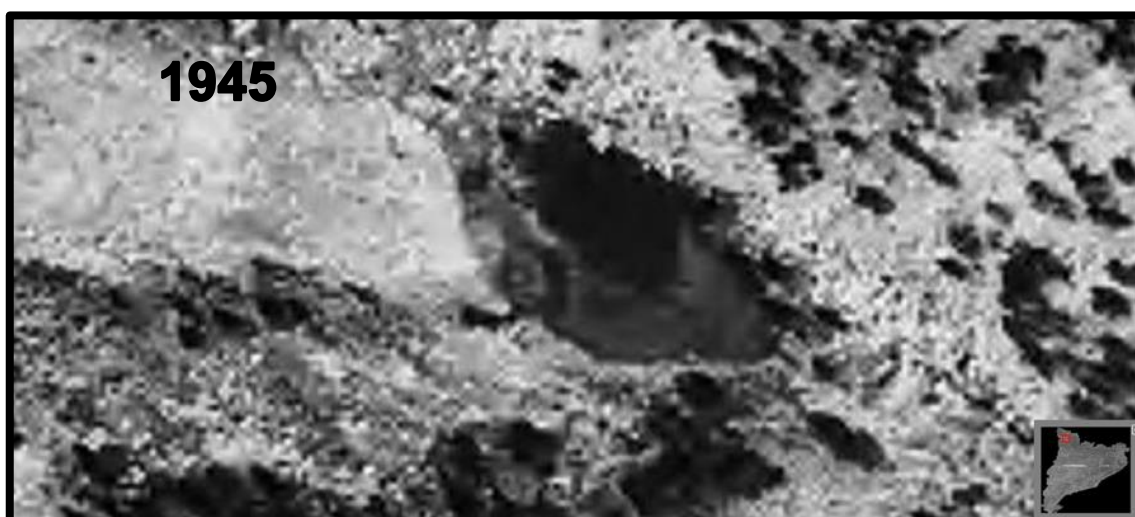
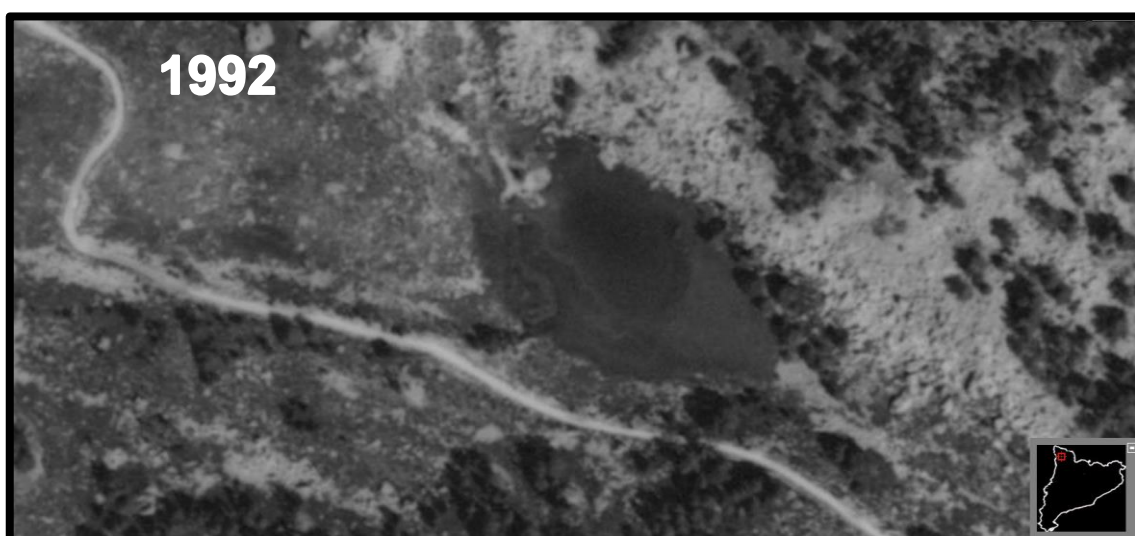
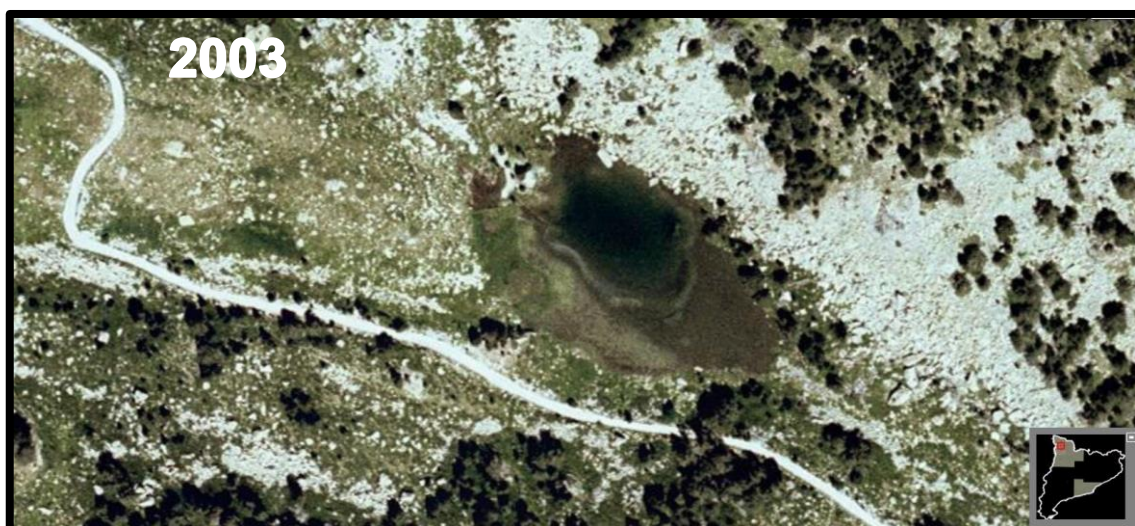


Figura 109. Ortofotografies de l'Estany de la Bassa (font: Vissir3 ICC).

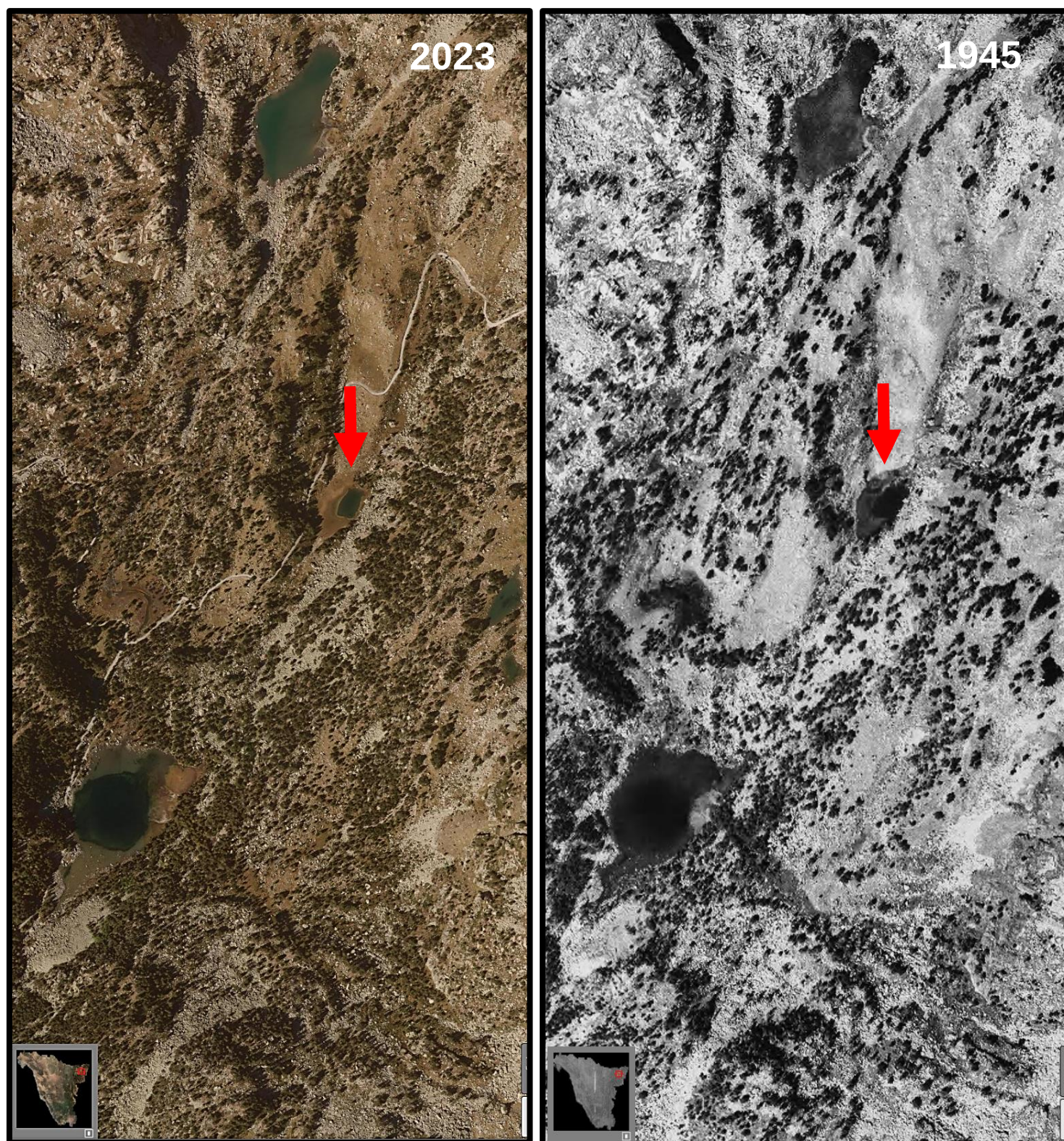


Figura 110. Ortofotografies de la vegetació circumdant a l'Estany de la Bassa (fletxa vermella) al 2023 i al 1945 (Font: Vissir3 ICC).

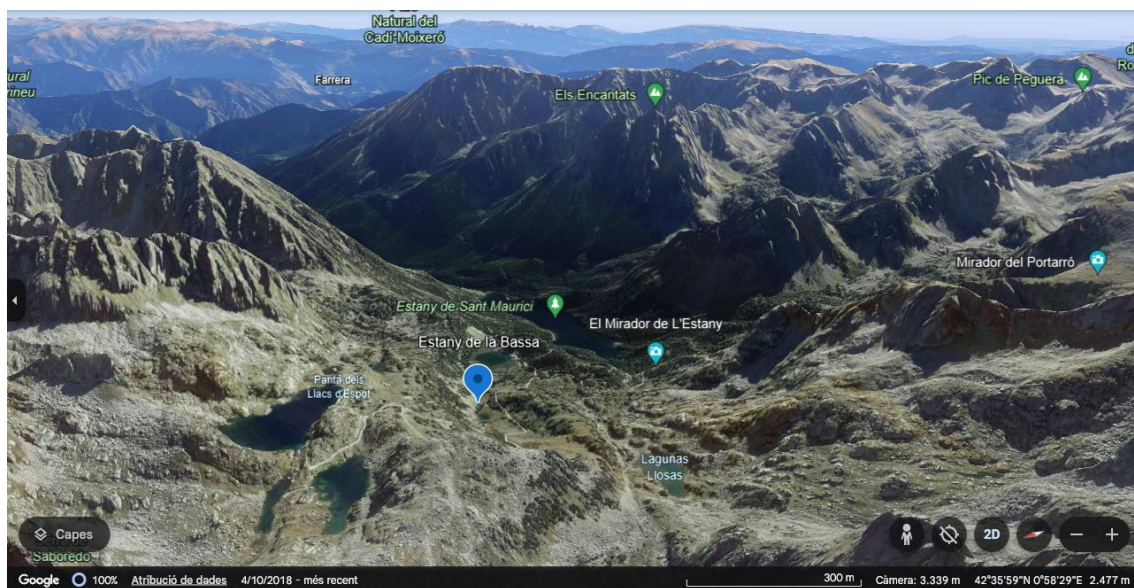


Figura 111. Imatges de la ubicació de l'Estany de la Bassa (GEarth).

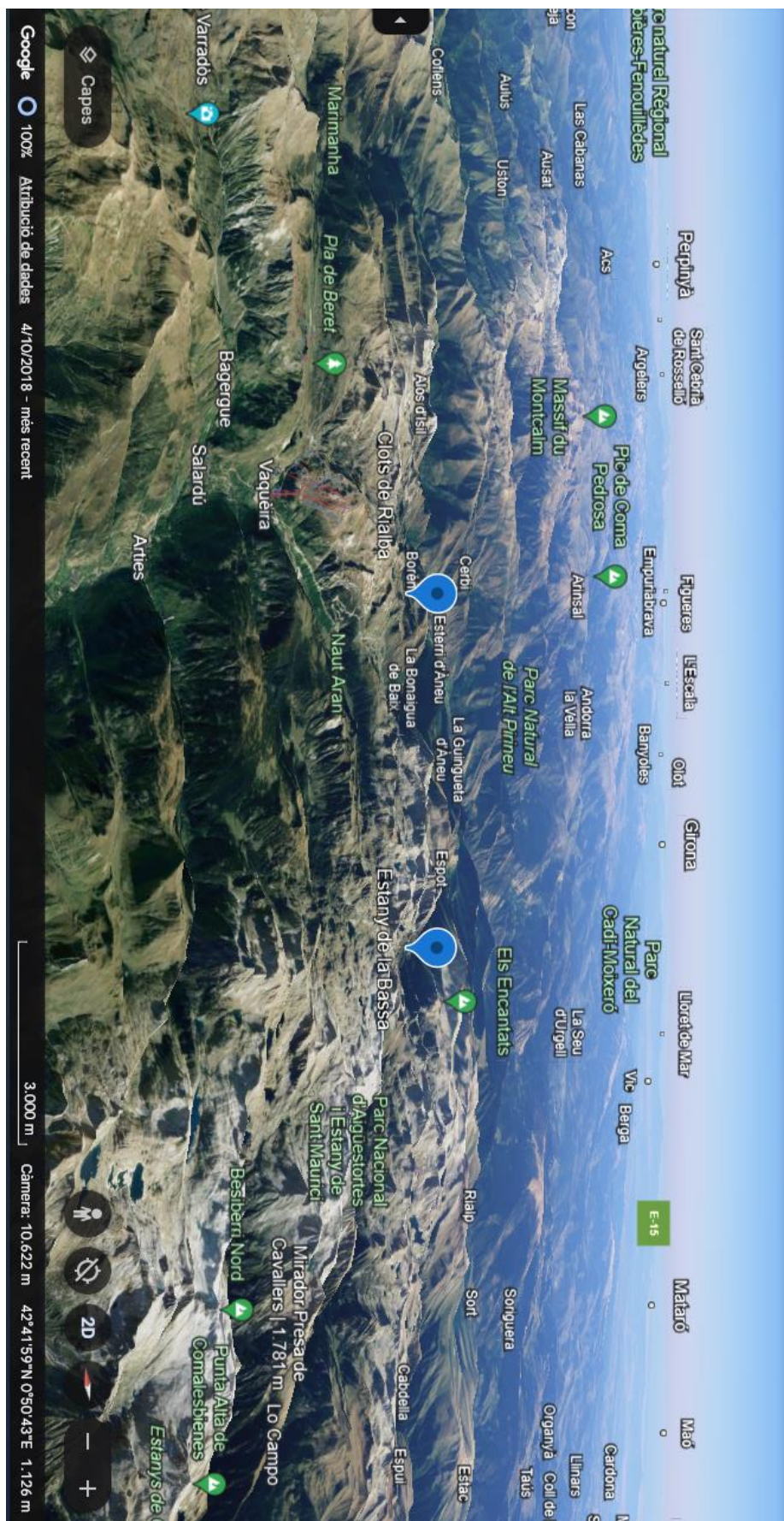


Figura 112. Imatge de les ubicacions de l'Estany de la Bassa i dels Clots de Rialba (GEarth).

3. METODOLOGIA.

3.1. Treball de camp.

3.1.1. Extracció dels testimonis sedimentaris.

Les extraccions dels testimonis sedimentaris de CDR1 als Clots de Rialba i de BAS1 a l'Estany de la Bassa van ser efectuades amb l'ajut de membres integrants del GRAMP (UAB). En cada cas, els procediments i els detalls de l'extracció es troben descrits a continuació.

3.1.1.1. La torbera dels Clots de Rialba.

Durant la tardor del 2013, es va realitzar un estudi a l'àrea de la torbera dels Clots de Rialba amb l'objectiu de recollir mostres sedimentàries per al seu anàlisi multivariant i posterior reconstrucció paleoambiental. El 19 d'octubre de 2013 es va procedir a extreure un registre sedimentari continu (etiquetat com a CDR1) mitjançant un tub de PVC amb percussió manual que mesurava 105 mm de diàmetre i que va poder recuperar 220 cm de sediment (Figures 113 a 116). Tot i això, no es va poder arribar a la base de la cubeta de la torbera ja que d'una banda el tub no va ser prou llarg i en segon lloc caldria utilitzar sondes mecàniques. La base (*bottom*) del testimoni CDR1 va ser datada per ^{14}C AMS a *Beta Analytic Inc*, en c. 3412 anys cal BP.



Figura 113. Base (*bottom*) del tub de PVC amb les vores esmolades i forat deixat per l'extracció de CDR1.

Un cop obert al laboratori, es va descriure sedimentològicament i es van obtenir 205 mostres del testimoni sedimentari, per a anàlisis posteriors de pol·len i palinomorfs no pol·línics (NPP), contingut en matèria orgànica (LOI) i carbons sedimentaris ($>150\ \mu\text{m}$),



Figura 114. Tres moments de l'extracció del testimoni sedimentari CDR1 el 19 d'octubre de 2013. Apareixen el Dr. Ramon Pérez-Obiol, el Dr. Joan M. Soriano i el Dr. Albert Pèlachs.



Figura 115. Dues imatges del testimoni sedimentari CDR1 de la torbera de Clots de Rialba. A la primera s'observa la profunditat i a la segona la base del testimoni (*bottom*).



Figura 116. Testimoni sedimentari CDR1 de la torbera de Clots de Rialba.

3.1.1.2. La torbera de l'Estany de la Bassa.

El 3 d'octubre de 2016 es va procedir a extreure el segon registre sedimentari continu (Figures 117 i 118) que s'ha estudiat en aquesta tesi (BAS1) mitjançant un tub de PVC amb percussió manual que mesurava 105 mm de diàmetre i amb el què es va poder arribar a 257 cm de profunditat (Figures 117 i 118). Un cop al laboratori es van obtenir 272 mostres per realitzar el corresponent anàlisi multivariant i posterior reconstrucció paleoambiental. En aquest cas, la base (*bottom*) del testimoni BAS1 va ser datada per ^{14}C AMS en c. 10240 anys cal BP a *Beta Analytic Inc*, sent força més antiga que CDR1.



Figura 117. Imatges de l'extracció del testimoni BAS1 de la torbera de l'Estany de la Bassa.



Figura 118. Detalls de la base (*bottom*) amb les vores esmolades del testimoni sedimentari BAS1.

3.2. Tractaments de laboratori i processat de les dades.

3.2.1. Mostreig dels testimonis sedimentaris.

Un cop al laboratori, els *cores* van ser oberts tot tallant la camisa de PVC a on es conservaven a la càmera en fred a 4 °C. A continuació es determinà la seqüència sedimentològica atenent el tipus de material present i el seu color amb la carta de colors de Munsell (Figura 119).

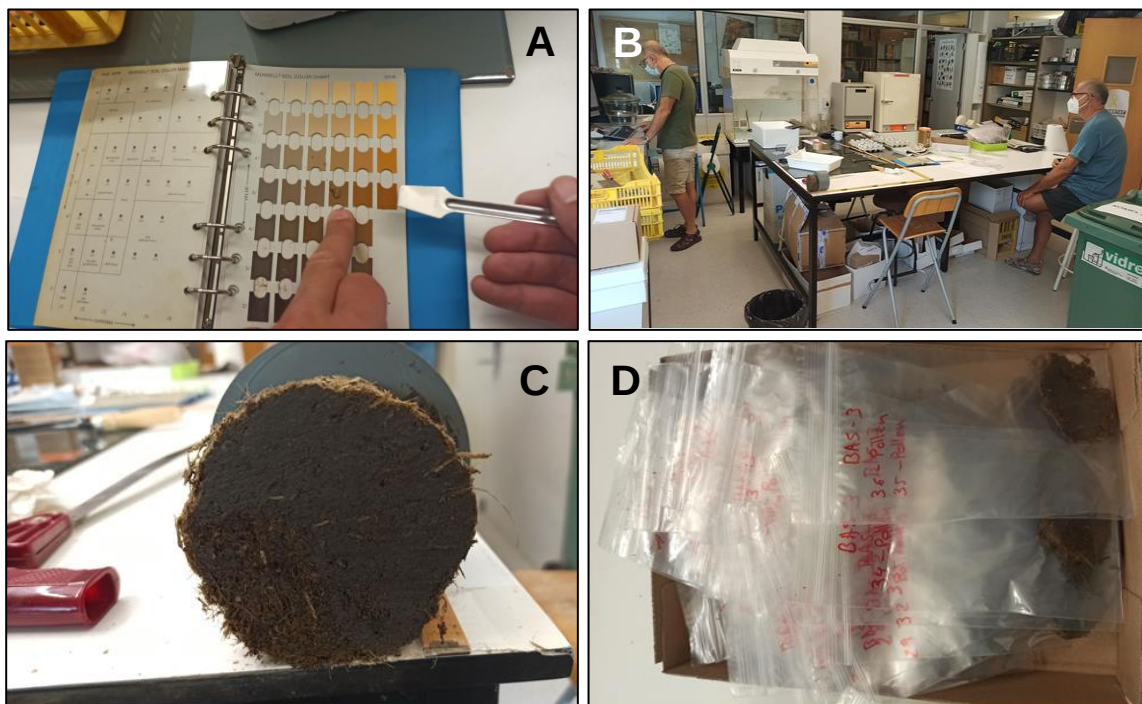


Figura 119. A. Determinació del color del sediment amb la carta Munsell. B. Visió general del laboratori de Geografia Física del Departament de Geografia de la UAB. C. Detall del testimoni amb la serra. D. Bosses amb el segment que correspon a una fracció de les mostres, a partir de les quals es va dur a terme l'anàlisi pol·línica.

Un cop feta la descripció, el testimoni sedimentari es talla en llesques de menys d'1 cm de gruix, les mostres seccionen en segments que permetran realitzar totes les anàlisis multivariant previstes (pol·len, contingut en matèria orgànica (LOI) i carbons sedimentaris) i es guarden en bosses individuals degudament etiquetades (Figura 119). A CDR1 es van obtenir un total de 205 mostres mentre que a BAS1 es van recuperar un total de 272 mostres.

El contingut en matèria orgànica va ser estimat obtenint 1 gram de mostra fresca en totes les mostres de les dues seqüències (205 mostres a CDR1 i 272 mostres a BAS1). En primer lloc, les mostres van ser assecatades en un forn a 60 °C durant 24h. Un cop el procés d'assecat es va completar, es va mesurar el pes sec de cadascuna. Per

determinar el percentatge de matèria orgànica de les mostres seques es va procedir a calcular la pèrdua de pes després de la calcinació pel mètode LOI (*Lost On Ignition*) segons el procediment estàndard (4h, 550 °C; modificat de Dean, 1974; Heiri *et al.*, 2001).

3.2.2. Model cronològic de BAS1.

Els models cronològics (Figures 125 i 126; Taula 5) han sigut establerts a partir de 4 datacions de ^{14}C AMS al testimoni de Clots de Rialba i 6 datacions per al testimoni de l'Estany de la Bassa. Les mostres seleccionades van ser enviades als laboratoris *Beta Analytic Inc.* a Miami, Florida (EEUU). La posterior calibració de cada model s'ha efectuat amb les corbes de calibració de radiocarboni IntCal20 (Reimer *et al.*, 2020). Tots dos models cronològics així com les taxes d'acumulació sedimentària han sigut obtinguts utilitzant l'entorn de codi obert *RStudio for R* (Watkins, 2020) i el paquet *Clam* (Blaauw, 2010).

3.2.3. Pol·len i palinomorfs no pol·línics (NPPs).

L'anàlisi del pol·len i dels palinomorfs no pol·línics es va realitzar recomptant una mostra de cada dues (cada 2 cm aproximadament) de cadascun dels cores CDR1 i BAS1 (110 mostres de CDR1 i 136 mostres en BAS1). Per calcular la concentració de pol·len, es va afegir una tauleta que contenia un número conegut d'espores de *Lycopodium* (Figura 120) (Stockmarr, 1971). Les mostres es van preparar segons procediments químics estàndard, inclosos la filtració (Figura 121), els dos rentats amb HCl al 10%, un rentat amb HF al 70% durant un mínim de 12h (Figura 122), KOH (10%)



Figura 120. Tauletes amb espores de *Lycopodium*.

i acetòlisi (5 minuts a 65 °C amb un bany abans i després d'àcid acètic glacial) (Figures 122 i 124). Després de cada pas es centrifuguen les mostres durant 5 minuts a 4000 rpm. (Faegri *et al.*, 1989; Moore *et al.*, 1991; Bennett *et al.*, 2001), seguit del muntatge

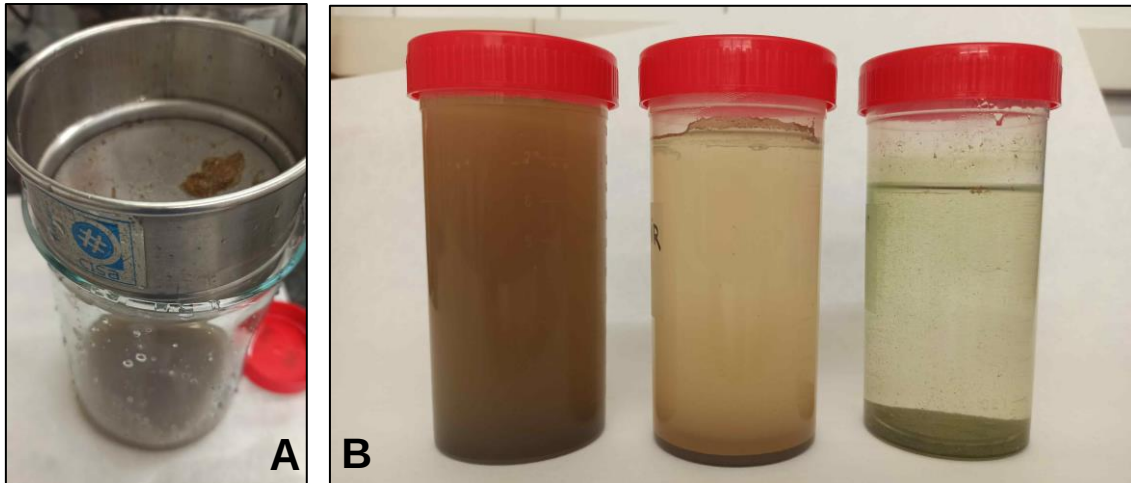


Figura 121. A. Filtrat amb malla de 300 µm. B. Sedimentació i decantació del sediment. Fotos pròpies.

sobre un portaobjectes d'aproximadament 25 microlitres de mostra amb 3 gotes glicerol, tot segellant finalment el cobreobjectes amb histolaca (Figura 123).

La identificació i el recompte es van realitzar amb els microscopis òptics (Olympus BX40 i Euromex *Bioblue*) comparant amb algunes col·leccions palinològiques de referència del Departament de Botànica (UAB), utilitzant també claus d'identificació morfològica (Faegri *et al.*, 1989; Moore *et al.*, 1991) i alguns llibres i atlas visuals (Ellis, 1971; Reille, 1992, 1998; Van Geel *et al.*, 2006).



Figura 122. Tractament amb HF a dins de la campana de gasos.

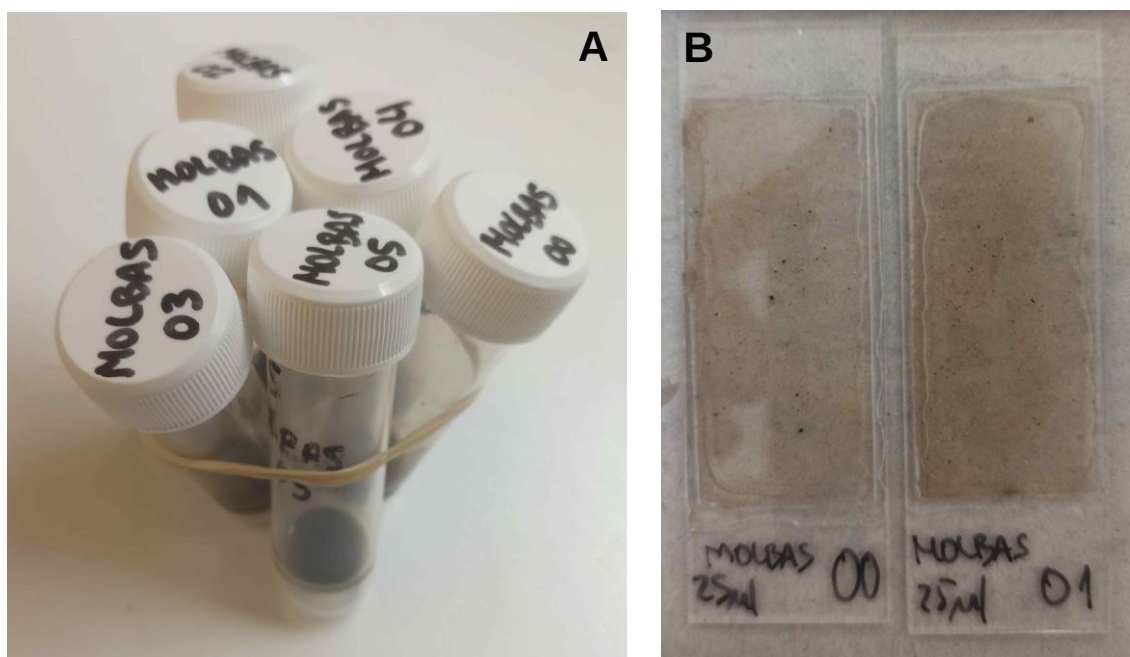


Figura 123. A. Mostres a punt per ser muntades. B. Mostres preparades per a ser observades al microscopi.

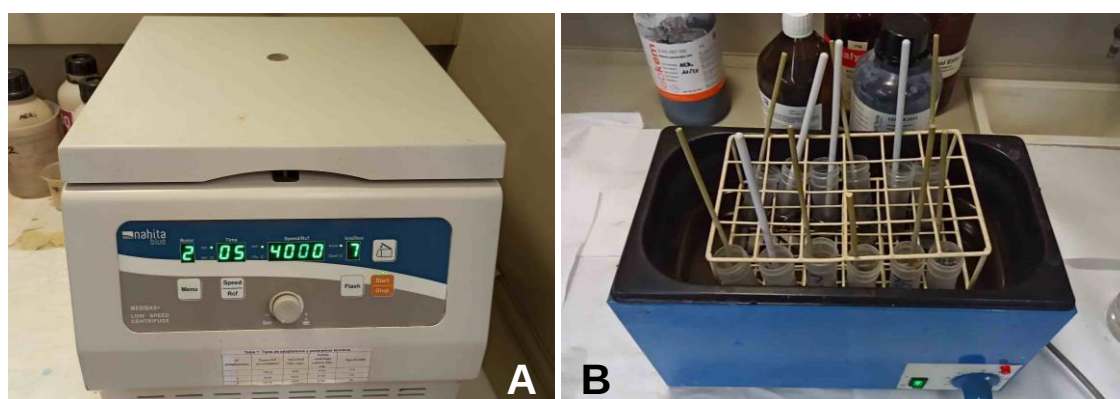


Figura 124. A. Centrifugadora. B. Cubeta al bany maria a on té lloc l'acetòlisi.

Per determinar els percentatges de pol·len, només es va considerar el pol·len terrestre total, que exclou els NPPs, higròfites i hidròfites. Es van identificar i comptar almenys 400 grans de pol·len de plantes terrestres en cada mostra, quantitat a partir de la qual s'estabilitza estadísticament la identificació. Els resultats estan expressats en forma de percentatges. El diagrama de pol·len es va construir mitjançant el programari Tilia i Tiliagraph (Grimm, 1991). Es van realitzar anàlisis de clúster restringits mitjançant el mètode de suma incremental de quadrats (CONISS) per delimitar les zones d'agrupació de pol·len (PAZ) (CONISS, Grimm, 1987). Per estimar la quantitat de palinomorfs per unitat de volum (grans de pol·len·cm⁻³) es va realitzar el càlcul de la concentració pol·línica que dona informació paleoecològica dels canvis en la sedimentació del lloc (Faergri i Iversen, 1989). La taxa d'acumulació pol·línica es va

calcular a partir de la concentració pol·línica que estima la quantitat de sediment dipositat en el temps i s'expressa en $\text{cm} \cdot \text{any}^{-1}$ (Birks *et al.*, 1980).

3.2.4. Macrocarbons sedimentaris de diàmetre superior a 150 μm .

Els macrocarbons sedimentaris (de mida superior a 150 μm) van ser analitzats en tots dos registres (CDR1 i BAS1) per reconstruir el regim d'incendis forestals de les seqüències. En total es van analitzar 477 mostres (205 mostres de CDR1 i 272 mostres de BAS1).

El mètode químic va seguir el protocol estàndard (Carcaillet *et al.*, 2001, 2007). Cada mostra, amb un volum d'1 centímetre cúbic, va ser introduïda en un vas de precipitats contenint una solució de NaClO al 15% per tal d'eliminar la matèria orgànica. Posteriorment, es va tractar amb KOH al 5%, que actua com a agent floculant (Finsinger *et al.*, 2014). Les mostres van ser sotmeses a una temperatura de 70 °C durant 90 minuts dins d'un recipient amb un agitador magnètic, per afavorir la reacció. Després de refredar-les, les mostres es van passar per un tamís de 150 μm amb l'ajut d'un flascó d'aigua. Els macrocarbons retinguts pel filtre es van recomptar amb l'ajut del microscopi binocular Nikon SMZ-1500 a 40 augments (Carcaillet *et al.*, 2001).

El nombre de partícules de macrocarbons sedimentaris es va dividir pel volum de la mostra i la taxa de sedimentació per obtenir la seva concentració (CHAC, partícules per centímetre cúbic) i la taxa d'acumulació de carbons (CHAR, partícules per centímetre quadrat i any), respectivament. També es van identificar els pics de carbons sedimentaris i les seves magnituds (partícules per centímetre quadrat per pic) utilitzant un model gaussià amb el programari CharAnalysis (Higuera *et al.*, 2009). Les acumulacions dels macrocarbons tenen un origen local ja que es donen a prop de l'incendi que les genera degut a la seva baixa dispersió (Patterson *et al.*, 1987; Whitlock *et al.*, 2001). Aquest fet permet establir una geohistòria del foc lligada a la mateixa conca.

4. RESULTATS.

4.1. Torbera dels Clots de Rialba (CDR1).

4.1.1. Descripció sedimentària de CDR1.

Es van distingir tres unitats sedimentàries al testimoni CDR1 dels Clots de Rialba (Figura 127). La unitat més profunda (de 220 cm a 150 cm) es caracteritzava per nivells de llims orgànics lacustres (*organic silts*) amb dues fases estretes (localitzada en dues franges a 225 cm i a 200 cm de profunditat) de llims inorgànics (*inorganic silts*), sent el percentatge més baix de matèria orgànica inferior al 40%. Les bandes inorgàniques eren seguides per una progressiva recuperació del contingut orgànic al llarg de la unitat. Per sobre d'això (de 150 cm a 7 cm de profunditat), el sediments estaven compostos per torba (*peat*) i nivells fins i distintius de llims orgànics (dues franges de 70 a 63 cm i de 28 a 23 cm de profunditat). La unitat superior (de 7 cm de profunditat fins a la part superior) abastava els darrers 100 anys aproximadament i es caracteritzava per l'abundància de sòl hidromòrfic amb molsa viva (*living moss*) a la superfície.

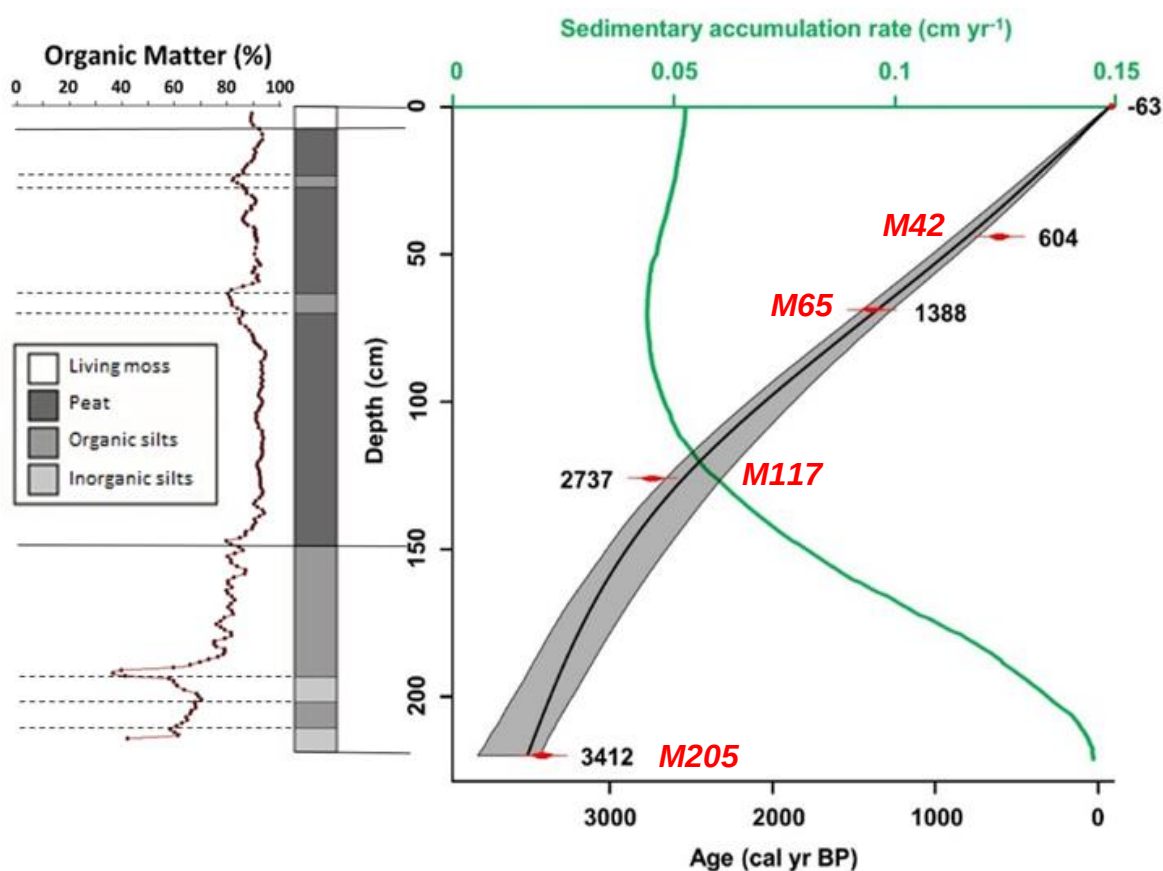


Figura 125. Model cronoestratigràfic d'edat, descripció sedimentària, matèria orgànica i taxa d'acumulació sedimentària del registre dels Clots de Rialba (CDR1).

El percentatge de matèria orgànica al llarg de les dues darreres unitats sedimentàries oscil·lava entre el 80% i el 90%. Cada banda estreta de límits inorgànics corresponia a una disminució de la matèria orgànica.

El resultat de l'anàlisi de la presència de matèria orgànica al testimoni CDR1, permet diferenciar 2 fases (Figura 128): en una primera fase que comprèn des de fa c. 3,5 a 2,9 ka cal BP, s'observa un creixent augment percentual (en dents de serra) de la matèria orgànica, partint de valors propers al 60% a la mateixa base del testimoni i assolint el 90% just al final de la zona, fa c. 2,9 ka cal BP. Cal destacar l'abrupta caiguda de la matèria orgànica, amb valors inferiors al 10%, registrada fa c. 3,35 ka cal BP, seguida d'una fortíssima i immediata recuperació, per situar-se en valors propers al 85%. A partir de c. 2,9 ka cal BP fins al present s'observa una notable estabilització dels valors percentuals que amb petites oscil·lacions es mouen entre el 80% i el 95% (Figura 128).

4.1.2. Model Cronològic de CDR1.

Per establir un model cronoestratigràfic d'edat per al registre sedimentari CDR1 es van utilitzar quatre datacions de ^{14}C AMS a partir de mostres de torba (Taula 5), d'unes profunditats de 44, 69, 126 i 220 cm.

Taula 5. Dades d'edat i calibració de CDR1. Les edats de radiocarboni han sigut calibrades utilitzant *IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve* (Reimer et al., 2020).

Codi de mostra i material	Prof. (cm)	Codi Laboratori	Datació convencional BP	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	Edat calib. (2σ) (cal yr BP)	Edat mitjana probable, usada pel model cronològic (cal yr BP)
CdR1_M42, torba	44	Beta-420098	600 ± 30	-27.2	649–543	604
CdR1_M65, torba	69	Beta-420097	1520 ± 30	-25.5	1514–1313	1388
CdR1_M117, torba	126	Beta-420096	2590 ± 30	-24.8	2543–2761	2737
CdR1_M205, torba	220	Beta-371857	3190 ± 30	-26.1	3455–3364	3412

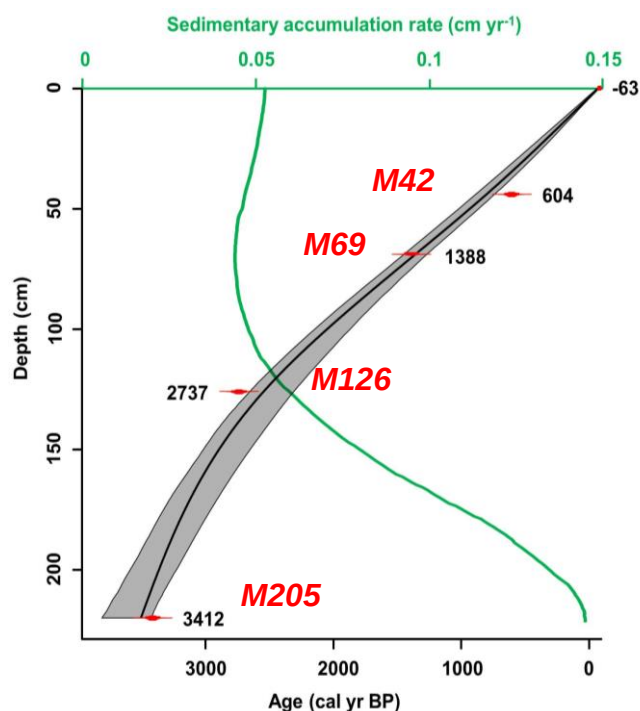


Figura 126. Model cronològic i taxa d'acumulació sedimentària del registre de CDR1. Xifres en negre, edats usades per al model. Les xifres en vermell són el codi de mostra datada.

