

Síntesi paleoecològica del règim del foc i de les dinàmiques agroramaderes a l'Alt Pirineu català occidental durant l'holocè: Una revisió comparativa

Marc Sánchez Morales
Ashley Braunthal
Jordi Nadal Tera
Ramon Pérez-Obiol

Universitat Autònoma de Barcelona

0000-0003-3920-170X; marc.sanchez.morales@uab.cat

0000-0002-5792-4031; ashleynicole.braunthal@autonoma.cat

0000-0001-8229-5815; jordi.nadal@uab.cat

0000-0003-4145-6496; ramon.perez@uab.cat



© dels autors i l'autora

Recepció: març de 2026

Acceptació: maig de 2026

Publicació: juliol de 2026

Citació recomanada: SÁNCHEZ MORALES, Marc; BRAUNTHAL, Ashley; NADAL TERA, Jordi i PÉREZ-OBÍOL, Ramon (2026). «Síntesi paleoecològica del règim del foc i de les dinàmiques agroramaderes a l'Alt Pirineu català occidental durant l'holocè: Una revisió comparativa». *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 72(2), 209-229. <<https://doi.org/10.5565/rev/dag.1602>>

Resum

L'estudi dels incendis del passat és essencial per comprendre la configuració dels paisatges actuals i valorar-ne el grau d'antropització. Aquest treball presenta una síntesi paleoecològica sobre la geohistòria ambiental de l'Alt Pirineu català occidental durant l'holocè, considerant les dinàmiques agroramaderes i el règim d'incendis forestals a partir de la comparació de seqüències palinològiques i de macrocarbons sedimentaris (>150 µm), indicadors d'incendis a escala de vall. En concret, s'han analitzat quatre localitats d'alta muntanya: Estanilles (2.200 m s. n. m.), Clots de Rialba (2.100 m s. n. m.), Bassa Nera (1.900 m s. n. m.) i Estany de la Coma de Burg (1.821 m s. n. m.). Per a cada registre es mostren les principals agrupacions palinològiques indicadores d'activitats agroramaderes, i a les dades de macrocarbons se'ls ha aplicat un tractament estadístic mitjançant el programa CharAnalysis per identificar-hi pics d'incendis. Els resultats mostren una disminució de la intensitat dels incendis amb l'altitud, probablement relacionada amb la composició forestal dels diferents estats. El registre revela incendis des de l'inici de l'holocè, amb una marcada influència climàtica durant els episodis secs de 9,3 i 8,2 ka cal BP. A partir de 7,6 ka cal BP, l'impacte humà incrementa la recurrència d'incendis, i a partir de l'edat del bronze s'identifica un senyal clar de pràctiques agroramaderes, que s'intensifiquen a partir del baix imperi romà i la transició cap a l'alta edat mitjana. Finalment, durant els darrers mil anys es detecta l'abandó progressiu de les activitats tradicionals, del senyal de foc i una certa recuperació forestal.

Paraules clau: carbons sedimentaris; paleoecologia del foc; palinologia; holocè; geohistòria ambiental

Resumen. *Síntesis paleoecológica del régimen del fuego y de las dinámicas agroganaderas en el Alto Pirineo catalán occidental durante el Holoceno: Una revisión comparativa*

El estudio de los incendios del pasado es esencial para comprender la configuración de los paisajes actuales y valorar su grado de antropización. Este trabajo presenta una síntesis paleoecológica sobre la geohistoria ambiental del Pirineo axial catalán occidental durante el Holoceno, considerando el régimen de incendios forestales y las dinámicas agroganaderas a partir de la comparación de secuencias palinológicas y de macrocarbones sedimentarios ($>150\ \mu\text{m}$), indicadores de incendios a escala de valle. En concreto, se han analizado cuatro localidades de alta montaña: Estanilles (2.200 m s. n. m.), Clots de Rialba (2.100 m s. n. m.), Bassa Nera (1.900 m s. n. m.) y Estany de la Coma de Burg (1.821 m s. n. m.). Para cada registro se muestran las principales asociaciones polínicas indicadoras de actividades agroganaderas, y a los datos de macrocarbones se les ha aplicado un tratamiento estadístico mediante el programa CharAnalysis para identificar picos de incendios. Los resultados muestran una disminución de la intensidad de los incendios con la altitud, probablemente relacionada con la composición forestal de los distintos pisos bioclimáticos. El registro revela incendios desde el inicio del Holoceno, con una marcada influencia climática durante los episodios secos de 9,3 y 8,2 ka cal BP. A partir de 7,6 ka cal BP, el impacto humano incrementa la recurrencia de incendios, y desde la Edad del Bronce se identifica una señal clara de prácticas agroganaderas, que se intensifican a partir del Bajo Imperio romano y durante la transición hacia la Alta Edad Media. Finalmente, durante los últimos mil años se detecta el progresivo abandono de las actividades tradicionales, la disminución de la señal de fuego y una cierta recuperación forestal.

Palabras clave: carbones sedimentarios; paleoecología del fuego; palinología; Holoceno; geohistoria ambiental

Résumé. *Synthèse paléoécologique du régime des feux et des dynamiques agro-pastorales dans les Hautes-Pyrénées catalanes occidentales durant l'Holocène : une révision comparative*

L'étude des incendies passés est essentielle pour comprendre la configuration des paysages actuels et évaluer leur degré d'anthropisation. Ce travail présente une synthèse paléoécologique de la géohistoire environnementale du Haut Pallars et de l'Alt Urgell occidentaux (Hautes Pyrénées catalanes) durant l'Holocène, en prenant en compte le régime des incendies forestiers et les dynamiques agro-pastorales, à partir de la comparaison de séquences polliniques et de macrocharbons sédimentaires ($>150\ \mu\text{m}$), indicateurs des incendies à l'échelle de la vallée. Plus précisément, quatre localités de haute montagne ont été analysées : Estanilles (2 200 m d'altitude), Clots de Rialba (2 100 m), Bassa Nera (1 900 m) et l'Estany de la Coma de Burg (1 821 m). Pour chaque enregistrement, les principaux assemblages polliniques indiquant les activités agro-pastorales sont présentés, et les données de macrocharbons ont fait l'objet d'un traitement statistique à l'aide du logiciel CharAnalysis afin d'identifier les pics d'incendies. Les résultats montrent une diminution de l'intensité des incendies avec l'altitude, probablement liée à la composition forestière propre à chaque étage. Les registres révèlent des incendies dès le début de l'Holocène, avec une influence climatique marquée durant les épisodes secs de 9,3 et 8,2 ka cal BP. À partir de 7,6 ka cal BP, l'impact humain augmente la récurrence des incendies, et à partir de l'âge du Bronze, un signal clair de pratiques agro-pastorales est identifié, qui s'intensifient à partir du Bas-Empire romain et lors de la transition vers le Haut Moyen-Âge. Enfin, au cours des 1.000 dernières années, on observe l'abandon progressif des activités traditionnelles, une diminution du signal de feu et une certaine récupération forestière.

Mots-clés : charbons sédimentaires ; paléoécologie du feu ; palynologie ; Holocène ; géohistoire environnementale

Abstract. *Palaeoecological synthesis of fire regimes and agropastoral dynamics in the western Catalan High Pyrenees during the Holocene: a comparative review*

The study of past wildfires is essential for understanding the configuration of present-day landscapes and assessing their degree of anthropisation. This work presents a palaeoecological synthesis of the environmental geohistory of the western Catalan High Pyrenees during the Holocene. It considers wildfire regimes and agropastoral dynamics based on the comparison of pollen sequences and sedimentary macrocharcoal (>150 µm), which serve as valley-scale fire indicators. Four high-mountain sites were analysed: Estanilles (2,200 m a.s.l.), Clots de Rialba (2,100 m a.s.l.), Bassa Nera (1,900 m a.s.l.) and Estany de la Coma de Burg (1,821 m a.s.l.). For each record, the main pollen assemblages indicative of agropastoral activity were identified, and macrocharcoal data were statistically processed using CharAnalysis to identify fire peaks. The results show a decrease in fire intensity with altitude, likely related to forest composition across elevation belts. The record reveals fire activity since the early Holocene, with marked climatic influence during the dry events at 9.3 and 8.2 ka cal BP. From 7.6 ka cal BP onwards, human impact increases fire recurrence, and from the Bronze Age a clear signal of agropastoral practices is identified, which intensify during the Late Roman Empire and the transition to the Early Middle Ages. Finally, over the last 1,000 years, the records indicate a progressive abandonment of traditional land-use practices, a decline in fire activity, and partial forest recovery.