Pel que fa a la taxa d'acumulació sedimentària s'observa una acceleració al llarg de la seqüència, amb valors inicials propers als 0,05 cm anuals que es mantenen durant els primers 125 cm aproximadament per augmentar, primer a 0,1 cm anuals i finalment a 0,15 cm anuals a la base del registre.

4.1.3. Pol·len i palinomorfs no pol·línics (NPPs) de CDR1.

Els diagrames de pol·len i NPPs obtinguts a la seqüència de CDR1 (Figura 127) han permès la reconstrucció paleoambiental dels darrers 3,5 ka cal BP aproximadament. Segons el CONISS (*Constrained incremental sum of squares cluster analysis*), s'han pogut establir 5 zones pol·líniques (PAZ: *Pollen Assemblage Zones*), anomenades de l'A a l'E, de la més antiga a la més moderna.

4.1.3.1. CDR1 / A-PAZ. Del c. 3,5 al 2,85 ka cal BP.

En aquesta PAZ situada entre l'Edat del Bronze Mitjà i l'Edat del Bronze Tardà, els valors de pol·len arbori van oscil·lar entre el 70% i el 90%. *Pinus* va ser el principal tàxon arbori, representant entre el 50% i el 70% de tot l'espectre pol·línic. Al començament d'aquest període, *Abies* va registrar els valors percentuals més alts de tota la seqüència, representant el 12% del pol·len total. L'abundància del faig va disminuir gradualment

cap al 3 ka cal BP, coincidint amb l'inici de l'Edat del Bronze Tardà. *Fagus* va mostrar dos pics superiors al 7% localitzats als anys c. 3,45 i 3,2 ka cal BP, amb regressions posteriors, fins al punt que va desaparèixer en algunes de les mostres. També es va detectar una senyal feble d'*Olea*. Les ciperàcies van ser el principal tàxon aquàtic i van mostrar valors significatius que oscil·laven entre el 20% i el 40%. Pel que fa als indicadors antropogènics, es van detectar *Rumex* i *Plantago* al llarg de tot el període. També es van trobar cereals (inferiors a l'1%) i es va identificar cap al 3 ka cal BP un senyal feble de *Secale*, un cereal típic de climes freds o d'altitud i amant dels sòls àcids. Aquests cereals estaven acompanyats de pulsacions de fongs copròfils (com ara *Podospora* i *Cercophora*). Pel que fa a la taxa d'acumulació de pol·len, es van detectar els valors més alts de la seqüència dins d'aquest període, arribant al voltant de 4000 pol·lens $\cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{any}^{-1}$ a aproximadament 3,5 ka cal BP (Figura 127). Aquests valors van seguir una tendència a la baixa al llarg de la PAZ, registrant 850 pol·lens $\cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{any}^{-1}$ a aproximadament fa 2,85 ka cal BP. De manera similar, la taxa d'acumulació de pol·len de *Pinus*, *Abies*, *Fagus* i *Poaceae* també va mostrar una tendència a la baixa. Pel que fa al paper del foc, les partícules de carbó van ser abundants en aquesta PAZ, mostrant els valors més importants registrats al llarg de tota la seqüència (Figura 127). La taxa d'acumulació de macrocarbons va mostrar valors entre 0,3 i 0,05 partícules $\cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{any}^{-1}$, mentre que els pics de carbó també eren freqüents.

4.1.3.2. CDR1 / B-PAZ. Del c. 2,85 al 2,5 ka cal BP.

En aquesta PAZ que abasta des de l'Edat del Bronze final i l'Edat del Ferro, el pol·len arbori va patir dues fortes caigudes als anys c. 3000 i 2800 anys cal BP (<50%), seguides d'una recuperació parcial. *Abies* va mostrar la major caiguda de la seqüència i el seu senyal fins i tot va desaparèixer en algunes fases. Malgrat un cert grau de recuperació, la corba de pol·len d'*Abies* seguia disminuint fins als 2700 anys cal BP, moment en què la tendència es va invertir i es va recuperar notablement. Contràriament, *Fagus* va mostrar els valors més alts i continus de la sèrie (5–10%). Les apiàcies també van presentar els valors més alts al començament d'aquesta fase, els cereals van mantenir la seva presència aïllada i els fongs copròfils (com ara *Podospora* i *Cercophora*) van mostrar diverses pulsacions. En conjunt, la taxa d'acumulació de pol·len no va mostrar canvis significatius. Les evidències de focs es van mantenir elevades durant aquest període, tot i que més espaiades en el temps que a la PAZ anterior. Es van detectar dos valors significatius de CHAR (0,2 partícules $\cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{any}^{-1}$) entre 2400 i 2300 anys cal BP, al llarg de l'Edat del Ferro.

4.1.3.3. CDR1 / C-PAZ. Del c. 2,5 ka cal BP a l'any 800 cal BP.

Després de la disminució del pol·len arbori registrada al final de la PAZ anterior, l'interval des de l'inici de la Romanització fins al final de l'Alta Edat Mitjana (EMA) es va caracteritzar per una recuperació progressiva de la coberta forestal, arribant als percentatges màxims de tota la seqüència (del 95% aproximadament, al final del període romà) i dominades de nou per *Pinus*. *Abies* també va expandir-se durant aquesta PAZ, amb valors propers al 10%, fet que no s'havia registrat des de l'Edat del Bronze. Així mateix, la taxa d'acumulació de *Pinus* i *Fagus* va mostrar dos pics importants al llarg d'aquest període (Figura 127). Pel que fa al paper del foc, la freqüència i intensitat dels macrocarbons sedimentaris van disminuir de manera significativa durant d'aquesta zona, amb valors d'aproximadament $0,1 \text{ partícules} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{any}^{-1}$, indicant una disminució significativa del senyal d'incendis durant el període de la colonització romana. Episodis de baixa intensitat van aparèixer amb freqüència al llarg de l'EMA entre aproximadament 1500 i 1200 anys cal BP, amb una intensitat força menor que a l'Edat del Bronze.

4.1.3.4. CDR1 / D-PAZ. De l'any c. 800 al 450 cal BP.

Després dels màxims forestals de l'època tardoromana del període anterior, es va iniciar una forta disminució en els taxons arboris. En particular, els percentatges de *Pinus* van baixar fins a valors inferiors al 30%, els més baixos de tota la seqüència. *Abies* també va experimentar una disminució, tot i que més suau. En canvi, altres taxons van augmentar significativament. *Betula* va registrar els valors més alts de tot el registre, amb valors propers al 15%. *Corylus* i *Alnus* també van augmentar, tot i que no van recuperar els valors exhibits durant l'Edat del Bronze. Els roures de fulla caduca i les alzines de fulla perenne tampoc no van semblar particularment afectats per la disminució arbòria, mostrant increments modestos en els percentatges. Cal esmentar *Olea*, un tàxon abundantment plantat a les planes sud-pirinenques i que, cap al 800 cal BP, va experimentar un augment remarcable. Des d'aleshores, s'ha mantingut present amb petites oscil·lacions. Al segle XVI CE, va haver-hi un intens augment del pol·len de *Pinus* i d'altres taxons forestals. Tot el pol·len arbori va disminuir ràpidament de nou al llarg del segle XVII CE. Els arbustos i els taxons herbacis van mantenir o augmentar els seus percentatges, com es pot veure en les corbes d'Ericaceae, *Artemisia*, Poaceae, cereals, *Plantago* i Apiaceae. En particular, la taxa d'acumulació de Poaceae va registrar un augment important durant aquesta PAZ (Figura 127). Els cereals van mostrar la seva màxima expansió coincidint amb la gran disminució forestal al voltant del segle XV en l'Alta Edat Mitjana. També és rellevant la reaparició de *Secale* en senyals continus des

d'uns 1000 fins a 300 anys cal BP. Les ciperàcies van tornar als valors similars als enregistrats a l'Edat del Bronze i del Ferro. Els fongs copròfils també van augmentar considerablement al llarg del període.

4.1.3.5. CDR1 / E-PAZ. De l'any c. 450 cal BP fins al present.

Entre aproximadament els anys 450 i 300 cal BP, els taxons forestals van registrar els valors més baixos de la seqüència, estenent-se gairebé durant dues dècades. Els percentatges arboris més baixos de tota la seqüència es van trobar al segle XVIII CE amb valors inferiors al 50%. En particular, *Abies* i *Fagus* van mostrar una tendència regressiva similar al llarg del període, exhibint les taxes d'acumulació mínimes de la seqüència. Els percentatges d'*Alnus* i *Corylus* també van disminuir. La presència de cereals va ser discontinua i va disminuir respecte a la PAZ anterior. *Olea* va romandre amb valors significativament alts i els nivells elevats de *Plantago* i *Rumex* indiquen una clara pertorbació antropogènica i la presència d'espais oberts. Es va registrar una disminució marcada de fongs copròfils com ara *Podospora*. Durant les dècades recents, també és rellevant destacar una intensa recuperació forestal, que, a diferència d'altres èpoques passades, es deu principalment a un ressorgiment de *Pinus*, que assoleix valors superiors al 60% juntament amb un cert revifament de la seva taxa d'acumulació (Figura 127). En aquesta PAZ el senyal d'incendis desapareix completament. Cap a l'any 250 cal BP apareix un últim índex feble de macrocarbons sedimentaris i des de llavors, ja no s'han detectat més senyals significatives.

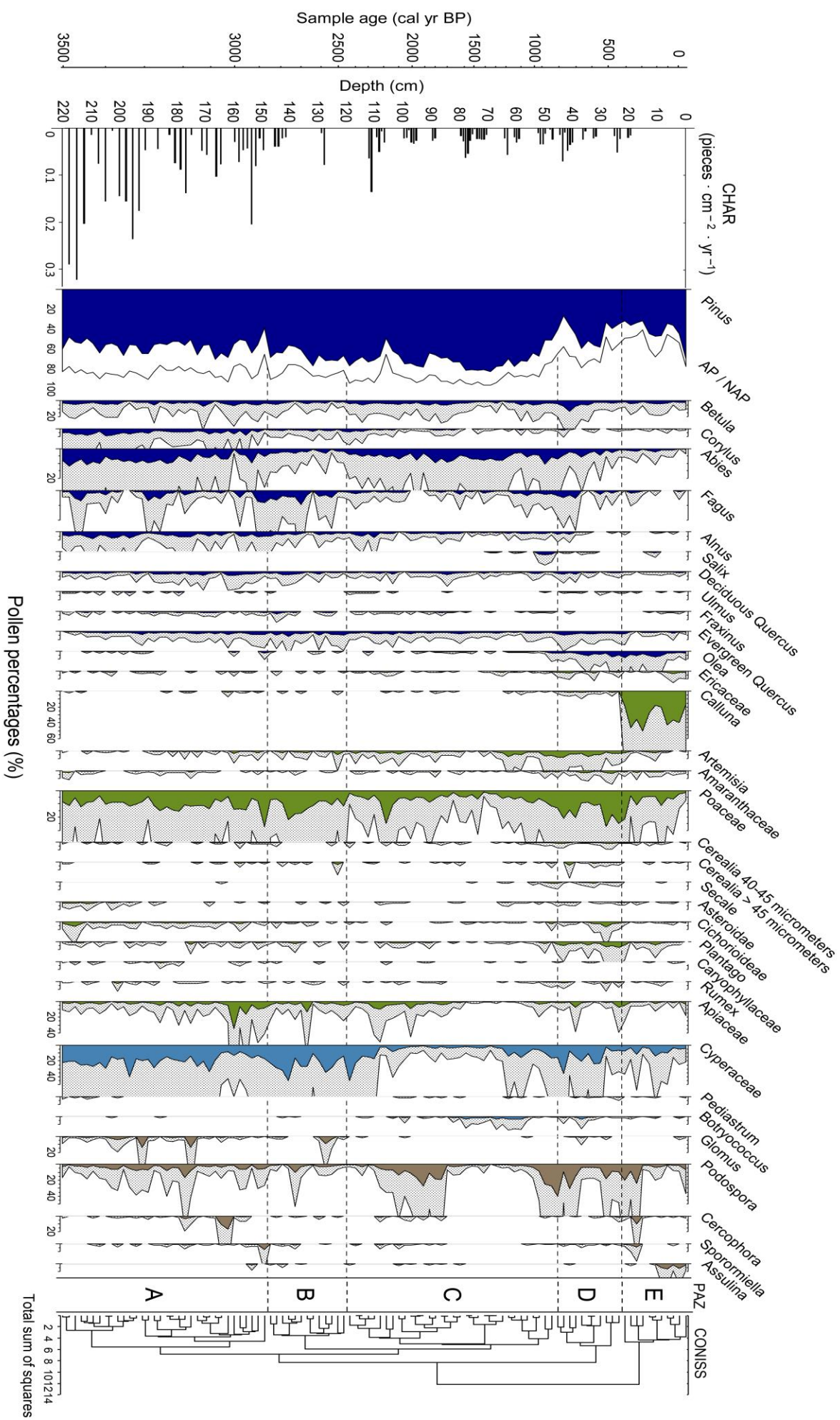


Figura 127. Diagrama percentual de pol·len arbori i no arbori de CDR1. Les siluetes puntejades indiquen una exageració de 5x. Es mostren també les zones d'agregació de pol·len (PAZ) determinades mitjançant una anàlisi CONISS. **Llegenda:** en blau fosc, les espècies arbòries; en verd oliva, els arbusts; en blau, les higròfites i les hidròfites; i en maró, les algues i els fongs.

4.1.4. Macrocarbons sedimentaris de diàmetre superior a 150 µm de CDR1.

A l' hora d'interpretar els resultats obtinguts dels macrocarbons sedimentaris cal tenir en compte diverses consideracions que són claus per la seva explicació, tot i que cal mantenir una extremada prudència interpretativa: els macrocarbons sedimentaris són un bon senyal local, sovint provinents de la mateixa vall, dels incendis originats per espècies llenyoses (Scott, 2010). Els macrocarbons de mida igual o superior a 150 µm no viatgen més lluny d'uns 6 o 7 km de distància de la columna de fum (Clark, 1988; Whitlock i Millspaugh, 1996). Els resultats que es presenten a totes dues torberes integren aquest senyal a partir de la suma de tots els fragments identificats i es consideren bons indicadors d'episodis d'incendis (Pèlachs *et al.*, 2016).

El nombre de fragments de macrocarbons de cada mostra i les seves mides són un bon indicador de la intensitat del foc, tot i que estimar la mida dels incendis, la seva severitat o intensitat només és possible en termes generals (Pèlachs *et al.*, 2016). També pot passar que els processos de deposició de carbó vegetal en els registres sedimentaris tinguin lloc alguns anys després de l'ocurrència del foc (Whitlock i Larsen, 2001). Per a minimitzar el risc de que els macrocarbons no siguin el resultat de la remobilització erosiva del mateix episodi d'incendis, s'obté en primer lloc la concentració de carbons sedimentaris (CHAC, *Charcoal concentration*, mm²/g) i, posteriorment, la taxa d'acumulació de carbó vegetal o CHAR (*Charcoal accumulation rates*, mm²/g anuals) utilitzant la taxa de sedimentació i es separa el senyal de fons (*background*) dels pics (*peaks*) (Whitlock i Larsen, 2001; Sánchez-Morales *et al.*, 2023).

Tenint en compte aquestes consideracions pel que fa al paper del foc i la seva dinàmica, s'ha mantingut la separació en zones (PAZ) que ja hem vist en els resultats CONISS del palinograma. A la base del diagrama, a la zona CDR1-A, abunden els macrocarbons, mostrant els valors més alts registrats al llarg de tota la seqüència (Figura 129). La taxa d'acumulació va mostrar registres d'entre 0,3 i 0,05 partícules per cm² anuals, i destaquen 4 pics especialment intensos a c. 3,5 a 3,45 ka cal BP, c. 3,35 i 3,3 ka cal BP, c. 3,2 a 3,15 ka cal BP i el del c. 3 a 2,9 ka cal BP. El primer dels pics i el més antic és el que presenta el CHAR més alt de tot el registre amb uns valors de CHAR de 0,3 partícules per cm² anuals.

A la zona CDR1-B el registre de macrocarbons disminueix notablement d'intensitat amb una acumulació puntual entre c. 2,8 i 2,75 ka cal BP i un pic aïllat a c. 2,55 ka cal

BP amb un CHAR d'uns 0,05 i 0,15 partícules per cm² anuals, respectivament (Figura 129).

A la zona següent, la CDR1-C, es registren diverses acumulacions de baixa intensitat (a on el CHAR no supera les 0,05 partícules per cm² anuals) i a on destaca la de c. 2,25 i 2,15 ka cal BP i a on el pic situat en c. 2,23 ka cal BP supera clarament un valor de CHAR 0,1 partícules per cm² anuals i valors de CHAC de més de 100 partícules per cm³, dada que suposa el pic més intens de tot el registre. Cal apuntar també l'acumulació que va des de c. 1,6 a 1,35 ka cal BP amb valors de CHAR baixos però recurrents en el temps (Figura 129).

Continuant amb la zona CDR1-D, la dinàmica és força semblant a la que vèiem a la zona anterior, amb acumulacions de baixa intensitat i una certa recurrència. Destaca l'acumulació entre els anys c. 800 i 700 cal BP que supera les 0,5 partícules per cm² anuals i la de l'any c. 400 cal BP. Finalment, a la zona CDR1-E a on el registre pràcticament desapareix amb una mínima acumulació a l'any c. 330 cal BP. En època contemporània no es registren macrocarbons sedimentaris (Figura 129).

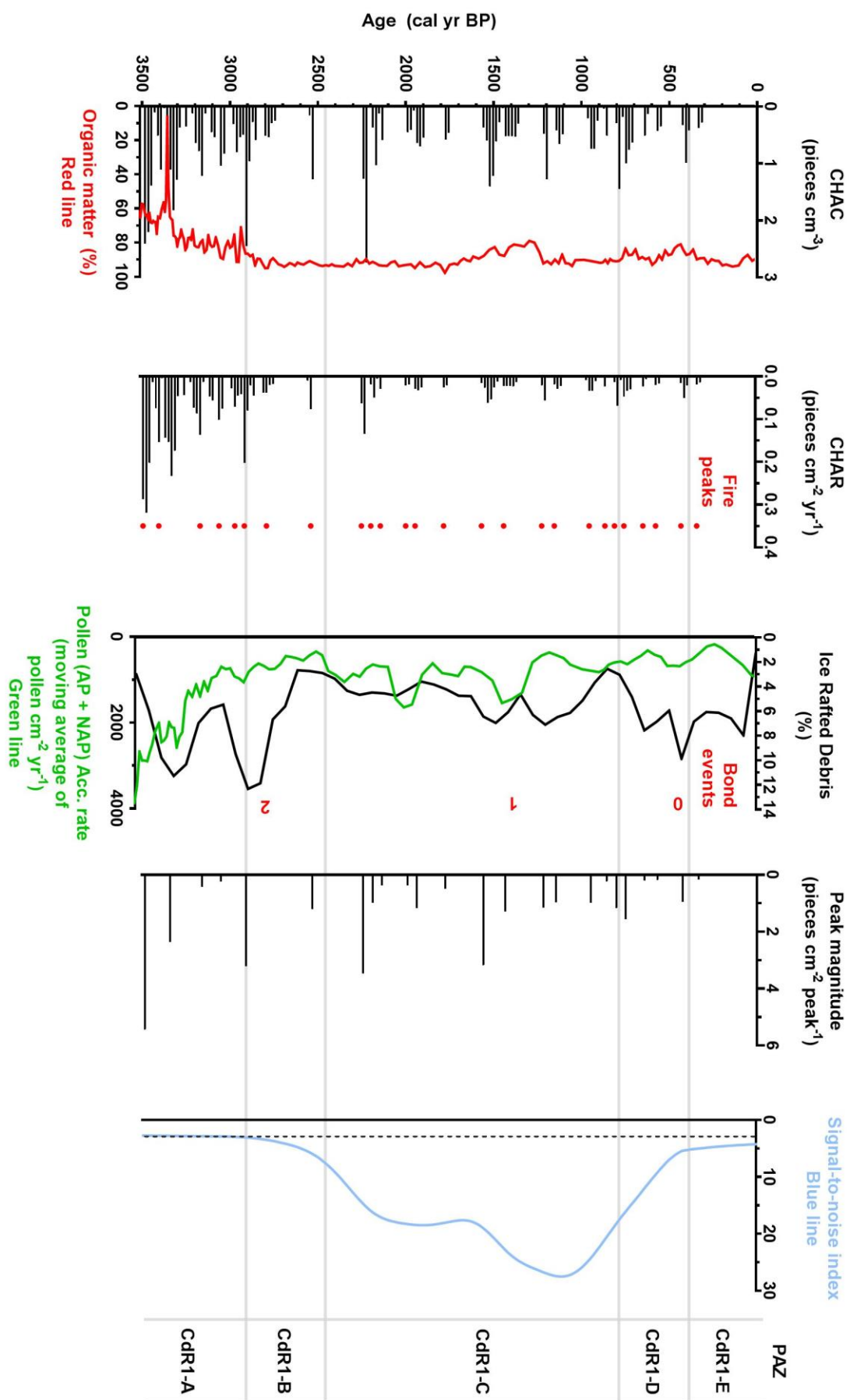


Figura 128. Concentració de macrocarbons (CHAC), taxa d'acumulació de macrocarbons (CHAR), events de Bond, taxes d'acumulació de pollen arbori i no arbori (AP+NAP), pics de carbons i SNI en CDR1.

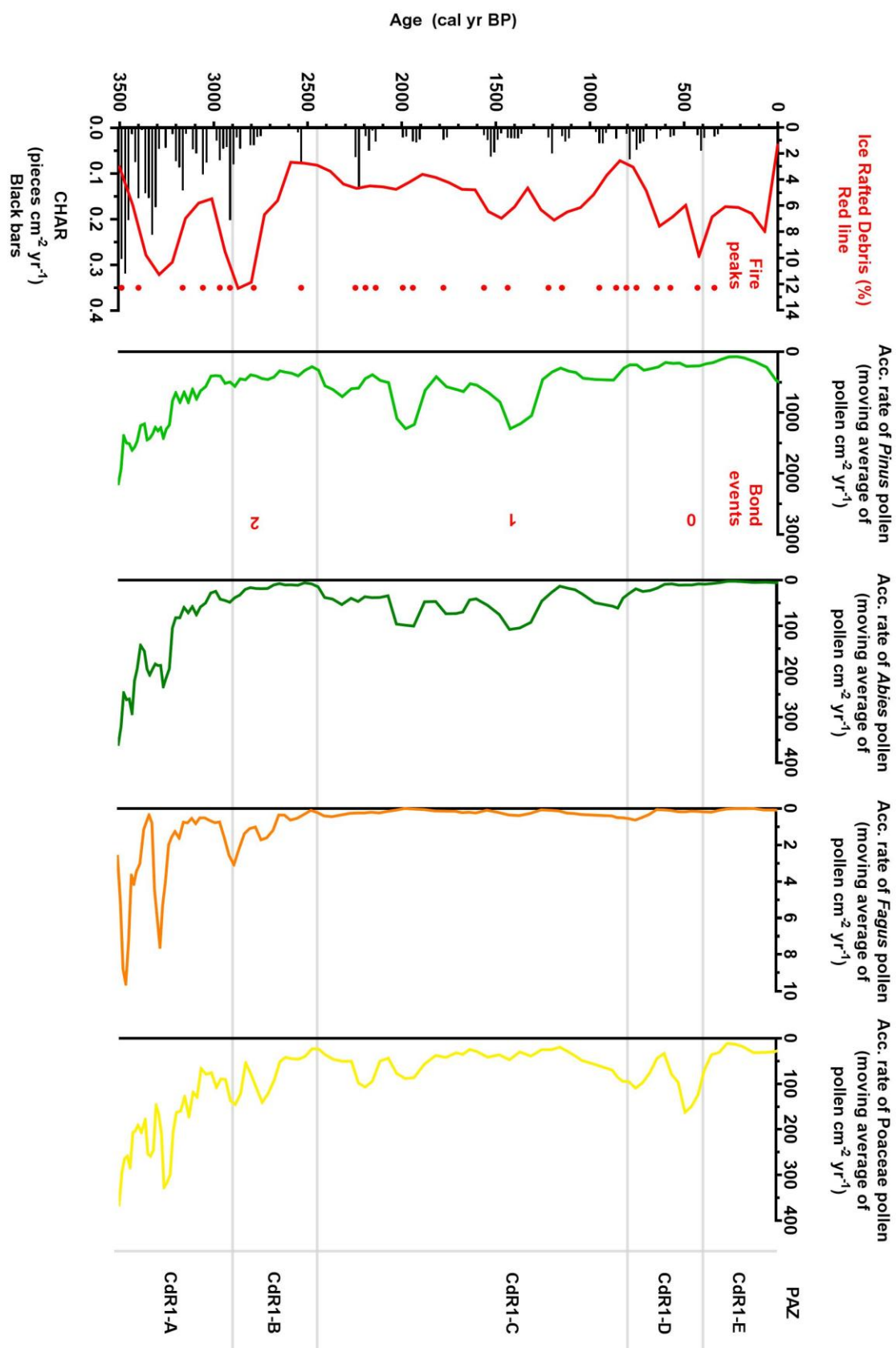


Figura 130. Taxa d'acumulació de macrocarbons (CHAR), *Ice Rafted Debris* (IRD) i taxes d'acumulació pol·línica de *Pinus*, *Abies*, *Fagus* i *Poaceae* a CDR1.

4.2. Torbera de l'Estany de la Bassa (BAS1).

4.2.1. Descripció sedimentària de BAS1.

Es van distingir tres unitats sedimentàries al registre obtingut a l'Estany de la Bassa (Figura 130). La unitat més profunda (de 257 a 180 cm) es caracteritza per nivells de llims orgànics lacustres amb una fase molt estreta (de 228 a 220 cm de profunditat) de llims i sorres inorgànics. Per sobre d'aquesta zona (de 184 a 3 cm de profunditat), el sediments estaven compostos per torba fibrosa, més fosca en superfície i més clara en profunditat, amb un nivell molt fi de miques (de 87 a 89 cm de profunditat). La zona més superficial (de 3 cm de profunditat fins a la part superior) es caracteritza per l'abundància de sòl hidromòrfic amb molsa viva.

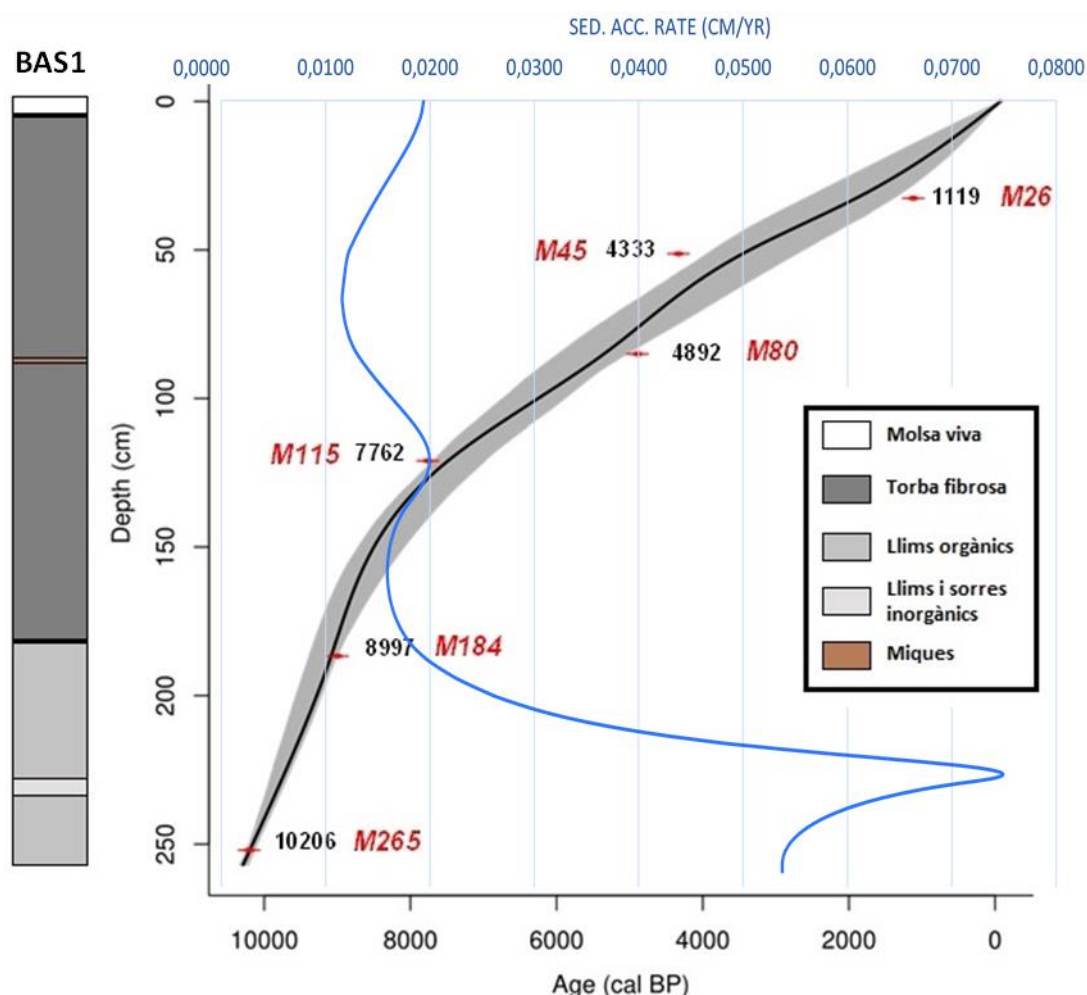


Figura 130. Model cronològic de BAS1 superposat amb la taxa d'acumulació sedimentària (corba blava) i la columna sedimentària. Xifres en negre: edats usades pel model. Les xifres en vermell són el codi de la mostra datada.

Pel que fa a la taxa d'acumulació sedimentària s'observa una oscil·lació en els primers 185 cm amb valors d'entre 0,01 i 0,02 cm anuals per accelerar-se fortament a

partir d'aquesta profunditat i arribar als 0,07 cm anuals a uns 225 cm. Finalment s'observa una caiguda fins a valors de 0,053 cm anuals a la base del registre.

4.2.2. Model cronològic de BAS1.

Per establir un model cronoestratigràfic d'edat amb per al registre sedimentari BAS1 (Figures 130 i 131) es van utilitzar sis datacions de ^{14}C AMS (*Beta Analytic Inc.*), amb una edat màxima de 10,206 ka cal BP, a partir de mostres de torba (Taula 6), a una profunditat de 32.6, 51.3, 85, 121, 186.7 i 253.4 cm.

Pel que respecta al contingut en matèria orgànica, es pot determinar l'existència de les 3 fases següents: entre fa c. 10,29 ka cal BP (des de la mateixa base del testimoni sedimentari) fins a c. 9,5 ka cal BP, els valors percentuals de matèria orgànica es situen entre el 20 i el 40%. En un segon moment, entre c. 9,5 i 5,4 ka cal BP, els valors percentuals de matèria orgànica pugen fins a un 60% tot i que en c. 9 i 8,4 ka cal BP s'observen 2 pics propers al 80%. En l'altre extrem, fa c. 6,7 i 5,45 ka cal BP es registren dues davallades sobtades arribant a valors propers al 20% seguides de fortes recuperacions. La tercera fase aniria de c. 5,4 ka cal BP fins al present, a on els valors es mourien entre un 60 i un 80% aproximadament. En diferents moments d'aquesta fase es registren valors que arriben al 90% com ara fa c. 4,8, 3,8, 2,8, 1,8 i 0,15 ka cal BP. També s'observen caigudes de la matèria orgànica properes al 40% fa c. 3,7, 2,6, 1,5 i 0,6 ka cal BP, sent la més recent en el temps, la davallada al 50% registrada fa només 1 segle aproximadament (Figura 133).

Taula 6. Dades d'edat de ^{14}C i calibració de BAS1, extret el 3 d'octubre de 2016. Les edats de radiocarboni han sigut calibrades utilitzant *IntCal20.14c Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve* (Reimer *et al.*, 2020).

Codi de mostra i material datat	Profund. (cm)	Codi laboratori	Datació convencional BP	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	Edat calib. (2σ) (cal yr BP)	Edat mitjana més probable, usada pel model cronològic (cal yr BP)
Superfície	0	-	-	-	-	- 66
BAS1_M26, vegetal	32.6	Beta-570612	1240 $\pm$ 30	-23.9	1266–1170	1119
BAS1_M45, vegetal	51.3	Beta-570613	3920 $\pm$ 30	-26	4242–4424	4333
BAS1_M80, vegetal	85	Beta-490943	4450 $\pm$ 30	-25.4	5142-4960	4892
BAS1_M115, vegetal	121	Beta-570614	6940 $\pm$ 30	-24.8	7841-7682	7762

BAS1_M184, vegetal	186.7	Beta-570615	8050 ± 30	-24.1	9024-8969	8997
BAS1_M265, vegetal	253.4	Beta-511937	9020 ± 30	-26.1	10240-10172	10206

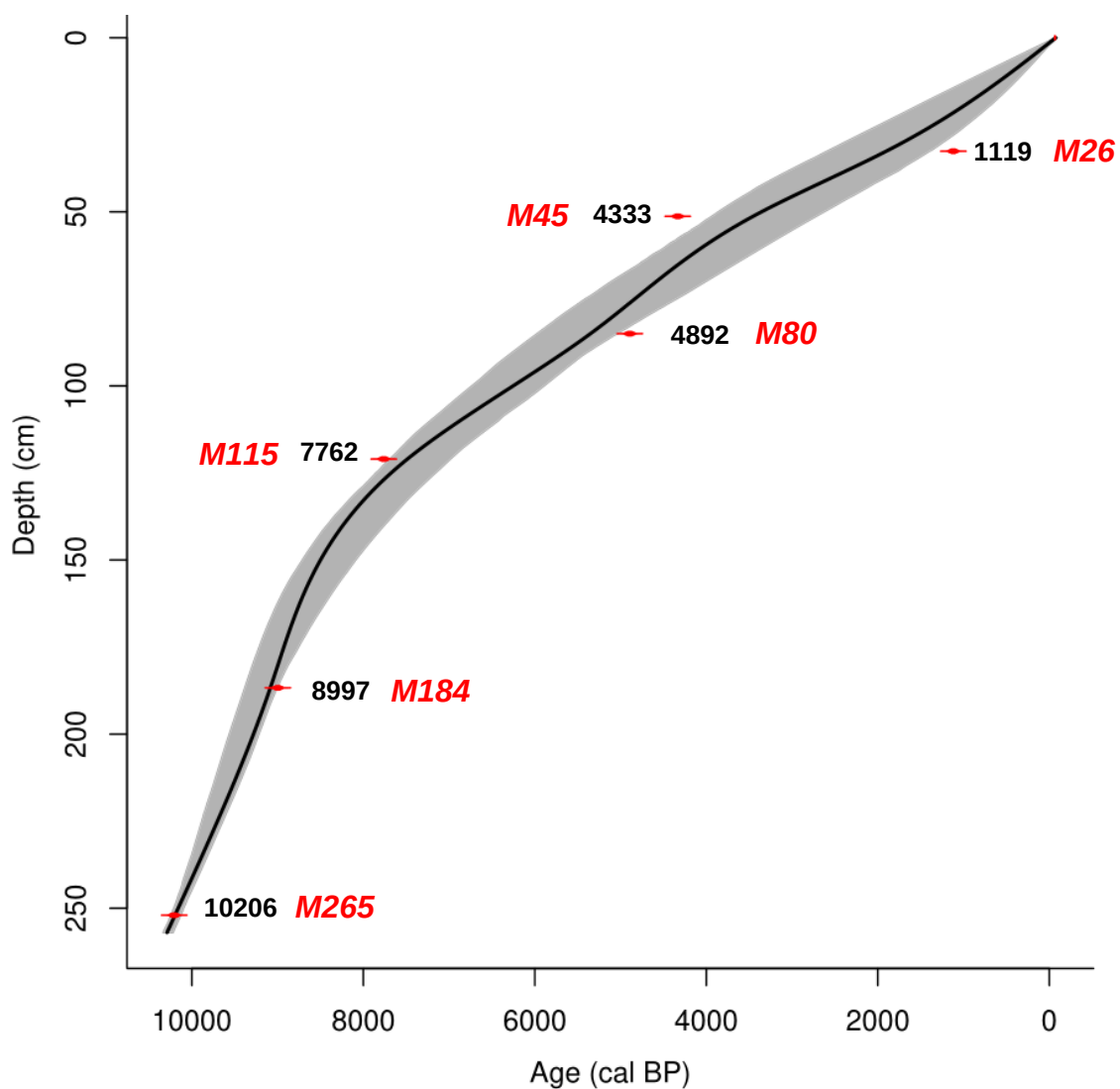


Figura 131. Model cronològic de BAS1. Xifres en negre: edat usades pel model. Xifres en vermell: codi de mostra datada.

4.2.3. Pol·len i palinomorfs no pol·línics (NPPs) de BAS1.

El diagrama de pol·len i NPPs obtinguts a la seqüència de BAS1 (Figura 132) han permès la reconstrucció paleoambiental dels darrers c. 10,29 ka cal BP. El registre està

dominat per tàxons arboris, a on predominen clarament les coníferes i essencialment *Pinus*. Els arbustos i les herbàcies que incrementen la seva presència al llarg del temps així com els indicadors antròpics associats, especialment des de l'Edat del Bronze. Segons l'anàlisi estadístic CONISS s'han pogut establir 7 zones PAZ (*Pollen assemblage zones*), anomenades de l'A a la G, de més antiga a més moderna.

4.2.3.1. BAS1 / A-PAZ. Del c. 10,2 al 8,5 ka cal BP.

La primera i més antiga de les zones delimitada per l'anàlisi CONISS engloba al voltant de 1700 anys i es situa a la base de la seqüència. Pel que respecta a la coberta forestal, *Pinus* va ser el principal tàxon arbori amb una representació de l'espectre pol·línic superior al 70% i, en algun moment, per sobre del 80%, al c. 9750 cal BP. Segueixen a continuació dos taxons colonitzadors com ara *Corylus* amb valors d'entre el 10 i el 15% (al c. 9,6 ka cal BP toca el 20%) i *Betula* amb valors d'entre el 5 i el 10%. Totes dues espècies van mostrar els valors més alts de tot el registre. En quart lloc es registren valors menors de *Quercus* caducifolis, amb una presència força constant fins a l'actualitat, seguit de les alzines (*Quercus* perennifolis) i els roures caducifolis amb valors inferiors a al 2%. Un primer gra de pol·len d'*Abies* apareix en c. 8,6 ka cal BP amb el que seria el primer indici d'expansió des dels seus refugis. Cal destacar l'absència de *Fagus*, que trigarà encara un mil·lenni en aparèixer a la seqüència de l'Estany de la Bassa. Finalment, senyals d'altres espècies forestals com *Alnus*, *Salix*, *Ulmus* o *Fraxinus* també han aparegut feblement en el registre sedimentari.

Pel que fa al substrat arbustiu, el tàxon més representat va ser el de les Ericàcies, seguides per *Buxus*, així com de formes silvestres d'*Olea* (l'ullastre), tots ells amb valors residuals. En el substrat herbaci dominarien les poàcies, les apiàcies i *Artemisia*, seguit d'Asteroideae i, de forma més residual, d'Amaranthaceae, Cichorioideae, *Helianthemum* i *Rumex*. Pel que fa als hidro-higròfits, cal esmentar febles indicis de *Ranunculus*, valors molt discrets però continuats de les ciperàcies, el valor més alt de pteridòfits de tota la seqüència i també valors relativament alts d'algues clorofícies del gènere *Pediastrum*. En canvi, el gènere algal *Botryococcus* apareix de forma molt més puntual. Pel que respecta al registre fúngic, destacarien majoritàriament un copròfil com *Podospora* i l'indicador erosió edàfic, el fong micorrízic *Glomus*, amb poca abundància de cossos fructífers d'ascomicets. També hi hauria un senyal molt feble i discontinu d'amebes testàcies com ara *Assulina*. Pel que fa a invertebrats, hi hauria un senyal continuat d'oòcits de platihelmints del gènere *Turbellaria*.

4.2.3.2. BAS1 / B-PAZ. Del c. 8,5 al c. 6,75 ka cal BP.

A continuació s'ha separat una nova zona d'una durada d'uns 1750 anys en la que la coberta de *Pinus* aniria augmentant sensiblement fins a abundàncies d'entre el 70% i el 80%. *Betula* es manté amb oscil·lacions d'entre el 2,5% (en 7,5 ka cal BP) i el 5% i *Corylus* mostra una paulatina tendència contractiva al llarg de la zona, passant d'un 10% en c. 8,4 ka cal BP a poc més d'un 3% en c. 6,75 ka cal BP. *Salix* desapareix completament a excepció d'unes poques mostres datades en c. 7,4 ka cal BP. *Abies* torna a aparèixer just a l'inici de la PAZ i un feble senyal pol·línic es mantindrà durant uns tres segles per desaparèixer al llarg de tres segles més. A partir de c. 7,9 ka cal BP, *Abies* ja apareixerà de forma continuada i ininterrompuda fins al present. Cal destacar l'aparició d'un primer gra de pol·len aïllat de *Fagus* en c. 7,75 ka cal BP, i que no es tornarà a trobar a cap altra mostra fins c. 5,8 ka cal BP. També apareix a cavall amb el final de la PAZ anterior, els primers senyals d'*Abies*. Els roures caducifolis així com els alzinars mantenen un senyal pol·línic similar al PAZ anterior. També destaca l'aparició i manteniment de *Tilia*, amb un màxim al c. 7,7 ka cal BP amb un percentatge proper al 5%. El paisatge arbustiu es manté semblant a la PAZ anterior, amb les ericàcies, *Buxus* i els ullastres presents al registre pol·línic.

El mateix patró s'observa amb l'estrat herbaci, amb les poàcies, les apiàcies i *Artemisia*, en el grup millor representat, seguit de les cicorioidies, una subfamília de les asteràcies. Les amarantàcies pràcticament desapareixen del registre i *Geranium* mostra alguna efímera presència. Un comentari apart mereix la primera presència de pol·len atribuït a un cereal, al voltant del 7,7 ka cal BP i que discutirem en el següent apartat. Els valors de les ciperàcies es segueixen mantenint baixos amb algunes interrupcions en la seva presència.

Pel que fa als hidro-higròfits, van continuar el registre de *Ranunculus*, valors més discrets de falgueres i també valors sensiblement més baixos que en la PAZ anterior d'algues del gènere *Pediastrum*. En contraposició, el gènere algal *Botryococcus* augmenta la seva abundància. Pel que respecta al registre fúngic, seguirien destacant majoritàriament un copròfil com *Podospora* i *Glomus*, amb una menor i més puntual abundància de cossos fructífers d'ascomicets. També hi hauria un senyal feble i molt discontinu d'*Assulina*. Pel que fa a invertebrats, es mantindria el senyal continuat d'oòcits de *Turbellaria*.

4.2.3.3. BAS1 / C-PAZ. Del c. 6,75 al c. 4,75 ka cal BP.

A l'inici d'aquesta tercera zona, d'una durada aproximada de 2000 anys, es registra el major pic d'abundància de *Pinus* de tota la seqüència, amb valors del 90% en c. 6,25 ka cal BP. A partir d'aquest moment s'observa una continuada davallada en forma dents de serra d'aquest tàxon fins al final de la C-PAZ, a on es situarà per sota del 65% ja en c. 4,7 ka cal BP, tot just a l'inici de la D-PAZ. *Betula* va mostrar valors estables tot i que amb alts i baixos mentre que *Corylus* es va mostrar més constant. *Alnus* mostrarà també un sensible augment que es mantindrà fins al c. 1,65 ka cal BP, moment en el que davallarà clarament i permanentment. D'altra banda, *Abies* va mostrar un augment continuat al llarg dels dos mil·lennis, des dels mínims de c. 6,75 ka cal BP, assolint valors propers al 10% al final d'aquest PAZ. *Tilia* va mantenir nivells febles i continus, tot i que inferior al PAZ B.

El pol·len arbustiu es manté similar al de la zona anterior, amb una certa davallada de les ericàcies, el manteniment de *Buxus* i les aparicions esporàdiques dels ullastres. La dinàmica és també semblant pel que fa a l'estrat herbaci, amb el manteniment en valors estables de les poàcies, de les asteroïdees, de les cicoriòidies i d'*Artemisia*, i una aparició puntual i esporàdica de les amarantàcies, de *Rumex* i de *Plantago*. També retornà al diagrama *Helianthemum*, de la família de les cistàcies, desaparegut al PAZ anterior. Cal destacar el senyal feble però continuat del pol·len atribuït als cereals.

Seguint amb els hidro-higròfits, els valors de les ciperàcies es seguirien mantenint baixos, tot i que ara continus així com també s'observà amb *Ranunculus*. Falgueres i copròfils com *Podospora* decauen lleument però es continuen mantenint al llarg de tota la PAZ. EL fong micorrízic *Glomus* aparegué amb discontinuïtats a l'igual que els ascomicets. Algues com *Pediastrum* es mantingueren al llarg de la zona, decaient cap al final, i *Botryococcus* mostrà un senyal feble i molt discontinu. Es va mantenir el senyal feble i molt discontinu d'*Assulina* i apareix per primer cop al registre, un nou gènere d'ameba testada com és *Arcella*. Pel que respecta als invertebrats identificats, es va mantenir el mateix senyal feble i continuat d'oòcits de *Turbellaria*.

4.2.3.4. BAS1 / D-PAZ. Del c. 4,75 al c. 3,35 ka cal BP.

Amb l'inici d'aquest nou PAZ, d'uns 1400 anys de durada, es va registrar una important davallada en el tàxon dominant al nucli analitzat. Just al principi de la zona D *Pinus* va assolir valors inferiors al 65%, fet que no s'havia vist en els darrers cinc mil·lennis, amb una posterior recuperació relativament ràpida. Cal dir que aquest percentatge encara baixarà més en el baixmedieval i l'Època Moderna, marcant els

mínims de tota la seqüència. Aquesta reducció dels pins va permetre l'augment de tàxons colonitzadors com els bedolls o els avellaners, que repunten. En el cas de concret de *Betula* va assolir percentatges propers al 10% al c. 4,4 ka cal BP, xifra que els situa en màxims de tota la sèrie. En canvi, el repunt de *Corylus* va ser més discret, assolint valors pol·línics no superiors al 10%, lluny del 20% registrats al c. 9,7 i al c. 9,4 ka cal BP, tot just a l'inici de l'Holocè. *Abies* mantingué la seva abundància amb petits alts i baixos, i *Fagus* mostrà algun que altre feble pic seguit de desaparicions del seu pol·len a les mostres. *Tilia* va continuar amb la davallada iniciada al PAZ anterior i acabarà desapareixent de la seqüència. La reducció progressiva del pol·len arbori va permetre l'augment de taxons herbacis, especialment de les poàcies i les apiàcies, que iniciaran un increment percentual que seguirà fins al present.

El pol·len arbustiu es mantingué similar al de la zona C, amb la novetat de l'aparició inèdita de *Calluna* en el tram final de la PAZ, una certa davallada de *Buxus* i una aparició encara feble però més continuada d'*Olea*. La dinàmica de l'estrat herbaci va mostrar un patró similar amb la zona C, amb un lleuger increment de les poàcies, les amarantàcies i d'apiàcies, el manteniment de les asteroïdees, de les cicoriòidies i d'*Artemisia*, les aparicions esporàdiques de *Rumex* i de *Plantago* i la nova desaparició d'*Helianthemum*. Cal destacar, de nou, el senyal un xic més intens i continuat de cereals.

Continuant amb els hidro-higròfits, els valors de les ciperàcies mostrà un increment sensible al llarg del tram central de la zona, tot i que amb regressions tant a l'inici com al final de la mateixa. *Ranunculus* i les espores de falgueres també es van mostrar amb valors i continuïtats similars al llarg de tota la PAZ. Tot i que *Podospora* es va mantenir estable i similar al PAZ C, es detectà l'aparició de fongs copròfils no identificats fins a aquest moment com són *Cercophora* i *Sporormiella*. *Glomus* va mostrar un patró de discontinuïtats similar a la zona C, a l'igual que els cossos fructífers dels ascomicets. Algunes com *Pediastrum* i *Botryococcus* es mantingueren amb valors febles i discontinus. De nou es va mantenir el senyal feble i discontinu d'*Assulina* i desaparegué *Arcella*. Els oòcits de *Turbellaria* van seguir mostrant el mateix senyal feble amb alguna discontinuat.

4.2.3.5. BAS1 / E-PAZ. Del c. 3,35 al c. 1,75 ka cal BP.

Continuant en la seqüència, trobem la zona E, d'una durada aproximada de 1600 anys. Tot just al començament es torna a registrar una davallada del pol·len de *Pinus* que va durar uns 3 segles, entre el c. 3,3 i el 3 ka cal BP. El mínim d'aquesta baixada es va situar en c. 3 ka cal BP, amb valors propers al 70% (lluny del 55% registrat al c. 500 cal BP). Val a dir que la recuperació es manté estable durant tota la romanització,

recuperant valors superiors al 80% al c. 2 ka cal BP. Bedolls i avellaners reculen progressivament, a l'igual que *Abies*, que també va declinar suaument des dels valors més elevats de tot l'Holocè registrats en la zona anterior. Cap al final del període, c. 2 ka cal BP, es van registrar els mínims percentuals que, amb certes fluctuacions, es mantindran ja molt similars als actuals. *Fagus* va mostrar un senyal més intens que en moments anteriors i, per primer cop a tota la sèrie, sense intermitències. Pel que fa als roures caducifolis i a les alzines, es mantenen amb valors similars a la zona anterior amb una interrupció marcada i sincrònica al c. 2,6 ka cal BP, seguida d'una ràpida recuperació. Aquesta davallada puntual però intensa, també va afectar a altres tàxons arboris com ara *Alnus* o *Corylus*. *Olea* va continuar mostrant intermitències, especialment al primer tram d'aquesta zona E i entre c. 2,6 i 2 ka cal BP ja no desapareix de les mostres. *Tilia* ja no va aparèixer en cap mostra d'aquesta PAZ.

Els taxons arbustius van seguir una dinàmica similar a la de zones anteriors. Van predominar les ericàcies amb una presència continuada entre el c. 3,4 i el c. 2,2 ka cal BP seguida d'una desaparició breu, al voltant del c. 2 ka cal BP. També es van identificar els gèneres *Calluna* i *Buxus*, si bé de forma feble i intermitent.

El pol·len del substrat herbaci va repuntar, especialment el de la família *Poaceae*, intensificant el seu senyal entre c. 2,7 i 2,5 ka cal BP i mostrant una posterior estabilització, sempre sense arribar als màxims registrats en èpoques Medieval i Moderna. Les apiàcies també van mostrar un comportament similar i força sincrònic a les poàcies. Cal destacar un feble pic de cereals just a l'inici de la zona E, en c. 3,3 ka cal BP, i que decau ràpidament, amb un senyal pol·línic més feble que no pas a la zona anterior. També podem destacar un primer senyal tardoromà del gènere *Secale*. Pel que fa la resta de tàxons herbacis, com les asteroïdees, les cicoriòidies, *Artemisia*, *Rumex* i *Plantago*, es van observar per primer cop, pics marcats al principi de la zona E, ja que en el passat el seu senyal sempre havia sigut més feble i, sobretot, molt uniforme.

Pel que fa als taxons hidro-higròfits, els valors de les ciperàcies mostrà un increment quantitatiu, arribant a percentatges del 15% en c. 2,6 ka cal BP, i mantenint una important presència al llarg de tota la zona. Aquest registre encara augmentarà notablement més endavant, però aquesta zona E va ser un primer punt d'inflexió en la seva expansió. Les espores monoletes i triletes de les falgueres van mostrar una regressió en les mostres respecte zones anteriors. *Pediastrum* va desaparèixer del registre i únicament el gènere *Botryococcus* mostrà una molt feble i intermitent aparició.

També es va poder constatar una certa expansió del fong copròfil *Podospora*, amb una panxa sensible a la zona central del tram, però sense arribar als nivells que es

registraran en èpoques Medieval i Moderna. Finalment cal destacar la presència gairebé ininterrompuda d'ous de tardígrads, per primera vegada a tot l'Holocè.

4.2.3.6. BAS1 / F-PAZ. Del c. 1,7 al 1 ka cal BP.

Arribem a una de les zones que conjuntament amb la PAZ-G van presentar canvis més profunds en el diagrama pol·línic. Podríem considerar aquesta zona com l'inici de les pertorbacions medievals i que continuaran a l'Edat Moderna i Contemporània. L'estrat arbori pateix una regressió que s'aprofundirà al llarg de la PAZ-G i que no només va afectar *Pinus* amb percentatges inferiors al 70% (similars als que es van registrar a l'Edat del Bronze), sinó també la resta de tàxons forestals com ara bedolls, avellaners, avets, faigs, verns (que ja no es recuperaran) o els roures caducifolis. Concretament al voltant de l'any c. 1,1 ka cal BP es va registrar una primera davallada del pol·len arbori mai vista abans, amb valors propers al 55% i que, en 4 regressions molt agudes repartides entre aquesta zona F i la G, conformaran els mínims holocènics. Només dos tàxons mostren una dinàmica diferent: els *Quercus* perennifolis van mantenir la seva abundància (baixa) i el pol·len d'*Olea*, que va augmentar ràpidament a totes les mostres. Les principals espècies arbustives registrades al palinograma van mostrar expansions, especialment les ericàcies. En canvi, el gènere *Buxus* només va augmentar (tot i que feblement) cap al final d'aquesta PAZ, assolint els màxims de tot l'Holocè.

El retrocés registrat en els tàxons arboris va ser aprofitat per les herbàcies, especialment per les poàcies amb dos pics situats en c. 1,5 i 1,1 ka cal BP aproximadament, amb valors propers al 20%. També es van expandir *Artemisia*, especialment a l'inici del tram, i els cereals, que van mostrar un parell de pics al c. 1,5 i al c. 1,1 ka cal BP, sent aquest últim el màxim absolut holocènic. *Plantago* també va mostrar un increment en forma de serra assolint un màxim relatiu al c. 1,5 ka cal BP. Altres herbàcies no van mostrar gaires canvis respecte la PAZ anterior com ara les asteroïdees, les cicoriòidies, les apiàcies o el gènere *Rumex*.

Respecte als taxons hidro-higròfits, els valors de les ciperàcies va mostrar un decrement molt dràstic a l'inici, quasi desapareixent al c. 1,7 ka cal BP, seguit d'una clara recuperació per acabar en valors superiors al 10% al c. 1 ka cal BP. Les Amaranthaceae van marcar valors clarament superiors als registrats en tota la seqüència anterior mentre que *Ranunculus* es va mantenir en una dinàmica similar a les PAZ prèvies, amb percentatges molt baixos i amb algunes discontinuïtats. La clorofícia planctònica *Botryococcus* va mostrar increments destacables en forma de pics, especialment cap al final del tram al c. 1 ka cal BP mentre que *Pediastrum* va continuar

absent de les mostres d'aquesta PAZ. Entre c. 1,25 i el c. 1 ka cal BP es va registrar també un pic expansiu en la presència del fong copròfil *Podospora* i el fong micorrízic *Glomus*, també al c. 1,25 ka cal BP, va mostrar un altre pic, el major de tota la sèrie estudiada. Les espores de pteridòfits van mostrar una dinàmica similar a la PAZ anterior.

4.2.3.7. BAS1 / G-PAZ. De l'any c. 1000 cal BP al present.

L'última zona CONISS que s'estén al llarg del darrer mil·lenni és la que va mostrar més alteracions (ja detectades a la PAZ anterior) de la coberta arbòria i de l'expansió de tàxons com les ciperàcies, les poàcies o els fongs copròfils. Al voltant del c. 500 cal BP es van registrar els mínims absoluts holocènics de *Pinus*, amb valors percentuals inferiors al 55%, i de recobriment arbori, amb valors percentuals inferiors al 65%. En cap moment anterior del testimoni sedimentari es van assolir aquests valors, ni tan sols amb les pertorbacions de l'Edat del Bronze. També cal remarcar la notable recuperació observada en els darrers 250 anys aproximadament i, especialment, en els darrers 50 anys, que va suposar un augment percentual tant en *Pinus* (un 70% actual) com al total de tàxons arboris (un 90% actual). Gèneres com *Betula*, *Corylus*, *Fagus*, *Abies* o els roures caducifolis van mostrar un patró en dents de serra amb expansions i regressions prou importants. *Alnus* va mostrar un patró residual, molt similar al del PAZ anterior i *Ulmus*, *Fraxinus* o *Tilia* van desaparèixer totalment del palinograma. En contraposició, el pol·len de dos tàxons arboris va experimentar una expansió remarcable. És el cas dels *Quercus* perennifolis que van assolir els màxims holocènics en Època Moderna i Contemporània i *Olea*, provinent de les planes sud-pirinenques, i que també mostra pulsacions, arribant a màxims de tota la seqüència en les mostres més recents.

Els taxons arbustius, que també van mostrar diverses pulsacions, van determinar una tendència regressiva, especialment en les ericàcies, des de valors percentuals màxims holocènics sobre el c. 600 cal BP fins a la residualitat en el moment actual. El pol·len de *Buxus* va marcar valors percentuals màxims al voltant del 900 cal BP, però a diferència de les ericàcies (a on *Calluna* és inexistent), es va continuar detectant en les mostres més recents. Els grans beneficiats de l'obertura del bosc van ser indiscutiblement les poàcies, que van assolir diversos pics d'abundància situant-se en màxims holocènics entre c. 800 i c. 500 cal BP. També les apiàcies van mostrar una notable expansió. *Plantago* va mostrar amb un màxim de la sèrie en c. 900 cal BP, però decau progressivament. *Rumex* es mantingué present i força estable i aparegué una petita panxa de fabàcies tot just a l'inici de la zona. Altres tàxons herbacis no van mostrar gaires canvis respecte la PAZ anterior. Les rubiàcies van mostrar febles pulsacions, però més intenses que en el passat. Els cereals van decaure en general respecte els màxims

de la PAZ F, tot i que es va comprovar l'existència de 2 panxes centrades una, en c. 600 cal BP i la segona, més petita, entre els segles XIX i XX CE aproximadament. Entre mig de les dues desapareix el senyal de cereal, potser associat a un empitjorament climàtic associat a la LIA i sincrònicament aparegué un senyal feble d'*Artemisia*. Cal citar la presència de *Secale*, un cereal d'ambients freds, que s'inicià en c. 250 cal BP i que es mantingué aproximadament fins ben bé el segle XX CE.

Les ciperàcies s'expandiren de forma intensa al llarg del darrer mil·lenni. Amb una tendència clarament alcista, va assolir els mínims percentuals del 5% en c. 900 cal BP mentre que en c. 250 cal BP ja arribà al 35%. Posteriorment, una sensible retallada la situà al voltant del 20% en el moment actual. Cal destacar així mateix, el *boom* dels cloròfits del gènere *Botryococcus*, entre el c. 750 i c. 350 cal BP (i un màxim en c. 700 cal BP) i el pic realment agut, en c. 950 cal BP, del fong copròfil del gènere *Podospora*, amb valors percentuals superiors al 10%. A diferència del cloròfit, que pràcticament desapareix després del c. 350 cal BP, el copròfil encara va mostrar dues potents pulsacions de menor escala que la primera, en c. 600 i 350 cal BP respectivament. Sincrònicament amb el pic principal de *Podospora* en c. 950 cal BP, altres copròfils com *Cercophora* o, en menor grau *Sporormiella*, que només havien aparegut molt feblement en l'Edat del Bronze, tornen a aparèixer. Finalment es registrà un senyal estable i continu d'ous de tardígrad entre c. 1 ka i c. 300 cal BP, moment en el que definitivament van desaparèixer de les mostres.

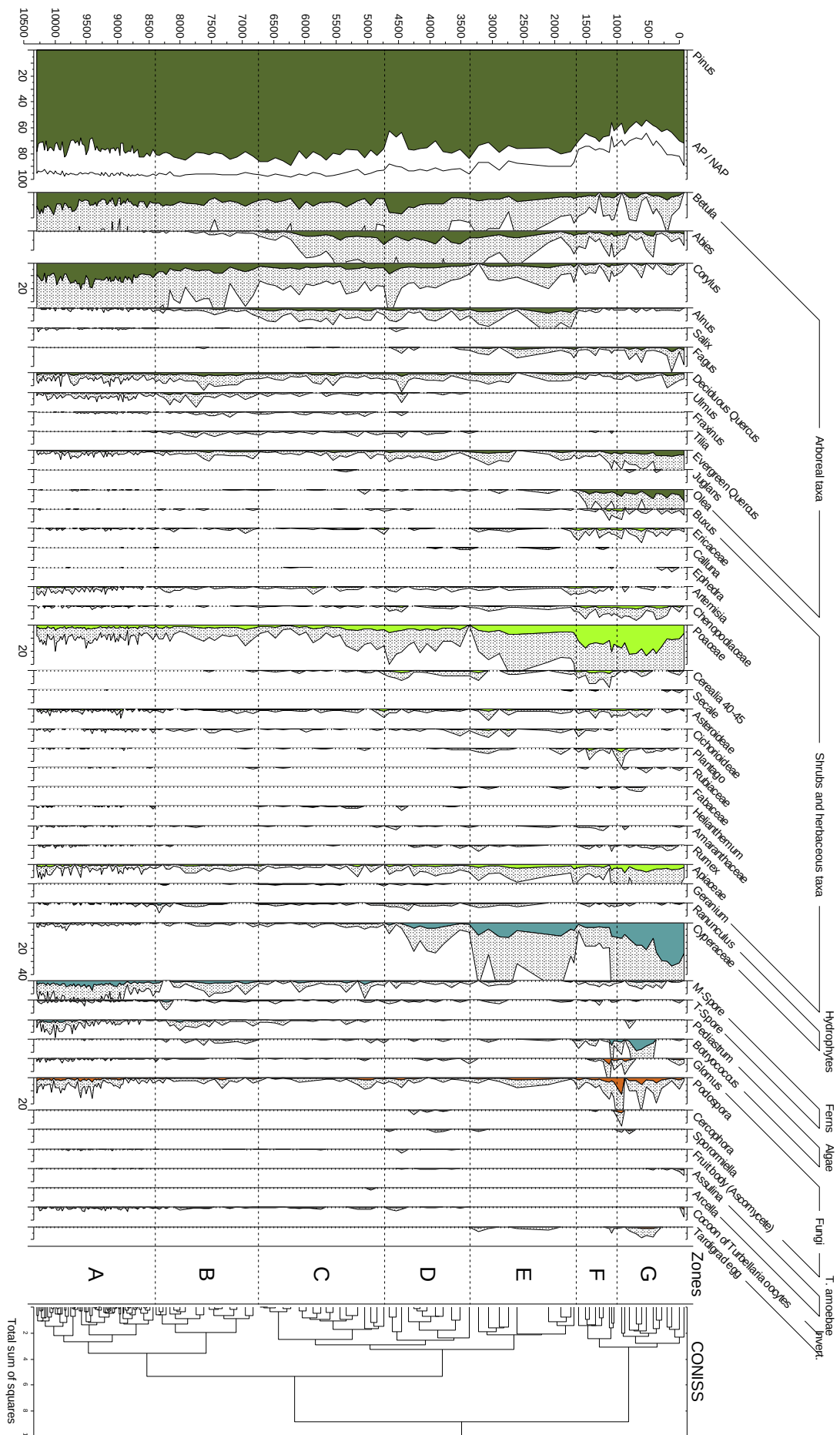


Figura 132. Diagrama percentual de pol·len arbori (AP) i no arbori (NAP) de BASI. Les siluetes puntejades indiquen una exageració de 5x. Es mostren també les zones d'agregació de pol·len (PAZ) determinades mitjançant una anàlisi CONISS. **Llegenda:** en verd clar, les espècies arbòries; en verd oliva, els arbusts; en blau, les higròfites i les hidrofites; i en taronja, les algues i els fongs.

4.2.4. Macrocarbons sedimentaris de diàmetre superior a 150 µm de BAS1.

Pel que fa al paper del foc i la seva dinàmica, també s'ha mantingut la separació en zones (PAZ) que ja hem vist en els resultats del palinograma. A la base del diagrama, a la zona BAS1-A, datada entre c. 10,2 i 8,5 ka cal BP, destaquen 4 grups de senyals de macrocarbons separats entre ells: la primera la trobem just a la base, a c. 10,2 ka cal BP, amb valors de CHAR de 0,1 partícules per cm² anuals; a continuació es registra un segon grup en c. 9,6 ka cal BP, sent el més feble de tots quatre; el tercer grup el trobem entre c. 9,3 i 9,1 ka cal BP, amb senyals més continuats i més intensos de fins a 0,2 partícules per cm² anuals; el darrer grup s'estén entre 8,8 i 8,6 ka cal BP i seria el més important de tots quatre amb valors màxims de 0,3 partícules per cm² anuals (en c. 8,6 ka cal BP), convertint-se també en el més alt de tota la seqüència sedimentària. Cal remarcar que el registre de pics d'incendis també és el més atapeït de tota la seqüència (Figura 133).

A la zona BAS1-B, datada entre c. 8,5 i 6,75 ka cal BP, el registre de macrocarbons sedimentaris disminueix d'intensitat i s'observen 2 agrupacions i alguns senyals puntuals aïllats: el primer grup es registra entre c. 8,25 i 8 ka cal BP amb diversos pics màxims de 0,05 partícules per cm² anuals; el segon grup mostra una intensitat similar al primer però és més curt, situant-se en c. 7,15 a 7 ka cal BP (Figura 133).

A la zona següent, la BAS1-C, datada entre c. 6,75 i 4,75 ka cal BP, es registra un primer grup de senyals en c. 6,75 ka cal BP d'intensitat similars als de la zona anterior, tot i que encara menys durador. Fins al c. 6,2 ka cal BP no es detecten senyals, però a partir d'aquesta data s'evidencia un canvi de patró: el que havien sigut senyals agrupats separats per alguns segles es transformen ara en un contínuum de senyals més o menys intenses i que es mantindran fins a ben bé l'any c. 800 cal BP, quan es recupera un cert espaiat entre els incendis. Entre 6,2 i 5,6 es registren dues agrupacions de senyals amb una CHAR superior a 0,05 partícules per cm² anuals. Cap a la segona meitat d'aquesta zona, entre fa c. 5,5 i 4,8 ka cal BP, els senyals es mantenen continuadament i superen les 0,1 partícules per cm² anuals, registrant-se fins a 3 pics que superen les 0,15 partícules per cm² anuals fa c. 5,4, 5 i 4,95 ka cal BP (Figura 133).

Continuant amb la zona BAS-D, datada entre c. 4,75 i 3,35 ka cal BP, destaca la continuïtat del registre que ja va començar a la zona anterior amb una única interrupció fa c. 3,8 ka cal BP, en la que no es registren macrocarbons. La intensitat dels senyals varia entre els dos grups de pics màxims fa c. 4,7 i 3,9 ka cal BP superiors a 0,15

partícules per cm² anuals i altres de menors que oscil·len entre les 0,05 i 0,13 partícules per cm² anuals (Figura 133).

A la zona BAS1-E, datada entre c. 3,35 i 1,75 ka cal BP, s'evidencia una progressiva disminució del registre de macrocarbons. Després d'un grup de senyals que mostren un pic màxim en c. 3,1 ka cal BP amb més de 0,15 partícules per cm² anuals, la intensitat decreix tot i que sense desaparèixer en cap moment, assolint valors que no superaran les 0,05 partícules per cm² anuals (Figura 133).

A la zona BAS1-F, datada entre c. 1,75 i 1 ka cal BP, es manté la dinàmica observada a la zona anterior, tot i que ara ja es detecten intermitències en l'aparició de senyals. Destaca un grup de senyals entre c. 1,2 i 1,05 ka cal BP amb un valor màxim que supera les 0,05 partícules per cm² anuals i que conforma el pic de la zona (Figura 133).

Finalment, a la zona BAS1-G, datada entre c. 1 ka cal BP i el present, s'observa una clara davallada tant de la intensitat com de la freqüència del senyal de macrocarbons. El grup que mostra més intensitat es registra entre els anys c. 950 i 900 cal BP. Altres grups menors es troben fa c. 600 i 500 anys cal BP i entre 400 i 350 anys cal BP. El grup de senyals més recent es detecta entre fa 150 anys i el present (Figura 133).

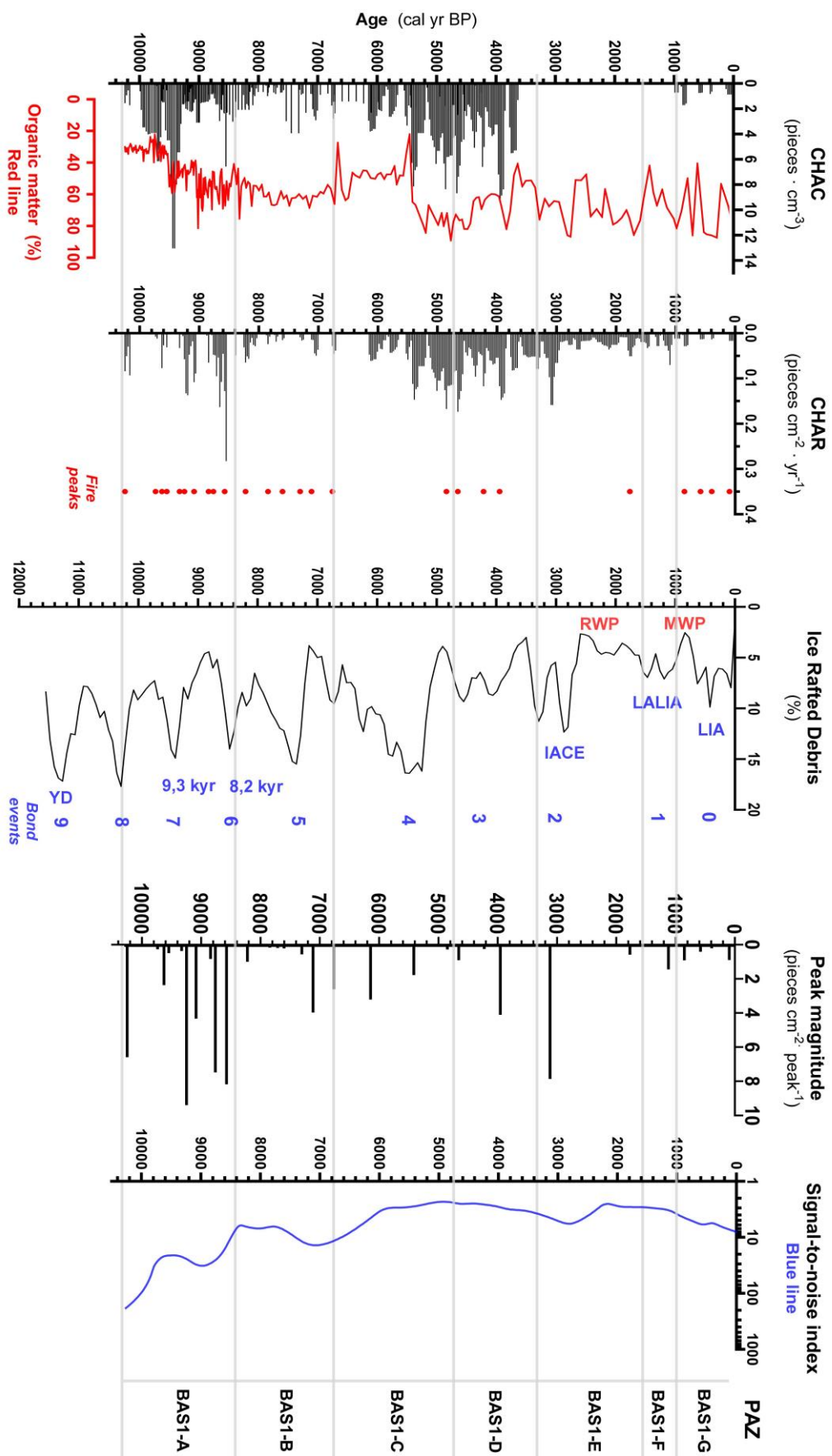


Figura 133. Concentració de macrocarbons (CHAC), matèria orgànica, taxa d'acumulació de macrocarbons (CHAR), events de Bond i pics d'incendis i la seva magnitud i SNI (valors acceptables per sota de 3) de BAS1.

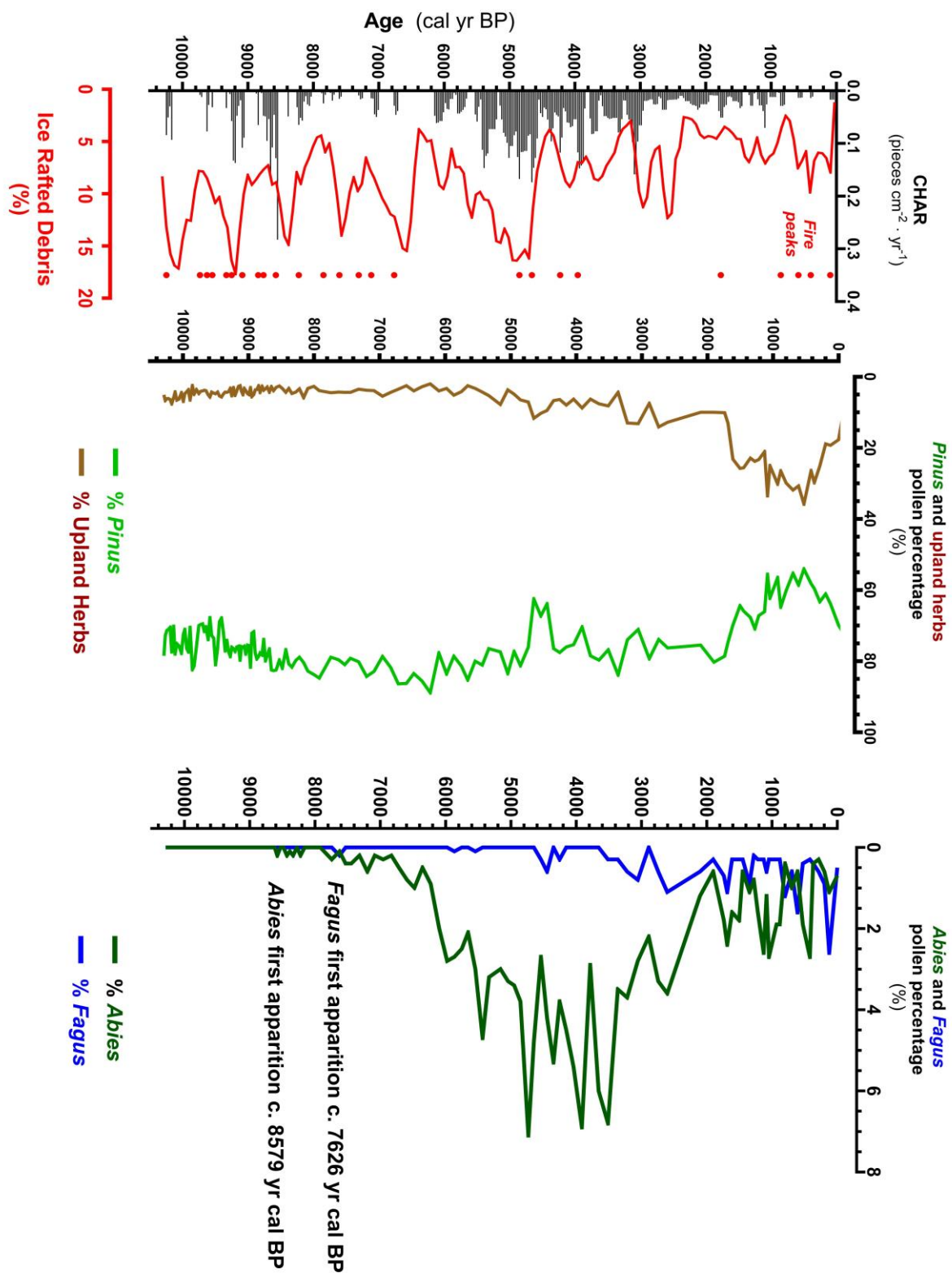


Figura 134. Taxa d'acumulació de macrocarbons (CHAR), events de Bond, pics de carbons i percentatges de *Pinus*, herbàcies, *Abies* i *Fagus* en BAS1.

5. DISCUSSIÓ.

Els resultats obtinguts han permès establir una interpretació diacrònica de l'evolució paleoecològica del paisatge des del c. 10,3 ka cal BP al sondeig de l'Estany de la Bassa, i des del c. 3,5 ka cal BP als Clots de Rialba fins al present. També s'han incorporat a la discussió aspectes climàtics, el registre d'incendis i de la matèria orgànica, les evidències arqueològiques i la comparativa paleoecològica amb d'altres sondejos efectuats en àrees pròximes. Finalment es tractarà, de forma monogràfica, el paper dels incendis en la conformació i l'evolució del paisatge.

5.1. L'inici de l'Holocè. La consolidació forestal de *Pinus*, l'expansió dels caducifolis, l'arribada dels avets i dels incendis naturals.

La seqüència sedimentària de BAS1 comença fa c. 10,29 ka cal BP, abraçant la pràctica totalitat de l'Holocè. A l'Europa meridional, l'Holocè s'ha dividit tradicionalment en tres intervals segons la disponibilitat hídrica: una primera part caracteritzada per unes condicions humides (de c. 11,7 a 7 ka cal BP), a continuació l'Holocè mitjà, amb una major variabilitat hidroclimàtica tot i que amb temperatures generals més elevades (de c. 7 a 5,5 ka cal BP) i finalment una disminució de la humitat des de c. 5,5 ka cal BP, associada a l'inici del clima actual de tipus mediterrani (Jalut *et al.*, 2009). Reconstruccions del nivell de llacs del sud d'Europa també confirmen que l'Holocè primerenc era relativament humit i es va donar unes condicions més seques després dels c. 5 ka cal BP (Harrison i Digerfeldt, 1993). Climàticament, la base del testimoni BAS 1 s'inicia justament en el pic de l'event 8 de Bond (Figura 133) i tant els events 9,3 i 8,2 ka cal BP (Bond, 1997), mostren una certa alteració en la dinàmica de la vegetació lligat a un increment del senyal d'incendis.

El diagrama pol·línic de BAS1 (Figura 132) mostra a la base de la seqüència un paisatge forestal dominat per *Pinus* amb una destacada expansió de tàxons colonitzadors caducifolis, especialment de *Corylus* i, en menor mesura de *Betula*, que haurien avançat des dels seus refugis glacials cap a espais que abans ocupava el gel. En el cas de l'avellaner, aquesta expansió es conté (però no desapareix) en c. 8,2 ka cal BP, després de presentar dos màxims propers al 20% en c. 9,6 i 9,4 ka cal BP. Pel que fa als altres tàxons caducifolis mesòfils, *Salix* també mostra els seus màxims entre c. 10,3 i 8,5 ka cal BP per a pràcticament desaparèixer del registre. Els roures mostren una presència continuada tot i que més discreta i els freixes apareixen encara en menor proporció. En canvi la presència del vern no mostra pas cap expansió inicial tot i que

s'incrementarà puntualment durant el Neolític. Aquest desenvolupament a l'inici de l'Holocè dels arbres caducifolis no és pas inèdita i es detecta en múltiples seqüències d'arreu d'Europa central i meridional (Finsinger *et al.*, 2006). Aquest patró també es repeteix regionalment en els testimonis d'Estanilles (Pérez-Obiol *et al.*, 2012), a la torbera del Bosc dels Estanyols, a la vall del Madriu a on *Corylus* domina l'estatge montà entre 10,7 i 9,7 ka cal BP (Ejarque *et al.*, 2010) i a la Bassa Nera on l'expansió de *Betula* comença en c. 10,4 ka cal BP i la de *Corylus* una mica més tard, en c. 9,6 ka cal BP (Rull *et al.*, 2023). En canvi, el bedoll a l'inici de l'Holocè del testimoni de Burg (en preparació) té més importància que l'avellaner. Probablement el paper colonitzador de *Corylus* també el pot fer *Betula* i dependria de la continentalitat de cada vall i de les condicions particulars d'humitat.

Les causes d'aquesta ràpida colonització de les poblacions de *Corylus* a tot Europa i el seu màxim posterior, s'han debatut durant molts anys (Tallantire, 2002; Finsinger *et al.*, 2006). Aquesta expansió primerenca, per davant d'altres tàxons mesòfils com *Quercus*, *Ulmus* o *Tilia*, s'ha explicat per diverses causes com ara la competència ecològica, els canvis climàtics, l'assistència humana (es parla de l'ús preferencial en ocupacions mesolítiques de l'avellaner com una font de recursos de fusta i aliment, ja que és freqüent trobar closques d'avellanes en el registre arqueològic (Clemente-Conte *et al.*, 2016)) o per les perturbacions produïdes pel foc. Als Alps italians, es suggereix que l'expansió de *Corylus* entre c. 11 i 10,5 ka cal BP es va veure afavorida per una combinació d'una alta estacionalitat, sequeres estivals i incendis freqüents, que el van ajudar a avançar el roure (Finsinger *et al.*, 2006).

Malauradament la nostra seqüència comença en c. 10,29 ka cal BP i no podem estudiar les primeres etapes d'aquest procés de colonització. Entre c. 10 i 9 ka cal BP, alguns autors han estimat la taxa de migració de l'avellaner en $1,5 \text{ km} \cdot \text{a}^{-1}$, un valor fins a tres vegades més gran que la taxa de migració estimada pel roure, de només $0,5 \text{ km} \cdot \text{a}^{-1}$. Aquest avantatge es deuria a una maduresa reproductiva primerenca (10 anys en *Corylus* en lloc dels 30 anys en *Quercus*) i la seva major capacitat de dispersió (Huntley *et al.*, 1983). El conjunt del pol·len arbori mostra un comportament oscil·lant, amb regressions i expansions continuades, probablement condicionat per la dinàmica natural d'incendis. Les herbàcies també mostren un comportament similar, ocupant espais deixats per la disminució dels boscos. Existeix també un senyal clar de les algues del gènere *Pediastrum* i dels fongs del gènere *Podospora* que indicarien unes condicions eutròfiques del llac existent en aquell moment, molt abans de l'establiment de la torbera, associat a l'increment de la producció primària.

Cal destacar que la mostra més antiga de BAS1 en que es localitza pol·len d'abet data de c. 8579 anys cal BP (Figura 134), tot i que el senyal pol·línic no esdevindrà continu al registre sedimentari fins c. 8 ka cal BP. A la Bassa Nera *Abies* apareix per primera vegada en el registre pol·línic el c. 6356 cal BP (Garcés-Pastor *et al.*, 2017).