Keywords: sedimentary charcoal; fire paleoecology; palynology; Holocene; environmental geohistory

Sumari

- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1. Introducció | 4. Conclusions |
| 2. Material i mètodes | Referències bibliogràfiques |
| 3. Resultats i discussió | |

1. Introducció

Les zones de muntanya constitueixen laboratoris privilegiats per analitzar les manifestacions del canvi global, ja que responen de manera especialment sensible a les variacions del sistema natural (especialment les climàtiques) i a les transformacions socioeconòmiques recents, que tenen un reflex directe en les cobertes i en els canvis d'ús del sòl (López-Moreno et al., 2008). Tot i així, interpretar adequadament els canvis observats requereix disposar de referents temporals robustos que permetin distingir entre dinàmiques naturals i processos antròpics, tant de llarga durada com de curta durada. La manca d'aquests referents pot conduir al que s'ha descrit com a *Shifting Baseline Syndrome*, segons el qual la percepció del que és «natural» es redefineix constantment en funció de l'estat del medi conegut per cada generació, fet que pot desorientar gestors i responsables de la conservació dels valors naturals (Palau, 2019, 2020).

Aquesta problemàtica és especialment rellevant als Pirineus, on molts ritmes ecològics són de llarga durada i no coincideixen amb els temps de la percepció humana. Per això, l'estudi integrat de les interaccions entre clima, vegetació i activitats humanes al llarg del temps és essencial per comprendre el paisatge actual. No obstant això, les dinàmiques que s'observen avui no responen necessàriament als mateixos processos ni operen a la mateixa escala temporal. En un mateix espai hi poden confluïr processos naturals recents amb dinàmiques antigues que continuen condicionant la interpretació del paisatge i la presa de decisions dels gestors. En aquest sentit, la geohistòria del paisatge agroramader ha esdevingut una eina fonamental per reconstruir les relacions entre les societats pastorals i el medi, i pot aportar claus per explicar alguns dels canvis més determinants del paisatge pirinenc actual.

Durant les darreres dècades, l'arqueologia de muntanya ha fet aportacions significatives als Pirineus en aquest sentit (Palet et al., 2008; Gassiot et al., 2014). Treballs recents han documentat de manera sistemàtica l'evolució de les estructures pastorals, l'ocupació humana d'alta muntanya i la transformació dels espais forestals des del neolític fins a l'època moderna (Garcia-Casas i Gassiot, 2022; Gassiot i Rodríguez-Antón, 2024). Paral·lelament, la recerca paleoambiental i geohistòrica ha aportat una visió de llarga durada sobre la dinàmica de la vegetació, l'ús del foc i els canvis en la coberta forestal. Les anàlisis pol·líniques i de carbons sedimentaris han permès identificar episodis recurrents de desforestació, l'expansió de pastures i l'ús del foc com a eina de gestió pastoral des de fa mil·lennis a diferents zones de muntanya (Rius et al., 2012; Gil-Romera et al., 2014; López-Sáez et al., 2018; Leunda et al., 2020). En concret, la intensitat i la cronologia dels episodis d'incendis s'ha interpretat a partir de l'anàlisi de carbons sedimentaris. D'una banda, s'estudien els macrocarbons, de mida superior a 150 µm, perquè són els que es disposen a poca distància de la seva font (Patterson et al., 1987; Carcaillet et al., 2001; Whitlock i Larsen, 2001), i es consideren representatius de la dinàmica dels incendis a escala de vall (Pérez-Obiol et al., 2016). D'altra banda, hi ha estudis basats en microcarbons sedimentaris (Leunda et al., 2020), els quals tenen una mida més petita i, consegüentment, es dispersen a distàncies més llargues, la qual cosa reflecteix la dinàmica del règim d'incendis a escala regional.

Aquest estudi de carbons sedimentaris ha permès caracteritzar la recurrència i la intensitat dels incendis al Pirineu (Pérez-Obiol et al., 2012; Cunill et al., 2013; Rodríguez-González et al., 2023), alhora que la pedoantracologia ha contribuït a reconstruir les variacions en el límit altitudinal del bosc i a identificar episodis de pressió ramadera o d'obertura del paisatge a escala local (Cunill et al., 2012, 2013). Aquests avenços en el Pirineu permeten dur a terme estudis comparatius d'abast regional i integrar els diferents senyals d'incendis, tot contrastant-los per valorar-ne les coincidències o les divergències, tant les cronològiques com les espacials.

En conjunt, els registres arqueològics i paleobotànics confirmen que el paisatge pirinenc actual és el resultat d'una coevolució prolongada entre processos naturals i activitats humanes, amb pesos variables al llarg del temps i dinàmi-

ques que responen a cicles d'estabilitat i canvi. Entendre aquesta trajectòria exigeix reconèixer que cap sistema es pot analitzar ni gestionar des d'un únic punt de vista: els sistemes socioecològics operen simultàniament en múltiples dimensions —espacials, temporals, naturals i socials—, i és la interacció entre aquestes el que determina la dinàmica observable en cada moment (Gunder-son i Holling, 2002). Aquesta perspectiva de llarga durada i multiescalar és imprescindible per interpretar adequadament les transformacions recents i els reptes actuals de gestió del territori.

En aquest marc hi sorgeixen tres preguntes clau per comprendre el paisatge actual de les pastures de l'Alt Pirineu (figura 1), que estructurèn el gruix de l'article:

1. Quins indicadors paleobotànics es poden emprar com a evidències de rama-deria, agricultura i incendis a la zona?
2. Quina és la geohistòria ambiental dels incendis forestals a l'Alt Pirineu i el seu entorn?
3. Quan s'inicia l'ús del foc com a eina per crear i gestionar els paisatges agroramaders?

El present article afronta aquestes qüestions des de la geografia històrica ambiental, integrant dades palinològiques i de carbons sedimentaris per oferir una interpretació de llarga durada del paisatge ramader pirinenc i l'ús del foc.

2. Material i mètodes

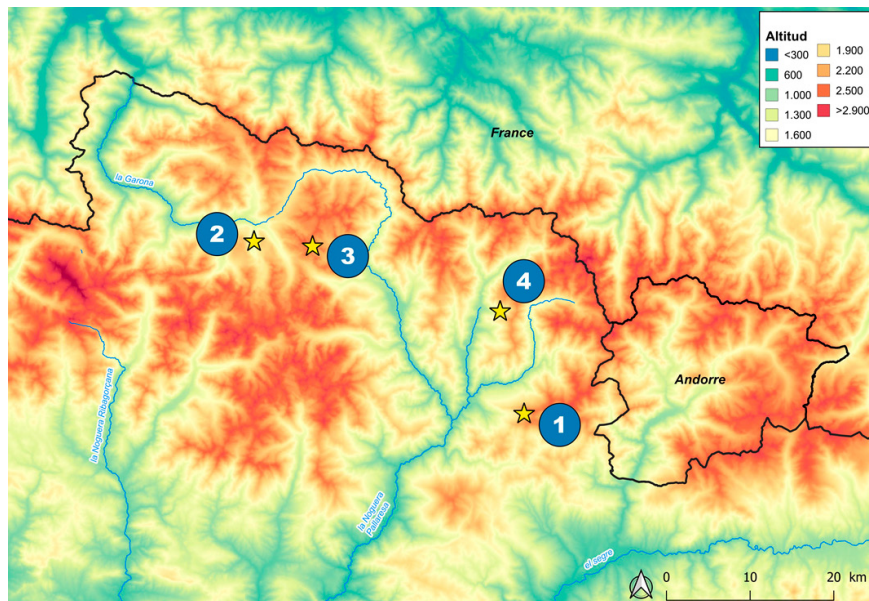
Els materials disponibles per afrontar les qüestions plantejades són determinats per l'àmbit d'estudi del projecte REPICA, que comprèn el Parc Natural de l'Alt Pirineu i el Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. L'únic criteri aplicat en la selecció de les paleolocalitats (taula 1 i figura 1) ha estat que

Taula 1. Localitats paleobotàniques seleccionades per realitzar aquest estudi

Torberes analitzades	Longitud (° Est)	Latitud (° Nord)	Altitud (m s. n. m.)	Cronologia (ca. anys cal BP)	Bibliografia de referència
Torbera d'Estanilles (EST)	1,295115	42,625133	2.200	De -59 a 11.726	Cunill et al. (2013)
Torbera dels Clots de Rialba (CdR)	1,020047	42,667215	2.100	De -63 a 3.500	Rodríguez-González et al. (2023)
Torbera de la Bassa Nera (BSN)	0,924623	42,638323	1.900	De -61 a 10.003	Garcés-Pastor et al. (2017)
Torbera de l'Estany de la Coma de Burg (CMB)	1,304583	42,503846	1.821	De -51 a 3.300	Bal et al. (2011)

Font: elaboració pròpia a partir de Cunill et al. (2013), Rodríguez-González et al. (2023), Garcés-Pastor et al. (2017) i Bal et al. (2011).