S'accepta generalment que la dinàmica d'*Abies alba* als Pirineus durant l'Holocè mostra un patró d'expansió que es desplaça d'est a oest de la serralada i que confirmaria l'existència de refugis glacials situats a la Mediterrània (Jalut *et al.*, 1998; Esteban *et al.*, 2003; Pèlachs, 2005; Le Flao, 2005). L'estudi dels límits de distribució més occidentals de l'espècie als Pirineus mostra un retard progressiu en l'arribada respecte a les poblacions més orientals, que s'atribuiria al distanciament d'aquesta conífera de les seves zones de refugi (Reille *et al.*, 1991) que es situaria en zones costaneres i en valls de l'estatge muntà de la península Ibèrica (Carrión-García *et al.*, 2000; Pèlachs *et al.*, 2009). Per a interpretar aquesta expansió cal tenir en compte tres paràmetres essencials: la localització de les zones refugi, l'evolució dels factors climàtics i la dinàmica edàfica del sòl (Pèlachs, 2005). En aquesta línia s'ha demostrat que l'abet ja estava present a la zona de Nohèdes (Conflent, Pirineus Orientals), al vessant nord dels Pirineus mediterranis, en dates tan primerenques com en c. 11,224 ka cal BP (Jalut, 1974; Reille *et al.*, 1993). Aquesta presència és coherent amb la primera aparició d'*Abies alba* a la Garrotxa fa c. 10204 anys cal BP (Pérez-Obiol, 1988). Altres registres també mostren la seva presència primerenca a l'extrem oriental com ara al Pla de l'Estany (Burjachs, 1994) i a Banyoles (Pérez-Obiol *et al.*, 1994) o a l'Abric Romaní de Capellades (l'Anoia) (Burjachs *et al.*, 1994).

A finals del segle XX CE es van proposar algunes idees que explicaven que l'abet podria haver arribat als Pirineus procedent d'altres refugis europeus, especialment del nord d'Itàlia (Taberlet *et al.*, 1998) i es suggeria l'existència d'un mínim de tres àrees refugi durant els períodes freds: el sud dels Balcans, Itàlia i, probablement, la península Ibèrica (Huntley *et al.*, 1983; Pérez-Obiol *et al.*, 1990). Al llarg de la primera dècada del segle XXI CE, la dinàmica de l'abet a l'Europa central (Terhürne-Berson *et al.*, 2004) ha estat correlacionada a partir de macrorestes vegetals i dades pol·líniques amb l'expansió d'altres espècies com *Fagus*, *Picea* i *Quercus* als Alps (van der Knaap *et al.*, 2005; Tinner *et al.*, 2006). Les interpretacions es basaven en l'estudi dels efectes dels canvis climàtics, els retards migratoris, la desigual taxa de creixement dels tàxons, els efectes de les pertorbacions humanes i els incendis forestals (Tinner *et al.*, 2006), tot i que alguns autors desestimen aquestes dues darreres causes (Liepelt *et al.*, 2005). En comparació amb els Alps, on s'ha estudiat intensament la distribució espacial de la diversitat genètica, hi ha poca informació disponible per als Pirineus. La distribució

geogràfica de l'avet allà està fragmentada, com a conseqüència tant dels canvis climàtics passats com de l'impacte humà durant l'antiguitat (pasturatge o tala d'arbres) i fins a la revolució industrial (Ejarque *et al.*, 2009; Galop *et al.*, 1994; Pérez-Sanz *et al.*, 2013; Scotti-Saintagne *et al.*, 2021). Els primers estudis filogenètics realitzats als anys 90 del segle XX ja indicaven que les poblacions pirinenques d'*A. alba* estaven isolades genèticament de la resta de les avetoses europees (Konnert & Bergmann, 1995).

Alguns estudis filogenètics més recents proposen l'existència de diverses zones de refugi a partir de les quals s'efectua l'expansió l'avet: la Península Ibèrica, el centre i l'est de França (Massís Central), el centre (Apenins) i el sud (Calàbria) d'Itàlia, el sud dels Balcans, els Carpats i les planures hongareses (Liepelt *et al.*, 2008). Les avetoses del Pirineu, poc extenses en comparació amb d'altres europees, mostren una baixa diversitat genètica i al·lèlica (en els Balcans es troba la més alta), segons marcadors genètics estudiats presents al DNA cloroplàstic, i es creu que els refugis Ibèrics i del sud d'Itàlia no van contribuir a la repoblació europea. Les dades pol·líniques i antracològiques també indiquen que la població refugi d'avet dels Pirineus ha sofert fenòmens de coll d'ampolla en alguns moments històrics (Vendramin *et al.*, 1999).

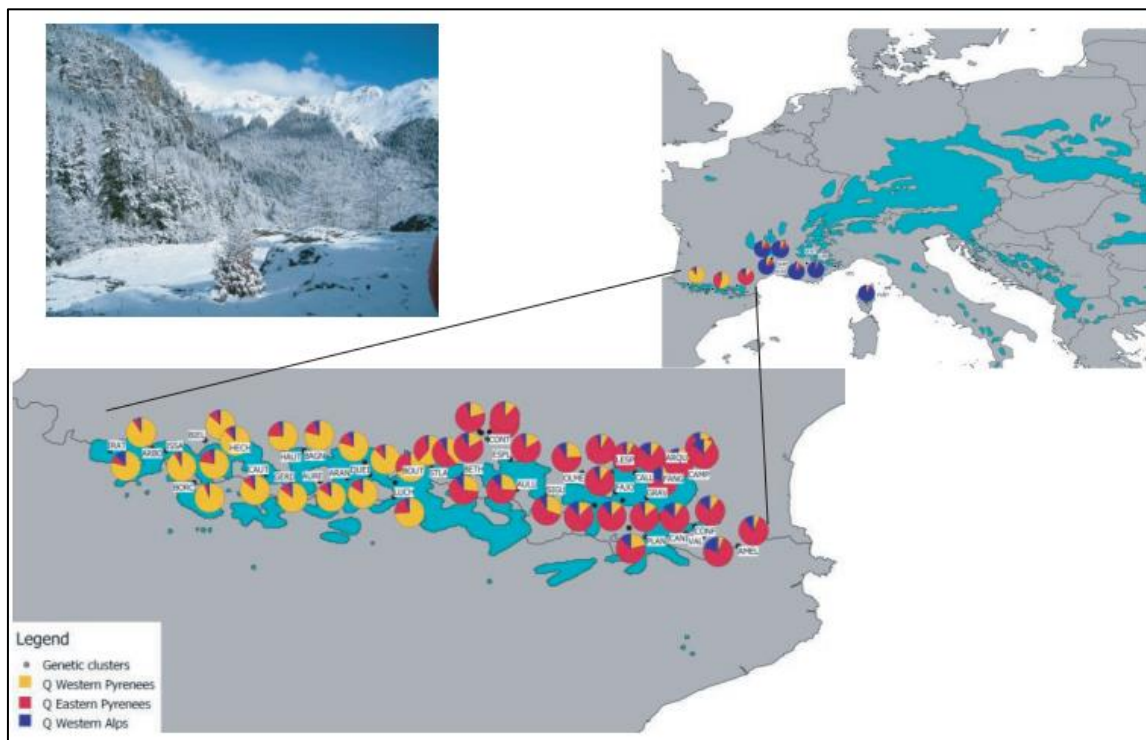


Figura 135. Localització de les 52 poblacions d'avet mostrejades a l'extrem occidental de la distribució geogràfica d'*Abies alba* (Mill.) a Europa i la seva pertinença als tres grups genètics identificats. L'àrea blau-verd representa la distribució geogràfica de l'avet platejat (<http://www.euforgen.org/species/abies-alba/>) (extret de Scotti-Saintagne *et al.*, 2021).

L'origen de la divergència genètica de les avetoses pirinenques podria tenir un origen molt més antic, al Plistocè. En un estudi molt recent es van mostrejar 45 poblacions dels Pirineus francesos i vuit poblacions de referència al Massís Central francès, als Alps i a Còrsega, genotipant 3 *loci* de DNA cloroplàstic i 10 microsatèl·lits nuclears en més de 1600 arbres. Analitzant la diversitat genètica dins i entre les poblacions, es va constatar que aquesta diversitat va disminuir d'est a oest, fet que suggereix un aïllament per distància dels Alps als Pirineus i dels Pirineus orientals als Pirineus occidentals. Es van identificar dos llinatges pirinencs que van divergir d'un tercer llinatge Alpí-Cors-Massís Central fa entre 0,8 a 1,1 Ma i posteriorment van formar una zona de contacte secundària als Pirineus Centrals (Scotti-Saintagne *et al.*, 2021).

Si ens centrem ara en la datació d'aquesta expansió, alguns autors suggereixen que els factors climàtics van ser el principal motor al centre d'Europa situant els events com el 8,2 ka cal BP, amb condicions més fredes i humides, com a moments en els que s'afavoreix la migració (Liepelt *et al.*, 2005). La colonització asincrònica arreu de les muntanyes europees es podria explicar pels gradients de precipitació ocasionats pels efectes orogràfics i també es suggereix que l'expansió d'*Abies* decau des del 5 ka cal BP per l'impacte antròpic i dels incendis associats. (Liepelt *et al.*, 2005).

La resposta natural de la vegetació exclusivament lligada a la variabilitat climàtica també s'observa en testimonis com el de la Bassa Nera, i no és fins a c. 7,3 ka cal BP quan apareixen els primers indicis febles d'activitat ramadera (Garcés-Pastor *et al.*, 2017). La freqüència i la intensitat dels senyals de macrocarbons registrats entre els c.10,3 i 9,25 ka cal BP, a la base del testimoni de l'Estany de la Bassa, mostren una sèrie d'agrupacions importants que es poden atribuir a incendis naturals que van afectar la gran quantitat de biomassa forestal de coníferes i caducifolis. Val a dir que en altres registres pirinencs s'observa la importància dels focs a l'inici de l'Holocè a l'estatge alpí (Estanilles) i subalpí (Coma de Burg), un fet relacionat possiblement amb la incidència solar màxima entre l'inici del Holocè i c. 9 ka cal BP (Cunill *et al.*, 2013; Gil-Romera *et al.*, 2014; Burjachs *et al.*, 2015; Pèlachs *et al.*, 2016). En molts testimonis sedimentaris de la Península Ibèrica també apareix aquest senyal incendiari en el debut de l'Holocè, coincidint amb els events del 9.3 i del 8.2 ka cal BP (Sánchez-Morales, 2021; Sánchez-Morales *et al.*, 2023).

En aquest mateix sentit, l'absència d'indicadors antròpics com tàxons ruderals o nitròfils, reforça la idea d'una dinàmica climàtica natural en el règim d'incendis locals. Així mateix, alguns autor suggereixen que els incendis podrien ser un indicador de gestió del paisatge per part de grups de caçadors-recol·lectors com passa a Austràlia (Bird *et*

al., 2005). En el cas dels Pirineus, la poca evidència arqueològica no permet discriminar si les comunitats que esporàdicament ocupaven l'alta muntanya podrien haver tingut un paper rellevant en la generació d'incendis.

Si aprofundim en el factor antròpic, durant el Mesolític ja es coneixen algunes ocupacions esporàdiques de grups humans caçadors i recol·lectors. L'evidència humana més antiga de la zona estudiada prové del Dolmen de la Font dels Coms (Figura 18), datada entre c.10,725 i 10,5 ka cal BP (Gassiot *et al.*, 2014, Gassiot, 2016) i demostra que les poblacions humanes ja freqüentaven les zones més altes dels Pirineus (Gassiot *et al.*, 2021). A l'Abric de l'Estany de la Coveta I (Figura 21), dins del mateix PNAESM, la datació per radiocarboni d'una fusta carbonitzada la va situar entre el 9 i el 8,5 ka cal BP (Gassiot *et al.*, 2014, Gassiot, 2016; Garcia, 2019). Aquests indicis reforcen la idea que l'important senyal d'incendis d'inicis de l'Holocè posseeix un fort component natural, probablement afavorit per les condicions climàtiques ja citades i la gran quantitat de biomassa forestal disponible, sense que les activitats humanes, encara amb una economia caçadora – recol·lectora, poguessin intervenir. De fet, els tres grups de senyals importants registrats fins a c. 8,4 ka cal BP, són quasi sincròniques als pics d'IRD que marquen els tres esdeveniments de Bond 6, 7 i 8, que suposarien unes condicions més seques (Bond, 1997) (Figura 133).

5.2. Neolític inicial i mitjà. Consolidació de l'abetosa, aparició de la fageda i dels primers cereals.

L'estudi dels registres de crisòfits i diatomees al Lac Redon va concloure que al llarg del VIII mil·lenni cal BP, les condicions climàtiques es van tornar més continentals que les actuals, amb estius més càlids i hiverns més freds (Catalan *et al.*, 2013; Pla i Català, 2005). Altres testimonis indiquen fases de millora climàtica (amb recessió de les glaceres, condicions més seques i temperatures més càlides) durant la primera meitat de el VII mil·lenni cal BP i durant la transició del VII al VI mil·lenni (Galop, 2005).

Durant tot el Neolític inicial i mitjà, l'Estany de la Bassa continua sent un llac amb columna d'aigua, ja que els valors de les ciperàcies i la matèria orgànica sedimentària es mantenen molt baixos. L'inici del Neolític es caracteritza per una consolidació en altitud de la coberta forestal dominada per les pinedes que augmenten sensiblement fins a abundàncies d'entre el 70% i el 80% assolint un màxim absolut de la seqüència del 90% en c. 6,75 ka cal BP. A partir de c. 7,9 ka cal BP, *Abies* ja apareix de forma continuada i ho farà de forma ininterrompuda fins al present, consolidant-se ràpidament en espais de cotes mitjanes i amb disponibilitat de sòls ben desenvolupats. En termes

generals els boscos caducifolis mantenen la seva importància al fons de vall, tal i com també mostren altres testimonis propers (Catalan *et al.* 2012). Entre els tàxons caducifolis, *Betula* es manté amb oscil·lacions d'entre el 2,5% (en c. 7,5 ka cal BP) i el 5% ocupant potser les solanes i els indrets amb sòls prims i escassos (Catalan *et al.*, 2013), mentre que *Corylus* mostra una progressiva tendència contractiva, oscil·lant entre el 8% i el 5% i arribant a poc més del 3% al c. 6,75 ka cal BP. Cal destacar l'aparició d'un primer gra de pol·len aïllat de *Fagus* en c. 7,75 ka cal BP, i que no es tornarà a trobar a cap altra mostra fins c. 5,8 ka cal BP.

Els refugis plistocens del faig podrien haver sigut un mosaic de petites poblacions disperses en múltiples regions. Les seves poblacions semblen haver augmentat molt lentament i de forma moderada al sud d'Europa. Les poblacions centreeuropees, en canvi, van augmentar ràpidament i extensament, arribant al nord d'Europa (Magri, 2008). S'han suggerit tres factors principals per explicar els canvis en la dinàmica de *Fagus sylvatica*: el clima, la competència ecològica i la intervenció humana (Magri, 2008). Les condicions climàtiques es van tornar més fresques i humides a l'inici de la segona meitat de l'Holocè, i una major humitat ambiental afavoriria l'expansió del faig (Muñoz-Sobrino *et al.*, 2005). Els estudis realitzats amb crisòfies al llac Redó també registren un refredament en aquesta època (Pla i Català, 2005). A més dels factors climàtics, alguns autors suggereixen que la competència ecològica podria haver estat un factor important en l'expansió del faig des de les àrees refugi cap a l'Europa central (Gardner i Willis, 1999). Finalment existeix una discussió sobre si l'agricultura i altres activitats humanes al centre i al nord d'Europa, podrien haver contribuït significativament més que el clima, a l'expansió de *Fagus sylvatica* entre les rouredes centreeuropees establertes a l'inici de l'Holocè (Björkman, 1997; Küster, 1997).

El roure i l'alzina (el pol·len de *Quercus ilex* podria arribar a distància a l'Estany de la Bassa, pel context altitudinal i climàtic a on es troba la torbera) mantenen un senyal similar i apareix *Tilia* per primer cop, amb un percentatge màxim del 5% al c. 7,7 ka cal BP. Els valors de tàxons ruderals, nitròfils i de fongs copròfils mantenen nivells molt baixos i les algues *Botryococcus* i *Pediastrum* mostren un senyal persistent que ens indica una certa eutròfia.

Cal destacar la primera presència a BAS1 de pol·len atribuït a un cereal, al voltant del 7,7 ka cal BP, tot i que fins al c. 6,9 ka cal BP el senyal cerealístic no es mantindrà de forma permanent. En altres registres paleoambientals com el de la Bassa Nera (Figura 55), el primer pol·len identificat d'un cereal (*Secale cereale*, un cereal resistent a climes freds i secs) es va datar en c. 5,19 ka cal BP, més recent que el trobat a BAS1

(Garcés-Pastor *et al.*, 2017). A la torbera del Riu dels Orris, a la vall del Madriu, a 2390 m d'altitud, el palinograma (Figura 65) mostra la primera aparició puntual de pol·len tipus cereal en c. 7,6 ka cal BP (Ejarque *et al.*, 2010). En la torbera del Bosc dels Estanyons, el palinograma (Figura 64) mostra l'aparició puntual en c. 8,9 ka cal BP (Miras *et al.*, 2007).

El Neolític i l'arribada de l'agricultura a la Península Ibèrica són temes complexos i àmpliament debatuts des d'un context arqueològic (Oms *et al.*, 2018). Cap al c. 7,85 a 7,7 cal BP es documenten les primeres pràctiques agroramaderes al nord-oest de la Mediterrània (sud-est de França) provinents probablement del sud de la Península Itàlica (Bouby *et al.* 2020). Les primeres societats agropecuàries van començar a ocupar àrees d'alta muntanya, especialment coves i abrics, des de la segona meitat del VIII mil·lenni cal BP, un cop ja estaven assentades a la plana (Antolín *et al.*, 2018; Sierra *et al.*, 2023). L'evidència arqueobotànica més antiga obtinguda a la Península Ibèrica fins a moment, prové del jaciment de Mas d'Is (Alacant), a on s'ha datat una llavor de cereal en c. 7,55 ka cal BP (Bernabéu *et al.*, 2003). Els cereals, sobretot *Triticum aestivum/durum* i *Hordeum vulgare*, són els més documentats en totes les fases neolítiques (Antolín *et al.* 2015), mentre que els blats vestits *Triticum dicoccum* i *T. monococcum* tenen menys

	5500-5000 cal BC		5000-4500 cal BC				4500-3500 cal BC	
	Balma Margineda_C3	Coro Trasito_UE3013	Coro Trasito_UE3006b	Coro Trasito_UE3005	Coro Trasito_UE3002	Cova del Sardo_8	Camp del Colomer	Cova del Sardo_6
<i>Hordeum vulgare</i> , grain								
<i>Hordeum vulgare</i> var. <i>nudum</i> , grain								
<i>Hordeum</i> sp., grain								
<i>Hordeum</i> sp., chaff								
<i>Triticum aestivum/durum/turgidum</i> , grain								
<i>Triticum durum/turgidum</i> , chaff								
<i>Triticum dicoccum</i> , grain								
<i>Triticum dicoccum</i> , chaff								
<i>Triticum dicoccum/monococum</i> , chaff								
<i>Triticum monococcum</i> , grain								
<i>Triticum</i> sp., grain								
Cerealía, grain								

Figura 136. Síntesi dels principals conreus cerealístics (indicats com a presents, abundants o molt abundants) trobats en fases de poblament neolític de jaciments situats a la regió pirinenca (extret d'Antolín *et al.*, 2017).

presència als jaciments catalans, tot i que també estan presents en tot el Neolític. D'altra banda, l'*H. vulgare* té una notable presència durant el Neolític antic i el final. L'*H. vulgare* var. *nudum*, té un comportament oposat, amb una forta implantació durant el Neolític mitjà i final (Oms *et al.*, 2018).

El registre arqueobotànic apunta a una agricultura ja ben desenvolupada al Neolític mitjà, tal i com mostra la carpologia de jaciments com la cova de Can Sadurní a la vall del Llobregat (Begues, Barcelona) que comprèn un conjunt variat de cultius incloent diferents varietats de cereals (Figura 136): l'espelta bessona (*Triticum dicoccum*), l'espelta petita (*T. monococcum*), el blat nu (*T. aestivum/durum*), l'ordi vestit (*H. vulgare*), diversos llegums com la llentia (*Lens culinaris*), el pèsol (*Pisum sativum*), la fava (*Vicia faba*), les guixoneres (*Lathyrus sativus* i *L. cicera*), l'erb (*Vicia ervilia*), la veça (*Vicia sativa*), la rosella (*Papaver somniferum*) i el lli (*Linum usitatissimum*) (Zapata *et al.*, 2004; Antolín, 2015; Peña-Chocarro *et al.*, 2018). Aquests cultius semblen associats a la primera onada de difusió de l'agricultura al nord-oest de la Mediterrània. En una segona onada es comencen a documentar jaciments on domina l'ordi nu (*H. vulgare* var. *nudum*) i el blat dur (*T. durum/turgidum*) (Antolín *et al.*, 2022).

En el cas dels Pirineus, el registre arqueobotànic és escàs (Oms *et al.*, 2016). Amb posterioritat a la intensa ocupació mesolítica de l'Abric de l'Estany de la Coveta I i de l'Abric de les Obagues de Ratera, desapareixen les traces de presència humana al PNAESM durant uns 1000 anys. A partir del c. 7,5 ka cal BP tornen a aparèixer vestigis arqueològics, tot i que de forma molt puntual i es limiten únicament a dos petits fogars excavats en dos jaciments diferents amb àmplies seqüències: la Cova del Sardo i l'Abric del Portarró (Figura 22) (Gassiot, 2016, 2021). Fins al c. 6,8 ka cal BP no es registra una utilització molt més intensa i continuada del lloc i on ja seran evidents trets propis del Neolític, com el consum de plantes domèstiques, possibles pràctiques ramaderes i la utilització de la ceràmica (Gassiot, 2016; Gassiot *et al.*, 2021)

Fins fa poc, l'únic testimoni era de la Balma Margineda (Andorra) (Marinval, 1995), que inclou llavors de cereals amb restes de combustió datades entre la segona meitat del VIII i la primera del VII mil·lenni BP (Oms *et al.*, 2016). Més recentment, un estudi arqueobotànic de la Cova dels Trocs ha identificat llavors de cereals en la transició entre el VIII i el VII mil·lenni cal BP (Rojo-Guerra *et al.*, 2013, 2014). Igualment interessant és el material carpològic de la Cueva de Coro Trasito (Clemente-Conte *et al.*, 2016) a 1548 m d'altitud, a on s'han descrit, en nivells neolítics, llavors de cultivars com ordi (*Hordeum* sp.), blats vestits (*T. aestivum/durum/turgidum*), espelta bessona (*T. dicoccum*), blat (*Triticum* sp.) i pèsol (*P. sativum*). Les més antigues (les de *Triticum* sp., de la UE 3015)

daten de c. 7322-7207 anys cal BP (Clemente-Conte *et al.*, 2013; Peña-Chocarro *et al.*, 2018). Al nivell 8 de la Cova del Sardo també ha aparegut una llavor de cereal d'ordi nu (*H. vulgare* subsp. *nudum*) datada entre c. 7 i 6,5 ka cal BP.



Figura 137. Composició amb els principals cultius neolítics. 1. *Triticum aestivum-durum*, 2. *Triticum monococcum*, 3. *Triticum dicoccum*, 4. *Hordeum vulgare* var. *nudum*, 5. *Hordeum vulgare* subsp. *vulgare*, 6. *Vicia faba*, 7. *Pisum sativum*, 8. *Lathyrus sativus/cicera*, 9. *Papaver somniferum*, 10. *Linum usitatissimum*. Autor: G. Pérez-Jordà (extret de Peña-Chocarro *et al.*, 2018).

Algun estudi afirma que el cultiu local de cereals només es va poder produir en dos jaciments de muntanya, un dels quals seria Coro Trasito i que probablement podria haver-hi un transport de llavors per part dels pastors des de les terres baixes (a on la presència de llavors de cereals als jaciments és força més abundant) cap a l'alta muntanya (Antolín *et al.*, 2017). L'ordi nu trobat a Coro Trasito insinua que *H. vulgare* var. *nudum* ja podria ser un cultiu important al Pirineu des de la segona meitat del VIII mil·lenni BP, gràcies a la seva resistència al fred i al seu curt cicle biològic (Antolín *et al.*, 2017). Les evidències agrícoles entre el c. 7 ka i el 6,7 ka cal BP són molt escasses (Antolín *et al.*, 2022).

Entre el c. 8 i el 6,2 ka cal BP s'assisteix al període amb menys activitat incendiària de tota la seqüència (Figura 133), amb únicament algun grup feble i aïllat de senyals de macrocarbons al voltant de c. 7 ka cal BP. Tots els indicadors fan pensar que l'impacte humà encara seria molt feble o pràcticament inexistent. En jaciments neolítics on s'han pogut fer estudis pol·línics representatius, com en el cas de la Draga (Banyoles), s'ha pogut observar com l'impacte principal a l'entorn es va produir per la necessitat d'obtenir

fusta (principalment de roure) per construir cabanes, i no tant per la tala o crema indiscriminada de boscos orientada a l'obertura continuada de les terres (Revelles *et al.* 2014; Antolín *et al.*, 2022). En canvi, a partir de c. 6,15 ka cal BP i fins a c. 5,5 ka cal BP el registre de senyals s'intensifica clarament i es manté continuadament. Sincrònicament el registre pol·línic de les poàcies augmenta lleument en paral·lel a un feble declivi del pol·len de *Pinus* (Figura 132), mentre que els tàxons caducifolis no semblen veure's massa afectats i fins i tot les avetoses mostren una expansió. Una possible explicació és que aquests incendis podrien estar afectant especialment l'estatge subalpí, a cotes altes, dominat per les pinedes.

5.3. Neolític final i inici de l'Edat del Bronze. L'inici de la torbera. L'impacte antròpic es fa evident: augmenten els cereals i la pineda decau. Els caducifolis tornen a expandir-se i l'avetosa arriba als màxims.

El final del Neolític suposarà un canvi en la dinàmica lacustre de l'Estany de la Bassa. El rebliment sedimentari ocorregut al llarg de mil·lennis ha reblert ja algunes zones més superficials i això ha afavorit que hidro-higròfits com les ciperàcies (Figura 132), es comencin a instal·lar a les zones més superficials. L'augment dels valors de matèria orgànica obtinguts amb la LOI justament a partir de c. 5,5 ka cal BP (Figura 133) indiquen que hi ha una major aportació vegetal local al sediment provinent d'aquests tàxons. Aquest procés serà l'inici de la transformació parcial i progressiva del llac en una torbera, tal i com la veiem en el present.

Les anàlisis d'isòtops estables presents en carbons i restes carpològiques presents en jaciments arqueològics mostren una reducció de la disponibilitat hídrica que s'inicia a principis del VI mil·lenni cal BP. Des d'unes condicions més humides que les actuals, s'infereix una reducció de les precipitacions, especialment de tardor (Aguilera *et al.*, 2011). Els tàxons mediterranis van expandir-se a la majoria de registres paleoambientals (Pérez-Obiol *et al.*, 2011). Altres testimonis indiquen fases de millora climàtica, amb evidència de regressió glacial, reducció de les precipitacions i augment tèrmic, durant la transició del VI al V mil·lenni cal BP (Galop, 2005). Altres autors confirmen que en aquest moment es produeix una fase més seca al vessant sud dels Pirineus (Jalut *et al.*, 2000). En c. 5,5 ka cal BP també es registra el pic d'IRD de l'esdeveniment 4 de Bond (Bond, 1997), sincrònicament amb l'inici de l'important senyal d'incendis.

A partir de c. 5.5 ka cal BP s'inicia una fase de lent declivi del pol·len arbori acompanyat d'una expansió de les poàcies i dels cereals i que culminarà amb la primera gran davallada sobtada (tot i que no tan intensa com la medieval) amb valors mínims del 60% de pol·len de *Pinus* del registre sedimentari, a c. 4,8 ka cal BP. Aquesta pèrdua de la pineda no es recuperarà parcialment fins al c. 4,4 ka cal BP (Figura 132) i serà aprofitada pels tàxons caducifolis, amb *Betula* com a principal beneficiat, assolint valors similars als observats a inicis de l'Holocè. *Abies* mostra una expansió amb un dels valors més elevats de la sèrie amb un pic fa c. 4,75 ka cal BP i dos més en c. 3,8 i 3,5 ka cal BP. A partir d'aquest moment, les avetoses declinaran progressivament fins a pràcticament desaparèixer del diagrama, fa només entre 300 a 400 anys BP (i recuperant-se posteriorment).

Paral·lelament s'incrementen sensiblement les poàcies i molt feblement alguns tàxons clarament associats a espais oberts com *Artemisia*, *Plantago* o *Rumex*, però no es detecta al diagrama pol·línic cap increment explosiu. *Botryococcus* i *Pediastrum* pràcticament desapareixen, apuntant cap a un manteniment d'aigües oligotròfiques, mentre que el fong copròfil del gènere *Podospora* augmenta lleugerament amb un discret màxim en c. 5,25 ka cal BP, sense arribar als grans pics que assolirà en època medieval. Altres copròfils com *Cercophora* i *Sporormiella* mostren alguna petita presència molt discontinua, indicant que la pressió ramadera local no sembla haver sigut gaire important durant aquesta fase. També es registren senyals febles i discontinus del fong micorrízic *Glomus* entre c. 4,25 i 3,5 ka cal BP, indicant alguns lleus episodis erosius. En canvi, un senyal important és l'increment sobtat i mantingut en el temps del pollen tipus cereals i de *Secale cereale* en dues fases: la primera entre c. 4,8 i 4,4 ka cal BP i la segona entre c. 4 i 3,2 ka cal BP.

L'arribada de les poblacions del Neolític final va convertir el foc en una gran eina de gestió territorial per obrir pastures i generar zones agrícoles (Bal *et al.*, 2010; Valese *et al.*, 2014; Pèlachs *et al.*, 2016). En el període que transcorre entre c. 5,5 i 3 ka cal BP, s'assisteix al registre continuat de senyals d'incendis més importants de la seqüència, amb l'excepció de dos moments datats en c. 5,2 i 3,8 ka cal BP on s'interromp molt puntualment la presència de macrocarbons sedimentaris.

Després d'un episodi d'elevada ocupació del Neolític final en zones d'alta muntanya, a on a la zona del PNAESM es coneixen fins a 9 jaciments amb datacions que comencen en 5,4 ka cal BP (Gassiot *et al.*, 2014, 2016), es detecta un hiatus d'uns 2 ka (aproximadament entre 4,3 a 2,3 ka cal BP) a on les ocupacions pràcticament desapareixen a l'entorn del PNAESM (Gassiot *et al.*, 2017), a la vall del Madriu-Perafita-

Claror i a l'àrea d'Enveig a Andorra (Rendu 2003). Podem citar el jaciment de l'Abric del Portarró amb una llarga seqüència d'ocupació humana des del Neolític antic (7,2 ka BP), amb vestigis del Neolític final (5,3 a 5 ka BP) i de l'Edat del Bronze (3,6 a 3,2 ka BP). Cal esmentar la troballa d'una dent de falç. El 2023, al jaciment de l'Abric 2 del Portarró, van aparèixer les restes d'una casa de l'Edat del Bronze. Aquest jaciment contenia restes de ceràmica i puntes de fletxa, i fou utilitzat probablement per a ocupacions curtes (Gassiot, comunicació personal) (Figura 28). És la resta de construcció més antiga documentada a tot el Pirineu, amb c. 3,8 ka cal BP (Gassiot *et al.*, 2022).

Aquest conjunt d'indicis apunta a la transició entre el Neolític final i l'inici del Bronze com un moment d'intensificació de l'ocupació humana de l'alta muntanya, on s'hauria utilitzat sistemàticament el foc com a mitjà per obrir i mantenir espais destinats a l'agricultura i a la ramaderia (Galop, 1998, 2006; Ejarque *et al.*, 2010). A l'Estany de la Bassa es detecta una ampliació dels conreus cerealístics, especialment entre c. 4,8 i 4,3 ka cal BP i també entre c. 4 i 3,2 ka cal BP, amb una aparent disminució de la pressió ramadera a l'entorn de l'estany i a cotes superiors. Un patró similar s'observa a la torbera del Riu dels Orris, a la vall del Madriu (Ejarque *et al.*, 2010). Pel que respecta a l'evidència arqueològica, paradoxalment es registra un hiatus de 2000 anys (entre c. 4,3 i 2,3 ka cal BP) al PNAESM (i també a Andorra) en què el registre arqueològic pràcticament desapareix (Gassiot *et al.*, 2017). Existeixen els indicadors antròpics (incendis, regressió forestal i augment dels cereals) però no s'han trobat les ocupacions humanes que els produïren a partir de c. 4,3 ka cal BP. Encara no hi ha una raó clara per aquesta discrepància tot i que s'apunta a la manca de recerca i al fet que els campaments a l'aire lliure haurien sigut reocupats durant l'Edat Medieval o l'Època Moderna, destruint les ocupacions prehistòriques (Gassiot *et al.*, 2006; Pèlach *et al.*, 2011; Bal *et al.*, 2011; Pérez-Obiol *et al.*, 2012). La recuperació arbòria parcial i la pèrdua puntual del senyal cerealístic que es detecta entre c. 4,25 i 4 ka cal BP podria tenir a veure amb el refredament lligat a l'esdeveniment 4,2 ka cal BP, que dificultaria temporalment l'ocupació i l'aprofitament dels espais d'alta muntanya propers a l'estany.

5.4. De l'Edat del Bronze mitjana a l'Edat del Ferro, El clima es refreda i augmenten els indicadors antròpics.

Per les dades de ciperàcies i de matèria orgànica presents al sediment, podem inferir que l'Estany de la Bassa continuava la progressió cap a torbera amb *Carex*, que ja es va iniciar a c. 5,5 ka cal BP (Figures 132 i 133). Als Clots de Rialba les dades ens

mostren ja una torbera molt consolidada des de c. 3,5 ka cal BP, a la base del testimoni, tot i que a partir de c. 3 ka cal BP s'assoleixen els valors màxims de matèria orgànica (Figures 127 i 128).

L'escenari climàtic d'entre c. 3,5 i 2,5 ka cal BP sembla caracteritzat per una certa variabilitat i s'ha definit com a relativament sec a la Mediterrània occidental (Fletcher *et al.*, 2013). L'esdeveniment 2 de Bond (Figura 133) corresponent a l'anomenada Època Freda de l'Edat del Ferro (IACE, en anglès), va ser un període climàtic especialment fred que va tenir lloc entre c. 2,9 a 2,3 ka cal BP, amb un pic rigorosament fred sobre el c. 2,45 ka cal BP (Swindles *et al.*, 2007). Segons alguns autors, aquest mateix esdeveniment de Bond 2 hauria pogut incrementar les precipitacions hivernals (Morellón *et al.*, 2011; Zielhofer *et al.*, 2019).

El palinograma de CDR1 (Figura 127) mostra a c. 3,5 ka cal BP una coberta forestal majoritàriament boscosa dominada per *Pinus*, acompanyat dels valors més alts d'*Abies* i *Fagus* en tota la seqüència. En el cas de BAS1, la coberta forestal continua la tendència declinant que s'inicià amb el sotrac del c. 4,75 ka cal BP (Figures 132 i 134). La corba d'*Abies* també mostra símptomes d'esgotament, mentre que *Fagus* apareix per primer cop a la seqüència de BAS1 de manera continuada, amb una interrupció en c. 3 ka cal BP. A CDR1, *Abies* registra la seva màxima expansió just al c. 3,5 ka cal BP i va disminuint fins al voltant de c. 3 ka cal BP. Posteriorment, recupera els valors previs abans de tornar a caure entre c. 2,8 i 2,5 ka cal BP. L'anàlisi de la dinàmica de *Fagus* revela dos pics marcats entre c. 3,5 i 3,3 ka cal BP (Figura 127). Podria haver-hi una relació amb l'esdeveniment 2 de Bond, que va comportar hiverns més humits (Zielhofer *et al.*, 2019), tot i que la interferència humana ja està activa. A partir d'aquest moment, les poblacions de faig a CDR1 es van veure molt afectades i ja no tornen a recuperar els valors anteriors (Rodríguez-González *et al.*, 2023).

En altres testimonis relativament propers com la torbera de Burg, *Abies alba* també va registrar un descens continuat fins c. 3 ka cal BP, abans de recuperar-se a partir d'aquest moment, per assolir la major abundància percentual (c. 15%) entre c. 2,4 i 2 ka cal BP (Gil-Romera *et al.*, 2014). A la torbera d'Estanilles, *A. alba* mostra un cert paral·lelisme amb expansions i regressions més o menys sincròniques, com la detectada en tots dos registres cap al c. 2,4 ka cal BP. A la Bassa Nera *A. alba* presenta un màxim d'abundància al voltant del c. 4 ka cal BP, mostrant una tendència regressiva similar fins al present. La presència d'avetoses més extenses que en el moment present confirma que el Pirineu central català hauria estat dins les seves zones de potencialitat fitoclimàtica, amb altes precipitacions estivals i anuals, intens fred hivernal i sense

excessiva oscil·lació tèrmica (García-López et al., 2005), requerint d'un clima més humit i fresc que l'actual (Catalan et al., 2009; Pérez-Obiol et al., 2012; Catalan et al., 2013; Garcés-Pastor et al., 2017; Pèlachs et al., 2019).

A la torbera d'Estanilles, el faig apareix al voltant del c. 4,2 ka cal BP, associat a

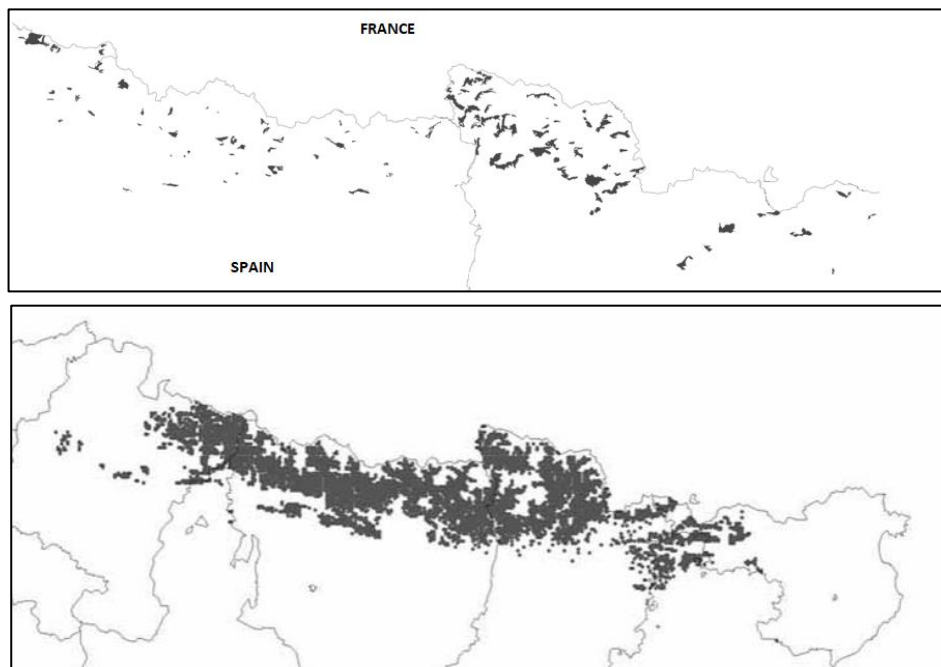


Figura 138. Àrea de distribució actual i fitoclimàtica potencial d'*Abies alba* al Pirineu (c. 559300 ha) (extret de García-López et al., 2005).

també a condicions climàtiques més fredes i humides (Pérez-Obiol et al., 2012). Malauradament, el nucli recuperat als Clots de Rialba només ha pogut recuperar els darrers c. 3,5 ka cal BP i en aquest moment el faig ja és present. En ambdós registres pol·línics es poden apreciar diferències respecte a les oscil·lacions de *Fagus*, fet que suggeriria dinàmiques locals diferents a les valls respectives (Pérez-Obiol et al., 2012).

En conjunt, la influència humana sembla predominar en la configuració del paisatge al llarg del Pirineu oriental durant aquest període, tal com suggereixen els múltiples indicadors antropogènics trobats als Clots de Rialba i altres testimonis. Als Clots de Rialba, la presència de cereals i fongs copròfils, com ara *Podospora* o *Cercophora* a l'inici de la seqüència (c. 3,5 ka cal BP) indicaria interferències antropogèniques que poden reflectir el que va passar en etapes anteriors, a l'Edat del Bronze inicial. En qualsevol cas, les evidències indiquen una forta influència antropogènica durant l'Edat del Bronze a CDR1, inferida per la presència de *Rumex* o *Plantago* i un senyal feble però continu de cereals (incloent-hi *Secale*). Els fongs copròfils van registrar diferents pulsacions al llarg d'aquesta fase, donant suport al desenvolupament d'una certa activitat ramadera. Al registre de BAS1 també apareix un augment de les poàcies i dels

fongs copròfils del gènere *Podospora* i en molta menor mesura, de *Sporormiella*, indicant una certa activitat ramadera, tot i que el senyal cerealístic davalla clarament i arriba a desaparèixer entre c. 3,1 i 2,8 ka cal BP, potser per l'empitjorament climàtic a l'alta muntanya. El cultiu de cereal no es recuperarà clarament fins a l'Edat Medieval (Rodríguez-González *et al.*, 2023).

En consonància, a la torbera d'Estanilles es va identificar una fase d'intensificació del senyal antròpic justament a partir des 3,5 ka cal BP. El registre palinològic presenta un patró similar pel que fa a l'evolució de la coberta forestal en comparació amb els Clots de Rialba (Pèlachs *et al.*, 2011; Rodríguez-González *et al.*, 2011; Pérez-Obiol *et al.*, 2012). La desforestació durant l'Edat del Bronze, però, és clarament més intensa als Clots de Rialba, fet que també ho demostra la menor intensitat d'incendis registrada a Estanilles. També es dedueix una gran pressió antròpica de la torbera de la Bassa Nera al voltant del c. 3 ka cal BP. Allà, la desforestació es va interpretar per la intensificació dels incendis amb el notable augment de tàxons arbustius com les ericàcies i l'augment dels indicadors agroramaders (Garcés-Pastor *et al.*, 2017; Gassiot *et al.*, 2015). Aquesta tendència s'observa també als Clots de Rialba (Rodríguez-González *et al.*, 2023).