Figura 1. Localització dels registres paleobotànics citats en aquest estudi



Paleolocalitats (estrelles): 1. Estany de la Coma de Burg (1.821 m s. n. m.); 2. Bassa Nera (1.900 m s. n. m.); 3. Clots de Rialba (2.100 m s. n. m.); 4. Torbera d'Estanilles (2.200 m s. n. m.).

Font: elaboració pròpia a partir del Model d'Elevacions del Terreny de 5x5 (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya).

fossin espais informatius de l'activitat agroramadera d'alta muntanya, així com la disponibilitat simultània de diagrames pol·línics i dades de macrocarbons sedimentaris ($>150\ \mu\text{m}$).

Totes les localitats d'estudi incloses en aquest article corresponen a torberes situades en conques de recepció reduïdes, fet que minimitza processos energètics com ara la resuspensió del sediment i el seu transport i redistribució posterior, que podrien dificultar la interpretació dels registres sedimentaris (Smol et al., 2002).

Els macrocarbons sedimentaris es van analitzar seguint la metodologia descrita per Carcaillet et al. (2001, 2007) adaptada a ambients de torbera, utilitzant el pes humit en lloc del volum de les mostres per reduir les diferències de densitat al llarg del registre. Per a cada mostra es va processar 1 g de sediment, tractat amb una dissolució de NaClO al 15% per blanquejar la matèria orgànica, i una solució de KOH al 5% per dissoldre i desagregar la fracció orgànica no carbonitzada. Les mostres es van escalfar a $70\ ^\circ\text{C}$ durant 90 minuts amb agitació suau i posteriorment es van tamisar amb una malla de $150\ \mu\text{m}$. Només s'han considerat les partícules superiors a $150\ \mu\text{m}$, ja que reflecteixen senyals d'incendi a escala local (Patterson et al., 1987; Whitlock i Larsen, 2001). Les

partícules de carbó es van comptar sota un estereomicroscopi (Zeiss Discovery V12) a 80×. Els recomptes de carbó es van normalitzar pel pes de la mostra i per la taxa de sedimentació per obtenir la taxa d'acumulació de carbó (CHAR, partícules cm⁻² any⁻¹). La identificació de pics d'incendis es va realitzar amb el programari CharAnalysis v1.1 (Higuera et al., 2009), utilitzant un model de mescla gaussiana en finestres mòbils de 1.000 anys i un llindar situat al percentil 95 de la distribució de soroll modelitzat.

La informació palinològica general publicada en els articles de la taula 1 es presenta en agrupacions de diferents tàxons pol·línics, per tal d'afavorir la interpretació de les dinàmiques agroramaderes i la seva lectura antropològica:

1. *La corba del percentatge de pol·len arbori (AP)* ha estat emprada com a indicadora d'obertura del paisatge: una davallada d'AP simultània a un pic de carbó suggereix un incendi amb pertorbació forestal; en absència de canvis d'AP, s'interpreta com a foc sense pertorbació.
2. *Els tàxons ruderals i nitròfils (Plantago, Rumex i Amaranthaceae)*, ja que, fins i tot en baixes freqüències, poden reflectir obertura del paisatge o sequedat regional.
3. *El percentatge de pol·len de cereals (Cereal-type, Secale)*, interpretat amb precaució perquè l'altitud pot limitar la dispersió d'aquests grans de pol·len.
4. *Els fongs copròfils (Sporormiella, Sordaria, Podospora i Cercophora)*, utilitzats com a indicadors locals de presència i d'intensitat de pastura. Les espores d'aquests fongs han estat tradicionalment vinculades a ambients rics en nutrients, com ara les femtes de molts animals herbívors, i per tant són indicadors de presència ramadera (Lee et al., 2022).

Les datacions ¹⁴C dels registres de la Bassa Nera i d'Estanilles s'han recalibrat en aquest article per actualitzar-les a la corba de calibratge radiomètric de l'hemisferi nord: IntCal20 (Reimer et al., 2020). En canvi, en cas de l'Estany de Burg i de Clots de Rialba s'han mantingut les datacions originals publicades en els articles respectius, atès que ja estaven calibrades amb aquesta mateixa corba (taula 1). Consegüentment, s'han realitzat nous models cronològics d'edat-profunditat a la Bassa Nera i Estanilles, incorporant-hi aquests calibratges. També s'han repetit les anàlisis de carbons dutes a terme amb el programa CharAnalysis per tal d'adaptar-les als models actualitzats, i igualment s'ha revisat la cronologia de les dades palinològiques. Totes les edats es presenten en anys cal BP, és a dir, en anys abans de 1950.

3. Resultats i discussió

3.1. Evidències palinològiques i de carbó per inferir ramaderia i foc al territori: Variables i criteris d'interpretació a discussió

El tractament i el recompte de carbons proposat per Carcaillet et al. (2001, 2007) ha permès analitzar la taxa d'acumulació de carbons de les quatre loca-

Taula 2. Valors màxims i mínims de la taxa d'acumulació de carbons sedimentaris (>150 µm)

Torberes analitzades	Altitud (m s. n. m.)	Cronologia de la seqüència estudiada (ca. anys cal BP)	Valor màxim CHAR (partícules de carbons cm ⁻² any ⁻¹)
Torbera d'Estanilles	2.200	De -59 a 11.726	1,4
Torbera dels Clots de Rialba	2.100	De -63 a 3.500	0,3
Torbera de la Bassa Nera	1.900	De -61 a 10.003	0,9
Torbera de l'Estany de la Coma de Burg	1.821	De -51 a 3.300	12,1

Font: elaboració pròpia a partir de Bal et al. (2011); Garcés-Pastor et al. (2017); Rodríguez-González et al. (2023) i Cunill et al. (2013).

litats estudiades (CHAR: partícules de carbons cm⁻² any⁻¹). La comparació entre seqüències revela una gran variabilitat entre els registres, i s'observa que les dades de CHAR més elevades es detecten a l'Estany de Burg, la localitat situada a menor altitud (taula 2).

La major acumulació de carbons a l'Estany de la Coma de Burg pot explicar-se, en part, per l'altitud. En primer lloc, és la localitat més allunyada del límit superior del bosc, i per tant disposa de més biomassa potencialment inflamable al seu entorn immediat. En segon lloc, les localitats situades a menor altitud poden acumular més carbons pel simple efecte de la gravetat i pel funcionament de la conca de drenatge, malgrat que la de Burg és molt petita.

Tot i això, l'altitud no és l'únic factor determinant en l'acumulació de carbons. Cada localitat presenta condicions pròpies que poden influir en la quantitat de carbó dipositat. Entre els principals condicionants hi ha els següents: la composició i el tipus de combustible (tronc, branca, fulla, arrels, etc.); la quantitat disponible (densitat de vegetació); les característiques del règim d'incendis (freqüència, intensitat i estacionalitat), i les condicions de transport, especialment la direcció i la intensitat del vent. A més, el transport del carbó depèn tant d'aquests plomalls eòlics com del drenatge de la conca i l'erosió que hi pugui haver. Els carbons de mida petita (microcarbons sedimentaris, ≤150 µm), més lleugers, poden desplaçar-se més de 100 km (Conedera et al., 2009). En canvi, els macrocarbons sedimentaris (≥150 µm) presenten una dispersió molt més limitada, generalment inferior als 6-7 km des del punt d'emissió (Clark, 1988; Whitlock i Millspaugh, 1996).

En resum, una taxa d'acumulació de carbons (CHAR) més elevada entre localitats no implica necessàriament una magnitud o una freqüència d'incendis més elevada, ja que pot estar fortament condicionada per factors locals, topogràfics, geomorfològics, hidrològics o atmosfèrics que afecten la producció, el transport i la deposició del carbó. Per aquest motiu, l'anàlisi realitzada en el present article se centra principalment a identificar els pics de carbons de cada seqüència i a determinar quins episodis presenten una magnitud més gran dins de cada localitat. La comparació dels patrons temporals entre localitats

properes permet, al seu torn, identificar coincidències i divergències regionals, i així caracteritzar de manera més robusta la dinàmica espacial del foc.

D'altra banda, la interpretació dels percentatges pol·línics ha de considerar que els diferents tàxons presenten taxes de producció i capacitats de dispersió molt desiguals (Piotrowska, 2008; Bresinsky et al., 2013). Les plantes anemòfiles produeixen grans quantitats de pol·len i, en general, estan ben representades als diagrames. *Pinus* n'és l'exemple més clar, ja que genera molt de pol·len altament dispersiu; en canvi, *Abies* és un altre cas d'espècie anemòfila però amb dispersió molt més limitada, i per això acostuma a estar subrepresentat als diagrames pol·línics. Per contra, moltes angiospermes zoòfiles produeixen poc pol·len, més pesant i adaptat a adherir-se als animals i no pas a dispersar-se a través del vent, per tant tendeixen a estar infrarepresentades (p. ex., *Fabaceae* o *Rosaceae*). Les espècies hidròfiles, com *Potamogeton*, només reflecteixen la vegetació estrictament aquàtica del sistema.

A més, la dispersió del pol·len pot estar condicionada per l'estructura de la vegetació i la geomorfologia: els boscos densos redueixen l'entrada de pol·len exterior, mentre que els espais oberts en faciliten la circulació (Pérez-Obiol i Roure, 1985; Sugita et al., 1999). En boscos caducifolis, la menor cobertura foliar a la primavera pot augmentar la contribució de pol·len procedent de l'exterior (Jackson i Lyford, 1999).

Per reduir aquests biaixos i captar tendències generals del paisatge es poden utilitzar agrupacions funcionals de tipus pol·línics (p. ex., ruderals, nitròfils o indicadors antròpics), que permeten minimitzar el soroll i obtenir una lectura més robusta de la dinàmica ambiental i de l'ús del sòl (Gil-Romera et al., 2014).

Respecte a la deposició d'indicadors ambientals en els dipòsits sedimentaris, sobretot en llacs i estanys, cal tenir presents diversos processos que poden modificar la representativitat del registre. En primer lloc, la focalització sedimentària (redistribució lateral cap al depocentre) pot fer que el punt de mostreig acumuli més sediment i indicadors paleoambientals dels que li pertocarien per superfície, la qual cosa pot inflar els fluxos aparents. En segon lloc, la classificació granulomètrica durant el transport i la deposició provoca que les partícules més grans i denses es dipositin abans i més a prop de la font, mentre que les més fines romanen més temps en suspensió i poden recórrer una distància més llarga. A aquests processos s'hi afegeixen els mecanismes de preservació i alteració postdeposicional, com ara la bioturbació i les condicions redox del sediment, que poden afectar la conservació diferencial de les partícules.

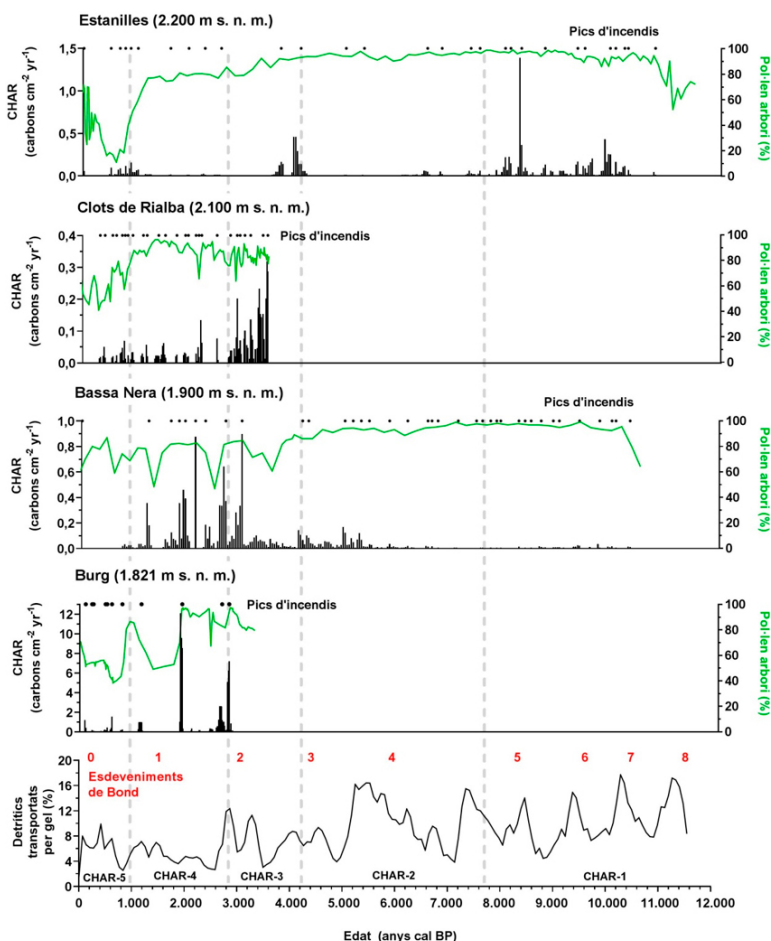
La magnitud d'aquests processos és modulada pel tipus d'arxiu, des de cubetes confinades fins a torberes (ombrotròfiques o minerotròfiques) i estanys, així com pel règim hidrològic propi de cada sistema. Aquests factors acaben determinant la resolució temporal, el radi font i la fidelitat del registre.

Per finalitzar aquesta discussió, cada registre s'ha interpretat segons el seu context geomorfològic i hidrològic, ponderant-ne màxims i mínims interns i prioritzant-ne les tendències temporals per damunt dels valors absoluts. Així, un valor baix en un registre i un de molt alt en un altre poden ser equiparables si coincideixen temporalment, atesa la naturalesa i el comportament específic de cada arxiu sedimentari.

3.2. Quina és la geohistòria ambiental dels incendis forestals a l'Alt Pirineu i el seu entorn? Quan s'inicia l'ús del foc com a eina per crear i gestionar pastures?

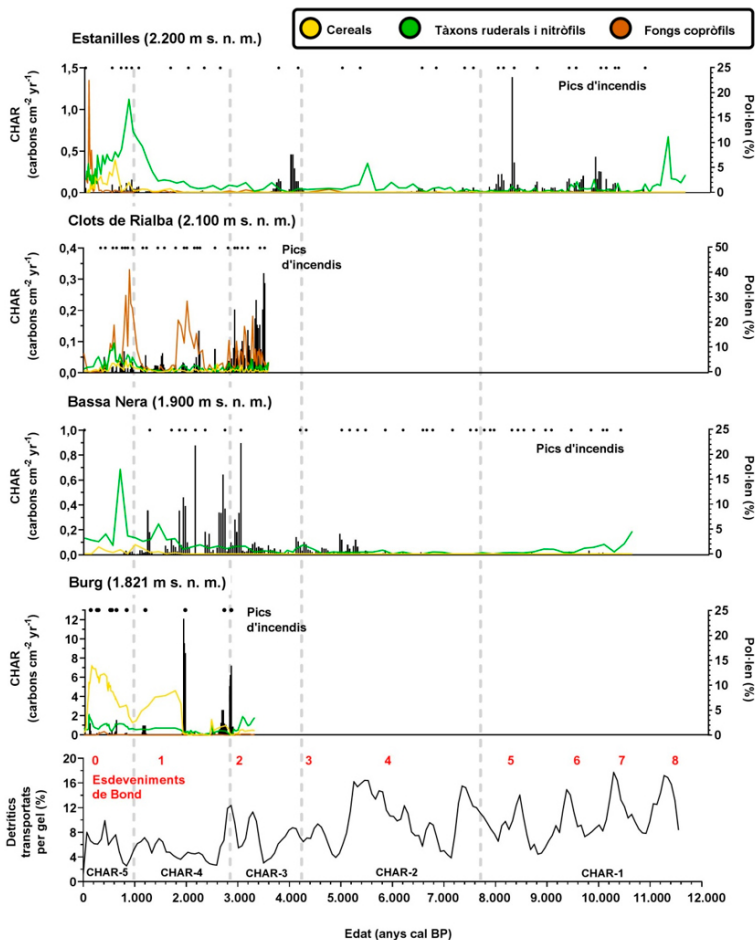
A partir del registre de carbons (CHAR) i de la corba de pol·len arbori, s'ha establert una zonació que permet distingir cinc fases en la geohistòria del règim d'incendis, corresponents a períodes en què els factors climàtics i/o l'acció antròpica haurien tingut un paper rellevant (figures 2 i 3).