Continuant amb el règim d'incendis, el registre de macrocarbons sedimentaris de l'Estany de la Bassa (Figura 134) mostra el darrer pic destacat en c. 3,1 ka cal BP per afeblir-se (però no pas desaparèixer) posteriorment. Els Clots de Rialba mostren un patró semblant (Figura 128) al que s'observa a BAS1 i als observats en altres testimonis sedimentaris de torberes d'alta muntanya pirinenca com Estanilles (2200 m d'altitud) (Catalan *et al.*, 2009; Mazzuco *et al.*, 2019), però són més febles que en altres registres d'elevacions inferiors, com la Bassa Nera (1900 m d'altitud) (Garcés-Pastor *et al.*, 2017; Gassiot *et al.*, 2015), Burg (1850 m d'altitud) (Pèlachs *et al.*, 2011) i Llebreta, (1600 m d'altitud) (Catalan *et al.*, 2013). Durant l'Edat del Bronze mitjana i final, els focs de manteniment haurien estat molt freqüents als Clots de Rialba i a l'Estany de la Bassa, tal com indica el registre sedimentari de macrocarbons, ajudant a augmentar les superfícies de pastura i mantenint obertes les clarianes forestals. Els incendis semblen haver afectat el bosc tant com a cotes més baixes, però probablement estaven pensats per cremar pastures. Potser la freqüència d'incendis era més baixa perquè el bosc ja s'havia cremat abans o perquè inicialment hi havia menys vegetació, ja que es trobava a prop del límit superior del bosc. La disminució de la taxa d'acumulació de pol·len (Figura 130) mostren que aquests incendis van provocar canvis en la quantitat de biomassa (Rodríguez-González *et al.*, 2023).

Després de l'elevada presència al PNAESM de jaciments de finals del Neolític, entre c. 5,4 i 4,3 ka cal BP, en els 2000 anys posteriors que engloben l'Edat del Bronze i inicis de l'Edat del Ferro, entre c. 4,4 i 2,3 ka cal BP, el número d'ocupacions detectades descendeix acusadament i pràcticament no hi ha documentat cap context d'hàbitat ocupacional (només s'ha documentat un abric a prop de l'Estany de Blau de la vall de Cabanes datat a mitjans del IV mil·lenni cal BP). Aquest buit coexisteix amb diverses troballes de dipòsits de ceràmiques del IV mil·lenni cal BP en petits amagatalls en tarteres, aïllats d'espais d'habitat o de qualsevol altre tipus d'evidència arqueològica (Gassiot *et al.* 2010b) (Figura 26). També s'han registrat vestigis aparentment funeraris d'inicis del III mil·lenni cal BP, com els cercles de pedra del pic de Màniga (Alins) i de vall de Llacs (Boí), que s'afegeixen als ja coneguts des de fa temps del pla de Beret i, en zones perifèriques de la serralada axial, nombrosos elements sepulcrales del IV Mil·lenni cal BP (García-Casas *et al.*, 2011).

Com ja s'ha comentat a la fase anterior, els registres paleoecològics procedents d'estanys i torberes mostren de forma simultània en aquesta època un increment dels principals indicadors antròpics abans de l'època històrica (García-Casas *et al.*, 2014). Algunes motius argumentats pels autors fan referència a la dificultat de trobar estructures habitacionals pel canvi de patró constructiu a l'aire lliure amb materials peribles (bases de pedra i alçats de fang i fustes), com s'ha comprovat a la Cabana de la Coma d'Espós, a 2230 m d'altitud, a sobre de l'Estany Gento, a la vall Fosca (Gassiot *et al.* 2010a, 2010b) o a la Cabana del Lac deth Miei, a la Val d'Aran, o per un reaprofitament posterior d'aquestes estructures (Garcia-Casas *et al.*, 2011).

Una altra possible explicació, tot i que més inversemblant, és que en aquest període els assentaments es fixessin al fons de les valls principals (Noguera de Tor, Noguera Pallaresa, Flamisell), amb desplaçaments de molt curta durada a les zones altes, on s'hi allotjarien ramats o s'estendrien cultius. Com a contrapartida, els desplaçaments haurien estat complicats en termes de temps i d'esforç, tot i que els dipòsits de ceràmica podrien haver marcat fites amb provisions per aquests recorreguts (García-Casas *et al.*, 2011).

5.5. El període Romà. Un nou escalfament climàtic. Gestió forestal romana amb un mosaic d'activitats.

Després d'aquest període d'intens refredament de l'Edat del Ferro es va tornar a una situació de millora climàtica, amb un escalfament i un augment de les precipitacions conegut com a Període Càlid Romà (RWP) que abastà entre c. 2,25 i 1,6 ka cal BP.

Aquesta fase càlida i humida s'estabilitzarà ràpidament i es mantindrà fins a molt entrada l'època imperial romana (segle IV CE) (Hu *et al.* 2022). És en aquest marc climàtic en què es produeix l'expansió de Roma, fet que suposarà l'assimilació cultural de les poblacions locals (Torres-Martínez, 2014).

A escala local, les ciperàcies, que van mantenir valors elevats al llarg de l'Edat del Bronze i de l'Edat del Ferro a CDR1, disminueixen, tot indicant l'existència d'una certa columna d'aigua. La presència de condicions locals més humides també es veu recolzada per l'augment de les algues del gènere *Botryococcus*. Aquesta presència algal també indicaria condicions més eutròfiques als Clots de Rialba al llarg del període romà (Catalan *et al.*, 2009). A BAS1 les ciperàcies mantenen els nivells previs, indicant la progressió de la formació de la torbera i les algues es mantenen en nivells baixos indicant una certa oligotròfia al llac.

L'ascens de l'Imperi Romà va permetre una certa recuperació de la coberta forestal, inclòs *Abies*, segons l'evidència palinològica a CDR1 (Figura 127). En c. 1,9 ka cal BP s'observa una sobtada davallada que no es recuperarà fins c. 1,6 ka cal BP. No obstant això, no es detecta cap recuperació de *Fagus*, mantenint uns valors molt baixos. A BAS1 (Figura 132) també es produeix una certa recuperació forestal que durarà un període prolongat, mostrant un màxim relatiu entre c. 2 i 1,8 ka cal BP. *Abies* i *Fagus* es mantenen percentualment en xifres similars a l'Edat del Bronze. És a partir de c. 1,7 ka cal BP quan a BAS1 es detecta una primera caiguda del pol·len de tàxons arboris, que culminarà amb els mínims dels darrers c. 10,3 ka, a l'Època baix-medieval i inicis de l'Època Moderna. Al registre de l'Estany de Burg, *Abies alba* mostra també una baixada percentual durant aquesta fase, confirmant el final de l'Època Romana com un punt d'inflexió en el declivi d'*Abies*. Aquí s'inicia la tendència regressiva de les poblacions d'avets als Pirineus que es pot observar en diversos testimonis (Pèlachs *et al.*, 2011; Bal *et al.*, 2011; Pèlachs *et al.*, 2012).

Després d'uns segles amb un senyal escàs d'incendis, es registra a CDR1 un segon episodi de desforestació intensa al voltant del 2,2 ka cal BP, associat a un pic major de macrocarbons sedimentaris. A BAS1 també s'observa un patró de focs continuats de baixa intensitat amb un pic relatiu menor en c. 1,8 ka cal BP. Els posteriors registres de menor intensitat, probablement indicarien que el foc s'hauria seguit utilitzant per tal de mantenir els espais oberts per pastures o cultius. En aquesta mateixa línia, a CDR1 s'observa també l'arribada de nous indicadors antròpics, com la ara una feble presència d'*Olea*, que tot i no ser un cultiu local, ens arriba de les planes meridionals i que, per primera vegada, persisteix al llarg del període, fent-se més intensa a partir de c. 1 ka cal

BP. A BAS1, el feble senyal d'*Olea* s'intensifica sobtadament una mica abans que als Clots de Rialba, a partir de c. 1,75 ka cal BP. Les poàcies, en canvi, disminueixen a CDR1 a partir del 2,3 ka cal BP, un patró també observat a les apiàcies i els fongs copròfils, que cauen de manera pronunciada a partir del moment tardoromà, en c. 1,65 ka cal any BP.

Els cereals van mantenir a CDR1 una presència feble, discreta i discontinua en tot el període romà. Un fort augment de *Podospora* podria suggerir una intensificació de les activitats ramaderes durant l'època romana, seguida d'una caiguda dramàtica de fongs copròfils durant l'alta Edat Mitjana, probablement com a resultat d'un decrement de les activitats agropecuàries. A BAS1, els cereals es mantenen en nivells febles i mostren una major importància a partir de c. 1,7 ka cal BP. És just en aquest moment que les poàcies iniciaran una forta expansió, que es farà màxima a l'època baix-medieval. D'altra banda es manté un feble senyal continuat de fons dels copròfils com *Podospora*, indicant el manteniment d'una activitat ramadera local de baixa intensitat, associat a recintes habitacionals que presentaven espais d'estabulació relativament petits, tal i com l'evidència arqueològica ens mostra (Gassiot *et al.*, 2017).

Durant els segles III a II cal BCE dos jaciments trenquen l'hiatus arqueològic de pràcticament 2000 anys (des de c. 4,4 a 2,3 ka cal BP) del PNAESM ja comentat: un recinte d'habitació al circ de Saboredó (Lac deth Miei) del segle II BCE i un forn de mineria de ferro de la mateixa època a la vall de Monestero (Crespo *et al.*, 2008; Augé *et al.*, 2012; Gassiot, 2017). En el canvi de mil·lenni les evidències s'incrementen. Al jaciment de l'Estant de Mar, a 2250 m d'altitud, s'han identificat restes de murs de pedra que defineixen sis espais d'habitació amb estructures d'estabulació datat entre c. 0 i 130 cal CE. Una segona ocupació es troba al costat de l'Estany Xic de Subenuix, a 2270 m d'altitud, a on s'ha excavat un espai gran usat com a refugi i entre tres i quatre tancats per a bestiar oví i cabrum, datat entre el c. 70 i 225 cal CE (Gassiot *et al.*, 2017). El jaciment de Pletiu del Pòrt de Caldes II (2200 m d'altitud) el conformen les restes d'una construcció habitacional corresponent a un petit assentament ramader d'època romana, abandonat entre el c. 129 i 330 cal CE (Gassiot *et al.*, 2017).

A partir del segle II CE, diversos indicadors de l'estructura socioeconòmica romana van començar a decaure, com ara la urbanització, el comerç marítim i la població (Olesti *et al.*, 2017). El desmembrament de l'imperi romà va provocar que les poblacions locals probablement poguessin començar a explotar intensament recursos que els romans havien controlat prèviament. Per aquest motiu, es registra un important augment tant de l'explotació del ferro a la vall de Ferrera, com en la creació de camps agrícoles en altres

valls pirinenques (Pèlachs *et al.*, 2011; Bal *et al.*, 2011; Catalan *et al.*, 2013). Tanmateix, és cert que aquesta tendència no és necessàriament general i pot variar segons els recursos i poblacions de cada vall (Büntgen *et al.*, 2011). De fet a CDR1 no s'observa aquest augment cerealístic mentre que sí té lloc a BAS1, a partir de c. 1,7 ka cal BP (Rodríguez-González *et al.*, 2023).

5.6. Del període Medieval i la Petita Edat del Gel al present (des de c. 1,5 ka cal BP al present). Oscil·lacions climàtiques (LALIA, MWP, LIA), forta irrupció antròpica i recuperació forestal actual en progrés.

Després del Període Càlid Romà, hi ha evidència d'un refredament climàtic que ha sigut denominat com la Petita Edat de Gel Antiga (LALIA), que s'estén al llarg dels segles VI i VII CE, i que inclou possiblement la dècada més freda dels darrers dos mil anys (Figura 9), coincidint amb tres grans erupcions volcàniques (Gibbons, 2018). Posteriorment tindrà lloc un notable període d'escalfament denominat com a Òptim Climàtic Medieval (MWP), entre els anys c. 1350 i 750 cal BP. Hiverns suaus, estius càlids i un increment de les precipitacions a la mediterrània occidental, van augmentar el rendiment de les collites, provocant un gran increment demogràfic a Europa, tot just abans de l'arribada de la pesta negra cap al 1347 CE (Uriarte, 2010). Cap a l'any 1350 CE s'inicia un període prolongat de refredament climàtic (LIA), especialment amb dues grans pulsions fredes al segle XIV i a la primera meitat del segle XIX CE (DeMenocal, 2000). El segle XX CE s'inicia amb la mateixa tendència freda marcada per la LIA a l'hemisferi nord (Marcott *et al.*, 2013). Tot i això, es registra cap al terç final del segle XX CE un augment de les temperatures que continua i s'intensifica al llarg de la primera part del segle XXI (Wanner *et al.*, 2008; Marcott *et al.*, 2013).

A l'alta Edat Mitjana, entre els segles V a XI CE, s'assisteix a un cert manteniment de la coberta forestal a CDR1 (Figura 127), tot i que cap al c. 1,3 ka cal BP, es detecta una davallada progressiva que es farà molt profunda a la baixa Edat Mitjana. *Abies* i *Fagus* mantenen un comportament similar al mostrat al període romà. El senyal de fongs copròfils a CDR1 decau fortament durant aquest període, indicant una menor ocupació ramadera local. El senyal de cereals arriba a desaparèixer durant prop de dos-cents anys, entre c. 1,5 i 1,3 ka cal BP, tot just al col·lapsar les estructures socioeconòmiques romanes. Els febles senyals d'incendis (Figura 128) també s'espaien i es detecta, en general i segons tots els indicis, una menor pressió antròpica sobre el medi natural. La desestabilització social i econòmica amb la caiguda de Roma, l'arribada de pobles bàrbars i el refredament climàtic posterior al RWP, conegut com a LALIA, podrien explicar el descens d'alguns indicadors antròpics, fruit d'un cert abandonament de la

mntanya, acompanyada d'una certa (i transitòria) recuperació forestal (Rodríguez-González *et al.*, 2023).

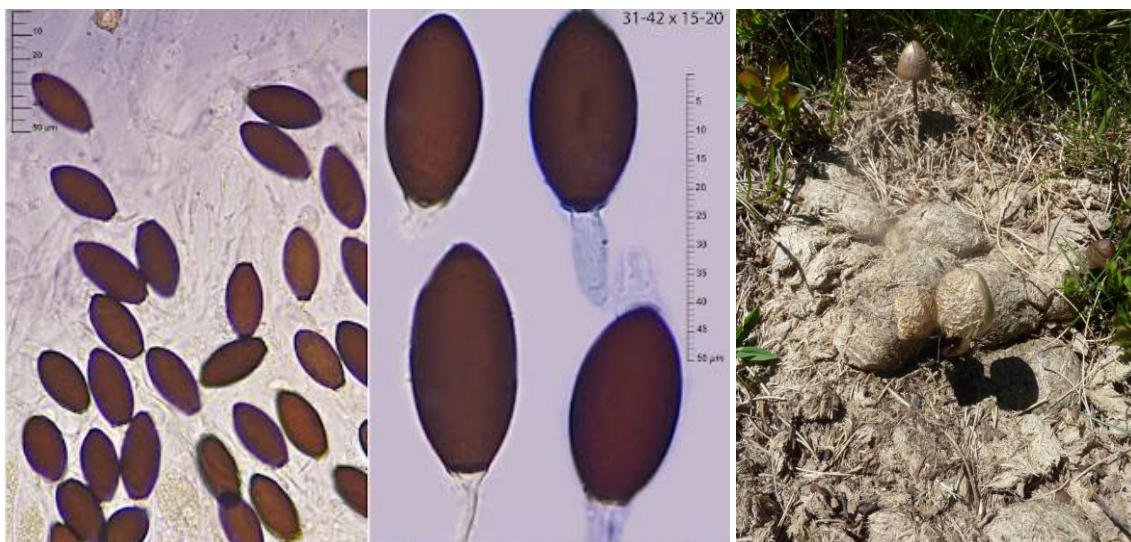


Figura 139. Imatge esquerra: micrografia d'espores del fong ascomicet *Podospora anserina*, un copròfil habitual en femtes bovines i ovicaprines (Foto: Enrique Rubio, aïllada en femtes bovines). Imatge dreta: fongs copròfils sobre femtes bovines als Clots de Rialba (imatge pròpia).

Al testimoni de BAS1 (Figura 132) en canvi, s'assisteix a una brusca davallada del pol·len arbori des del segle V CE, i que es mantindrà amb un aprofundiment sobtat cap al c. 1,1 ka cal BP. Les poàcies mostren una expansió notable i alguns indicadors antròpics augmenten al llarg de la fase, especialment a partir de c. 1,25 ka cal BP, com els fongs copròfils del gènere *Podospora* que assoleixen els valors més alts de tota la seqüència, indicant un augment important de les activitats ramaderes locals, els fongs micorrízics *Glomus*, evidenciant un augment de l'erosió edàfica i l'alga trebouxofícia *Botryococcus*, indicant un augment de l'eutròfia de l'aigua. El pol·len al·lòcton d'*Olea* continua arribant i ho continuarà fent fins al moment actual. Altres indicadors com *Plantago* i en menor mesura *Rumex*, també s'expandeixen en aquest moment.

Els increments en els valors de pol·len d'*Olea* a tots dos testimonis sedimentaris indiquen que la desforestació del bosc de baixa altitud també va estar associada a activitats agroramaderes, com ara el cultiu intensiu d'*Olea*, que va començar a l'Edat Mitjana. En canvi, *Vitis* està absent en totes dues seqüències, tot i que es sap que *Olea* té una producció de pol·len més elevada i una millor dispersió que no pas *Vitis* (Cañellas-Boltà *et al.*, 2009). Probablement l'olivera i la vinya es cultivaven per causes climàtiques, per sota dels 1000 m d'altitud (Marugan i Oliver, 2005).

Aquesta diferència de comportament entre els dos testimonis (BAS1 i CDR1) es detecta en el registre de Sant Maurici (Rull *et al.*, 2021) i que contrasta amb estudis

anteriors d'altres llacs del PNAESM i la seva zona perifèrica que contenen evidència de paisatges que van ser antropitzats durant l'Edat del Bronze final (entre c. 3,2 a 2,7 ka cal BP) a la Bassa Nera i a la baixa Edat Mitjana (entre c. 0,85 a 0,45 ka cal BP) als estanys de Redó i Llebre (Catalan *et al.*, 2013; Garcés-Pastor *et al.*, 2017a, 2017b). El registre de l'estany de Sant Maurici presenta una divergència temporal més extensa que no pas BAS1 i CDR1, ja que no mostra signes de desforestació o ús extensiu/intensiu del sòl per humans durant el període medieval (Rull *et al.*, 2021). Per algun motiu, els indicadors de la forta petjada antròpica medieval trigaran més a aparèixer als Clots de Rialba i ho faran a partir de la baixa Edat Mitjana, mentre que a l'Estany de la Bassa ja són evidents just a l'inici de l'alta Edat Mitjana, al segle V CE, el que indica variabilitat en la intensitat d'ús del territori (Rodríguez-González *et al.*, 2023).

Al començament de la baixa Edat Mitjana (segles XI al XV CE), es detecta la caiguda de la biomassa forestal més brusca de tota la seqüència de CDR1 (Figura 127), acompanyada d'un augment de la taxa d'acumulació de pol·len de Poaceae i d'altres indicadors antròpics com *Plantago*, cereals (incloent *Secale*) i *Rumex*. Al registre de BAS1 (Figura 132), la pèrdua de massa forestal continua i marca els valors mínims dels darrers 10,3 ka a la transició entre el final període baix-medieval i l'Edat Moderna (c. 1450 CE). Es detecten pulsacions de *Podospora* i del fong micorrízic *Glomus*. *Botryococcus* marca un *bloom* algal entre c. 1200 i 1500 CE indicant un augment més que notable en les condicions d'eutròfia.

Aquest escenari de forta irrupció antròpica, no es produeix clarament a CDR1 fins al 1 ka cal BP. Tanmateix, també es detecta tant a CDR1 com a BAS1 una expansió forestal transitòria entre els anys 800 i 600 cal BP, que podria ser una resposta a la relaxació de la pressió agroramadera per un abandonament transitori de l'alta muntanya degut a la crisi baix-medieval i a les primeres pulsions fredes de la LIA. Alguns autors han registrat canvis en les condicions climàtiques al voltant de l'any 700 cal BP al vessant sud dels Pirineus (Morellón *et al.*, 2012).

Hi ha constància de l'anomenada "crisi baixmedieval" que afectà també les zones muntanyoses a partir del c. 700 cal BP, un període prolongat de fred que va coincidir amb temps de fams, plagues de llagostes i collites escasses durant aquesta època (Vilar, 1987). Les epidèmies generalitzades van acabar amb gairebé el 60% de la població europea entre el 1347-53 CE (Büntgen *et al.*, 2011). L'epidèmia medieval de pesta negra, causada pel bacteri *Yersinia pestis*, tingué l'origen a Àsia central, probablement als voltants del Llac Issyk-Kul, a l'actual Kirguizistan sobre el 1338 CE (Spyrou *et al.*, 2022) i es va propagar cap a l'oest per les rutes comercials que

contornejaven el Caspi, arribant a les costes del Mar Negre sobre el 1346 CE. D'aquí va passar a Constantinoble i, a través d'embarcacions genoveses, s'estengué a la resta d'Europa on es produí una "gran mortaldat" (Belenguer, 1996). Un temps terrible en què "els vius amb prou feines eren suficients per enterrar els morts" i tothom repetia: "*A peste, fame et bello, liberanos Domine*" (de pesta, fam i guerra, deslliureu-nos Senyor) (Belenguer, 1996). Aquesta combinació de despoblament i refredament climàtic podria haver provocat un abandonament d'activitats a l'alta muntanya, afavorint així una recuperació de la coberta forestal. La reducció de les activitats econòmiques humanes i la recuperació forestal també s'ha observat en altres zones pirinenques en aquest moment (Galop *et al.*, 2003; Mazier *et al.*, 2009). Tanmateix, a diverses valls pirinenques hi ha evidència del manteniment d'explotacions agroramaderes i mineres (Bal *et al.*, 2011; Catalan *et al.*, 2013).

L'evidència arqueològica també apunta cap a una reducció de les ocupacions a l'alta muntanya. El sistema d'assentaments amb ramat i ramaders agrupats en un mateix emplaçament s'acaba entre els segles XIII i XIV CE. No s'ha trobat cap assentament abandonat més tard de la segona meitat del segle XIV CE, probablement lligat amb els importants canvis en els sistemes d'explotació ramadera de l'alta muntanya (Gassiot *et al.*, 2014). A l'inici de l'Època Moderna apareix un altre tipus d'estructura, molt més gran que les cabanes de pastor, amb parets de pedra i sostres de bigues de fusta. D'aquesta època també són un tipus de recintes molt característics: les munyidores o orris, que consistien en tancats molt allargats de 20 a 45 m de llarg per 2 m d'ample. En el seu interior s'hi guardava un ramat que no superaria les 125 ovelles o cabres i, a mesura que un nombre reduït de pastors les anaven munyint, es passaven els animals d'una banda a l'altra del tancat (Gassiot *et al.*, 2014).

En el període més recent de la seqüència de CDR1, que abasta des de l'inici de l'Època Moderna fins al present, oscil·lacions climàtiques com la LIA (Miller *et al.*, 2012) es podrien haver combinat amb factors antròpics, lligats a l'explotació de fusta i als senyals d'incendis detectats aproximadament entre c. 300 i 200 cal BP, per explicar la intensa regressió forestal revelada al palinograma (Figura 127). La disminució afecta a tots els tàxons arboris i els percentatges d'*Abies* i *Fagus* esdevenen els més baixos dels darrers tres mil·lennis. D'altra banda, els tàxons arbustius com Ericaceae i sobretot *Calluna* mostren una intensa colonització, fet que indicaria també una disminució de la humitat els darrers tres segles. Una altra explicació podria relacionar *Calluna* amb l'increment dels incendis o el resultat de l'abandonament de pastures a nivell local. Els cereals tornen a oferir senyals febles i discontinus, en descens respecte als segles anteriors, i *Secale* pràcticament desapareix del registre com a conseqüència,

probablement, de l'abandonament de les activitats agrícoles. També hi ha una notable disminució de fongs copròfils com *Podospora*, la qual cosa suggereix una disminució de la intensitat ramadera en comparació amb fases anteriors. Alternativament, podria representar un canvi en el sistema ramader i el tipus de bestiar o l'abandonament dels grans ramats intensius a partir de la segona meitat del segle XX CE (Rodríguez-González *et al.*, 2023).

A l'Estany de la Bassa, les ciperàcies acceleren l'expansió iniciada al Neolític i la torbera ja mostra l'aspecte actual. Una forta regressió forestal culmina a l'Edat Moderna amb els valors percentuals més baixos de pol·len arbori de tota la seqüència, permetent una forta expansió dels tàxons herbacis. *Abies* i *Fagus* també pateixen en aquesta regressió forestal però es tornaran a recuperar sensiblement en segles posteriors. Un detallat mapa francès datat en 1718 (Figura 140) que amb les precaucions lògiques a l'hora d'interpretar un document com aquest, ens dibuixa una coberta forestal força més escassa i dispersa que l'actual a les zones més baixes. Tot i aquesta pèrdua de biomassa forestal, el pol·len de cereals es manté amb valors moderats i força més modestos que els registrats a l'alta Edat Mitjana, a on s'aconsegueixen els màxims absoluts del testimoni. De fet, el senyal cerealístic arriba a desaparèixer als inicis del segle XVII CE, potser per les dificultats associades al refredament que suposa la LIA, per després recuperar-se a partir del segle XVIII CE. També es registren 3 pulsacions progressivament menys intenses en època moderna, de fongs copròfils del gènere *Podospora*, fet que es pot atribuir a oscil·lacions d'una activitat ramadera local que tendeix a la regressió. El senyal de la trebouxofícia *Botryococcus* s'atura en sec, desapareixent sobtadament a partir del segle XVI CE, indicant una reducció de la producció primària i una marcada oligotròfia de les aigües de l'estany. El fong micorrízc *Glomus*, com a marcador d'erosió edàfica, mostra una darrera pulsó del segle XVIII al XIX CE, igual que els cereals, indicant una intensificació temporal en la pressió antròpica. Durant el segle XIX CE, coincidint amb el període de major desenvolupament demogràfic de les valls que envolten el PNAESM, la pressió humana torna a ser màxima, amb una intensa explotació forestal, ramadera, agrícola i piscícola. Durant la primera meitat del XX també va iniciar-se l'explotació hidroelèctrica dels Pirineus, la qual va suposar una alteració del paisatge (parcsnaturals.gencat.cat). Tot i aquests indicadors antròpics recents, cal remarcar que des dels mínims situats al voltant del segle XVI CE, el bosc dona mostres de ràpida recuperació a les darreres dècades. En altres registres, l'augment de la biomassa forestal detectat en les concentracions de pol·len podria reflectir una lleugera disminució de la pressió de pastures, especialment a les zones

d'alta muntanya (Miras *et al.*, 2010). Aquest augment arbori estaria probablement lligat a un abandonament dels usos agrícoles i ramaders.

Diverses fotografies històriques preses a finals del segle XIX i principis del XX CE a diferents punts del Pirineu, ens mostren espais força més desforestats que a l'actualitat. Una foto presa entre 1900 i 1910 al costat del Santuari de Montgarri (Val d'Aran), ens evidencia l'actual recuperació forestal (Figura 141). Al Pont de la Perosa, a Bonabé (Pallars Sobirà) s'instal·là fa més d'un segle la gran factoria fustera *Matussièrre et Forest* (Figures 142 i 143). La fusta es transportava cap a l'altre vessant de les muntanyes, a l'Arieja: primer fins al Port de Salau (on també hi ha restes de construccions de l'època) per després continuar muntanya avall fins al poble de Salau, on hi havia una fàbrica de tractament per fer paper. Tres fotografies dels Encantats preses des de la vora de l'Estany de St. Maurici al llarg del segle XX CE també mostren el grau de desforestació a principis del segle passat i la progressiva recuperació posterior (Figura 144). En aquest mateix sentit també es pot comprovar una certa recuperació forestal a la comparativa d'ortofotografies que comencen al 1945 amb l'anomenat "vol americà" dels Clots de Rialba (Figures 130 i 131) i de l'Estany de la Bassa (Figures 108, 109 i 110). Darrere del campanar de l'església de Sant Just i Sant Pastor de Son (Valls d'Àneu) es veu clarament la recuperació del bosc si comparem la imatge de 1962 amb la de 1913. A la figura 146 s'observa la retirada de troncs amb mules dels boscos de Son, els entorns totalment desforestats i abancalats d'Esterri d'Àneu al c. 1919 CE que mostren una gran pressió antròpica i un segador de la vall de Camprodon al c. 1900 CE fent tasques de sega del blat.

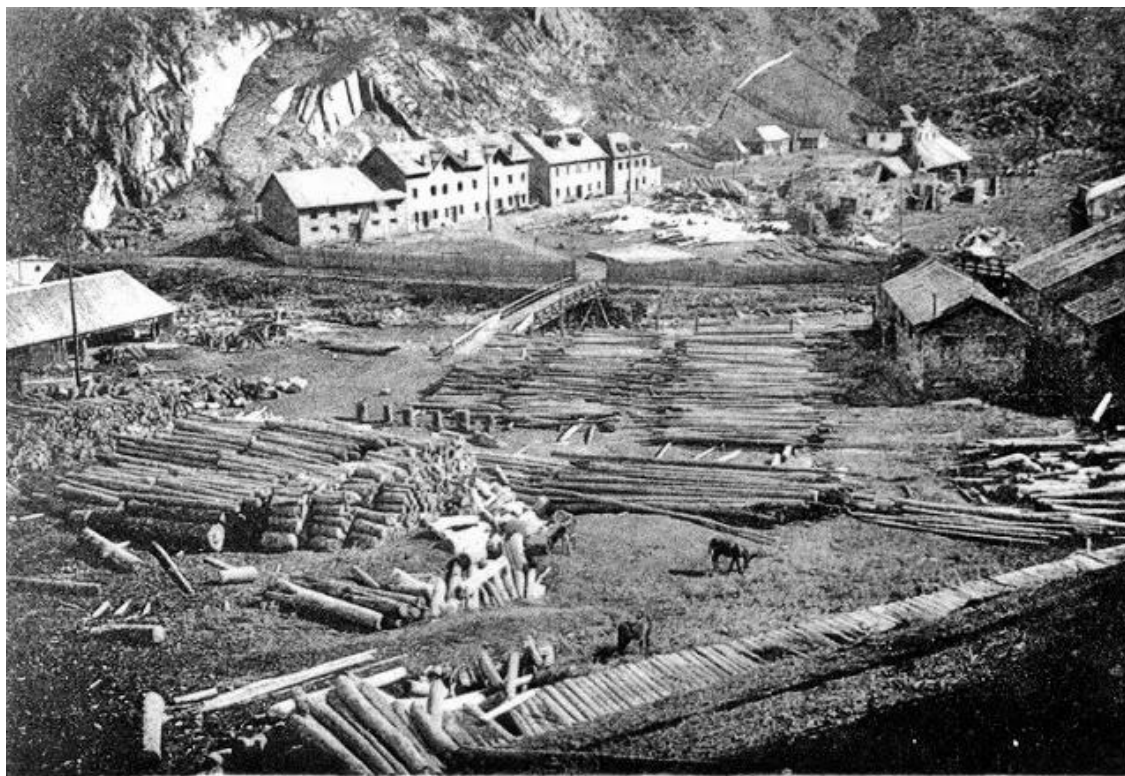
Com ja és sabut, la torbera dels Clots de Rialba es troba al llindar del Parc Natural de l'Alt Pirineu, un espai protegit des de l'any 2003. També cal esmentar un últim repunt de fongs copròfils, que es podria explicar pel foment de la ramaderia extensiva permesa a l'alta muntanya al voltant del Parc Natural. De fet, actualment es poden identificar visualment femtes de bestiar a la zona amb fongs copròfils presents (Figura 139). En qualsevol cas, encara no s'han recuperat ni avets ni faigs, que continuen mostrant valors pol·línics molt baixos. Com ja és sabut l'Estany de la Bassa es troba a la zona interior del PNAESM, una figura de protecció creada al 1955, esdevenint el segon parc nacional dels Pirineus després del d'Ordesa i Mont Perdut. Aquesta mesura de conservació està permetent que la pressió humana es redueixi de forma molt notable afavorint la recuperació ecològica de l'alta muntanya pirinenca.



Figura 140. Mapa de 1718. «Carte de partie de Catalogne sur laquelle se trouvent partie du cours des rivières de la Noguera Ribagorsana, de la Noguera Paulleressa et des vallées d'Andorra, de Farrera, de Cardous, de Paillas, autrement d'Anéou, celles d'Asouy, de Real, de Sort, de Savernada, de Gerri, de Capdeil, de Saroca, d'Areins, de Beteza, de Chironnelle, de Beville, de Barabés, de Boy» (Gallica). Autors (presumits): Claude Roussel (1655-1733, enginyer), François de La Blottière (1673-1739, enginyer). Del Portarró d'Espot cap a l'est, la vall del riu Escrita fins a Sant Maurici, amb el gran llac glacial. El Nord geogràfic mira cap avall (extret del blog "Quinalafem?" de J. M. Mir). Tot i que es tracta d'un mapa la vegetació dibuixada al 1718 sembla més escassa i dispersa que l'actual. Imatge inferior: mateix mapa al 2023 (GEarth).



Figura 141. Fotografies del Santuario *dera Mair de Diu de Montgarri* (Val d'Aran), amb un segle de diferència. Imatge superior: anys 1900-1910 CE. Imatge inferior: c. 2020 CE (extret del blog “Quinalafem?” de J. M. Mir).



BONABÉ — Vue Générale



BONABÉ - Vista general

Figura 142. Pont de la Perosa a Bonabé, sobre la Noguera Pallaresa, amb un segle de diferència. Imatge superior: c. 1920. Imatge inferior: 2023. Fa 100 anys hi havia la gran factoria de fusta de la Matussièr. La construcció de les instal·lacions començà a partir de 1897 i es començà amb la serradora al 1903 (extret del blog “Quinalafem?” de J. M. Mir).

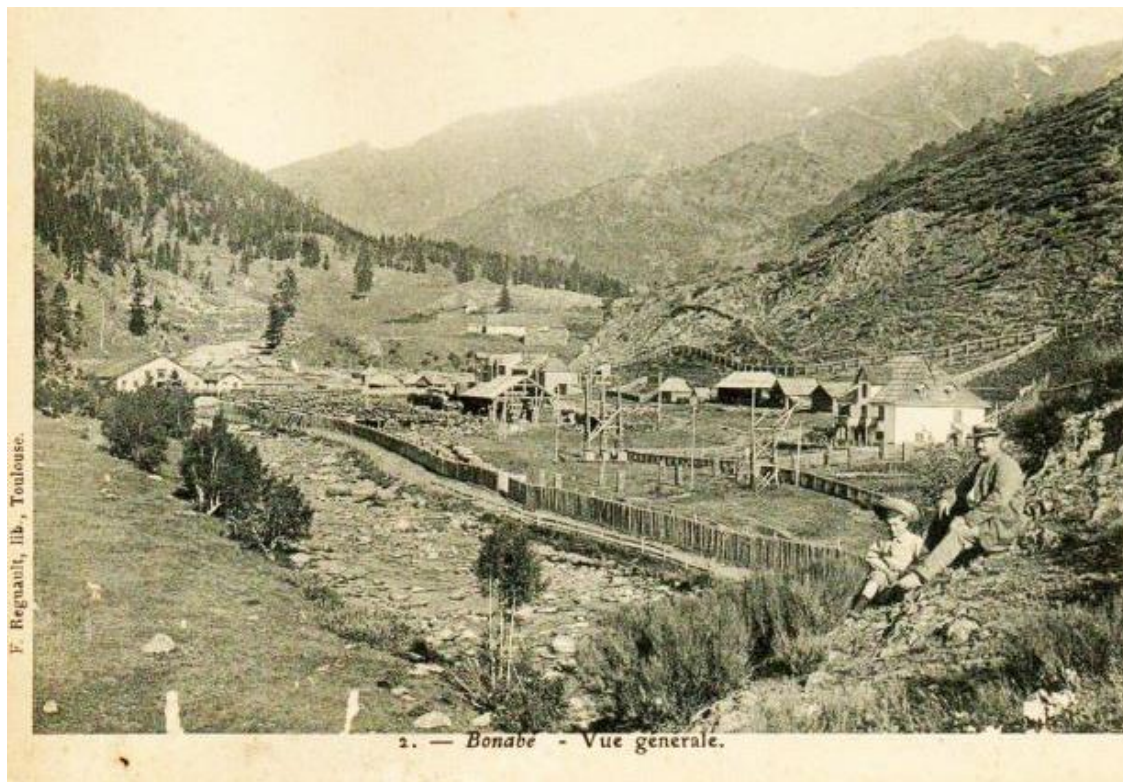
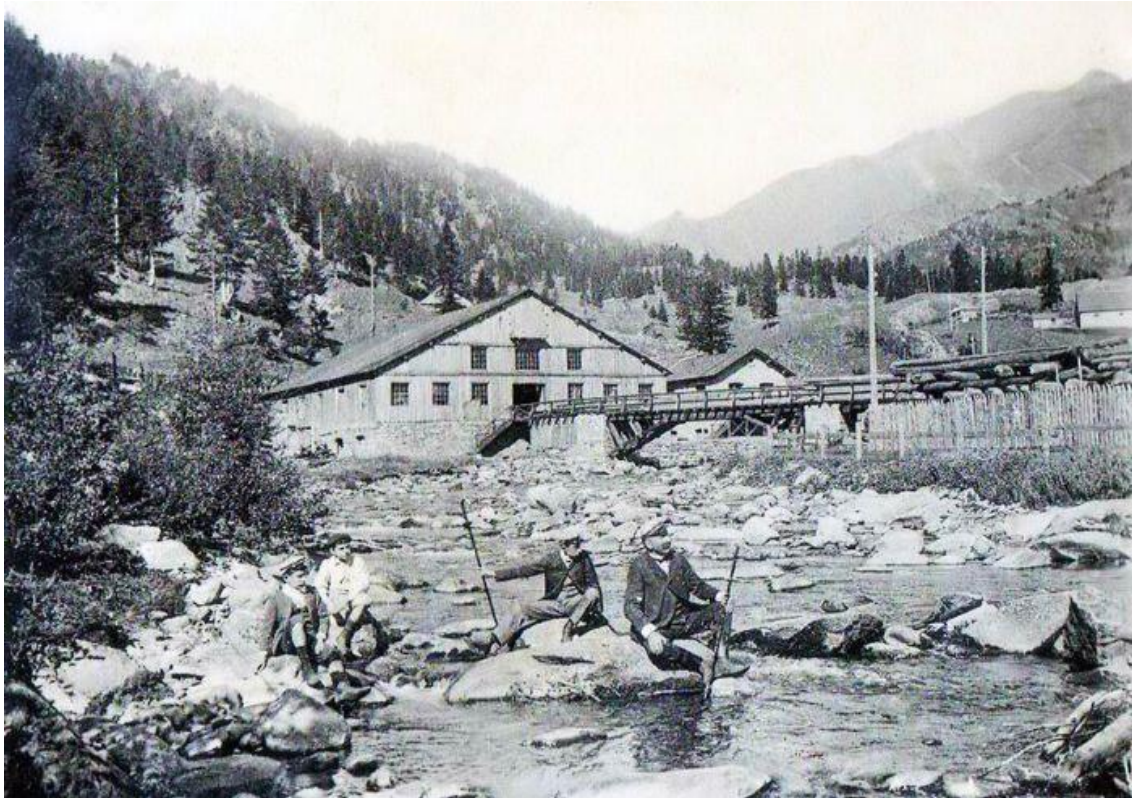


Figura 143. Anys 1900-1910 Bonabé (el Pallars Sobirà). Imatge superior: la família propietària de l'empresa Matussière et Forest passà alguns estius a Bonabé. Potser aquests personatges tan mudats n'eren membres. En detall, s'observa el magnífic pont de fusta construït, un gran edifici de magatzem (potser amb la serradora hidràulica) i els pals de llum elèctrica que ja arribaven fins als confins del Pirineu pallarès. S'observa al darrera l'avetosa de Bonabé. Imatge inferior: avi i nét asseguts a la dreta (extret del blog "Quinalafem?" de J. M. Mir).

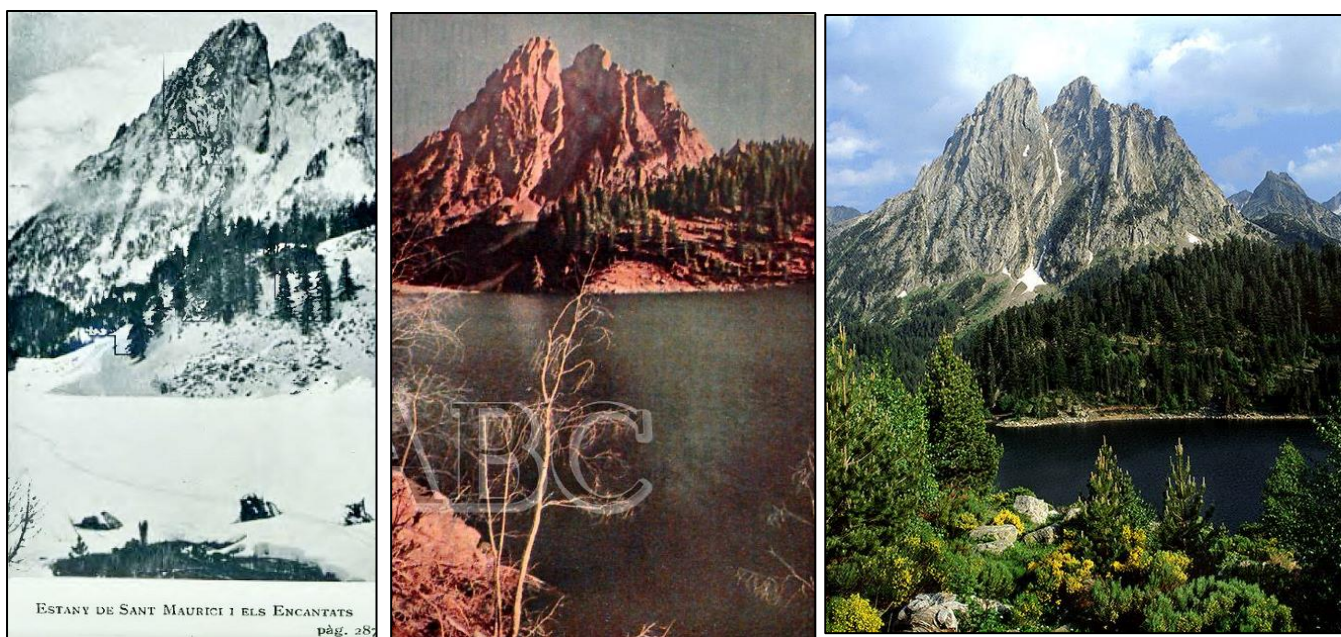


Figura 144 . Imatge esquerra: Fotografies dels Encantats i de l'Estany de St. Maurici al llarg d'un segle. Imatge esquerra: els Encantats i l'Estany de St. Maurici al 1919 CE (extret del blog "Quinalafem?" de J. M. Mir). Imatge central: els Encantats i l'Estany de St. Maurici inclosa a l'article *Viaje al Pirineo de Lérida* (Camilo J. Cela, ABC) presa al 1962 CE. Imatge de la dreta: els Encantats i l'Estany de St. Maurici al 2023 (extreta de miteco.gov.es). S'observa la important recuperació forestal.