Figura 2. Pertorbacions forestals a partir de les dades de macrocarbons sedimentaris (>150 µm) i pol·len arbori



Font: elaboració pròpia a partir de Bal et al. (2011); Garcés-Pastor et al. (2017); Rodríguez-González et al. (2023) i Cunill et al. (2013). Els indicadors ambientals locals es comparen amb l'índex de detritics transportats pel gel: Stack de MC52-V29191 + MC21-GGC22 (Bond et al., 2001).

Figura 3. Indicadors antròpics (macrocarbons sedimentaris >150 µm i agrupacions pal·inològiques) de paisatges agroramaders durant l'holocè



Font: elaboració pròpia a partir de Bal et al. (2011); Garcés-Pastor et al. (2017); Rodríguez-González et al. (2023) i Cunill et al. (2013). Els indicadors ambientals locals es comparen amb l'índex de detritics transportats pel gel: Stack de MC52-V29191 + MC21-GGC22 (Bond et al., 2001).

CHAR-1: des de l'inici de l'holocè fins a l'inici del neolític (ca. 11.700 a 7.600 anys cal BP)

L'anàlisi comparada amb diversos sectors del Pirineu i del nord de la península Ibèrica suggereix que els incendis més antics documentats a l'inici de l'holocè segueixen un patró recurrent en altres serralades de l'hemisferi nord (Gil-Romera et al., 2014; Leunda et al., 2020; Fisinger et al., 2021; Sánchez-Morales et al., 2022; Ardenghi et al., 2024). De manera general, aquests pri-

mers episodis d'incendis es consideren fenòmens naturals controlats principalment per dinàmiques climàtiques.

L'inici de l'holocè es caracteritza per un augment de les temperatures i de la insolació estival, condicions que van afavorir la ignició espontània, sovint per llamps, i van crear un entorn favorable per promoure la propagació del foc. Paral·lelament, el clima més càlid i humit de l'holocè inicial va facilitar una ràpida expansió de les comunitats forestals, especialment de *Betula* i *Pinus*, la qual cosa va generar una quantitat de biomassa inflamable molt superior a la del tardiglacial, quan la vegetació era massa dispersa per permetre incendis extensos. En registres com ara El Portalet i Lourdes s'ha determinat que la freqüència d'incendis entre fa 9.800 i 7.700 anys BP va estar estretament lligada a la dinàmica de les espècies mesòfiles, com ara *Betula* i *Corylus*, que proporcionaven el combustible principal (Gil-Romera et al., 2014; Rius et al., 2012).

Els registres de la Bassa Nera (BSN) i d'Estanilles (EST) s'inscriuen plenament en aquestes dinàmiques. Els pics de carbó detectats en totes dues localitats durant aquest període indiquen que el foc actuava com un component transversal del sistema ecològic, és a dir, qualsevol paisatge amb prou combustible podia cremar quan les condicions meteorològiques ho afavorien. El fet que aquests incendis apareguin en altituds elevades suggereix que moltes zones que actualment funcionen com a pastures eren, durant l'holocè inicial, espais més forestats, tal com mostren els diagrames d'EST entre 9.800 i 9.200 anys cal BP i, en menor intensitat, també els de la BSN (figura 2).

Tant a BSN com a EST, els principals pics de carbó coincideixen amb períodes climàtics abruptes, com ara diferents esdeveniments de Bond (Bond et al., 2001), entre els quals destaquen els esdeveniments climàtics freds i generalment secs del 9,3 i del 8,2 ka BP. Aquests episodis també han estat documentats en altres sectors dels Pirineus (Pérez-Sanz et al., 2013; Gil-Romera et al., 2014), a la serralada Cantàbrica (Sánchez-Morales et al., 2022) i als Alps (Schwörer et al., 2014).

Aquesta sincronia, juntament amb l'absència d'indicadors d'antropització considerats en aquest estudi, reforça la interpretació d'un règim d'incendis principalment governat pel clima durant la primera meitat de l'holocè. En aquest context, les dades pol·líniques no indiquen cap obertura sostinguda del paisatge associada a aquests esdeveniments, ni tampoc es disposa d'evidències arqueològiques que suggereixin una gestió sistemàtica del foc per part de les societats caçadores recol·lectores, caracteritzades per una petjada ambiental molt limitada.

Els registres indiquen, a més, que els incendis són de poca magnitud i no arriben a provocar canvis significatius en el paisatge vegetal fins a aproximadament 7.600 anys cal BP a EST i 7.000 anys cal BP a BSN, quan es registren descensos en la corba de pol·len arbori que podrien reflectir una obertura incipient del paisatge i l'inici del neolític a la zona.

CHAR-2: des del neolític fins a l'esdeveniment del 4,2 ka BP (ca. 7.600 a 4.200 anys cal BP)

Amb l'arribada del neolític, entre fa ca. 7.600 i 6.550 anys cal BP, els registres sedimentaris i palinològics mostren una correlació clara entre l'expansió de les activitats agroramaderes i l'augment del senyal de foc. Aquesta relació és especialment evident en localitats com ara l'Estany de la Bassa (Pallars Sobirà, 2.147 m s. n. m.), on la presència de pol·len de cereals ja es registra al voltant de 7.600 anys cal BP, consolidada cap a 6.900 anys cal BP, juntament amb pics de carbons sedimentaris, evidència una intervenció humana associada a les primeres fases de la neolitització (Rodríguez-González, 2024). Els senyals detectats a EST i BSN reforcen aquesta interpretació amb descensos d'AP coetanis a pics de carbó i a l'increment de tàxons ruderals i nitròfils, indicadors compatibles amb una obertura progressiva del paisatge vinculada a l'activitat humana.

A partir de ca. 6.000 anys cal BP, coincidint amb els canvis climàtics de l'holocè mitjà i l'inici de la transició al període neoglacial descrit per García-Ruiz et al. (2020), s'estableix un refredament generalitzat posterior a l'òptim climàtic de l'holocè (ca. 9.000 - 5.000 anys cal BP). Diversos autors situen al voltant de 5.700 anys cal BP una disminució regional de l'activitat d'incendis, atribuïda a condicions més fredes i humides que podrien haver-ne dificultat la propagació (Leunda et al., 2020; Rius et al., 2012; Garcés et al., 2017). En aquest context climàtic, tot i la tendència general a la baixa del senyal de foc, s'hi registren canvis importants en la composició forestal, amb un descens relatiu de les formacions caducifòlies i una presència més elevada de coníferes, especialment de l'avet (*Abies alba*) (Leunda et al., 2020; Miras et al., 2007; Pérez-Sanz et al., 2013; Pèlachs et al., 2026).

Entre 5.500 i 4.700 anys cal BP s'intensifiquen la ramaderia i el pasturatge a les zones alpines, tal com indica l'augment de jaciments per damunt de l'actual límit superior del bosc i l'increment d'incendis en localitats situades en altituds superiors a 2.000 m s. n. m. (Gassiot et al., 2014, 2017; Gassiot i Rodríguez-Antón, 2024). Al final d'aquesta fase, els carbons sedimentaris mostren pics d'activitat de foc a EST, acompanyats de descensos de pol·len arbori interpretats com a incendis amb pertorbació forestal, i un patró similar a BSN (figura 3). El 4.200 cal BP coincideix amb el Bond 3 i, segons Garcés-Pastor et al. (2017), la transició cap al període posterior podria solapar-se amb esdeveniments d'inundació registrats entre 4.500 i 3.900 anys cal BP.

En conjunt, aquesta fase reflecteix la consolidació d'un impacte humà encara incipient però cada cop més reconeixible, superposat a dinàmiques climàtiques de l'holocè mitjà i preneoglacial. Les dades de BSN i EST mostren que, a partir de ca. 7.600 anys cal BP, els primers senyals de foc d'origen antròpic i els indicadors de ramaderia comencen a manifestar-se de manera persistent (Pèlachs et al., 2017), marcant un canvi respecte als incendis estrictament naturals de la fase precedent (figura 3). Aquesta interpretació es veu reforçada per l'evidència arqueològica disponible al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, amb la presència dels jaciments de Covetes i de la Cova del Sardo (Gassiot i Rodríguez-Antón, 2024), aquest darrer amb diverses ocupacions

entre ca. 6.800 i 6.400 anys cal BP (Gassiot et al., 2015). En aquest sentit, el registre arqueològic indica una presència humana al PNAESM pràcticament contínua des de l'inici del neolític (Gassiot i Rodríguez-Antón, 2024).

CHAR-3: l'edat del bronze (ca. 4.200 i 2.800 anys cal BP)

Aquest interval s'inscriu plenament a l'edat del bronze (ca. 4.200 i 2.600 cal BP) i precedeix la transició cap a l'edat del ferro (ca. 2.600 cal BP). Es tracta d'un punt d'inflexió en la configuració del paisatge pirinenc, caracteritzat per un procés sostingut d'obertura i pertorbació forestal a totes les franges altitudinals.

Els registres palinològics mostren descensos acusats de pol·len arbori que accentuen la tendència decreixent iniciada en el període anterior (figura 2), mentre que els carbons sedimentaris evidencien processos intensos de degradació forestal. En aquesta fase es documenten incendis recurrents a BSN, a CdR i, de manera puntual, a EST, fet que indica que les pertorbacions forestals afecten ja de forma generalitzada tot el sector.

Els indicadors antròpics (figura 3) reforcen aquesta interpretació, especialment a CdR. L'augment de fongs copròfils apunta a una pressió ramadera consolidada, mentre que la presència de vegetació ruderal i nitròfila reflecteix una obertura del paisatge compatible amb pràctiques de pasturatge. Tot i això, són necessàries més dades arqueològiques per definir amb precisió la localització i la intensitat de l'ocupació humana en aquest període (Gassiot i Rodríguez-Antón, 2024).

En conjunt, aquesta fase correspon a un moment de transformació profunda del paisatge, amb l'establiment i la consolidació de pastures en zones elevades —com es veu clarament a CdR— i amb un règim de foc que esdevé cada vegada més freqüent i estructural, impulsat principalment per l'activitat humana en un context de pràctiques agroramaderes creixents.

CHAR-4: entre 2.800 i 1.000 anys cal BP

Aquest interval correspon a un període de grans pertorbacions forestals, durant el qual els boscos entren en una regressió sostinguda entre 1.800 i 2.200 m, tal com indiquen els valors de pol·len arbori a CMB, BSN, CdR i EST (figura 2). Al voltant de 2.200 anys cal BP es registren incendis gairebé simultanis a CdR, BSN i CMB, fet que indica una dinàmica de foc coherent a escala regional. Paral·lelament, els indicadors antròpics descriuen un paisatge cada cop més agroramader, especialment evident en la comparativa entre CMB i CdR (figura 3). Aquesta dinàmica s'inscriu cronològicament dins del període càlid romà (ca. 2.500 - 1.600 anys cal BP), un interval caracteritzat per condicions climàtiques relativament favorables al desenvolupament de les activitats humanes.

Durant el baix imperi romà (200-475 NE) i la transició cap a l'alta edat mitjana (475-1200 NE), les seqüències mostren incendis d'intensitat variable a totes les paleolocalitats. En el context de l'alta edat mitjana només en destaca una recuperació parcial de pol·len arbori a CMB durant el període fred de l'Alta Edat Mitjana (ca. 400-800 NE) (Pla i Catalan, 2005), coincidint parcialment amb la petita edat de gel de l'Antiguitat tardana (LALIA, 536-660 NE).

Tot i aquest breu repunt, el conjunt de registres indica la consolidació d'un paisatge obert, una característica que perdura des de fa més de dos mil anys a les parts altes de l'Alt Pirineu. Aquesta dinàmica és coherent amb el registre arqueològic del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, que mostra un increment molt significatiu de jaciments durant l'època tardoromana i els primers segles de l'edat mitjana, amb una tipologia diversa que inclou tant assentaments a l'aire lliure amb nombroses estructures com ocupacions en petits abrics (Gassiot i Rodríguez-Antón, 2024).

CHAR-5: els darrers mil anys

Durant els darrers mil anys, les quatre localitats analitzades mostren caigudes notables de pol·len arbori (figura 2). Paral·lelament, els indicadors antròpics ramaders assoleixen els valors màxims amb pics marcats en totes les franges (figura 3). Dins d'aquest patró general, EST destaca per la magnitud de la pertorbació, seguida de CMB i CdR, i, en menor mesura, BSN. A totes les franges altitudinals i localitats s'hi detecten cereals i tàxons ruderals i nitròfils, i a EST hi sobresurt un pic recent de fongs copròfils, indicador d'una presència ramadera intensa en època històrica recent.

Un cop superada la fase de màxima pertorbació, els valors de carbó decauen de manera generalitzada, situació coherent amb focs de baixa intensitat utilitzats principalment per mantenir prats i espais oberts ja existents. Només puntualment (EST, CdR) el foc s'hauria emprat per crear noves pastures o per eliminar bosc en actuacions agroramaderes específiques.

Aquesta dinàmica s'accentua al segle xx, quan l'abandó progressiu de les activitats tradicionals comporta la quasi desaparició del senyal de foc als registres sedimentaris recents i, alhora, una recuperació forestal reflectida en l'augment de pol·len arbori. L'expansió de la coberta arbòria, combinada amb la reducció dels focs de manteniment, implica una acumulació més elevada de biomassa i pot comportar, en un context de canvi climàtic, un augment del risc d'ignició i propagació d'incendis. En aquest sentit, conèixer en detall la geohistòria del foc al Pallars esdevé clau per orientar la gestió del paisatge i dissenyar estratègies d'adaptació als règims de foc futurs.

4. Conclusions

4.1. Evidències paleobotàniques de ramaderia i incendis

La reconstrucció de la història del foc i de la ramaderia a l'Alt Pirineu es basa en un conjunt de variables paleoambientals complementàries extretes dels arxius sedimentaris. Els macrocarbons (>150 µm) constitueixen l'indicador més robust per identificar incendis a escala local o de vall, ja que mostren una dispersió reduïda i reflecteixen episodis de foc propers al punt de sedimentació.

Pel que fa a la ramaderia, les evidències més directes són els fongs copròfils (*Sporormiella*, *Sordaria*, *Podospora* i *Cercophora*), que actuen com a indicadors de la presència d'herbívors. Unes altres variables fonamentals són el percentatge de pol·len arbori, que indica l'obertura del paisatge, i la presència de tàxons

ruderals o nitròfils (com ara *Plantago*, *Rumex* i *Amaranthaceae*), associats a zones alterades o enriquides en nutrients i, per tant, freqüentades pel bestiar.

4.2. Geohistòria dels incendis i separació de senyals climàtics i humans

La geohistòria del foc a l'Alt Pirineu mostra una evolució clara des d'un règim d'incendis dominats pel clima cap a una gestió antròpica creixent. Durant l'holocè inicial i fins al començament del neolític (fa aproximadament 7.600 anys), els incendis són principalment naturals, vinculats a l'increment de la biomassa forestal i a episodis de sequera estival.

A partir del neolític, i especialment durant l'edat del bronze, la pressió humana esdevé el factor determinant del règim del foc, el qual passa a utilitzar-se de manera sistemàtica com a eina de transformació del paisatge, la qual cosa genera grans perturbacions forestals i contribueix a expandir i a mantenir les pastures d'alta muntanya.

4.3. Inici de l'ús del foc per generar pastures i afavorir les pràctiques ramaderes

L'ús del foc com a instrument deliberat per convertir el bosc en pastures s'inicia clarament amb la neolització, fa entre 7.600 i 7.300 anys cal BP. En aquest interval, els registres de la Bassa Nera i d'Estanilles mostren els primers pics de carbó coincidents amb un descens d'AP i un augment d'indicadors de pastura, evidenciant l'obertura del bosc.

Aquesta pràctica s'intensifica posteriorment, la qual cosa contribueix a consolidar un paisatge d'alta muntanya que ha estat gestionat mitjançant cremes periòdiques fins al segle xx, moment en què l'abandó de les activitats tradicionals en marca el declivi.

En conjunt, aquests resultats confirmen que els paisatges d'alta muntanya del Pirineu són paisatges culturals de llarga durada, configurats per mil·lennis d'interaccions entre clima, foc i activitats humanes. Alhora, posen de manifest que comprendre aquesta geohistòria ambiental és essencial per orientar les estratègies de gestió i adaptació de l'espai en un context de canvi climàtic.

Finançament

2023 CLIMA 00085. *(Re)pensar la gestió dels espais oberts i de la ramaderia extensiva a l'Alt Pirineu en el context del Canvi climàtic (RePiCa)*. Finançat per Ajuts per finançar projectes de recerca per la mitigació i adaptació al canvi climàtic 2023. Generalitat de Catalunya. AGAUR.

PID2023-151124NB-I00. *Los fuegos holocenos en la configuración de los espacios abiertos de la montaña del Norte peninsular. Herramientas para la gestión de los incendios en áreas protegidas*. Finançat per Proyectos de I+D+i. Ministeri de Ciència i Innovació.