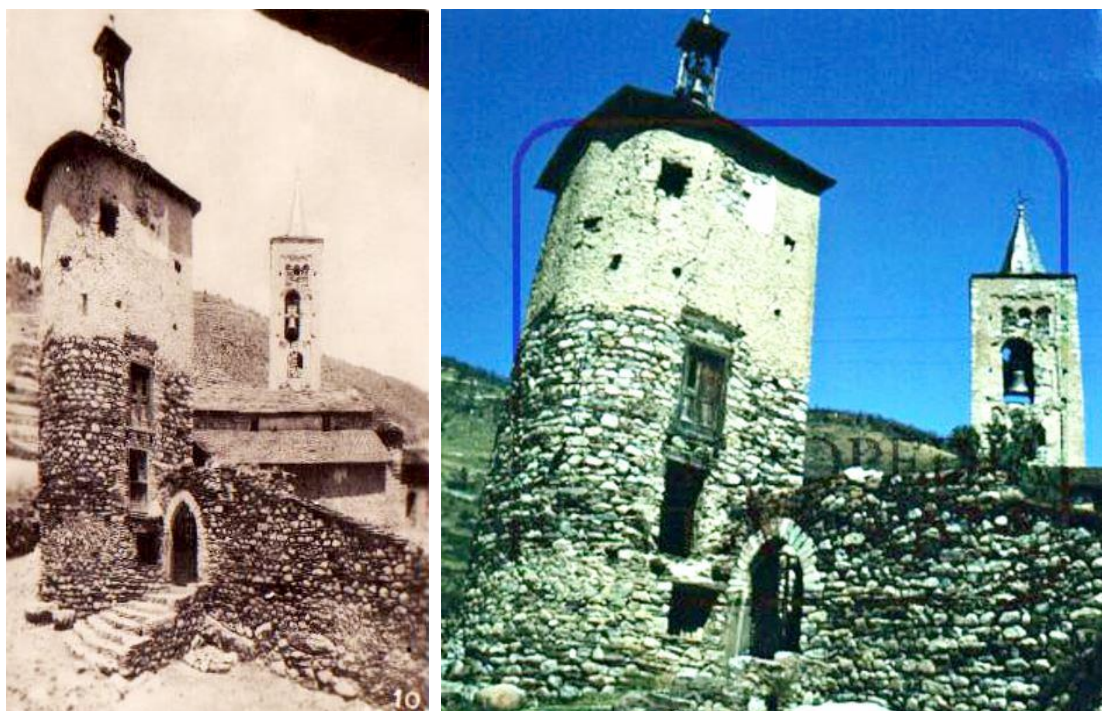


Figura 145. Fotografies del campanar de l'església de Sant Just i Sant Pastor de Son (Valls d'Àneu) preses, a dalt, d'esquerra a dreta al 1913 i al 1962 CE (extret del blog "Quinalafem?" de J. M. Mir).

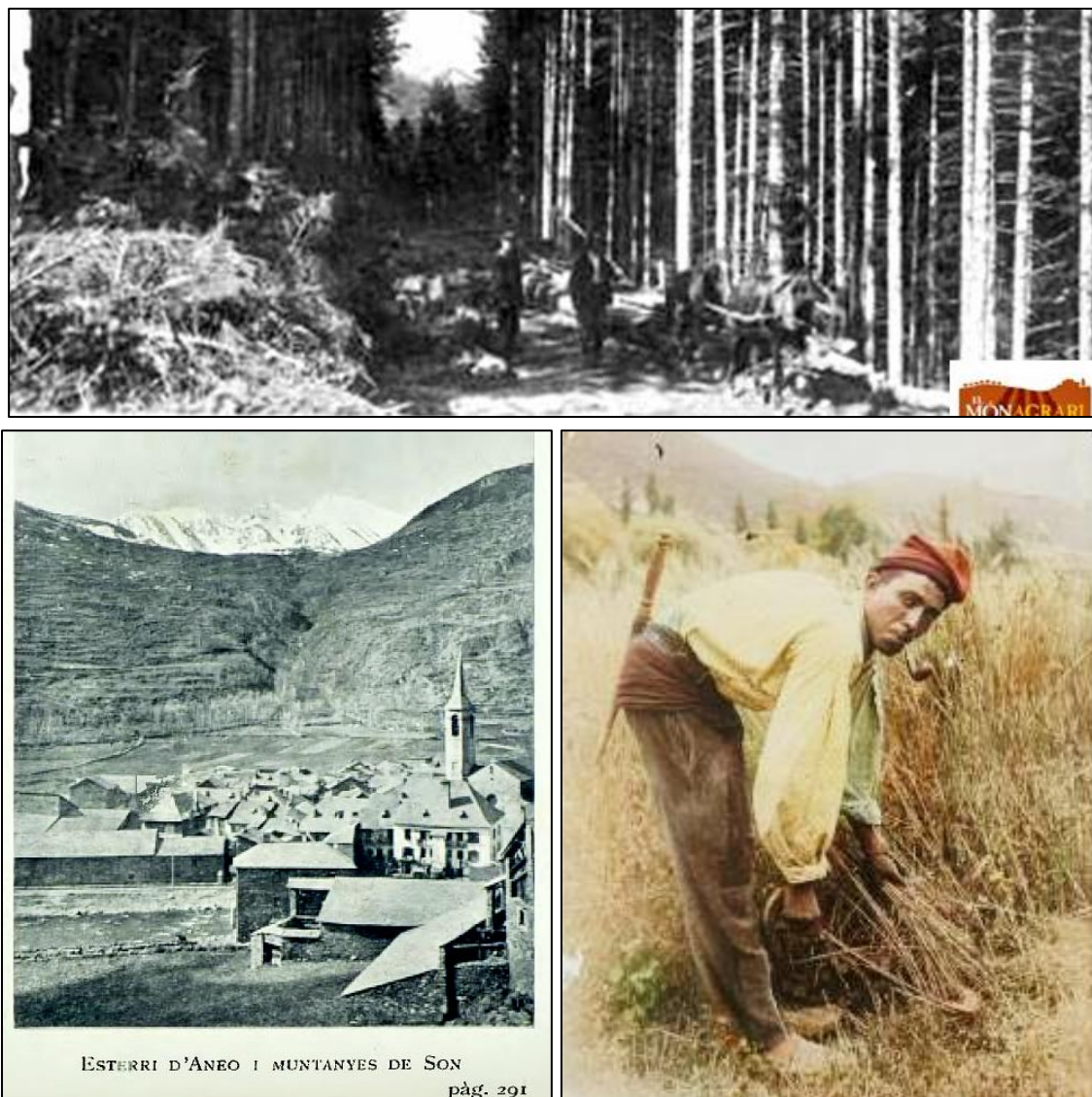


Figura 146. Imatge superior: anys 1910-1920. Son, les Valls d'Àneu (el Pallars Sobirà). Les feines de tallar fusta al bosc i transport amb mules. Imatge inferior esquerra: Esterrí d'Àneu al 1919 CE amb els entorns fortament antropitzats (extret del blog “Quinalafem?” de J. M. Mir). Imatge inferior dreta: segador segant blat a Camprodon c. 1900 CE (foto de Pere Surroca).

5.7. Dinàmica d'incendis a l'Holocè. Clima, humans, cultius i ramats.

Tot i que ja s'ha introduït el factor incendis en les discussions anteriors, s'ha centrat un apartat específic per a la dinàmica del foc oferint una interpretació del règim d'incendis holocènics, i a on s'intenta discriminar sobre el seu origen principal. D'una banda les condicions climàtiques són bàsiques a l'hora d'afavorir o evitar l'inici i la propagació dels incendis forestals, i per tant, podem considerar que hi ha un component netament climàtic. Per altra banda, l'arribada i l'establiment de les primeres comunitats neolítiques va deixar una empremta clara, a on l'ús del foc va ser una estratègia en l'intent d'obrir zones agrícoles o de pastures. Veurem que sovint és difícil destriar el component climàtic de l'antròpic. Generalment el component antròpic se superposa al climàtic, exceptuant alguns esdeveniments Bond o a la LIA, o on sí que podem inferir que les condicions climàtiques van ser decisives. També es discutirà comparativament el patró de focs en altres sondejos situats en zones properes als dos estudiats en aquesta tesi.

Entre c. 9250 i 8250 anys cal BP es va registrar un increment en la freqüència i la magnitud del senyal d'incendis segons l'anàlisi CHAR de macrocarbons sedimentaris, destacant aquí el senyal més intens de tota la seqüència al voltant de 8,3 ka BP. Probablement aquests pics podrien haver sigut afavorits per les dues pulsions climàtiques dels esdeveniments de Bond 6 i 5, situats cronològicament en c. 9,4 i 8,2 ka BP respectivament (Bond *et al.*, 1997). Condicions ambientals més fredes però sobretot més seques, com les que es van produir en ambdós esdeveniments, haurien afavorit l'inici i la propagació del foc (Kobashi *et al.*, 2007). Comparant amb altres seqüències d'aquesta cronologia, no s'observa un patró similar. Als testimonis de Burg i de la Bassa Nera els registres no indiquen aquesta doble pulsio. En canvi, a la seqüència d'Estanilles sí que s'observa en l'esdeveniment Bond 6, en c. 9,4 ka cal BP, un enorme pic d'incendi, major que el registrat als Clots de Rialba. En contraposició no s'observa pas un senyal apreciable a l'esdeveniment 5 de Bond (Pèlachs *et al.*, 2011, 2012; Garcés-Pastor *et al.*, 2017). Aquestes asimetries suggereixen dinàmiques una mica diferents en zones relativament properes. En aquesta fase tampoc es detecta evidència antròpica al palinograma (cereals, *Plantago*, *Rumex*,...) fet que reforça la idea d'un origen climàtic i no pas una pressió directa de les petites i esporàdiques comunitats humanes mesolítiques que no utilitzarien el foc com a estratègia desforestadora. Al jaciment de les Obagues de Ratera, a menys d'un kilòmetre de distància de l'Estany de la Bassa en línia recta, els primers indicis de presència humana identificats al nivell 13 es situen entre c. 10 a 9,7 ka cal BP, en ple Mesolític. Aquesta ocupació esporàdica va deixar unes poques restes, com la presència d'un fogar amb restes de combustió que

estructurava l'espai, uns quants fragments lítics tallats i puntes de projectils de sílex de cristall de vidre relacionats exclusivament amb pràctiques cinegètiques, sense cap evidència d'activitat agropecuària que pogués haver fet necessària la utilització del foc per a obrir espais (Gassiot *et al.*, 2019). L'ocupació de l'Abric de l'Estany de la Coveta I durant el mesolític data d'entre el c. 9 i el 8,5 ka cal BP. En aquesta fase, a l'interior de l'abric es va fer un petit fogar, tocant a l'accés, on es va cremar principalment fusta de pi. Les poques restes lítiques localitzades en aquesta fase són petits esclats de sílex i de quars, alguns d'ells provinents de la Conca de Tremp i de la vall de l'Ebre, que van servir per a treballar pell i carn, una activitat de nou orientada a la cacera (Gassiot, *et al.* 2014; Gassiot, 2016).

Entre c. 8,2 i 6,2 ka anys cal BP es va produir una disminució notable en la freqüència de focs, amb el registre d'únicament dos senyals esporàdics i espaiats de magnituds similars al c. 7 i al 6,8 ka cal BP. A Burg, a Estanilles i a la Bassa Nera, el patró és el mateix, amb una absència pràcticament total d'incendis locals (Pèlach *et al.*, 2011 i 2012; Garcés-Pastor *et al.*, 2017). Al jaciment de l'Abric de les Obagues de Ratera es detecta una segona fase d'ocupació més intensa datada entre 7,73 i 7,64 ka cal BP. Un sòcol de pedra va servir de base per a un tancament de l'abric amb fusta o amb pells. A l'interior es van reparar i es van descartar nombroses puntes de projectil de sílex amb les que s'hauria treballat carn i pells (Gassiot *et al.*, 2019). Igual que a la primera fase ocupacional, tampoc no hi ha evidència d'activitats agropecuàries. Tot i això cal destacar l'aparició a la seqüència de l'Estany de la Bassa, del primer pol·len atribuït a cereal en c. 7,5 ka cal BP, fet que podria indicar que algunes comunitats humanes no fossin només visitants esporàdics i temporals dels espais d'alta muntanya sinó que estiguessin prou assentades per iniciar petits cultius cerealístics (Martin *et al.*, 2012).

És interessant ressenyar que als Pirineus es troben alguns dels jaciments arqueològics amb evidències de ramaderia més antigues de la Península Ibèrica, situats entre c. 7,5 i el 7 ka cal BP. A la Balma Margineda (Andorra) s'obtenen algunes de les datacions neolítiques més antigues, entorn del c. 7,6 i 7,55 ka cal BP (Orengo *et al.*, 2014; Gassiot *et al.*, 2021). En els 4 o 5 segles següents es consolida la presència d'agricultura, ramaderia i ceràmica a les coves de Coro Trasito (Tella), Els Trocs (Vall de Benasc) i Cueva Lobrica (Añisclo) a la comarca del Sobrarbe, al Pirineu Aragonès, entre 1400 i 1600 metres d'altitud i la Cova del Sardo (Boí), al Parc Nacional a 1790 metres d'altitud (Antolín *et al.*, 2018; Garcia, 2019; Gassiot *et al.*, 2021). A les excavacions arqueològiques que s'hi han fet s'han trobat nombroses restes d'ossos de ramats ovicaprins, porcins i bovins provinents de la ramaderia i també nombroses restes de recipients ceràmics (Garcia, 2019). Tots quatre jaciments evidencien un major èmfasi

en les ocupacions dels fons de vall i de les zones de muntanya mitjana, per sota els 1400-1600 metres d'altitud durant el Neolític antic, amb pràctiques agrícoles i ramaderes consolidades (Gassiot *et al.*, 2021).

Recentment, un estudi arqueobotànic de la Cova de Els Trocs ha identificat cereals en els primers nivells del jaciment datats a la transició entre el VIII-VII mil·lenni BCE (Rojo Guerra *et al.*, 2013, 2014). Els llegums també són recurrents en diversos jaciments com la Cova de Els Trocs, Coro Trasito, Balma Margineda, el Camp del Colomer i la Cova Colomera (Peña-Chocarro *et al.*, 2018).

No obstant això, les evidències d'aquesta època de l'Abric del Portarró i de la Cova del Sardo, amb petits fogars i ocupacions molt puntuals, mostren que es manté una freqüentació mínima del territori per part de grups que es mouen amb aixovars molt reduïts, possiblement en el marc de partides de caça procedents d'assentaments en zones de menys altitud (Gassiot *et al.*, 2021). A la Cova del Sardo, un dels jaciments que presenta la seqüència temporal més extensa, la base de la seqüència arqueològica la conforma la fase 9, definida a partir d'un fogar en una petita coveta amb molt poc material arqueològic associat. La datació ha facilitat un resultat d'entre c. 7,6 a 7,375 ka cal BP, coherent amb les primeres datacions absolutes de contextos neolítics als Pirineus (Gassiot *et al.*, 2021).

Més endavant, entre c. 6,8 i 6,4 ka cal BP, la Cova del Sardo va ser objecte d'una ocupació intensa. S'hi va adequar un petit espai a l'exterior del refugi per allotjar una gran àrea de combustió. Van utilitzar ceràmica, a on es va cuinar carn d'ovicaprins, i van fer servir eines de sílex de procedència al·lòctona al PNAESM, provinent de diferents àrees de les serres exteriors prepirinenques i de la vall de l'Ebre. Tot i que entre aquestes eines hi havia alguna punta de projectil, la seva presència és molt menys rellevant que als estrats mesolítics de l'Abric de Les Obagues de Ratera. En canvi, sí que és rellevant la presència d'eines orientades a la talla d'herba o, fins i tot, algunes amb llustre de cereal (Mazzucco *et al.*, 2019). És aquest el cas dels elements de falç recuperats en el jaciment, que amb freqüència mostren traces de reutilització i transformació, suggerint que les tasques de sega de cereals no es van dur a terme a les immediacions de la cavitat (Gassiot *et al.*, 2014). Entre els materials arqueobotànics recuperats, a banda de gran quantitat de restes de fustes cremades, hi destaquen dues llavors de cereals cultivats: una d'ordi nu (*Hordeum vulgare* var. *nudum*) trobada al conjunt 8 datat entre c. 5,85 i 5,64 ka cal BP, i una altra de blat nu (*Triticum aestivum* / *durum* / *turgidum*) provinent del conjunt 6, més recent, datat entre c. 4,56 i 4,47 ka cal BP. Aquestes llavors mostren que els habitants de la cova en aquesta època tenien

contacte amb l'agricultura, tot i que potser no la practicaven *in situ* (Gassiot *et al.*, 2014; Gassiot *et al.*, 2021). La presència de cereals domèstics no necessàriament implica conreus a les immediacions de la cavitat, si bé, com a mínim, és indicatiu de la presència de pràctiques agrícoles en alguna zona no allunyada i del seu consum per part de les comunitats que es desplaçaven a les zones altes (Gassiot *et al.*, 2014). La possibilitat d'un primer desenvolupament de cultius en aquest període del Neolític antic (VII mil·lenni cal BCE), que han estat documentades a altres valls inferiors de la regió (Galop *et al.*, 2003) i també a la vall de Sant Nicolau, és compatible amb les condicions climàtiques del període, el més càlid de l'Holocè, marcat per cicles d'estiu-tardor sensiblement més càlids que els actuals, segons indiquen les dades pol·líniques (Catalan *et al.*, 2001) i l'estudi de diatomees i crisofícies a la zona (Pla i Catalan, 2005; Catalan *et al.*, 2013; Rodríguez-Anton *et al.*, 2016).

A partir del c. 6,2 ka cal BP el registre d'incendis ja és continuat i la magnitud s'incrementa relativament a partir de c. 5,5 ka cal BP. Aquesta revifada és dona sincrònicament amb l'esdeveniment de Bond 4 (Bond *et al.*, 1997) i, per tant, alguns d'aquests episodis poden tenir un component natural, amb un règim climàtic més fred i sec. Es sap que coincidint amb l'arribada del Neolític mitjà, fa uns 6,2 ka cal BP, es va iniciar una tendència global cap a unes condicions més fredes i seques a la Mediterrània occidental (Jalut *et al.*, 2009). Moltes seqüències paleoclimàtiques mostren canvis en l'estacionalitat de les precipitacions, amb una sequera estival més intensa a la Mediterrània (Morellón *et al.*, 2009; Pérez-Obiol *et al.*, 2011; Magny *et al.*, 2012). Solapat amb l'efecte natural, s'assisteix a un increment clar de la pressió antròpica amb l'arribada de les poblacions neolítiques. La primera ocupació neolítica de l'abric de les Obagues de Ratera va tenir lloc entre c. 6,07 i 5,99 ka cal BP, i es tracta de la fase més antiga d'aquest període al PNAESM per sobre dels 2000 m d'altitud. A sobre d'una llosa s'hi va establir un foc a terra, i al seu voltant s'hi van trobar nombroses restes d'eines de pedra tallada. Per primera vegada apareix també un nou tipus de material inèdit fins aleshores al jaciment: la ceràmica (Gassiot *et al.*, 2019). En diversos indrets dels Pirineus es constata un increment dels indicis arqueològics a l'alta muntanya, especialment a finals del neolític (Rendu, 2003; Gassiot *et al.*, 2017). A partir del 5,3 ka cal BP hi ha un clar increment de les evidències arqueològiques a tot el PNAESM, amb deu jaciments coneguts amb datacions que representen un mínim d'onze ocupacions en total, a banda dels que encara no estan datats però presenten materials possiblement neolítics (Gassiot *et al.*, 2021). Aquest fenomen coincideix en el temps amb els primers indicis fermes de desforestació i expansió de les pastures en altitud que no es podrien explicar únicament per causes climàtiques (Galop *et al.*, 2013; Gassiot *et al.*, 2014). A

les seqüències de la Bassa Nera i de Burg, el registre d'incendis també augmenta sincrònicament al voltant del 6,2 ka cal BP. En canvi, a la seqüència d'Estanilles, a 2200 m d'altitud, el senyal d'incendis és molt més discret. Cal destacar que el senyal pol·línic de les poàcies a l'Estany de la Bassa experimenta un sensible augment a partir del c. 5,5 ka cal BP, tot i que no amb la intensitat que es registra al període Medieval. L'impacte antròpic a partir d'aquest moment no farà més que incrementar-se fins a temps molt recents, solapant-se i emmascarant-se amb la variabilitat climàtica natural.

Entre c. 5,5 i 3 ka cal BP arribem al moment de màxima concentració de macrocarbons sedimentaris de tota la seqüència, per sobre fins i tot del senyal de l'època medieval. Es registren 6 pics marcats en c. 5,4, 4,8, 4,6, 4,2, 3,9 i 3 ka cal BP. Cal destacar el lapse que va entre c. 5,2 i 4,6 ka cal BP com el de major activitat incendiària, i que ja no es tornarà a registrar amb aquesta intensitat. Climàticament, la disminució de precipitacions ja registrada a inicis del Neolític mitjà i l'establiment d'una estacionalitat pluviomètrica amb uns estius cada cop més secs, es van incrementar al voltant de l'esdeveniment de Bond 3, de refredament i reducció de les precipitacions, fa c. 4,2 ka cal BP i també a l'esdeveniment 2, fa c. 2,8 ka cal BP (Bond *et al.*, 2001; Roberts *et al.*, 2011; Bini *et al.*, 2019; Di Rita *et al.*, 2019). L'evidència arqueològica a l'Abric de les Obagues de Ratera indica que va ser freqüentat reiteradament entre fa 5100 i 4650 anys cal BP. Al llarg d'aquesta fase, la intensitat de l'ocupació probablement va augmentar, ja que creix l'acumulació de residus dels fogars a l'interior. A l'Edat del Bronze s'han identificat tres fases diferents: entre c. 3,75 i 3,58 ka cal BP, entre c. 3,4 i 3,17 ka cal BP i, finalment entre c. 3,15 i 3,02 ka cal BP (Gassiot *et al.*, 2018). A la Cova del Sardo una resta del conjunt 5 (entre c. 4,2 i 4,09 ka BP) ha pogut ser identificada amb seguretat com un molar M1 corresponent a una cabra domèstica (*Capra hircus*). Aquest patró d'augment en la concentració d'incendis també es registra a d'altres testimonis que recullen aquesta cronologia com Llebrete, Burg i Clots de Rialba, allargant-se fins a c. 2,8 ka cal BP. Aquestes dades suggereixen una activitat general de crema i manteniment de pastures a tot el Pirineu, sent més intensa a la mitja muntanya i afeblint-se a l'alta muntanya. En canvi, a Estanilles el senyal continua sent gairebé inexistent amb un únic pic en c. 4,2 ka cal BP, coincidint amb l'esdeveniment de Bond 3 mentre que a la Bassa Nera el pic incendiari s'inicia justament fa 2,8 ka cal BP.

Entre c. 3 ka i 0,8 ka cal BP el senyal d'incendis es manté continuat, tot i que la intensitat decreix respecte l'episodi anterior. Durant el període que s'estén del c. 2,9 al 2,3 ka cal BP, es registra un episodi inusualment fred a l'Atlàntic Nord, que afectà a la Península Ibèrica amb un important refredament, conegut com el Període Fred de l'Edat del Ferro (Swindles *et al.*, 2007; Plunkett, 2008), a on també hi ha indicis de l'augment

de precipitacions estivals des del c. 2,8 al 1,8 ka cal BP (Baldini *et al.*, 2019). Aquest augment de la precipitació als estius hauria pogut desafavorir el desencadenament i propagació de focs de grans dimensions. D'altra banda, després de la intensa activitat desforestadora del Bronze antic, ara probablement s'establirien focs estacionals de manteniment de pastures i de zones agrícoles que ja s'haurien obert en el passat, i en el que el combustible disponible per cremar, la biomassa forestal, ja hauria davallat prou. Aquest mateix patró s'observa al segon testimoni dels Clots de Rialba, tot i que aquí la intensitat és lleugerament major, i a Llebrete, a on s'observa un important pic aïllat de macrocarbons en època tardoromana. En canvi, a la Bassa Nera els registres indiquen una intensificació del senyal d'incendis mentre que a Burg s'observa un important pic aïllat de macrocarbons en època romana. L'evidència arqueològica a l'abric de les Obagues de Ratera ha identificat un nou moment d'ocupació de l'abric entre c. 2,81 i 2,66 ka BP, a finals de l'Edat del Bronze i principis de l'Edat del Ferro (Gassiot *et al.*, 2014). Durant l'inici de la romanització, a partir del segle II BCE, i més encara en època visigòtica, a partir del segle V CE, es documenten diversos pics de pressió antròpica a la zona d'estudi (Pèlach *et al.*, 2007). A partir del segle III CE l'explotació del medi d'alta muntanya experimenta un augment i trobem uns 10 jaciments arqueològics que cronològicament es situen entre el Baix Imperi i la tardoantiguitat. Alhora apareix un nou tipus d'assentament d'alta muntanya en forma de conjunts de cabanes i tancats a l'aire lliure que arriben a comptabilitzar fins a 15 estructures, constituint uns autèntics llogarrets semipermanents o poblats agrupats, a on els ramats serien pasturats per moltes persones més que en èpoques anteriors (Garcia-Casas *et al.*, 2019). També s'han localitzat hàbitats en cova així com assentaments més modestos formats per una o dues cabanes i diversos corrals. Aquesta nova distribució de les explotacions agropecuàries estaria relacionat amb la romanització. A la comarca veïna de la Vall d'Aran, en aquesta època s'han documentat cementiris, esteles funeràries i una possible vila romana en pobles situats en els fons de les valls (García-Casas *et al.*, 2019).

Des de c. 0,8 ka cal BP fins al present, el règim d'incendis a l'Estany de la Bassa mostra una clara disminució tant de la freqüència com de la intensitat. La geomorfologia de la seva vall, estreta i inclinada, podria haver impedit l'establiment de pastures o conreus gaire extensos. En canvi, als Clots de Rialba la freqüència es manté baixa però és més continuada, potser afavorida per la forma de la vall on s'ubica, més àmplia i plana, on es podrien establir amb més facilitat camps de pastures i conreus de cereal de major extensió. Durant el període alt medieval, a partir del segle IX CE, es segueixen documentant pics de ocupació al PNAESM, que arriben al seu màxim al voltant del segle XIII CE quan la densitat d'ocupació a la Vall de Boí és la màxima històrica, coincidint

amb l'auge del feudalisme a la regió (Pèlachs *et al.*, 2007). És en aquest moment quan s'estableixen veritables poblats (possiblement estacionals) a zones d'altura, per sobre dels 2000 m d'altitud (García-Casas *et al.*, 2013; Gassiot *et al.* 2013; Rodríguez-Anton *et al.*, 2016).

Finalment, des d'Època Moderna s'observa una clara davallada tant de la intensitat com de la freqüència del senyal de macrocarbons als registres de BAS1 i CDR1, i en general, als registres pirinencs veïns i estarien probablement associats al manteniment de pastures. Alguns grups d'incendis menors es detecten a BAS1 entre c. 0'6 i 0'5 ka cal BP i entre 0,4 i 0,35 ka cal BP. El grup de senyals més recent es detecta al voltant de c. 0,15 ka cal BP (Figura 133). A CDR1, la dinàmica incendiària mostra acumulacions de baixa intensitat i una certa recurrència i destaca l'acumulació de macrocarbons registrada al c. 0,4 ka cal BP. Més recentment, el registre incendiari pràcticament desapareix amb una mínima acumulació de macrocarbons al c. 0'33 ka cal BP. En època contemporània ja no es registren macrocarbons sedimentaris (Figura 129) (Rodríguez-González *et al.*, 2023).

6. CONCLUSIONS.

El principal objectiu d'aquesta tesi ha estat la caracterització de la dinàmica del paisatge a l'Holocè als Pirineus a partir dels dos testimonis sedimentaris (CDR1 i BAS1) i la seva relació amb l'activitat antròpica i/o la variabilitat climàtica. També s'ha reconstruït el règim d'incendis locals i s'ha determinat l'inici de les activitats agrícoles i ramaderes a partir de diversos indicadors.

Els resultats obtinguts a l'Estany de la Bassa en els darrers c. 10,3 ka i dels Clots de Rialba en els darrers c. 3,5 ka han permès establir la successió de diferents paisatges al llarg de l'Holocè, amb un inici caracteritzat per la presència predominant de les pinedes i de l'expansió de taxons colonitzadors com el bedoll i l'avellaner, en un procés comparable al registrat a molts testimonis sedimentaris d'arreu del centre i sud d'Europa. Al llarg de tota la seqüència les poàcies mostren una continuïtat en el paisatge i s'incrementen amb l'aparició dels majors incendis cap a 5,9 ka cal BP. En aquest context en que es produeix un augment de la biomassa forestal disponible, es registren incendis naturals amb un origen climàtic (amb valors màxims d'insolació estival a l'hemisferi nord per a l'Holocè), destacant els senyals situats entre c. 9,5 i 8,5 ka cal BP. No s'han pogut relacionar amb l'activitat humana, encara que hi hagi indicis d'activitat molt primerenca molt a prop, a l'Abric de les Obagues de Ratera. En canvi, sí que coincideixen amb dos esdeveniments climàtics de Bond reconeguts a l'hemisferi Nord, en c. 9,3 i 8,2 ka cal BP respectivament i descrits com a freds i secs. Entre c. 8 i 6,5 ka cal BP, la menor presència de macrocarbons coincideix amb un increment generalitzat de les condicions humides a l'hemisferi Nord durant la transició de l'Holocè inicial al mitjà.

Encara que tradicionalment l'ocupació humana a les zones d'alta muntanya pirinenques ha estat desestimada per unes condicions climàtiques molt desfavorables, els jaciments arqueològics de la zona mostren assentaments antics i continus, amb l'excepció de l'hiatus arqueològic descrit entre c. 4,4 i 2,4 ka cal BP. A més, aquestes evidències arqueològiques mostren que les ocupacions humanes caçadores-recol·lectores itinerants, van començar a aparèixer a l'alta muntanya pirinenca després del Dryas recent (c. 11,7 ka cal BP), però les dades d'aquesta tesi indiquen que el seu impacte ecològic encara era molt baix o inexistent. Malgrat aquesta ocupació humana relativament primerenca, la transformació a gran escala dels paisatges originals, es va produir posteriorment. Algunes revisions paleoecològiques recents suggereixen un esdeveniment general d'antropització dels paisatges pirinencs durant l'Edat Mitjana (González-Sampériz *et al.*, 2017, 2019). Altres estudis proposen una tendència

d'antropització progressiva que comença a l'Edat del Bronze (especialment a l'estatge muntà) i que culmina a l'Edat Mitjana (a l'estatge alpí) (Rull i Vegas-Vilarrúbia, 2021; Rull *et al.*, 2023). En el cas de l'Estany de la Bassa, els indicadors d'impacte humà al Neolític són febles, comencen a incrementar-se a l'Edat del Bronze i és a l'Edat Medieval, quan molts d'aquests indicadors mostren els valors màxims de tota la seqüència. Als Clots de Rialba el patró antròpic és similar al de BAS1 a partir de l'Edat del Bronze i en l'Edat Medieval. Per tant, es pot afirmar que la dinàmica dels impactes humans mostra que tots dos registres s'ajusten millor al segon grup d'estudis.

En el registre pol·línic de BAS1 cal destacar les aparicions primerenques de dos tàxons: la del primer pol·len d'avet, al c. 8579 anys cal BP (tot i que el senyal pol·línic només esdevindrà continu a partir de c. 8 ka cal BP), mostrant un retard progressiu en línia amb el patró d'expansió que es desplaça d'est a oest de la serralada, fet que confirmaria com a mínim l'existència de poblacions antigues situades al Mediterrani, i la del primer pol·len de tipus cereal, aparegut per primer cop al c. 7,7 ka cal BP, i mantenint-se permanentment a partir de c. 6,9 ka cal BP. Aquesta cronologia estaria en sintonia amb les evidències carpològiques trobades a la cova del Sardo, situada al mateix PNAESM, amb l'aparició d'una llavor d'ordi nu datada entre c. 7 i 6,5 ka cal BP i en d'altres jaciments pirinencs com la Balma Margineda (Andorra) i la Cueva dels Trocs (Bisaurri, Osca) ambdues amb llavors de cereals en la transició entre el VIII i el VII mil·lenni cal BP o a la Cueva de Coro Trasito (Tella, Osca), amb llavors de *Triticum* sp., datades entre c. 7,32 i 7,21 ka cal BP. Aquestes llavors podrien haver estat transportades des de zones de cultiu de les terres baixes, sense descartar totalment que algunes podrien tenir un origen local.

Durant tot el Neolític inicial i mitjà, l'Estany de la Bassa continua sent un llac amb columna d'aigua, i el registre es caracteritza per una consolidació en altitud de la coberta forestal dominada per les pinedes que, conjuntament amb les avetoses, augmenten sensiblement. D'altra banda, tots els indicadors relacionats amb activitat antròpica fan pensar que l'impacte humà encara seria molt feble o pràcticament inexistent. El final del Neolític suposarà un canvi en la dinàmica lacustre de l'Estany de la Bassa. La deposició sedimentària ocorreguda al llarg de mil·lennis, ha reblert ja algunes zones més superficials i això ha afavorit que hidro-higròfits com les ciperàcies es comencin a instal·lar a la perifèria de l'estany, iniciant la seva transformació parcial i progressiva en una torbera. A partir de c. 5.5 ka cal BP s'inicia una fase de lent declivi del pol·len arbori acompanyat d'una expansió de les poàcies, de tàxons ruderals i dels cereals i culminarà amb la primera gran davallada sobtada de *Pinus* (tot i que no tan intensa com la medieval) fa c. 4,8 ka cal BP. A partir d'aquest moment, les avetoses declinaran

progressivament fins a pràcticament desaparèixer del diagrama tot i que mostraran una recuperació molt recent. Els copròfils indiquen una baixa pressió ramadera local.

Després d'un episodi d'elevada ocupació del Neolític final en zones d'alta muntanya, a on a l'entorn del PNAESM es coneixen fins a 9 jaciments amb cronologies que s'inicien en c. 5,4 ka cal BP, es detecta un hiatus d'uns 2 ka (entre c. 4,3 a 2,3 ka cal BP) a on les ocupacions pràcticament desapareixen a l'entorn del parc. Tot i l'augment dels indicadors antròpics (incendis, regressió forestal, copròfils i augment dels cereals) registrats en aquesta fase, l'evidència arqueològica desapareix del tot, sense que hi hagi una raó clara. Aquesta aparent paradoxa es podria explicar perquè la recerca encara és limitada i reduïda, per possibles canvis en els sistemes constructius amb l'ús de materials més làbils o al fet que els assentaments haurien sigut reocupats posteriorment, destruint les evidències arqueològiques anteriors.

A l'Edat del Bronze final, al testimoni de BAS1 es registra un augment de les poàcies i dels fongs copròfils del gènere *Podospora* i en molta menor mesura, de *Sporormiella*, indicant una certa activitat ramadera local, tot i que el senyal cerealístic davalla clarament i arriba a desaparèixer entre c. 3,1 i 2,8 ka cal BP, potser provocat pel refredament climàtic a l'alta muntanya. El cultiu de cereal no es recuperarà clarament fins a l'Edat Medieval. Tanmateix, el registre de macrocarbons indica l'existència d'incendis de poca intensitat, que suggereixen focs de manteniment d'espais oberts amb finalitat agroramadera.

Durant el període romà es registra una sensible expansió dels tàxons arboris a totes dues localitats, en un context a on les activitats humanes mostren una certa diversificació. A BAS1 es produeix una certa recuperació forestal que durarà un període prolongat, mostrant un màxim relatiu entre c. 2 i 1,8 ka cal BP. *Abies* i *Fagus* es mantenen percentualment estables, en xifres similars a l'Edat del Bronze i la presència d'algues indica unes aigües més eutròfiques. És a partir de c. 1,7 ka cal BP quan a BAS1 es detecta una primera caiguda del pol·len de tàxons arboris, que culminarà amb els mínims dels darrers c. 10,3 ka, a l'Època baix-medieval i inicis de l'Època Moderna. A BAS1 també s'observa un patró d'incendis continuats de baixa intensitat amb un pic relatiu menor en c. 1,8 ka cal BP. Els posteriors registres encara de menor intensitat, probablement indicarien que el foc s'hauria seguit utilitzant per tal de mantenir oberts els espais ja esclarissats prèviament per pastures o cultius. A BAS1, el feble senyal d'*Olea* s'intensifica sobtadament a partir de c. 1,75 ka cal BP, ben bé 7 segles abans que als Clots de Rialba. Els cereals es mantenen en nivells febles i presenten una major importància a partir de c. 1,7 ka cal BP. És just en aquest moment que les poàcies

iniciaran una forta expansió, que es farà màxima a l'època baixmedieval. D'altra banda es manté un feble senyal continuat de fons dels copròfils com *Podospora*, indicant el manteniment d'una activitat ramadera local de baixa intensitat, associat a recintes amb espais d'estabulació petits, tal i com recull l'evidència arqueològica (Gassiot *et al.*, 2017).

Durant l'Edat Medieval a l'Estany de la Bassa, les ciperàcies acceleren l'expansió iniciada al Neolític i la torbera ja mostra l'aspecte actual. Una forta regressió forestal culmina a la transició cap a l'Edat Moderna, entre els segles XIV i XV CE, amb els valors percentuals més baixos de pol·len arbori de tota la seqüència, permetent una forta expansió dels tàxons herbacis. *Abies* i *Fagus* també pateixen en aquesta regressió forestal però es tornaran a recuperar sensiblement a partir del segle XVI CE. Tot i aquesta pèrdua de biomassa forestal, el pol·len de cereals es manté amb valors moderats i força més modestos que els registrats a l'alta Edat Mitjana, a on s'aconsegueixen els màxims absoluts del testimoni. De fet, el senyal cerealístic arriba a desaparèixer als inicis del segle XVII CE, potser per les dificultats associades al refredament que suposa la LIA, per després recuperar-se a partir del segle XVIII CE. Durant el segle XIX CE, coincidint amb el període de major desenvolupament demogràfic de les valls que envolten el PNAESM, la pressió humana torna a ser màxima, amb una intensa explotació forestal, ramadera i agrícola. Només en les darreres dècades del segle XX es registra una incipient recuperació forestal i un declivi dels indicadors antròpics.

Als Clots de Rialba les dades ens mostren ja una torbera consolidada a la base del testimoni, tot i que a partir de c. 3 ka cal BP, s'assoleixen els valors màxims de matèria orgànica amb una pineda dominant. La presència d'*Abies alba* és màxima just a l'inici de la seqüència, en c. 3,5 ka cal BP, i disminueix significativament durant el següent mil·lenni. Només en època romana, entre c. 2,1 i 1,8 ka cal BP, i més tard entre c. 1,5 i 1,2 ka cal BP, es recupera relativament. Després d'aquest punt, l'avet torna a caure als seus valors mínims de tota la seqüència, fa només 200 anys. La presència de *Fagus sylvatica* assoleix el màxim entre c. 3,4 i 3,3 ka cal BP i es registra una recuperació menor entre c. 2,9 i 2,8 ka cal BP. A partir d'aquest moment, les evidències del faig en el registre són més aviat minses.

Des de la base de la seqüència CDR1, l'evidència antròpica és clara, sobretot a través de l'ús del foc per obrir i mantenir espais cerealístics i de pastures. Les anàlisis de pol·len i incendis han revelat importants pertorbacions des de l'Edat del Bronze que van afectar la coberta forestal, amb una disminució del pol·len arbori. Només durant la romanització, algunes espècies arbòries van recuperar una part de la seva antiga

extensió. Particularment significatiu és l'impacte antròpic que va començar a l'alta Edat Mitjana (c. 1 ka cal BP). Aquesta petjada antròpica ha continuat al llarg de la baixa Edat Mitjana, l'Edat Moderna i fins l'inici del segle XX CE, amb algunes febles recuperacions forestals lligades a les fluctuacions climàtiques com la LIA i a una menor pressió de les activitats humanes. Els episodis d'incendis han sigut nombrosos entre c. 3,5 i 2,85 ka cal BP, quan es registra el major nombre de senyals d'alta intensitat de tota la seqüència CDR1. La desforestació i l'augment de les superfícies de pastura estan lligades a aquesta època. Els patrons d'incendi són compatibles amb l'obertura forestal i la neteja de manteniment amb crema de pastures, per preservar els espais dedicats a les activitats agroramaderes.

El patró de focs es fa menys intens amb el pas del temps. Després d'una disminució important del senyal d'incendis durant l'ocupació romana, els macrocarbons gairebé desapareixen en el registre sedimentari en els darrers tres segles. Els incendis forestals probablement es van convertir en incendis de manteniment en un paisatge ja obert i, per tant, van deixar un senyal més feble.

Els cultius de cereals no semblen estar especialment desenvolupats, probablement per les condicions climàtiques desfavorables tot i la detecció de senyals febles a l'època medieval. Tanmateix, la presència continuada de fongs copròfils podria reflectir activitats de pasturatge ja des de l'Edat del Bronze mitjà i, probablement, abans. Ha estat difícil aïllar els senyals climàtics (com ara l'Òptim Climàtic Medieval, la Petita Edat del Gel o els esdeveniments de Bond) a causa de la forta i continuada interferència humana que sembla prevaldre en la configuració del paisatge. No obstant això, l'esdeveniment Bond 2 podria ajudar a explicar alguns pics de *Fagus* i *Abies*. A més, unes condicions locals més seques en els segles més recents podrien explicar l'expansió de *Calluna*. Tots els indicadors mostren que durant l'Edat Mitjana la pressió sobre els ecosistemes de muntanya va ser més intensa que en cap altre moment històric, incloent l'actualitat. És evident que el que va passar llavors encara té un impacte en la distribució d'espècies i la dinàmica dels ecosistemes actuals.