SGR-Cat 2021 00522. *Geografia Aplicada*. Generalitat de Catalunya. AGAUR.

Referències bibliogràfiques

- ARDENGHI, Nicolò; HARNING, David J.; RABERG, Jonathan H.; HOLMAN, Brooke R.; THORDARSON, T.; GEIRSDÓTTIR, Áslaug; MILLER, Gifford H. i SEPÚLVEDA, Julio (2024). «A Holocene history of climate, fire, landscape evolution, and human activity in northeastern Iceland». *Climate of the Past*, 20, 1087-1123.
<<https://doi.org/10.5194/cp-20-1087-2024>>
- BAL, Marie Claude; PÈLACHS, Albert; PÉREZ-OBÍOL, Ramon; JULIÀ, Ramon i CUNILL, Raquel (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, 179-190.
<<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.12.023>>
- BOND, Gerard; KROMER, Bernd; BEER, Juerg; MUSCHELER, Raimund; EVANS, Michael N.; SHOWERS, William; HOFFMANN, Sharon; LOTTI-BOND, Rusty; HAJDAS, Irka i BONANI, Georges (2001). «Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene». *Science*, 294(5549), 2130-2136.
<<https://doi.org/10.1126/science.1065680>>
- BRESINSKY, Andreas; KÖRNER, Christian; KADEREIT, Joachim W.; NEUHAUS, Gunther i SONNEWALD, Uwe (2013). *Strasbourg's plant sciences: Including prokaryotes and fungi*. Heidelberg: Springer Berlin.
- CARCAILLET, Christophe; BERGMAN, Ingela; DELORME, Samuel; HORNBERG, Gunnar i ZACKRISSON, Olle (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)>
- CARCAILLET, Christophe; BOUVIER, Matthieu; FRÉCHETTE, Benoît; LAROCHE, André-Charles i RICHARD, Pierre Jean Henri (2001). «Comparison of pollen-slide and sieving methods in lacustrine charcoal analyses for local and regional fire history». *Holocene*, 11, 467-476.
<<https://doi.org/10.1191/095968301678302904>>
- CLARK, James 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)>
- CONEDERA, Marco; TINNER, Willy; NEFF, Christophe; MEURER, Manfred; DICKENS, Angela F. i KREBS, Patrik (2009). «Reconstructing past fire regimes: Methods, applications, and relevance to fire management and conservation». *Quaternary Science Reviews*, 28, 555-576.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.11.005>>
- CUNILL, Raquel; SORIANO, Joan Manuel; BAL, Marie Claude; PÈLACHS, Albert i PÉREZ-OBÍOL, Ramon (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, Raquel; SORIANO, Joan Manuel; BAL, Marie Claude; PÈLACHS, Albert; RODRIGUEZ, Joan Manel i PÉREZ-OBÍOL, Ramon (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>>
- FINSINGER, Walter; VANEL, Quentin; RIBOLINI, Adriano i TINNER, Willy (2021). «Early to late Holocene vegetation and fire dynamics at the treeline in the Maritime Alps». *Vegetation History and Archaeobotany*, 30, 507-524.
<<https://doi.org/10.1007/s00334-020-00795-x>>

- GARCÉS-PASTOR, Sandra; CAÑELLAS-BOLTÀ, Núria; PÈLACHS, Albert; SORIANO, Joan Manuel; PÉREZ-OBÍOL, Ramon; PÉREZ-HAASE, Aaron; CALERO, Miguel Ángel; ANDREU, Oriol; ESCOLÀ, Nil i VEGAS-VILARRÚBIA, Teresa (2017). «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.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.04.016>>
- GARCÍA-CASAS, David i GASSIOT, Ermengol (2022). «High mountain pastoralism in the Pyrenees: A diachronic analysis of livestock structures in Aigüestortes i Estany de Sant Maurici National Park». *Journal of Mediterranean Archaeology*, 35(1), 5-31.
- GARCÍA-RUIZ, José María; PALACIOS, David; ANDRÉS, Nuria i LÓPEZ-MORENO, Juan I. (2020). «Neoglaciation in the Spanish Pyrenees: A multiproxy challenge». *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2(1), 21-36.
<<https://doi.org/10.1007/s42990-020-00022-9>>
- GASSIOT, Ermengol; JULIÀ, Ramon; RODRÍGUEZ, David; BAL, Marie Claude; PÈLACHS, Albert; MAZZUCCO, Niccolo i PÉREZ OBÍOL, Ramon (2014). «La alta montaña durante la Prehistoria: 10 años de investigación en el Pirineo catalán occidental». *Trabajo de Prehistoria*, 71(2), 261-281.
- GASSIOT, Ermengol i RODRÍGUEZ ANTÓN, David (2024). «Poblamiento e impacto humano en la alta montaña: 10.000 años de secuencia arqueológica y paleoambiental en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici». A: RUIZ-FERNÁNDEZ, J.; LUELMO-LAUTENSCHLAEGER, R.; PÉREZ-DÍAZ, S.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, C.; LÓPEZ-SÁEZ, J. A.; ALBA-SÁNCHEZ, F.; GALLINAR, D.; RUIZ-ALONSO, M.; GARCÍA, A. i GONZÁLEZ DÍAZ, B. (eds.). *Socio-ecología, arqueología y geohistoria de los paisajes de montaña ibéricos: Una mirada multidisciplinar*. Oviedo: CeCodet (Universidad de Oviedo); Editorial Trabe, 569-585.
- GASSIOT BALLBÈ, Ermengol; MAZZUCCO, Niccolo; CLEMENTE CONTE, Ignacio; RODRÍGUEZ ANTÓN, David; OBEA GÓMEZ, Laura; QUESADA CARRASCO, Manuel i DÍAZ BONILLA, Sara (2017). «The beginning of high mountain occupations in the Pyrenees: Human settlements and mobility from 18,000 cal BC to 2000 cal BC». A: CATALAN, Jordi; NINOT, Josep i ANIZ, Mercè (eds.). *High Mountain Conservation in a Changing World*. Springer Open, 75-105.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-55982-7_4>
- GASSIOT BALLBÈ, Ermengol; MAZZUCCO, Nicolo; OBEA, Laura; TARIFA MATEO, Nàdia; ANTOLÍN i TUTUSAUS, Ferran; CLOP GARCÍA, Xavier; NAVARRETE BELDA, Vanessa i 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*, 2012-2013, 199-218.
- GIL-ROMERA, Graciela; GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, Penélope; LASHERAS-ÁLVAREZ, Laura; SEVILLA-CALLEJO, Miguel; MORENO, Ana; VALERO-GARCÉS, Blas Lorenzo; LÓPEZ-MERINO, Lourdes; CARRIÓN, José Sergio; PÉREZ SANZ, Ana; ARANBARRI, Josu i GARCÍA-PRIETO, Eduardo (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>>
- GUNDERSON, Lance H. i HOLLING, Crawford Stanley (eds.) (2002). *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems*. Washington, DC: Island Press.