Finalment, cal destacar la incipient recuperació forestal protagonitzada per tàxons com *Pinus* o *Abies* iniciada en les darreres dècades, amb molts dels indicadors antròpics més usuals en decaïment. A més del progressiu abandonament rural registrat a finals del segle XX, cal posar en valor les figures de protecció ambiental instaurades a les zones d'estudi, com són la creació del PNAESM a l'octubre de 1955 i del PNAP a l'agost del 2003, que han propiciat, en major o menor mesura, la recuperació d'un entorn tan sensible com són els ecosistemes de mitja i alta muntanya dels Pirineus catalans.

A mode d'epíleg:

- La primera part de l'Holocè es caracteritza per l'expansió dels caducifolis i un intens registre d'incendis d'origen climàtic i sense l'aparició d'indicadors d'activitat humana. Primeres evidències de l'arribada esporàdica de l'abet, del faig i dels cereals, a finals del Mesolític.
- El Neolític mostra un registre molt feble d'indicadors antròpics, tot i que amb múltiples evidències d'ocupacions arqueològiques a l'entorn de les localitats estudiades. Consolidació de l'abet i en menor mesura del faig. Un feble senyal de cereals es fa continu.
- L'Edat del Bronze i posteriorment la del Ferro es caracteritzen per la primera intensificació important dels indicadors d'activitat humana, especialment amb l'ús del foc com a eina d'obertura i manteniment dels espais dedicats a activitats agropecuàries. Paradoxalment l'evidència arqueològica desapareix del tot, amb un hiatus de gairebé 2 mil·lennis.
- Durant el període romà es registra una certa recuperació dels ambients forestals, tot i que alguns indicadors antròpics es mantenen elevats, i que fa pensar en una gestió forestal en mosaic, tot aprofitant múltiples recursos.
- L'Edat Medieval i l'inici de l'Edat Moderna suposen la segona i més important intensificació de la pressió humana a la muntanya pirinenca, amb els valors més baixos de pol·len arbori i els més alts en poàcies i indicadors antròpics de tot l'Holocè.
- Després d'una certa recuperació, probablement en sincronia amb l'arribada de la LIA, assistim a una darrera intensificació de la pressió antròpica entre els segles XIX i primera part del XX CE.
- Finalment, el progressiu abandonament del món rural acompanyat de la instauració de les figures legals de protecció ambientals, han permès assistir a una recuperació forestal en les darreres dècades.

7. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES.

- Adams, J., Maslin, M., Thomas, E., (1999). Sudden climate transitions during the Quaternary. *Progress in Physical Geography*, 23, 1-36. <https://doi.org/10.1177/030913339902300101>
- Alday-Ruiz, A. (2009). El final del Mesolític i els inicis del Neolític en la Península Ibèrica: cronologia i fases. *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 60, 157-173.
- Alley, R. B., Mayewski, P. A., Sowers, T., Stuiver, M., Taylor, K. C., & Clark, P. U. (1997). Holocene climatic instability: A prominent, widespread event 8200 years ago. *Geology*, 25(6), 483-486. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1997\)025<0483:HCIAPW>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1997)025<0483:HCIAPW>2.3.CO;2)
- Alley, R. B., & Ágústssdóttir, A. M. (2005). The 8k event: cause and consequences of a major Holocene abrupt climate change. *Quaternary Science Reviews*, 24(10-11), 1123-1149. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.12.004>
- Aguilera, M., Ferrio, J. P., Araus, J. L., Tarrús, J. & Voltas, J. (2011). Climate at the onset of western Mediterranean agriculture expansion: evidence from stable isotopes of sub-fossil oak tree rings in Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 299(3-4), 541-551. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.11.026>
- Antolín, F., Navarrete, V., Saña M., Viñerta, A., Gassiot, E. (2018). Herders in the mountains and farmers in the plains? A comparative evaluation of the archaeobiological record from Neolithic sites in the eastern Iberian Pyrenees and the southern lower lands. *Quaternary International*, 484, 75-93. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.05.056>
- Antolín, F. & Saña, M. (2022). Les activitats de subsistència en el Neolític antic del nord-est peninsular: les pràctiques agrícoles i ramaderes, la cacera, la pesca i la recol·lecció. *Cypsela: revista de prehistòria i protohistòria*, 19, 125-146.
- Arce, J. (2005). *Bárbaros y romanos en Hispania: 400-507 A.D.* Madrid: Marcial Pons, Ediciones de Historia.
- Augé, O., Gassiot, E., Pèlachs, A. (2012). La producció de ferro a la protohistòria i època romana al Pallars Sobirà. L'exemple del Bosc de Virós a la Vall Ferrera. En: *Bosc de Ferro. Actes de les Primeres Jornades de Recerca i Desenvolupament de la Vall Ferrera* (pp. 9-40). Tremp: Garsineu Edicions.
- Augé, O. (2014). La producción de hierro en el pirineo central catalán durante la antigüedad. El caso de Vall Ferrera y el Pallars Sobirà. *Kobie Serie Anejo*, nº 13: 139-160. Bizkaiko Foru Aldundia-Diputació Foral de Bizkaia, Bilbao.

- Bal, M. C., Pelachs, A., Pérez-Obiol, R., Julia, R., & Cunill, R. (2011). Fire history and human activities during the last 3300 cal yr BP in Spain's Central Pyrenees: the case of the Estany de Burg. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 300(1-4), 179-190. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.12.023>
- Baldini, L. M., Baldini, J. U., McDermott, F., Arias, P., Cueto, M., Fairchild, I. J., Hoffmann, D. L., Matthey, D. P., Müller, W., Nita, D. C., Ontañón, R., García-Moncó, C. & Richards, D. A. (2019). North Iberian temperature and rainfall seasonality over the Younger Dryas and Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 226, 105-998. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.105998>
- Baraut, C. (1986). Els documents, dels anys 1093–1100, de l'Arxiu Capitular de la Seu d'Urgell. *Urgellia* 8, 7-150.
- Barnolas, A. & Pujalte, V. (2004). La Cordillera Pirenaica. *Geología de España*, 472, 233-241.
- Becker, D., Verheul, J., Zickel, M., Willmes, C. (2015). LGM paleoenvironment of Europe – Map. CRC806- Database. <http://dx.doi.org/10.5880/SFB806.15>
- Belarte, M. C., Noguera, J., Bertral, A., Armentano, N., Tomàs-Gimeno, X., Prada, J. L., ... & López, D. (2022). El ritual funerario en las necrópolis ibéricas a partir de nuevas aproximaciones metodológicas: Les Esquarterades (Ulldecona, Tarragona). *Trabajos de Prehistoria*, 79(1), 141-158. <https://doi.org/10.3989/tp.2022.12292>
- Belenguer-Cebrià, E. (1996). Temps d'expansió i temps de crisi. *Història, política, societat i cultura dels Països Catalans*, 3, 17-73.
- Bennett, K. D., & Willis, K. J. (2001). *Pollen. Tracking environmental change using lake sediments: terrestrial, algal, and siliceous indicators*, 5-32. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Berger, A. & Loutre, M. F. (1991). Insolation values for the climate of the last 10 million years. *Quaternary Science Reviews*, 10(4), 297-317. [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(91\)90033-Q](https://doi.org/10.1016/0277-3791(91)90033-Q)
- Berger, J. F. & Guilaine, J. (2009). The 8200 cal BP abrupt environmental change and the Neolithic transition: A Mediterranean perspective. *Quaternary international*, 200(1-2), 31-49. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.05.013>
- Bernabé, A., García, E., Sánchez, B., Rebull, T., Lorenzo-Mariño, B., Pinto, E., García, J., Fresneda, R., Fullat, R. (2018). Mapas climáticos de España (1981-2010) y ET0 (1996-2016).
- Bernabéu, J., Orozco, T., Díez, A., Gómez-Puche M., Molina-Hernández, F.J. (2003). Mas d'Is (Penàguila, Alicante): aldeas y recintos monumentales del Neolítico Inicial en el valle del Serpis. *Trabajos de Prehistoria*, 60, 39-59.

- Bini, M., Zanchetta, G., Perşoiu, A., Cartier, R., Català, A., Cacho, I., ... & Brisset, E. (2019). The 4.2 ka BP Event in the Mediterranean region: an overview. *Climate of the Past*, 15(2), 555-577. <https://doi.org/10.5194/cp-15-555-2019>
- Bird, D. W.; Bliege Bird, R.; Parker, C. H. (2005). Aboriginal Burning Regimes and Hunting Strategies in Australia's Western Desert. *Human Ecology*, 33 (4), 443-464. <https://doi.org/10.1007/s10745-005-5155-0>
- Björkman, L. (1997). The role of human disturbance in the local Late Holocene establishment of *Fagus* and *Picea* forests at Flahult, western Småland, southern Sweden. *Vegetation History and Archaeobotany*, 6, 79-90. <https://doi.org/10.1007/BF01261956>
- Blaauw, M. (2010). Methods and code for 'classical' age-modelling of radiocarbon sequences. *Quat. Geochronol.*, 5, 512–518. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2010.01.002>
- Blackford, J.J., Innes, J.B. (2006). Linking current environments and processes to fungal spore assemblages: surface NPM data from woodland environments. *Review of Palaeobotany and Palynology* 141, 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.03.010>
- Bonnassie, P. (1979). *Catalunya mil anys enrere. Creixement econòmic i adveniment del feudalisme a Catalunya de mitjan segle X al finals del segle XI*. Barcelona: Edicions 62.
- Bond, G., Heinrich, H., Broecker, W., Labeyrie, L., McManus, J., Andrews, J., Huon, S., Jantschik, R., Clasen, S., Simet, C., Tedesco, K., Klas, M., Boani, G., & Ivy, S. (1992). Evidence for massive discharges of icebergs into the North Atlantic Ocean during the last glacial period. *Nature*, 360(6401), 245-249. <https://doi.org/10.1038/360245a0>
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., DeMenocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I. & Bonani, G. (1997). A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 278(5341), 1257-1266. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.278.5341.1257>
- Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M. N., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas, I. & Bonani, G. (2001). Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science*, 294(5549), 2130-2136. <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1065680>
- Bordonau, J. (2005). El relleu i el modelat glacial als Pirineus. *Horitzó*, 8: 15-22.
- Bordonau, J. (2006). El glaciariismo cuaternario en los Pirineos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 13(3), 252-229.

- Bouby, L., Marínval, P., Durand, F., Figueiral, I., Briois, F., Martzluff, M., ... & Manen, C. (2020). Early Neolithic (ca. 5850-4500 cal BC) agricultural diffusion in the Western Mediterranean: An update of archaeobotanical data in SW France. *PLoS One*, 15(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230731>
- Bringué, J. M., Portella, J. M. (1996). Comunitats i béns comunals al Pallars Sobirà, segles XV-XVIII. *Butlletí de la Societat Catalana d'Estudis Històrics*, 115-128.
- Broecker, W., Denton, G., 1989. The role of ocean-atmosphere reorganizations in glacial cycles. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53, 2465–2501. [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(90\)90026-7](https://doi.org/10.1016/0277-3791(90)90026-7)
- Büntgen, U., Frank, D., Grudd, H. and Esper, J. (2008). Long-term summer temperature variations in the Pyrenees. *Climate Dynamics* 31, 615–31. <https://doi.org/10.1007/s00382-008-0390-x>
- Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., McCormick, M., Frank, D., Trouet, V., Kaplan, J.O., Herzig, F., Heussner, K. U., Wanner, H. et al. (2011). 2500 years of European climate variability and human susceptibility. *Science*, 331, 578–582. <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1197175>
- Büntgen, U., Myglan, V., Ljungqvist, F. et al. (2016). Cooling and societal change during the Late Antique Little Ice Age from 536 to around 660 AD. *Nature Geosci.* 9, 231–236. <https://doi.org/10.1038/ngeo2652>
- Burjachs, F. & Julià, R. (1994). Abrupt climatic changes during the last glaciation based on pollen analysis of the Abric Romani, Catalonia, Spain. *Quaternary Research*, 42(3), 308-315. <https://doi.org/10.1006/qres.1994.1081>
- Burjachs, F. (2015). Charcoal and pollen analysis: Examples of Holocene fire dynamics in Mediterranean Iberian Peninsula. *Catena*, 135, 340-349. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.006>.
- Cacho, I., Grimalt, J., Canals, M., Sbaiffi, L., Shackleton, N., Schönfeld, J., Rainer-Zahn, R. (2001). Variability of the western Mediterranean Sea surface temperature during the last 25,000 years and its connection with the Northern Hemisphere climatic changes. *Paleoceanography*, 16(1), 40-52. <https://doi.org/10.1029/2000PA000502>
- Calastrenc, C. (2014). De pedra, terra y madera: una mirada comparativa entre las cabañas pirenaicas. En: Clemente, I., Gassiot, E., Rey, J. (Eds). *Sobrarbe antes del Sobrarbe, pinceladas de historia de los Pirineos*, 177-192.
- Calvet, M. (2004). The Quaternary glaciation of the Pyrenees. En: Ehlers, J. And Gibbard, P.L. (eds.): *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology. Part I: Europe*. Elsevier B.V., 119-128. [https://doi.org/10.1016/S1571-0866\(04\)80062-9](https://doi.org/10.1016/S1571-0866(04)80062-9)

- Cañellas-Boltà, N., Rull, V., Vigo, J. & Mercadé, A. (2009). Modern pollen - vegetation relationships along an altitudinal transect in the central Pyrenees (southwestern Europe). *The Holocene*, 19(8), 1185-1200.
<https://doi.org/10.1177/0959683609345082>
- Carcaillet, C., Bouvier, M., Fréchette, B., Larouche, A. C. & Richard, P. J. H. (2001). Comparison of pollen-slide and sieving methods in lacustrine charcoal analysis for local and regional fire history. *Holocene* 11, 467-476.
<https://doi.org/10.1191/095968301678302904>
- Carcaillet, C., Bergman, I., Delorme, S., Hornberg, G., Zackrisson, O. (2007). Long-term fire frequency not linked to prehistoric occupations in northern Swedish boreal forest. *Ecology*, 88, 465–477. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2007\)88\[465:LFFNLT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2007)88[465:LFFNLT]2.0.CO;2)
- Carrasco, M. (2016). *Canvis en el poblament prehistòric als Pirineus centrals meridionals. Una aproximació a través dels dipòsits de recipients ceràmics* (Tesi doctoral, UAB). Recuperat de https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Carrasco2/publication/296695884_Canvis_en_el_poblament_prehistoric_als_Pirineus_central_meridional_Una_aproximacio_a_traves_dels_diposit_s_ceramics/links/56d8860208aee1aa5f802872/Canvis-en-el-poblament-prehistoric-als-Pirineus-centrals-meridionals-Una-aproximacio-a-traves-dels-diposits-de-recipients-ceramics.pdf
- Carrión, J.S. & Navarro, C. (2002). Cryptogram spores and other non-pollen microfossils as sources of palaeoecological information: case-studies from Spain. *Annales Botanici Fennici* 39, 1–14. <https://www.jstor.org/stable/23726867>
- Castellarnau, A. & Mata, J. (2002). *Estudi sobre les mineralitzacions de ferro de la Vallferrera (Pallars Sobirà)*. (Treball de recerca inèdit). Manresa: EUPM
- Catalan, J., Pla, S., García, J., Camarero, L. (2009). Climate and CO₂ saturation in an alpine lake throughout the Holocene. *Limnol. Oceanogr.*, 54, 2542–2552.
https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2542
- Catalan, J., Pèlach, A., Gassiot, E. (2013). Interacción entre clima y ocupación humana en la configuración del paisaje vegetal del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici a lo largo de los últimos 15.000 años. En: *Proyectos de Investigación en Parques Nacionales* (pp. 71–92). Madrid: OAPN.

- Catalan, J., Batalla, M., Bonet, M.T., Brotons, L., Buchaca, T., Camarero, L., Clemente, I., Contreras, F., Rafael Domingo, R., Felip, M., Gassiot, E., García-Casas, D., Giralt, S., González-Sampériz, P., Jiménez-Moreno, G., Laborda, R., Lorite, J., Martín-Civantos, J.M., Mazzuco, N., Montes, L., Moreno, A., Ninyerola, M., Pèlach, A., Pérez-Obiol, R., Piqué, R., Pla-Rabés, S., Saña, M., Sáez, A., Sebastián, M., Soriano, J.M., Terradas, X., Valero-Garcés, B., Villero, D. (2019). Análisis ecológico de la culturización del paisaje de alta montaña desde el neolítico. Los parques nacionales de montaña como modelo. *Proyectos de investigación en parques nacionales: 2013-2017* / coord. por José Francisco Amengual Ramis, 281-298.
- Chmura, G.L., Stone, P.A., Ross, M.S. (2006). Non-pollen microfossils in Everglades sediments. *Review of Palaeobotany and Palynology* 141, 103–19. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.03.019>
- Chuine, I., Yiou, P., Viovy, N., Seguin, B., Daux, V. & Ladurie, E. L. R. (2004). Grape ripening as a past climate indicator. *Nature*, 432(7015), 289-290. <https://www.nature.com/articles/432289a>
- Clark, J. S. (1988). Particle motion and the theory of charcoal analysis: Source area, transport, deposition and sampling. *Quaternary Research*, 30, 67-80. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(88\)90088-9](https://doi.org/10.1016/0033-5894(88)90088-9)
- Codina, O. (2005). *De Fer et de Laine. Les Vallées Andorranes du XVIe au XIXe Siècle*. (Thèse de doctorat, Université de Perpignan Via Domitia). Recuperat de <https://theses.fr/2003PERP0489>
- Cohen, K. M., Finney, S. C., Gibbard, P.L. & Fan, J. X. (2013). The ICS international chronostratigraphic chart. *Episodes*, 36(3), 199-204. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2013/v36i3/002>
- Colledge, S. & Conolly, J. (eds.) (2007). *The Origins and Spread of Domestic Plants in Southwest Asia and Europe*. Walnut Creek, California: Left Coast Press.
- Corella, J.P., Valero-Garcés, B., Moreno, A., Morellón, M., Rull, V., Giralt, S., Rico, M.T., Pérez-Sanz, A. (2011) Climate and human impact on a meromictic lake during the last 6000 years (Montcortès Lake, Central Pyrenees, Spain). *J. Paleolimnol.*, 46, 351-367. <https://doi.org/10.1007/s10933-010-9443-3>
- Corella, J.P., Brauer, A., Mangili, C., Rull, V., Vegas-Vilarrúbia, T., Morellón, M., Valero-Garcés, B. (2012). The 1.5-ka varved record of Lake Montcortès (southern Pyrenees, NE Spain). *Quaternary Research*; 78(2), 323-332. <https://doi.org/10.1016/j.ygres.2012.06.002>

- Court-Picon M. (2007). *Mise en Place du Paysage dans un Milieu de Moyenne et Haute Montagne du Tardiglaciaire à l'Époque Actuelle: Analyse du Signal Palynologique en Champsaur (Hautes-Alpes, France) à l'Interface des Dynamiques Naturelles et des Dynamiques Sociales* (Unpublished PhD thesis, Université de Franche-Comté).
- Crespo, C., Gassiot, E., Jiménez, J., Morell, N. (2008). L'explotació del ferro a finals de la protohistòria: l'exemple de la vall de Baisca (Pallars Sobirà). *Arqueomediterrània* 10, 191-196.
- Creus, J., Saz, M.A. (1999). Estudio de la variabilidad climática del último milenio a partir de series de temperatura y precipitaciones reconstruidas en el noreste español. *La climatología española en los albores del s. XXI*. (p. 155–64). Barcelona: I Congreso de la Asociación Española de Climatología. <https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/9358>
- Cunill, R. (2011). *Estudi interdisciplinari de l'evolució del límit superior del bosc durant el període holocènic a la zona de Plaús de Boldís-Montarenys, Pirineu central català* (Tesi doctoral inèdita, UAB). Recuperat de <https://ddd.uab.cat/record/98709>
- Cunill, R., Soriano, J. M., Bal, M. C., Pèlachs, A., & Pérez-Obiol, R. (2012). Holocene treeline changes on the south slope of the Pyrenees: a pedoanthracological analysis. *Vegetation history and archaeobotany*, 21(4), 373-384. <https://doi.org/10.1007/s00334-011-0342-y>
- Cunill, R., Soriano, J. M., Bal, M. C., Pèlachs, A., Rodríguez, J. M., & Pérez-Obiol, R. (2013). Holocene high-altitude vegetation dynamics in the Pyrenees: a pedoanthracology contribution to an interdisciplinary approach. *Quaternary International*, 289, 60-70. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.04.041>
- Cunill, R., Métailié, J. P., Galop, D., Poublanc, S., & De Munnik, N. (2015). Palaeoecological study of Pyrenean lowland fir forests: Exploring mid-late Holocene history of *Abies alba* in Montbrun (Ariège, France). *Quaternary International*, 366, 37-50. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.12.050>
- Dahl, S. O. et al. (2002). Timing, equilibrium-line altitudes and climatic implications of two early-Holocene glacier readvances during the Erdalen Event at Jostedalsgreen, western Norway. *The Holocene* 12(1), 17-25. <https://doi.org/10.1191/0959683602hl516rp>
- Daley, T., Thomas, E.R., Holmes, J.A., Street-Perrott, F.A., Chapman, M.R., Tindall, J.C., Valdes, P.J. (2011). The 8.200 yr BP cold event in stable isotope records from the North Atlantic region. *Global and Planetary Change*, 79(3-4), 288-302. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.03.006>

- Dansgaard, W., Clausen, H., Gundestrup, N., Hammer, C., Johnsen, S. F., Kristinsdottir, P. M., Reeh, N. (1982). A new Greenland deep ice core. *Science*, 218 (4579), 1273-1277. <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.218.4579.1273>
- Dansgaard, W., Johnsen, S., Clausen, H. et al. (1993). Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature* 364, 218–220. <https://doi.org/10.1038/364218a0>.
- Davasse, B. (2000). *Forêts charbonnières et paysans dans les Pyrénées de l'est (du moyen âge à nos jours). Une approche géographique de l'histoire de l'environnement* (p. 287). Toulouse: GEODE.
- Davis, O.K., Shafer, D. (2006). Sporormiella fungal spores, a palynological mean of detecting herbivore density. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 237, 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.11.028>
- Dean, W. E. (1974). Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Research*, 44(1), 242-248. <https://doi.org/10.1306/74D729D2-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Di Rita, F., Magri, D. (2019). The 4.2 ka event in the vegetation record of the central Mediterranean, *Clim. Past*, 15, 237–251, <https://doi.org/10.5194/cp-15-237-2019>.
- Díaz-Bonilla, S., Obea, L., Gassiot, E., Clemente-Conte, I., Rey, J., Quesada, M., García-Casas, D., Rodríguez Antón, D., Mazzucco, N., Antolín, F., Viñerta, Á., Saña, M. (2016). Coro Trasito (Tella-Sin, Huesca): una cueva redil del Neolítico Antiguo en la alta montaña. *VI Congreso del Neolítico en la Península Ibérica: “Los cambios económicos y sus implicaciones sociales durante el Neolítico de la Península Ibérica”*. Granada: Editorial de la Universidad de Granada. <http://hdl.handle.net/10261/146827>
- Ejarque, A., Julià, R., Riera, S., Palet, J.M., Orengo, H.A., Miras, Y., Cascón, C. (2009). Tracing the history of highland human management in the Eastern Pre-Pyrenees: an interdisciplinary palaeoenvironmental study at the Pradell fen. Spain. *The Holocene* 19 (8), 1241–1255. <https://doi.org/10.1177/0959683609345084>
- Ejarque, A., Miras, Y., & Riera, S. (2011). Pollen and non-pollen palynomorph indicators of vegetation and highland grazing activities obtained from modern surface and dung datasets in the eastern Pyrenees. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 167(1-2), 123-139. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2011.08.001>
- Esper, J., Torbenson, M. & Büntgen, U. (2024). 2023 summer warmth unparalleled over the past 2,000 years. *Nature*, 1-2. <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07512-y>

- Esteban, A. (coord.) Oliver, J.; Còts, P.; Pèlachs, A.; Mendizábal, E.; Soriano, J.M.; Nasarre, E.; Matamala, N. (2003). *La humanización de las altas cuencas de la Garona y las Nogueras (4500 a.C. – 1955 d.C.)*. Madrid: Servicio Nacional de Parques Nacionales.
- Euba, I. (2008). *Anàlisis antracològic de estructures altimontanes en el Valle de La Vansa-Sierra del Cadí (Alt Urgell) y en el Valle del Madriu (Andorra): explotació de recursos forestals del Neolític a l'època moderna* (Tesi doctoral, URV). Recuperat de <https://www.tdx.cat/handle/10803/8620>
- Faegri, K. & Iversen, J. (1989). *Textbook of pollen analysis*. Chichester: John Wiley.
- Fagan, B. (2007c). *El largo verano: de la era glacial a nuestros días*. Barcelona: Gedisa.
- Fagan, B. (2009b). *La pequeña edad de hielo: cómo el clima afectó a la historia de Europa (1300-1850)*. Barcelona: Gedisa.
- Fagan, B. (2009c). *El gran calentamiento: Cómo influyó el cambio climático en el apogeo y caída de las civilizaciones*. Barcelona: Gedisa.
- Ferrer, L. (2008). El segle XVIII: culminació i final d'un model de creixement econòmic agrari. In Giralt, E. and Salrach, J.M., coordinators, *Història Agrària dels Països Catalans*, v.3, *Edat Moderna* 55–90 Universitat de Barcelona,
- Finsinger, W., Tinner, W., van der Knaap, W. O., Ammann, B. (2006). The expansion of hazel (*Corylus avellana* L.) in the southern Alps: a key for understanding its early Holocene history in Europe? *Quaternary Science Reviews*, 25(5-6), 612-631. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.05.006>
- Finsinger, W., Kelly, R., Fevre, J., & Magyari, E. K. (2014). A guide to screening charcoal peaks in macrocharcoal-area records for fire-episode reconstructions. *Holocene* 24(8), 1002-1008. <https://doi.org/10.1177/0959683614534737>
- Fletcher, W.J.; Zielhofer, C. (2013). Fragility of Western Mediterranean landscapes during Holocene rapid climate changes. *Catena*, 103, 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.05.001>
- Frigola, J., Moreno, A., Cacho, I., Canals, M., Sierro, F. J., Flores, J. A., Grimalt, J. O., Hodell, D. A., Curtis, J. H. (2007). Holocene climate variability in the western Mediterranean region from a deepwater sediment record. *Paleoceanography*, 22(2). <https://doi.org/10.1029/2006PA001307>
- Galop, D. (1998). *La forêt, l'homme et le troupeau dans les Pyrénées. 6000 ans d'histoire de l'environnement entre Garonne et Méditerranée*. Toulouse: GEODE-FRAMESPA.
- Galop, D., Tual, M., Monna, F., Dominik, J., Beyrie, A., Marembert, F. (2001). Cinq millénaires de métallurgie en montagne basque. *Sud-Ouest Européen* 11, 3-15.

- Galop, D., Mazier, F., López-Saez, J.A., Vannière, B. (2003). Palynologie et histoire des activités humaines en milieu montagnard. Bilan provisoire des recherches et nouvelles orientations méthodologiques sur le versant nord des Pyrénées. *Archéologie du Midi Médiéval* 21, 159–70.
- Galop, D. (2005). Les transformations de l'environnement pyrénéen durant l'Antiquité : l'état de la question à la lumière des données polliniques. In: V.V.A.A., *L'Aquitaine et l'Hispanie Septentrionale à l'Époque Julio-Claudienne. Organisation et Exploitation des Espaces Provinciaux* (pp. 317–327). Saintes: IVE Colloque Aquitain.
- Galop, D. (2006). La conquête de la montagne Pyrénéenne au Néolithique. Chronologie, rythmes et transformations des paysages à partir des données polliniques In: Guilaine, J. (Ed.), *Populations Néolithiques et Environnement* (pp. 279–295). Paris : Editions Errance.
- Garcés-Pastor, S.; Cañellas-Boltà, N.; Clavaguera, A.; Calero, M.A.; Vegas-Vilarrubia, T. (2017a). Vegetation shifts, human impact and peat bog development in Bassa Nera pond (Central Pyrenees) during the last millennium. *Holocene*, 27, 553–565. <https://doi.org/10.1177/0959683616670221>
- Garcés-Pastor, S., Cañellas-Boltà, N., Pèlachs, A., Soriano, J. M., Pérez-Obiol, R., Pérez-Haase, A., Miguel-Angel, C., Andreu, O., Escolà, N., & Vegas-Vilarrubia, T. (2017b). Environmental history and vegetation dynamics in response to climate variations and human pressure during the Holocene in Bassa Nera, Central Pyrenees. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 479, 48-60. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.04.016>
- García-Casas, D., Gassiot, E., Mazzucco, N., Obea, L., Puig, E., Rodríguez-Anton, D. (2011). On són els vius? El poblament de l'alt Pirineu occidental durant el II i el I mil·lenni cal ANE. La transició bronze final - 1a edat del ferro en els Pirineus i territoris veïns. Dins *XV Col·loqui internacional d'arqueologia de Puigcerdà. Congrés Nacional d'Arqueologia de Catalunya*. Puigcerdà: Institut d'Estudis Ceretans.
- García-Casas, D. (2013). Aproximación al poblamiento de las zonas de alta montaña pirenaica desde la arqueología y la etnografía. *Saguntum* 45, 221-239. <https://digital.csic.es/handle/10261/195813>
- García-Casas, D.; Gassiot, E.; Mazzuco, N.; Obea, L.; Rodríguez-Antón, D. (2013). Més de 2000 anys d'arquitectura ramadera al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici: la investigació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici». Dins Generalitat de Catalunya (ed.). *IX Jornades sobre recerca al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici* (pp. 261-274). Boí: PNAESM.

- García-Casas, D., Gassiot, E., Oliva, M. (2015). Assentaments ramaders d'alta muntanya al Pallars i l'Alta Ribagorça: aparició i canvis durant l'Antiguitat Tardana i l'Edat Mitjana. Dins Ajuntament de Barcelona, ACRAM (eds.). *Actes del V Congrés d'Arqueologia Medieval i Moderna a Catalunya* (pp. 603-614). Barcelona: Ajuntament de Barcelona.
- García-Casas, D. (2019). El passat dels Pirineus: història d'una llarga relació entre ecosistema i comunitats humanes. *Ab Origine Magazine*, 45.
- García-López, J. M., Allué, C. (2005). Caracterización y potencialidades fitoclimáticas de abetales (*Abies alba* Mill.) en la Península Ibérica. *Ecología*, 19, pp. 11-28.
- Gardner, A. R., & Willis, K. J. (1999). Prehistoric farming and the postglacial expansion of beech and hombeam: a comment on Küster. *The Holocene*, 9(1), 119-121.
- Gascón, C. (2009) *Resultat de l'estudi de les fonts documentals*. In Riera, S., editor, memòria final de l'activitat de recerca realitzada. *Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca*, 11–13.
- Gassiot, E., Jiménez, J., Oltra, J., & Picón, A. (2005). Ramaderia, explotació metal·lúrgica i intercanvi a zones altes del Pallars Sobirà al final del Primer Mil·lenni ANE. *El Món Ibèric als Països Catalans. XIII Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà* (pp. 783-796). Puigcerdà: Institut d'Estudis Ceretans.
- Gassiot, E., Jiménez, J. (2006). El poblament prefeudal de l'alta muntanya dels Pirineus occidentals catalans (Pallars Sobirà i Alta Ribagorça). *Tribuna d'arqueologia*, 89-122.
- Gassiot, E., Pèlachs, A., Bal, M.C., Garcia, V., Julià, R., Rodríguez-Antón, D., Astrou, A.Ch. (2010a). Dynamiques des activités anthropiques sur un milieu montagnard dans les Pyrénées occidentales catalanes pendant la période de la préhistoire: une approche multidisciplinaire. En: (S. Tzortzis et X. Delestre, coords.) *Archéologie de la Montagne Européenne* (pp. 33-44). Paris: Editions Errance.
- Gassiot, E., Rodríguez-Antón, D., Garcia, V. (2010b). El poblament del Parc Natural de Aigüestortes i l'Estany de Sant Maurici durant el neolític. Noves dades arqueològiques i les seves implicacions per a l'estudi de les zones d'alta muntanya. En: *VIII Jornades sobre Recerca al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici* (pp. 153-164). Barcelona: Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya.
- Gassiot, E., Rodríguez-Antón, D., Pèlachs, A., Pérez Obiol, R., Julià, R., Bal, M. C., Mazzucco, N. (2014). La alta montaña durante la Prehistoria: 10 años de investigación en el Pirineo catalán occidental. *Trabajos de Prehistoria*, 71 (2), 262-282. <https://dx.doi.org/10.3989/tp.2014.12134>

- Gassiot, E., Garcia-Casas, D. (2014). Història d'ovelles i pastures. Arqueologia dels darrers segles de ramaderia a l'alta muntanya. *Afers* 18, 451-470.
- Gassiot, E.; Mazzucco, N.; Obea, L.; Tarifa Mateo, N.; Antolín i Tutusaus, F.; Clop García, X.; Navarrete, V.; Saña-Seguí, M. (2015). La Cova del Sardo de Boí i l'explotació de l'alta Muntanya als Pirineus Occidentals en Època Neolítica. *Tribuna d'Arqueologia*, 199-218. <http://hdl.handle.net/10261/134414>
- Gassiot, E. (ed.) (2016). Arqueología del pastoralismo en el Parque Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Montañas humanizadas. *Revista Atlántica-Mediterránea de Prehistoria y Arqueología Social*, 19, 211-216.
- Gassiot, E. (ed.), García-Casas, D., Nunes, J. (2016). *La eclosión medieval en montañas humanizadas. Arqueología del pastoralismo en el PNAESM*. Madrid: Organismo Autónomo de Parques Nacionales.
- Gassiot, E., Pèlachs, A. (2017). La ocupación ganadera de los Pirineos occidentales de Catalunya en época romana e inicios de la Edad Media. *Treballs d'Arqueologia*, 21. <https://doi.org/10.5565/rev/tda.71>
- Gassiot, E., Mazzucco, N., Clemente, I., Rodríguez-Antón, D., Obea, L., Quesada, M., Díaz-Bonilla, S. (2017). The Beginning of High Mountain Occupations in the Pyrenees. Human Settlements and Mobility from 18,000 cal BC to 2000 cal BC. In: Catalan, J., Ninot, J., Aniz, M. (eds). High Mountain Conservation in a Changing World. *Advances in Global Change Research*, 62. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55982-7>
- Gassiot, E., Díaz, S., Mazzucco, N., Obea, L., Clemente, I., Quesada, M., Rodríguez, D. (2019). Ocupacions humanes reiterades al llarg del temps: excavació arqueològica de l'Abric de Les Obagues de Ratera. Dins *XI Jornades de Recerca al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici* (pp. 237-248). Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat.
- Gassiot, E., Clemente, I., Díaz-Bonilla, S., Mazzucco, N., Obea, L., Rodríguez-Antón, D., Salvador, G. (2020a). Des de la prehistòria fins a l'actualitat: les ocupacions de l'Abric de Les Obagues de Ratera, al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Espot). Dins *Segones Jornades d'arqueologia i paleontologia del Pirineu i Aran* (pp 94-101). Lleida: Generalitat de Catalunya, Departament de Cultura.
- Gassiot, E.; Garcia, D.; Nunes, J., Salvador, G. (2020b). Modelización de territorios ganaderos en la alta montaña al final del Neolítico: una integración de análisis espacial e información etnográfica". *Trabajos de Prehistoria*, 77(1): 48–66, <https://doi.org/10.3989/tp.2020.12246>

- Geddès, D., 1995. La fauna mesolítica i neolítica de la Balma de la Margineda. In: Guilaine, J., Martzluff, M. (Eds.), *Les excavacions a la Balma de la Margineda (1979–1991)*, 2 (pp. 83–891). Andorra: Edicions del Govern d'Andorra.
- Gibbons, A. (2018). Why 536 was 'the worst year to be alive'. *Science*. 733-744. <https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.362.6416.733>
- Gil-Romera, G., González-Sampériz, P., Lasheras-Álvarez, L., Sevilla-Callejo, M., Moreno, A., Valero-Garcés, B., López-Merino, L., Carrión, J. S., Pérez-Sanz, A., Aranbarri, J., & Fonce, E. G. P. (2014). Biomass-modulated fire dynamics during the last glacial–interglacial transition at the Central Pyrenees (Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 402, 113-124. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.03.015>
- Gillespie, A. i Molnar, P. (1995). Asynchronous maximum advances of mountain and continental glaciers. *Reviews of Geophysics*, 33(3), 311-364. <https://doi.org/10.1029/95RG00995>
- Grimm, E. C. (1987). CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & geosciences*, 13(1), 13-35. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(87\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(87)90022-7)
- Grimm, E. C. (1991). *Tilia and Tiliagraph*. Springfield, Illinois: Illinois State Museum.
- Gual, V. (2008). El punt de partida de l'agricultura moderna. De la Sentència Arbitral de Guadalupe i les Germanies a la crisi de finals del cinc-cents. In Giralt, E. and Salrach, J.M., coordinators, *Edat Moderna: Història Agrària dels Països Catalans*, 3 (pp.13–30). Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Guilaine, J., Martzluff, M., Geddes, D., Coularou, J., Le Gall, O. (1985) Postglacial Environments, Settlement and Subsistence in the Pyrenees: the Balma Margineda, Andorra. In: Bonsal C (ed) *Mesolithic in Europe* (pp 561–571). Edinburgh.
- Guilaine, J., Martzluff, M. (1995). *Les excavacions a la Balma de la Margineda (1979–1991) I–III*. Andorra: Edicions del Govern d'Andorra. Ministeri d'Afers Socials i Cultura.
- Guilaine, J. (2007). *Les excavacions a la Balma de la Margineda I–III. (1979-1991)*. Andorra: Edicions del Govern d'Andorra. Ministeri d'Afers Socials i Cultura.
- Guilaine, J. (2008). *Les excavacions a la Balma de la Margineda I–III. (1979-1991)*. Andorra: Edicions del Govern d'Andorra. Ministeri d'Afers Socials i Cultura.
- Guilbaud, M.N., Blake, S., Thordarson, T. and Self, S. 2007: Role of syn-eruptive cooling and degassing on textures of lavas from the AD 1783–1784 Laki eruption, South Iceland. *Journal of Petrology* 48, 1265–94. <https://doi.org/10.1093/petrology/egm017>

- Guiter, F., Andrieu-Ponel, V., Digerfeldt, G., Reille, M., de Beaulieu, J.L., Ponel, P. (2005). Vegetation history and lake-level changes from the Younger Dryas to the present in the Eastern Pyrenees (France): pollen, plant macrofossils and lithostratigraphy from Lake Racou (2000 m a.s.l.). *Vegetation History and Archaeobotany* 14, 99–118. <https://doi.org/10.1007/s00334-005-0065-z>
- Haak, W., et al. (2010). Ancient DNA from European Early Neolithic Farmers Reveals Their Near Eastern Affinities. *PLoS Biology*, 8 (11), 1-16. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000536>
- Haas, J.N. (1996). *Neorhabdocoela* oocytes – palaeoecological indicators found in pollen preparations from Holocene freshwater lake sediments. *Review of Palaeobotany Palynology* 91, 371–82. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(95\)00074-7](https://doi.org/10.1016/0034-6667(95)00074-7)
- Harrison, S.P.; Digerfeldt, G. (1993). European lakes as palaeohydrological and palaeoclimatic indicators. *Quaternary Science Reviews*, 12, 233. [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(93\)90079-2](https://doi.org/10.1016/0277-3791(93)90079-2)
- Heinrich, H. (1988). Origin and consequences of cyclic ice rafting in the northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years. *Quaternary research*, 29(2), 142-152. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(88\)90057-9](https://doi.org/10.1016/0033-5894(88)90057-9)
- Heiri, O., Lotter, A. F., & Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of paleolimnology*, 25(1), 101-110. <https://doi.org/10.1023/A:1008119611481>
- Higuera, P. (2009). *CharAnalysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis. User's Guide*. Bozeman, MT: Montana State University.
- Hu, H. M., Michel, V., Valensi, P., Mii, H. S., Starnini, E., Zunino, M., & Shen, C. C. (2022). Stalagmite-inferred climate in the western Mediterranean during the Roman Warm Period. *Climate*, 10(7), 93. <https://doi.org/10.3390/cli10070093>
- Huntley, B., Birks, H.J.B. (1983). *An atlas of past and present pollen maps for Europe: 0–13,000 years ago*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jalut, G. (1974). *Évolution de la végétation et variations climatiques durant les quinze derniers millénaires dans l'extrémité orientale des Pyrénées* (Tesi doctoral, Université Paul Sabatier).
- Jalut, G., Dedoubat, J.J., Fontugne, M., Otto, T. (2009). Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: Climate forcing and human impact. *Quaternary International*, 200(1–2), 4-18. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.03.012>

- Jiménez, J. (2006). *La imagen de los espacios de alta montaña en la prehistoria: el caso de los Pirineos Catalanes Occidentales* (Treball de final de grau). Departament de Prehistòria, UAB, Bellaterra. <http://hdl.handle.net/2072/12393>
- Johnsen, S. J., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N., Steffensen, J. P., Clausen, H. B., Miller, H., Masson-Delmotte, V., Sveinbjörnsdottir, A. E., & White, J. (2001). Oxygen isotope and palaeotemperature records from six Greenland ice-core stations: Camp Century, Dye-3, GRIP, GISP2, Renland and NorthGRIP. *Journal of Quaternary Science: Published for the Quaternary Research Association*, 16(4), 299-307. <https://doi.org/10.1002/jqs.622>
- Kobashi, T., et al. (2007). Precise timing and characterization of abrupt climate change 8,200 years ago from air trapped in polar ice. *Quaternary Science Reviews*. 26(9–10), 1212–1222. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.01.009>
- Kofler, W., Krapf, V., Oberhuber, W., Bortenschlager, S. (2005). Vegetation responses to the 8200 cal. BP cold event and to long-term climatic changes in the Eastern Alps: possible influence of solar activity and North Atlantic freshwater pulses. *The Holocene* 15(6), 779–788. <https://doi.org/10.1191/0959683605hl852ft>
- Konnert, M., & Bergmann, F. (1995). The geographical distribution of genetic variation of silver fir (*Abies alba*, Pinaceae) in relation to its migration history. *Plant systematics and Evolution*, 196, 19-30. <https://doi.org/10.1007/BF00985333>
- Kruger, F. (1995). Los altos Pirineos I. Comarcas, casa y hacienda. Zaragoza. D.G.A.
- Kukla, G.J., Bender, M.D., Beaulieu, J.L., de Bond, G., Broecker, W.S., Cleveringa, P.W., Gavin, J.E., Herbert, T.D., Imbrie, J., Jouzel, J., Keigwin, L.D., Knudsen, K.L., McManus, J., Merkt, J., Muhs, D.R., Muller, H., Poore, R.Z., Porter, S.C., Seret, G., (2002). Last interglacial climates. *Quaternary Research*, 58, 2–13. <https://doi.org/10.1006/qres.2001.2316>
- Küster, H. (1997). The role of farming in the postglacial expansion of beech and hornbeam in the oak woodlands of central Europe. *The Holocene*, 7(2), 239-242. <https://doi.org/10.1177/095968369700700213>
- Lasheras-Álvarez, L., Pérez Sanz, A., Gil Romera, G., González Sampériz, P., Sevilla Callejo, M., Valero Garcés, B.L., (2013). Historia del fuego y la vegetación en una secuencia holocena del Pirineo central: la Basa de la Mora. *Cuad. Investig. Geográfica*, 39(1), 77–95. <https://doi.org/10.18172/cig.2000>
- Le Flao, A. (2005). Apports des reconstitutions cartographiques à l'histoire de l'environnement. Essai de spatialisation des données palynologiques pyrénéennes. In *Diplôme d'Etudes Approfondies. Environnement et Paysage*. Université Toulouse-Le Mirail-Institut Daniel Faucher.

- Leunda, M. (2019). *Millennial scale vegetation and fire dynamics at high altitudes in the central Pyrenees*. (Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza). Recuperat de <https://zaguan.unizar.es/record/106178>
- Liepelt, S., Cheddadi, R., de Beaulieu, J. L., Fady, B., Gömöry, D., Hussendörfer, E., ... & Ziegenhagen, B. (2009). Postglacial range expansion and its genetic imprints in *Abies alba* (Mill.) — a synthesis from palaeobotanic and genetic data. *Review of Palaeobotany and palynology*, 153(1-2), 139-149. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2008.07.007>
- MacDonald, G.M. (2001). Conifer stomata. In: Smol, J.P., Birks, H.J.B., Last, W.M. (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*, 3, (pp. 33–47). Dordrecht *Kluwer Academic Publishers*, ., https://doi.org/10.1007/0-306-47668-1_3
- Madurell, J.M. (1952). Las fargas pirenaicas. *Pirineos* 25, 545–55.
- Magri, D. (2008). Patterns of post-glacial spread and the extent of glacial refugia of European beech (*Fagus sylvatica*). *Journal of Biogeography*, 35(3), 450-463. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01803.x>
- Mangado, X., Mercadal, O., Fullola, J.M., Esteve, X., Langlais, M., Nadal, J., Estrada, A., Bergadà, M.M. (2005). Montlleó (La Cerdanya, Lleida), un yacimiento magdalenense de alta montaña al aire libre en los Pirineos catalanes. In: Bicho N, Corchón, MS (eds) *O Paleolítico: Actas do IV Congresso de Arqueologia Peninsular* (pp 471–480). Faro: Centro de Estudos de Património, Departamento de História, Arqueologia e Património, Universidade do Algarve.
- Mangado, X., Fullola, J.M., Mercadal, O., Bergadà, M.M., Langlais, M., Esteve, X., Estrada, A., Nadal, J., Tejero, J.M., Grimaó, J. (2009). Montlleó. El primer poblament del Pirineu català. Cicle de Conferències. *Patrimoni arqueològic i arquitectònic a les terres de Lleida*, 48–61. Lleida: Ajuntament de Lleida.
- Mangado, X., Rodríguez, N., (2018). Montlleó: el paleolític superior a la Cerdanya resultats de 20 anys de recerca arqueològica. Dins: *Homenatge a Oriol Mercadal Fernández* (pp 19-28). Barcelona: Societat Catalana d'Arqueologia (SCA).
- Marchal, O., Cacho, I., Stocker, T.F., Grimalt, J.O., Calvo, E., Martrat, B. (2002). Apparent long-term cooling of the sea surface in the northeast Atlantic and Mediterranean during the Holocene. *Quaternary Science Review*, 21, 455–483. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(01\)00105-6](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(01)00105-6)
- Marcott, S. A., Shakun, J. D., Clark, P. U., & Mix, A. C. (2013). A reconstruction of regional and global temperature for the past 11,300 years. *science*, 339(6124), 1198-1201. <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1228026>

- Margaritelli, G., Cacho, I., Català, A. et al. (2020). Persistent warm Mediterranean surface waters during the Roman period. *Sci Rep* 10, 10431 <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67281-2>
- Marinova, E., Atanassova, J. (2006). Anthropogenic impact on vegetation and environment during the Bronze Age in the area of lake Durankulak, NE Bulgaria: pollen, microscopic charcoal, non-pollen palynomorphs and plant macrofossils. *Review of Palaeobotany and Palynology* 141, 165–178. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.03.011>
- Marinval, P. (1995). Recol·lecció i agricultura de l'epipaleolític al neolític antic: anàlisi carpològica de la Balma de la Margineda. *Les excavacions a la Balma de la Margineda*, 3, 65-77.
- Martín-Chivelet, J., Muñoz-García, B., R. Edwards, L., Turrero, M. J., Ana I. Ortega, A. (2011). Land surface temperature changes in Northern Iberia since 4000yrBP, based on $\delta^{13}\text{C}$ of speleothems. *Global and Planetary Change*, 77(1–2) <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.02.002>.
- Martín-Chivelet, J., & Muñoz-García, M. B. (2015). Estratigrafía de isótopos de oxígeno y la reconstrucción de los cambios climáticos del pasado. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23(2), 160-160.
- Martin, L., Delhon, C., Thiébault, S., Pelletier, D. (2012). Plant exploitation and diet in altitude during Mesolithic and Neolithic: Archaeobotanical analysis from a hunting camp in the Chartreuse massif (l'Aulp-du-Seuil, Isère, France). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 185, 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2012.07.011>
- Martinson, D.G., Pisias, N.G., Hays, J.D., Imbrie, J., Moore, T.C. Jr., Shackleton, N.J., (1987). Age dating and the orbital theory of ice ages: development of a high resolution 0 to 300.000 years chronostratigraphy. *Quaternary Research*, 27, 1-29. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(87\)90046-9](https://doi.org/10.1016/0033-5894(87)90046-9)
- Martzluff M., Martínez, J., Guilaine, J., Mora, R., Joel Casanova, J. (2012). Transformaciones culturales y cambios climáticos en los Pirineos catalanes entre el Tardiglaciario y Holoceno antiguo: Aziliense y Sauveterriense en Balma de la Margineda y Balma Guilanyà. *Cuaternario y Geomorfología* 26(3-4), 61-78.
- Marugan, C. M., & Oliver, J. (2005). El Pallars medieval. *Història del Pallars. Dels orígens als nostres dies* (pp. 45-86). Lleida: Pagès Editors,
- Mas, C. (2000). *Historia de la farga catalana*. Lleida: Pagès editors.

- Mazier, F., Galop, D., Gaillard, M.J., Rendu, C., Cugny, C., Legaz, A., Peyron, O., Buttler, A. (2009). Multidisciplinary approach to reconstructing local pastoral activities – an example from the Pyrenean Mountains (Pays Basque). *The Holocene* 19, 171–188. <https://doi.org/10.1177/0959683608098956>
- Mazzucco, N.; Clemente Conte, I.; Gassiot, E. (2019). Lost in the mountains? The Cova del Sardo and the Neolithization of the Southern Central Pyrenees (fifth-third mill. cal BC). *Archaeol. Anthropol. Sci.*, 11, 1461–1475. <https://doi.org/10.1007/s12520-018-0603-0>
- McManus, J.F., Francois, R., Gherardi, J.M., Keigwin, L.D., Brown-Leger, S. (2004). Collapse and rapid resumption of Atlantic meridional circulation linked to deglacial climate changes. *Nature*, 428(6985), 834-837. <https://doi.org/10.1038/nature02494>
- Miller, G.H.; Geirsdóttir, Á.; Zhong, Y.; Larsen, D.J.; Otto-Bliesner, B.L.; Holland, M.M.; Bailey, D.A.; Refsnider, K.A.; Lehman, S.J.; Southon, J.R.; *et al.* (2012). Abrupt onset of the Little Ice Age triggered by volcanism and sustained by sea-ice/ocean feedbacks. *Geophys. Res. Lett.*, 39(2), 2708. <https://doi.org/10.1029/2011GL050168>
- Miras, Y., Ejarque, A., Riera, S., Palet, J.M., Orengo, H.A., Euba, I. (2007). Dynamique holocène de la végétation et occupation des Pyrénées andorranes depuis le Néolithique ancien, d'après l'analyse pollinique de la tourbière de Bosc dels Estanyons (2180 mbsp, Vall del Madriu, Andorre). *Comptes Rendus Palevol* 6, 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2007.02.005>
- Miras, Y., Ejarque, A., Orengo, H., Mora, S.R., Palet, J.M., Poiraud, A. (2010). Prehistoric impact on landscape and vegetation at high altitudes: An integrated palaeoecological and archaeological approach in the eastern Pyrenees (Perafita valley, Andorra). *Plant Biosyst.*, 144, 924–939. <https://doi.org/10.1080/11263504.2010.491980>
- Molist, M., Saña, M., Buxó, R. (2003). El Neolític a Catalunya: entre la civilització de pastors i agricultors cavernícoles i els primers pagesos del pla. *Cota Zero: revista d'arqueologia i ciència*, 18, 34-53.
- Montserrat, J.M. (1992). *Evolución glacial y postglacial del clima y la vegetación en la vertiente sur del Pirineo: estudio Palinológico*. Zaragoza: IPE– CSIC.
- Moore, P. D., Webb, J. A., & Collison, M. E. (1991). *Pollen analysis*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Morellón, M., Valero-Garcés, B., Moreno, A., González-Sampériz, P., Mata, P., Romero, O., Maestro, M., Navas, A., 2008. Holocene palaeohydrology and climate variability in Northeastern Spain: The sedimentary record of Lake Estanya (Pre-Pyrenean range). *Quaternary International*, 181, 15-31. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.02.021>

- Morellón, M., Valero-Garcés, B., Anselmetti, F., Ariztegui, D., Schnellmann, M., Moreno, A., Mata, P., Rico, M., Corella, J.P. (2009). Late Quaternary deposition and facies model for karstic Lake Estanya (North-eastern Spain). *Sedimentology* 56(5), 1505-1534. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2008.01044.x>
- Morellón, M.; Valero-Garcés, B.; González-Sampériz, P.; Vegas-Vilarrúbia, T.; Rubio, E.; Rieradevall, M.; Delgado-Huertas, A.; Mata, P.; Romero, Ó.; Engstrom, D.R.; et al. (2011). Climate changes and human activities recorded in the sediments of Lake Estanya (NE Spain) during the Medieval Warm Period and Little Ice Age. *J. Paleolimnol.*, 46, 423–452. <https://doi.org/10.1007/s10933-009-9346-3>
- Morellón, M., Pérez-Sanz, A., Corella, J.P., Büntgen, U., Catalán, J., González-Sampériz, P., González-Trueba, J.J., López-Sáez, J.A., Moreno, A., Pla-Rabes, S., et al. (2012). A multi-proxy perspective on millennium-long climate variability in the Southern Pyrenees. *Clim. Past*, 8, 683–700. <https://doi.org/10.5194/cp-8-683-2012>
- Morellón, M., Aranbarri, J., Moreno, A., González-Sampériz, P., & Valero-Garcés, B. L. (2018). Early Holocene humidity patterns in the Iberian Peninsula reconstructed from lake, pollen and speleothem records. *Quaternary Science Reviews*, 181, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.11.016>
- Morera, J., Mercadal, O., Olesti, O., Crespo, C. (2010). El Castellot de Bolvir (Cerdanya): ocupacions ceretana, iberorromana i altmedieval. *Tribuna d'Arqueologia*, 2009-2012. <http://hdl.handle.net/10687/91753>.
- Morera, J., Oller, J., Olesti, O. (2020). La Cerdanya i els ceretans en el marc de la Segona Guerra Púnica. *Treballs d'Arqueologia*, 24. ArqueoPyrenae 2
- Muñoz-Sobrino, C., Ramil-Rego, P., Gómez-Orellana, L., & Varela, R. (2005). Palynological data on major Holocene climatic events in NW Iberia. *Boreas*, 34(3), 381-400. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2005.tb01108.x>
- Olesti, O., Mercadal, O. (2017). L'explotació dels territoris pirinencs orientals en època antiga. *Treballs d'Arqueologia*, 21, 9-47.
- Olesti, O., Morera, J., Oller, J., Carrasco, J. M., Colominas, L., Portillo, M., ... & Messana, C. (2024). The exploitation of mountain natural resources during the Iron Age in the Eastern Pyrenees: the case study of production unit G at Tossal de Baltarga (Bellver de Cerdanya, Lleida, Spain). *Frontiers in Environmental Archaeology*, 3(1), 347-394. <https://doi.org/10.3389/fearc.2024.1347394>
- Oliver, J. (1997b). *Treball forçat, agricultura, ramaderia i domini feudal al Pirineu: una proposta d'articulació (Pallars i Ribagorça c 800-1100)*. (Memòria de Recerca, document inèdit, UAB).

- Oms, F. X., Petit, M. À., Morales, J. I., & García, M. S. (2012). Le processus de néolithisation dans les Pyrénées orientales. Occupation du milieu, culture matérielle et chronologie. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 651-670. <https://www.jstor.org/stable/24364851>
- Oms, F. X., et al. (2016). Revisión radiocarbónica y cronocultural del Neolítico antiguo de la Balma Margineda (Aixovall, Andorra). *Trabajos de Prehistoria*, 73(1), 29-46. <https://doi.org/10.3989/tp.2016.12162>
- Orengo, H. (2010). *Arqueologia de un paisatge cultural pirenaic de alta muntanya. Dinàmiques de ocupació en el valle del Madriu-Perafita-Claror (Andorra)*. (Tesi Doctoral, Institut Català d'Arqueologia Clàssica. URV). Recuperat de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=171628>
- Orengo, H., Martínez, J. M., Ejarque, A., Miras, Y., Riera, S. (2014). Shifting occupation dynamics in the Madriu–Perafita–Claror valleys (Andorra) from the early Neolithic to the Chalcolithic: The onset of high mountain cultural landscapes. *Quaternary International*, 353. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.01.035>
- Palet, J.M. (2005). Pasturatges d'estiu al Champsaur (Alps del Sud, França) de la prehistòria a l'època medieval: «signes» arqueològics i dinàmica territorial. En: S. Riera, R. Julià (ed.) *Una aproximació transdisciplinària a 8000 anys d'història dels usos del sòl*, 75-86.
- Palet, J.M.; Ejarque, A.; Miras, Y.; Riera, S.; Euba, I.; Orengo, H.A. (2007). Formes d'ocupació d'alta muntanya a la serra del Cadí (Alt Urgell) i la vall de Madriu Perafita-Claror (Andorra): estudi diacrònic de paisatges culturals pirinencs». *Tribuna d'Arqueologia*, 2006, 229-254.
- Pallàs, R., Rodés, A., Braucher, R., Carcaillet, J., Ortuño, M., Bordonau, J., Bourlès, D., Vilaplana, J.M., Masana, E., Santanach, P. (2006). The late Pleistocene and Holocene glaciation in the Pyrenees: New evidence from ¹⁰Be exposure ages, Noguera Ribagorçana Valley, south-central Pyrenean range. *Quaternary Science Reviews*, 25(21–22), 2937-2963. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.04.004>
- Parker, A. G. et al. (2006). A record of Holocene climate change from lake geochemical analyses in southeastern Arabia. *Quaternary Research* 66(3), 465-476. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2006.07.001>
- Patterson III, W. A., Edwards, K. J., & Maguire, D. J. (1987). Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire. *Quaternary Science Reviews*, 6(1), 3-23. [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(87\)90012-6](https://doi.org/10.1016/0277-3791(87)90012-6)

- Patton, H., Hubbard, A., Andreassen, K., Winsborrow, M., Stroeve, A. P. (2016). The build-up, configuration, and dynamical sensitivity of the Eurasian ice-sheet complex to Late Weichselian climatic and oceanic forcing. *Quaternary Science Reviews*, 153, 97-121. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.10.009>.
- Pèlachs, A. (2005). *Deu mil anys de geohistòria ambiental al Pirineu central català. Aplicació de tècniques paleogeogràfiques per a l'estudi del territori i el paisatge a la Coma de Burg i a la Vallferrera*. (Tesis doctoral, UAB). Recuperat de <https://ddd.uab.cat/record/38064>
- Pèlachs, A., Soriano, J. M., Nadal, J., & Amat, A. E. (2007). Holocene environmental history and human impact in the Pyrenees. *Contributions to Science*, 3(3), 421-429. <https://doi.org/10.2436/20.7010.01.19>
- Pèlachs, A., Nadal, J., Soriano, J.M., Molina, D. and Cunill, R. (2009). Changes in Pyrenean Woodlands as a Result of the Intensity of Human Exploitation: 2000 Years of Metallurgy in Vallferrera, Northeast Iberian Peninsula. *Vegetation History and Archaeobotany* 18(5), 403-416. <https://doi.org/10.1007/s00334-009-0218-6>
- Pèlachs, A.; Pérez-Obiol, R.; Soriano, J. M.; Bal, M.-C. (2010). El paisatge vegetal de les Planes de Son i la mata de València: una aproximació als darrers mil·lennis de geohistòria ambiental. A: GERMAIN, J. [cur.]. Els sistemes naturals de les Planes de Son i la mata de València. *Treballs de la Institució Catalana d'Història Natural* 16, (pp. 751-783). Barcelona: Institució Catalana d'Història Natural.
- Pèlachs, A., Julià, R., Pérez-Obiol, R., Soriano, J. M., Bal, M. C., Cunill, R., & Catalan, J. (2011). Potential influence of Bond events on mid-Holocene climate and vegetation in southern Pyrenees as assessed from Burg lake LOI and pollen records. *The Holocene*, 21(1), 95-104. <https://doi.org/10.1177/0959683610386820>
- Pèlachs, A., García-Codrón, J. C., Soriano, J. M., Pérez-Obiol, R., Catalan, J. (2016). Papel de los incendios en las dinámicas forestales del norte de la península ibérica durante el Holoceno. *Avances en Biogeografía: áreas de distribución: entre puentes y barreras*, 553-562.
- Pèlachs, A.; Pérez-Obiol, R.; Ninyerola, M. (2019). Landscape dynamics of *Abies* and *Fagus* in the southern Pyrenees during the last 2200 years as a result of anthropogenic impacts. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 156, 337–349. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2009.04.005>
- Peña-Chocarro, L., & Pérez-Jordà, G. (2018). Los estudios carpológicos en la Península Ibérica: un estado de la cuestión. *Pyrenae*, 49(1), 7-45. <https://raco.cat/index.php/Pyrenae/article/view/335328>.

- Peña-Chocarro, L., Perez-Jordà, G., Morales, J. (2018). Crops of the first farming communities in the Iberian Peninsula. *Quaternary International*, 470-B, pp 369-382. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.06.002>
- Pérez-Obiol, R., Roure-Nolla, J. M. (1990). Evidència de la regressió recent de les avetoses a partir de les anàlisis pol·líniques. *Orsis*, 5, 005-11. <https://raco.cat/index.php/Orsis/article/view/24169>
- Pérez-Obiol, R. & Julià, R. (1994). Climatic change on the Iberian Peninsula recorded in a 30,000-yr pollen record from Lake Banyoles. *Quaternary Research*, 41(1), 91-98. <https://doi.org/10.1006/qres.1994.1010>
- Pérez-Obiol, R., Jalut, G., Julià, R., Pèlachs, A., Iriarte, M. J., Otto, T., & Hernández-Beloqui, B. (2011). Mid-Holocene vegetation and climatic history of the Iberian Peninsula. *The Holocene*, 21(1), 75-93. <https://doi.org/10.1177/0959683610384161>
- Pérez-Obiol, R., Bal, M. C., Pèlachs, A., Cunill, R., & Soriano, J. M. (2012). Vegetation dynamics and anthropogenically forced changes in the Estanilles peat bog (southern Pyrenees) during the last seven millennia. *Vegetation history and archaeobotany*, 21(4), 385-396. <https://doi.org/10.1007/s00334-012-0351-5>
- Pérez-Obiol, R., Soriano, J. M., Nadal, J., Lurbe, L., Sánchez-Morales, M., & Pèlachs, A. (2018). Les poblacions d'*Abies alba* a la Mata de València d'Àneu a partir de l'anàlisi i el calibratge pol·línic. In: *La investigació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici: XI Jornades sobre Recerca al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici* (pp. 213-220). Boí: PNAESM.
- Pérez-Obiol, R., Sànchez, M., Pèlachs, A., Nadal, J., Cunill, R., & Badia, A. (2021). Modern pollen rain on an elevational gradient in the Catalan Pyrenees. In: Florenzano A. & Clò E. (Eds.). *Mediterranean Palynology Societies Symposium. Abstracts Book* (pp. 46-47). Modena, Italy.
- Pérez-Sanz, A.; González-Sampériz, P.; Valero-Garcés, B.; Moreno, A.; Morellón, M.; Sancho, C.; Belmonte, A.; Gil-Romera, G.; Sevilla, M.; Navas, A. (2011). Clima y actividades humanas en la dinámica de la vegetación durante los últimos 2000 años en el Pirineo Central: El registro palinológico de la Basa de la Mora (Macizo de Cotiella). *Zubia*, 23(1), 7-38.
- Pérez-Sanz, A., González-Sampériz, P., Moreno, A., Valero-Garcés, B., Gil-Romera, G., Rieradevall, M., Tarrats, P., Lasheras-Álvarez, L., Morellón, M., Belmonte, A., Sancho, C., Sevilla-Callejo, M., & Navas, A. (2013). Holocene climate variability, vegetation dynamics and fire regime in the central Pyrenees: the Basa de la Mora sequence (NE Spain). *Quaternary Science Reviews*, 73, 149-169. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.05.010>

- Piera, M., Pancorbo, A., Garcés, I., Gallart, J. (2013). Els assentaments de les edats del bronze, ibèrica i romana dels Llirians del Mas i les Torres (Salàs de Pallars, Pallars Jussà). *Revista d'arqueologia de Ponent*, 23, 163-200.
- Piqué, R. *et al.* (2022). El paisatge i l'aprofitament de recursos forestals durant el neolític antic a Catalunya. Les primeres societats neolítiques de Catalunya, 5600-4500 AC. Estat de la qüestió i nous reptes de recerca. *Cypsela*, 22, 27-54. <https://raco.cat/index.php/Cypsela/article/view/405607>.
- Pla, S., & Catalan, J. (2005). Chrysophyte cysts from lake sediments reveal the submillennial winter/spring climate variability in the northwestern Mediterranean region throughout the Holocene. *Climate dynamics*, 24, 263-278. <https://doi.org/10.1007/s00382-004-0482-1>
- Plunkett, G., Swindles, G. (2008). Determining the Sun's influence on Lateglacial and Holocene climates: a focus on climate response to centennial-scale solar forcing at 2800 cal. BP. *Quaternary Science Reviews*. 27(1-2), 175-184. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.01.015>
- Price, T. D. (ed.) (2000). Europe's first farmers. Cambridge: *Cambridge University Press*
- Quesada, M., (2016a). Canvis en el poblament prehistòric als pirineus centrals meridionals. Una aproximació a partir dels dipòsits de recipients ceràmics. UAB
- Rahmstorf, S. (2003). Timing of abrupt climate change: a precise clock. *Geophysical Research Letters*, 30(10), 1-4. <https://doi.org/10.1029/2003GL017115>
- Rasmussen, S. O. *et al.* (2014). A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized Greenland ice-core records: refining and extending the INTIMATE event stratigraphy. *Quaternary Science Reviews*, 106, 14-28. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.09.007>.
- Reille, M. (1992). *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Marseille. *Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie*. Marseille: Université d'Aix-Marseille III.
- Reille, M., & Lowe, J. J. (1993). A re-evaluation of the vegetation history of the eastern Pyrenees (France) from the end of the last glacial to the present. *Quaternary Science Reviews*, 12(1), 47-77. [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(93\)90048-Q](https://doi.org/10.1016/0277-3791(93)90048-Q)
- Reille, M. (1998). *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord - Supplément 2*. *Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie*. Marseille: Université d'Aix-Marseille III.

- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Ramsey, C. B., Buck, C. E., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes P. M., Guilderson, T. P., Hafflidason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T. J., Hoffmann, D. L., Hogg, A. G., Hughen, K. A., ..., & Van Der Plicht, J. (2013). IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55(4), 1869-1887. https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.55.16947
- Reimer, P. J., Austin, W. E., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P., Ramsey, C. B., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hajdas, I., Heaton, T. J., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kromer, B., Manning, S. W., Muscheler, R., ..., & Talamo, S. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62(4), 725-757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Rendu, C., Campmajó, P., Davasse, B. and Galop, D. (1995). Habitat, environnement et systèmes pastoraux en montagne: acquis et perspectives de recherches à partir de l'étude du territoire d'Enveig. In: *Cultura i medis de la prehistòria a l'Edat Mitjana, X col·loqui internacional d'arqueologia de Puigcerdà, homenatge a Jean Guilaine* (pp. 661–708). Puigcerdà: Institut d'Estudis Ceretans.
- Rendu, C. (2003). La montagne d'Enveig, une estive pyrénéenne dans la longue durée. *Trabucaire*, 606.
- Revelles, J., Antolín, F., Berihuete, M., Burjachs, F., Buxó, R., Caruso, L., ... & Terradas, X. (2014). Landscape transformation and economic practices among the first farming societies in Lake Banyoles (Girona, Spain). *Environmental Archaeology*, 19(3), 298-310. <https://doi.org/10.1179/1749631414Y.0000000033>
- Riera, S., Wansard, G. and Julià, R. (2004). 2000-yr environmental history of a karstic lake in the Mediterranean Pre-Pyrenees: the Estanya lakes (Spain). *Catena* 55, 293–324. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(03\)00107-3](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(03)00107-3)
- Riera, S., Palet, J.M., Ejarque, A., Orengo, H.A., Julià, R., Currás, A. (2009). Variabilitat Climàtica, Ocupació del Sol i Paisatge en Espanya de l'Àge del Fer a l'Època Medieval: Integració de les Dades Paleomediambientals i d'Arqueologia del Paisatge. In: Hermon, E. (Ed.), *Societat i Climates dans l'Empire Romain* (pp. 251–280). Naples: Editoriale Scientifico de Naples.
- Roberts, N. et al. (2011). Climatic, vegetation and cultural change in the eastern Mediterranean during the mid-Holocene environmental transition, *The Holocene* 21(1), 147-162. <https://doi.org/10.1177/0959683610386819>

- Rodríguez-Antón, D., Gassiot, E., Obea, L., Mazzucco, N., Comte, I., Carrasco, M., Mateo, N., Garcia Casas, D. (2016). Montañas humanizadas. arqueología del pastoralismo en el Parque Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Editor E. Gassiot, *Naturaleza y Parques Nacionales*. Madrid:OAPN
- Rodríguez-González, J.M. (2008). *3000 anys d'Impacte Antròpic a la Coma de Burg. Palinologia a l'Estany de Burg. (Farrera, Pallars Sobirà, Lleida)*. (Treball de Final de Màster, URV).
- Rodríguez-González, J.M.; Pérez-Obiol, R.; Pèlach, A.; Cunill, R.; Soriano, J.M. (2011) Dinámica del clima y del paisaje del Pirineo de Lleida durante la transición Tardiglacial-Holoceno. La secuencia de Estanilles. En: Turú, V., Constante, A., Eds.; *El Cuaternario en España y Áreas Afines. Avances en 2011* (pp. 287-290). Andorra la Vella: Imprenta Envalira.
- Rodríguez-González, J. M., Pérez-Obiol, R., Pérez-Haase, A., Nadal-Tersa, J., Sánchez-Morales, M., Cunill-Artigas, R. (2021). Recerca paleoambiental a l'Estany de la Bassa. In *Proceedings of the XII Jornades de Recerca al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici*, 13–15, (pp. 153–162). Espot: PNAESM.
- Rodríguez-González, J. M., Sánchez-Morales, M., Nadal-Tersa, J., Pèlach, A., Pérez-Obiol, R. (2023). Paleoenvironmental Reconstruction for the Last 3500 Years in the Southern Pyrenees from a Peat Bog Core in Clots de Rialba. *Diversity*, 15(3), 390. <https://www.mdpi.com/1424-2818/15/3/390>
- Rojo-Guerra, M.Á., Peña-Chocarro, L., Guillén, J.I.R., Rodríguez, C.T., de Lagrán, I.G.M., Magallón, H.A., ... & Alt, K.W. (2013). Pastores trashumantes del Neolítico Antiguo en un entorno de alta montaña: secuencia crono-cultural de la Cova de Els Trocs (San Feliú de Verí, Huesca). *BSAA Arqueología*, (79), 9-55.
- Rojo-Guerra, M. R., Magallón, H. A., Chocarro, L. P., Guillén, J. I. R., Rodríguez, C. T., GARCÍA, I., ... & JORDÁ, G. P. (2014). Los primeros pastores trashumantes de la Alta Ribagorza. In *Sobrarbe antes de Sobrarbe: pinceladas de historia de los Pirineos* (pp. 127-151). Sobrarbe: Centro de Estudios de Sobrarbe, Instituto de Estudios Altoaragoneses.
- Rose, N. (1999). The spatial and temporal distributions of Spheroidal Carbonaceous Fly-Ash Particles (SCP) in the sediment records of European mountain lakes. *Water, Air, and Soil Pollution* 113, 1–32. <https://doi.org/10.1023/A:1005073623973>
- Rull, V., Cañellas-Boltà, N, Vegas-Vilarrúbia, T. (2021) Late-Holocene Forest resilience in the central Pyrenean highlands as deduced from pollen analysis of Lake Sant Maurici sediments. *The Holocene*, 1-7. <https://doi.org/10.1177/09596836211033207>

- Rull, V., Blasco, A., Calero, M. Á., Blaauw, M., & Vegas-Vilarrúbia, T. (2023). A Continuous Centennial Late Glacial-Early Holocene (15-10 cal kyr BP) Palynological Record from the Iberian Pyrenees and Regional Comparisons. *Plants*, 12(20), 3644. <https://doi.org/10.3390/plants12203644>
- Rull, V., Blasco A., Sigro, J., Vegas-Vilarrúbia, T. (2024) Last-Century Forest Dynamics in a Highland Pyrenean National Park and Implications for Conservation. *Plants*; 13(8), 1144. <https://doi.org/10.3390/plants13081144>
- Sabartés, J.M. (1998). Població i territori a l'Alt Pirineu Català. Anàlisi demogràfica de les comarques de l'Alt Urgell, Alta Ribagorça, Cerdanya, Pallars Jussà, Pallars Sobirà i Vall d'Aran. Tremp: Garsineu Edicions.
- Salrach, J.M. (2004). Època prefeudal (segles VIII–X) i canvi feudal (segles XI–XII). In Giralt, E. and Salrach, J.M., coordinators, *Edat Mitjana i Història Agrària dels Països Catalans*, 2, (pp. 15–44). Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Sánchez-Morales, M. (2021). *Landscape dynamics during the last 17,550 years in Cantabria, northern Iberian Peninsula. Approaches from palaeoecology*. (Tesi doctoral, UAB).
- Sánchez-Morales, M., Rodríguez, S., Pèlachs, A., Nadal-Tersa, J., García-Codrón, J. C., Coterón, S., Pérez-Obiol, R., Cunill, R., Carracedo, V., Betao, S., Badia, A. (2023). El estudio de los incendios forestales como contribución al conocimiento de la arqueología del paisaje de montaña. *Treballs d'Arqueologia*, 26, 111-126. <https://doi.org/10.5565/rev/tda.132>
- Sánchez, X., Gassiot, E., Díaz, S., Clemente, I., Navarrete, V., Saña, M. (2019). La Cova de l'Home Mort: una cova sepulcral de l'Edat del Bronze al Pallars Sobirà. *Segones jornades d'arqueologia i paleontologia del Pirineu i Aran* (pp. 82-93). Tremp: Departament de Cultura, Generalitat de Catalunya. Recuperat de <https://calaix.gencat.cat/handle/10687/428218>
- Sarobé, R. (1998). *Col·lecció diplomàtica de la Casa del Temple de Gardeny (1070–1200)*. Barcelona: Fundació Noguera.
- Scott, A. C. (2010). Charcoal recognition, taphonomy and uses in paleoenvironmental analysis. *Paleogeography, Paleoclimatology and Paleoecology*, 291(1-2), 11-39. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.12.012>.
- Scotti-Saintagne, C., Boivin, T., Suez, M., Musch, B., Scotti, I., & Fady, B. (2021). Signature of mid-Pleistocene lineages in the European silver fir (*Abies alba* Mill.) at its geographic distribution margin. *Ecology and Evolution*, 11(16), 10984-10999. <https://doi.org/10.1002/ece3.7886>

- Sierra, A., Laborda, R., Saña, M., & Montes, L. (2023). Pastos en altura: el Neolítico antiguo de La Espluga de la Puyascada (La Fueva, Huesca). *Treballs d'Arqueologia*, 26, 253-275. <https://doi.org/10.5565/rev/tda.151>
- Spyrou, M.A., Musralina, L., Gneccchi-Ruscione, G.A. et al. (2022). The source of the Black Death in fourteenth-century central Eurasia. *Nature*, 606, 718–724 <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04800-3>
- Stockmarr, J. A. (1971). Tables with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen spores*, 13, 615-621.
- Stothers, R.B. (1996). The great dry fog of 1783. *Climatic Change* 32, 79–89. <https://doi.org/10.1007/BF00141279>
- Swindles, T., Plunkett, G., Roe, H. (2007). A delayed climatic response to solar forcing at 2800 cal. BP: multiproxy evidence from three Irish peatlands. *The Holocene*, 17(2), 177–182. <https://doi.org/10.1177/0959683607075830>
- Taberlet, P., Fumagalli, L., Wust-Saucy, A. G., & Cosson, J. F. (1998). Comparative phylogeography and postglacial colonization routes in Europe. *Molecular Ecology*, 7(4), 453-464. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.1998.00289.x>
- Tallantire, P. A. (2002). The early-Holocene spread of hazel (*Corylus avellana* L.) in Europe north and west of the Alps: an ecological hypothesis. *The Holocene*, 12 (1), 81-96. <https://doi.org/10.1191/0959683602hl523rr>
- Teixell, A. (2000). Geotectónica de los Pirineos. *Investigación y ciencia*, 288, 54-65.
- Terhürne-Berson, R., Litt, T., & Cheddadi, R. (2004). The spread of *Abies* throughout Europe since the last glacial period: combined macrofossil and pollen data. *Vegetation history and Archaeobotany*, 13, 257-268. <https://doi.org/10.1007/s00334-004-0049-4>
- Tinner, W., & Lotter, A. F. (2006). Holocene expansions of *Fagus sylvatica* and *Abies alba* in Central Europe: where are we after eight decades of debate? *Quaternary Science Reviews*, 25(5-6), 526-549. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.03.017>
- Torres-Martínez, J.F. (2014). Arqueología de la edad del hierro y variaciones climático-ambientales en el norte de la Península Ibérica. *Kobie Serie Paleoantropología*, 33, 31-58.
- Thomas, E., Wolff, E., Mulvaney, R., Steffensen, J., Johnsen, S., Arrowsmith, C., White, J., Vaughn, B., Popp, T. (2007). The 8.2 ka event from Greenland ice cores. *Quaternary Science Reviews*, 26(1–2), 70-81. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.07.017>
- Uriarte, A. (2010). *Historia del clima de la Tierra. Segunda edición*. Donostia: Ed. Gobierno Vasco.

- Valese, E., Conedera, M., Held, A. C., Ascoli, D. (2014). Fire, humans and landscape in the European Alpine region during the Holocene. *Anthropocene*, 6, 63-74. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2014.06.006>
- van der Knaap, W. O., van Leeuwen, J. F., Finsinger, W., Gobet, E., Pini, R., Schweizer, A., ... & Ammann, B. (2005). Migration and population expansion of *Abies*, *Fagus*, *Picea* and *Quercus* since 15000 years in and across the Alps, based on pollen-percentage threshold values. *Quaternary Science Reviews*, 24(5-6), 645-680. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.06.013>
- van Geel, B. (1986). Application of fungal and algal remains and other microfossils in palynological analyses. In Berglund, B.E., editor, *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology* (pp. 497-505). Oxford: The Blackburn Press.
- van Geel, B. (2002). Non-pollen palynomorphs. In: *Tracking environmental change using lake sediments* (pp. 99-119). Dordrecht: Springer.
- van Geel, B., & Aptroot, A. (2006). Fossil ascomycetes in Quaternary deposits. *Nova Hedwigia*, 82(3), 313-330.
- Vendramin, G. G., Degen, B., Petit, R. J., Anzidei, M., Madaghiele, A., & Ziegenhagen, B. (1999). High level of variation at *Abies alba* chloroplast microsatellite loci in Europe. *Molecular Ecology*, 8(7), 1117-1126. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.1999.00666.x>
- Vergés, J. (1993). *Estudi tectònic del vessant sud del Pirineu central i oriental. Evolució cinemàtica en 3D*. (Tesi Doctoral, UB).
- Vidaller, I., Izagirre, E., del Rio, LM, Alonso-González, E., Rojas-Heredia, F., Serrano, E., Moreno, A., López-Moreno, J., Revuelto, J. (2023). The Aneto glacier's (Central Pyrenees) evolution from 1981 to 2022: ice loss observed from historic aerial image photogrammetry and remote sensing techniques. *The Cryosphere*, 17, 3177–3192 <https://doi.org/10.5194/tc-17-3177-2023>
- Vilar, P. (1987). *Catalunya dins l'Espanya moderna: recerques sobre els fonaments econòmics de les estructures nacionals*. Barcelona: Edicions 62.
- Vinther, B., Buchardt, S., Clausen, H. et al. (2009). Holocene thinning of the Greenland ice sheet. *Nature*, 461, 385–388 <https://doi.org/10.1038/nature08355>
- Violant, R. (2001). *La vida pastoral al Pallars*. Tremp: Garsineu Edicions.

- Walker, M., Johnsen, S., Rasmussen, S. O., Popp, T., Steffensen, J. P., Gibbard, P., Hoek, W., Lowe, J., Andrews, J., Björck, S., Cwynar, L. C., Hughen, K., Kershaw, P., Kromer, B., Litt, T., Lowe, D. J., Nakagawa, T., Newnham, R., & Schwander, J. (2009). Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. *Journal of Quaternary Science: Published for the Quaternary Research Association*, 24(1), 3-17. <https://doi.org/10.1002/jqs.1227>
- Walker, M., Head, M. J., Lowe, J., Berkelhammer, M., Björck, S., Cheng, H., Cwynar, L. C., Fisher, D., Gkinis, V., Long, A., Newnham, R., Rasmussen, S. O., & Weiss, H. (2019). Subdividing the Holocene Series/Epoch: formalization of stages/ages and subseries/subepochs, and designation of GSSPs and auxiliary stratotypes. *Journal of Quaternary Science*, 34(3), 173-186. <https://doi.org/10.1002/jqs.3097>
- Walsh, K. (2005). Risk and marginality at high altitudes: new interpretations from fieldwork on the Faravel Plateau, Hautes-Alpes. *Antiquity* 79(304), 289–305. <https://doi.org/10.1017/S0003598X00114097>
- Wanner, H., Buetikofer, J. (2008). Holocene Bond Cycles: real or imaginary. *Geografie*, 113(4), 338-349.
- Wanner, H., Solomina, O., Grosjean, M., Ritz, S. P., & Jetel, M. (2011). Structure and origin of Holocene cold events. *Quaternary Science Reviews*, 30(21-22), 3109-3123. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.07.010>
- Watkins, M.W. (2020). *A step-by-step guide to exploratory factor analysis with R and RStudio*. New York, NY, US: Routledge.
- Werner, J., Wang, Jianghao, W., Gómez-Navarro, J. J., Steiger, N., Neukom, R. (2019). No evidence for globally coherent warm and cold periods over the preindustrial Common Era. *Nature* 571(7766), 550–554. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1401-2>.
- Whitlock, C. & Millspaugh, S. H. (1996). Testing the assumptions of fire-history studies: An examination of modern charcoal accumulation in Yellowstone National Park, USA. *The Holocene*, 6(1), 7-15. <https://doi.org/10.1177/09596836960060010>
- Whitlock, C., & Larsen, C. (2001). Charcoal as a fire proxy. In: *Tracking environmental change using lake sediments: terrestrial, algal, and siliceous indicators* (pp. 75-97). Dordrecht: Springer.
- Wilmshurst, J.M., Wiser, S.K., Charman, D.J. (2003). Reconstructing Holocene water tables in New Zealand using testate amoebae: differential preservation of tests and implications for the use of transfer functions. *The Holocene* 13, 61–67. <https://doi.org/10.1191/0959683603h1595rp>

- Zapata, L., Peña-Chocarro, L., Pérez-Jordá, G., & Stika, H. P. (2004). Early neolithic agriculture in the Iberian Peninsula. *Journal of world Prehistory*, 18, 283-325. <https://doi.org/10.1007/s10963-004-5621-4>
- Zeder, M. A. (2011). The origins of agriculture in the Near East. *Current Anthropology* 52(4), 221–235.
- Zielhofer, C., Köhler, A., Mischke, S., Benkaddour, A., Mikdad, A., Fletcher, W.J. (2019) Western Mediterranean hydro-climatic consequences of Holocene ice-rafted debris (Bond) events. *Clim. Past.*, 15, 463–475. <https://doi.org/10.5194/cp-15-463-2019>