- HIGUERA, Philip E. (2009). *CharAnalysis 0.9: Diagnostic and Analytical Tools for Sediment-Charcoal Analysis* [Guia de l'usuari]. Bozeman, MT: Montana State University.
- JACKSON, Stephen T. i LYFORD, Mark E. (1999). «Pollen dispersal models in quaternary plant ecology: Assumptions, parameters, and prescriptions». *BotRev*, 65, 39-75.
<<https://doi.org/10.1007/BF02856557>>
- LEE, Claire M.; VAN GEEL, Bas i GOSLING, William D. (2022). «On the use of spores of coprophilous fungi preserved in sediments to indicate past herbivore presence». *Quaternary*, 5(3), 30.
<<https://doi.org/10.3390/quat5030030>>
- LEUNDA, María; GIL-ROMERA, Graciela; DANIAU, Anne Laure; BENITO, Blas M. i GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, Penelope (2020). «Holocene fire and vegetation dynamics in the Central Pyrenees (Spain)». *Catena*, 188, 104411.
<<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104411>>
- LÓPEZ-MORENO, Juan Ignacio; BENISTON, Martin i GARCÍA-RUIZ, José María (2008). «Environmental change and water management in the Pyrenees: Facts and future perspectives for Mediterranean mountains». *Global and Planetary Change*, 61(3-4), 300-312.
<<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.10.004>>
- LÓPEZ-SÁEZ, José Antonio; VARGAS, Grettel; RUIZ-FERNÁNDEZ, Jesús; BLARQUEZ, Olivier; ALBA-SÁNCHEZ, Francisca; OLIVA, Marc; PÉREZ-DÍAZ, Sebastián; ROBLES-LÓPEZ, Sandra i ABEL-SCHAAD, Daniel (2018). «Paleofire Dynamics in Central Spain during the Late Holocene: The Role of Climatic and Anthropogenic Forcing». *Land Degradation & Development*, 29(7), 2045-2059.
<<https://doi.org/10.1002/ldr.2751>>
- MIRAS, Yannick; EJARQUE, Ana; RIERA, Santiago; PALET, Josep Maria; ORENGO, Héctor i EUBA, Ixaso (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 m, Vall del Madriu, Andorre)». *Comptes Rendus Palevol*, 6(4), 291-300.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.crpv.2007.02.005>>
- PALAU, Jordi (2019). «El síndrome de la Referencia Cambiante a la hora de fijar objetivos de conservación». *Quercus*, 400, 28-35.
- (2020). *Rewilding Iberia: Explorando el potencial de la renaturalización en España*. Barcelona: Lynx Edicions.
- PALET MARTÍNEZ, Josep Maria; RIERA, Santiago; MIRAS, Yannick; EJARQUE, Ana i EUBA, Ixaso (2008). «Estudi i revalorització dels paisatges culturals d'alta muntanya: Els projectes Vall del Madriu (Andorra) i la Vansa-Serra del Cadí (Alt Urgell)». *Annals del Centre d'Estudis Comarcals del Ripollès*, 17, 89-107. <<https://raco.cat/index.php/AnnalsCER/article/view/225132/306489>>
- PATTERSON, William A.; EDWARDS, Kevin J. i MAGUIRE, David J. (1987). «Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire». *Quaternary Science Reviews*, 6(1), 3-23.
- PÈLACHS, Albert; PÉREZ-OBÍOL, Ramon; SORIANO, Joan Manuel; CUNILL, Raquel; BAL, Marie-Claude i GARCÍA-CODRON, Juan Carlos (2017). «Chapter 5: The Role of Environmental Geohistory in High-Mountain Landscape Conservation». A: CATALAN, Jordi; NINOT, Josep M. i ANIZ, M. Mercè. (eds.). *High Mountain Conservation in a Changing World*. Cham: Springer. Advances in Global Change Research, 107-129.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-55982-7_5>

- PÈLACHS, Albert; SCOTTI-SAINTAGNE, Caroline; SÁNCHEZ-MORALES, Marc; NADAL-TERSA, Jordi; FADY, Bruno; PÉREZ-HAASE, Aaron; CARRACEDO-MARTÍN, Virginia; CAMARERO, Jesús Julio; ROIG, Anne; CUNILL, Raquel; GARCÍA-AMORENA, Ignacio i PÉREZ-OBÍOL, Ramon (2026). «Phylogeography of Silver Fir in the Pyrenees Based on Palaeoecological and Genetic Data Shows Westward Colonisation». *Journal of Biogeography*, 53, e70166. <<https://doi.org/10.1111/jbi.70166>>
- PÉREZ-OBÍOL, Ramon; BAL, Marie Claude; PÈLACHS, Albert; CUNILL, Raquel i SORIANO, Joan Manuel (2012). «Vegetation dynamics and anthropogenically forced changes in the Estanilles peat bog (southern Pyrenees) during the last seven millennia». *Vegetation History and Archaeobotany*, 21(4-5), 385-396. <<https://doi.org/10.1007/s00334-012-0351-5>>
- PÉREZ-OBÍOL, Ramon; GARCÍA-CODRON, Juan Carlos; PÈLACHS, Albert; PÉREZ-HAASE, Aaron i SORIANO, Joan Manuel (2016). «Landscape dynamics and fire activity since 6740 cal yr BP in the Cantabrian region (La Molina peat bog, Puente Viesgo, Spain)». *Quaternary Science Review*, 135, 65-78. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.01.021>>
- PÉREZ-OBÍOL, Ramon i ROURE, Joan Maria (1985). «Relaciones entre la vegetación y su espectro polínico en Cataluña». *An Asoc Palinól Leng Esp*, 2, 329-338.
- PÉREZ-SANZ, Ana; GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, Penélope; MORENO, Ana; VALERO-GARCÉS, Blas; GIL-ROMERA, Graciela; RIERADEVALL, María; TARRATS, Pol; LASHERAS-ÁLVAREZ, Laura; MORELLÓN, Mario; BELMONTE, Ànchel; SANCHÓ, Carlos; SEVILLA-CALLEJO, Miguel i NAVAS, Ana (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>>
- PIOTROWSKA, Krystyna (2008). «Pollen production in selected species of anemophilous plants». *Acta Agrobotanica*, 61(1), 41-52. <<https://doi.org/10.5586/aa.2008.005>>
- PLA, Sergi i CATALAN, Jordi (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>>
- REIMER, Paula J.; AUSTIN, William E.; BARD, Edouard; BAYLISS, Alex; BLACKWELL, Paul G.; RAMSEY, Christopher Bronk; BUTZIN, Martin; CHENG, Henry; EDWARDS, R. Lawrence; FRIEDRICH, Michael; GROOTES, Pieter M.; GUILDERSON, Thomas P.; HAJDAS, Irka; HEATON, Timothy J.; HOGG, Alan G.; HUGHEN, Konrad A.; KROMER, Bernd; MANNING, Sturt W.; MUSCHELER, Raimund; PALMER, Jonathan G.; PEARSON, Charlotte; VAN DER PLICHT, Johannes; REIMER, Ronald W.; RICHARDS, David A.; SCOTT, E. Marian; SOUTON, John R.; TURNER, Chris S. M.; WACKER, Lukas; ADOLPHI, Fabian; BÜNTGEN, Ulf; CAPANO, Marilena; FAHRNI, Simon M.; FOGTMANN-SCHULZ, Alexandra; FRIEDRICH, Ronny; KÖHLER, Peter; KUDSK, Stefan; MIYAKE, Fusa; OLSEN, Jesper; REINIG, Florian; SAKAMOTO, Makiko; SOOK-DEO, Anica i TALAMO, Silvia (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>>
- RUS, Damien; VANNIÈRE, Boris i GALOP, Didier (2012). «Holocene history of fire, vegetation and land use from the central Pyrenees (France)». *Quaternary Research*, 77(1), 54-64. <<https://doi.org/10.1016/j.yqres.2011.09.009>>

- RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, Josep Manel (2024). *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)* [Tesi doctoral inèdita]. Cerdanyola del Vallès: Universitat Autònoma de Barcelona. <<http://hdl.handle.net/10803/693180>>
- RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, Josep-Manel; SÁNCHEZ-MORALES, Marc; NADAL-TERSA, Jordi; PÈLACHS, Albert i PÉREZ-OBÍOL, Ramon (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://doi.org/10.3390/d15030390>>
- SÁNCHEZ-MORALES, Marc; PÈLACHS, Albert; GARCÍA-CODRON, Juan Carlos; CARACEDO, Virginia i PÉREZ-OBÍOL, Ramon (2022). «Landscape dynamics and fire regime since 17,550 cal yr BP in the Cantabrian region (La Molina peat bog, Puente Viesgo, Spain)». *Quaternary Science Reviews*, 278, 107373. <<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107373>>
- SCHWÖRER, Christoph; KALTENRIEDER, Petra; GLUR, Lukas; BERLINGER, Matthias; ELBERT, Julie; FREI, Stephanie; GILLI, Adrian; HAFNER, Albert; ANSELMETTI, Flavio S.; GROSJEAN, Martin i TINNER, Willy (2014). «Holocene climate, fire and vegetation dynamics at the treeline in the Northwestern Swiss Alps». *Vegetation History and Archaeobotany*, 23, 479-496. <<https://doi.org/10.1007/s00334-013-0411-5>>
- SMOL, John P.; BIRKS, John B. i LAST, William M. (2002). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*. Volum 3: *Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- SUGITA, S.; GAILLARD, M. J. i BROSTRÖM, A. (1999). «Landscape openness and pollen records: A simulation approach». *Holocene*, 9, 409-421. <<https://doi.org/10.1191/095968399666429937>>
- WHITLOCK, Cathy i LARSEN, Chris (2001). «Charcoal as a fire proxy». A: SMOL, J. P.; BIRKS, H. F. i LAST, W. M. (eds.). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*. Volum 3: *Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 75-97. <https://doi.org/10.1007/0-306-47668-1_5>
- WHITLOCK, Cathy i MILLSPAUGH, Sarah 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/10.1177/095968369600600102>>