

# PAPEL DE LOS INCENDIOS EN LAS DINÁMICAS FORESTALES DEL NORTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA DURANTE EL HOLOCENO

ALBERT PÈLACHS MAÑOSA<sup>1</sup>, JUAN CARLOS GARCÍA CODRON<sup>2</sup>,  
JOAN MANUEL SORIANO LÓPEZ<sup>1</sup>, RAMON PÉREZ OBIOL<sup>3</sup>,  
JORDI CATALAN AGUILÀ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> GRAMP-UAB, Dept. Geografia, Edifici B - Fac. Filosofia i Lletres, Universitat Autònoma de Barcelona.

<sup>2</sup> GIMENA, Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio, Universidad de Cantabria.

<sup>3</sup> GRAMP-UAB, Unitat de Botànica, Dept. Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia, Edifici C, Fac. Biociències Universitat Autònoma de Barcelona.

<sup>4</sup> Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF), Universitat Autònoma de Barcelona, Centre d'Estudis Avançats Blanes-CSIC, Blanes.

correoelectrónico [albert.pelachs@uab.cat](mailto:albert.pelachs@uab.cat), [garciaj@unican.es](mailto:garciaj@unican.es), [joanmanuel.soriano@uab.cat](mailto:joanmanuel.soriano@uab.cat),  
[ramon.perez@uab.cat](mailto:ramon.perez@uab.cat), [j.catalan@creaf.uab.cat](mailto:j.catalan@creaf.uab.cat)

**RESUMEN:** El estudio comparado de ocho registros sedimentarios permite discutir el papel del fuego a lo largo del Holoceno y en especial durante los últimos 2.800 años cal BP. Tres de ellos se encuentran en la montaña Cantábrica (turberas de la Molina, 534 m, del Sertal, 1.002 m y del Cueto de la Avellanosa, 1.340 m) y los otros cinco registros pertenecen al Pirineo catalán (Estany Llebreta, 1.600 m, Estany de Burg, 1.821 m, turberas de la Bassa Nera, 1.890 m, Clots de Rialba, 2.090 m y Estanilles, 2.247 m)

A partir del recuento de los carbones sedimentarios (>150 µm) se ha podido determinar el origen local de los incendios, es decir, a nivel de cuenca hidrográfica. Para ello, se ha ajustado el protocolo establecido para sedimentos lacustres de Carcaillet et al. (2001 y 2007) y se ha adaptado, cuando ha sido necesario, a las turberas, considerando el peso y no el volumen de la muestra con el fin de eludir el efecto de las diferencias de densidad del interior de la turbera. El recuento polínico de las especies forestales ha servido para contrastar la importancia de los impactos de los incendios forestales sobre la cobertura arbórea.

Los resultados han permitido validar la metodología y demostrar el origen local de la señal obtenida en todos los registros, tal y como indican las frecuencias de los incendios a distintas altitudes y en cuencas sedimentarias de dimensiones diferentes. Los registros más longevos han permitido obtener una secuencia de incendios prácticamente ininterrumpida para los últimos 10.000 años, además, en todos ellos se constata un gran cambio en la intensidad y el régimen de los fuegos a partir de la Edad del Bronce. Se han relacionado estos cambios con la biomasa forestal, las condiciones climáticas (ciclos de Bond) y la influencia humana desigual a partir del Neolítico (estrechamente

relacionada con la actividad agro-ganadera propia del lugar). La historia de las ocupaciones humanas en ambas regiones está en concordancia con el hecho observado de que la huella del fuego en la montaña Cantábrica sea mucho mayor que en los Pirineos de Lérica.

**Palabras clave:** carbones sedimentarios, Pirineos, Cantabria, Holoceno, fuego.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la península ibérica se han presentado trabajos de síntesis de la evolución del paisaje vegetal a lo largo del Holoceno usando el polen (Allen et al., 1996; Ramil-Rego et al., 1998; Riera, 2006; Pérez-Obiol et al., 2011; Carrión, 2012) y otros indicadores (García-Amorena et al., 2008), que han puesto de manifiesto la desigual distribución de la información y la falta de estudios multi-proxy en algunas regiones.

En los últimos años se han publicado diversos artículos demostrando la influencia del fuego en el paisaje en el Hemisferio Norte desde los inicios del Holoceno y se ha vinculado a la disponibilidad de biomasa y a episodios climáticos (Power et al., 2008; Carcaillet et al., 2012; Feurdean et al., 2012; Gil-Romera et al., 2014). El advenimiento del Neolítico y las sucesivas etapas culturales hasta la Edad Media han mostrado como el fuego ha sido un gran aliado para abrir espacios forestales con árboles y mantener paisajes abiertos una vez la vegetación arbórea había desaparecido (Bal et al., 2011; Cunill et al., 2012; Feurdean et al., 2012; Gil-Romera et al., 2014).

En la zona Cantábrica, apenas existen trabajos paleoecológicos que incorporen la señal de incendios de forma específica e independiente de la señal polínica como se hace en el artículo de Pérez-Obiol et al. (2016). Sí que se ha hecho con éxito en el Pirineo donde los carbones han aportado información relevante sobre la frecuencia e intensidad de los episodios de fuego a lo largo de la historia (Carcaillet, 1998; Tinner et al., 2005; Miras et al., 2007; Bal et al., 2011; Cunill et al., 2013, Gil-Romera et al., 2014).

Desde la biogeografía el interés está en el tipo de combustible quemado (pino y otras coníferas en el Pirineo y caducifolios en la montaña Cantábrica), el tipo de formación quemada (bosque o monte bajo), la estacionalidad de los fuegos (de invierno o de verano) y sobre todo las causas de los incendios (origen natural o humano). Pero lo cierto es que si es difícil tratar estos temas para los últimos siglos (Carracedo, 2015) tampoco existen estudios que permitan saber si en el pasado esto siempre ha sido así y es difícil hacer aproximaciones a partir de las principales tendencias climáticas durante el Holoceno y las ocupaciones humanas que lo han acompañado.

El objetivo principal de esta comunicación es aportar datos nuevos para la interpretación de los incendios forestales a largo del Holoceno (en especial

durante la segunda mitad) en dos zonas del norte de la península ibérica: la montaña cantábrica y los Pirineos catalanes, y discutir sus causas a partir de informaciones climáticas y biogeográficas derivadas de los datos polínicos.

Los datos aportados por Rius et al. (2011 y 2012) teniendo en cuenta fuegos, vegetación y localidades diversas sirven de base para expresar los resultados esperables:

- 1) Durante la primera mitad del Holoceno (8500-5500 años cal BP) la frecuencia de incendios es elevada (hasta 5 fuegos/500 años). Favorecida por unas condiciones secas y cálidas, la recurrencia de incendios muestra una fuerte sincronía entre los sitios y parece ser impulsada principalmente por el aumento de la temperatura de verano y la estacionalidad puede promover o inhibir la reincidencia de incendios. Al final de este intervalo los autores atribuyen la variabilidad de los fuegos a la actividad humana local.
- 2) Durante la segunda mitad del Holoceno (4000-3000 años cal BP) las condiciones húmedas y frías han llevado a una desaparición en la frecuencia de incendios (a 0 fuegos/500 años), probablemente impulsada por el clima y la consiguiente reducción de las actividades humanas.
- 3) A partir del 3000 cal BP y hasta hace 500 años cal BP, la frecuencia del fuego parece estar impulsada por actividades agropecuarias (4 fuegos/500 años). Según los autores la sociedad usó el fuego como una herramienta destacada en la gestión espacial.

## 2. ZONA DE ESTUDIO

El estudio comparado de ocho registros sedimentarios permite discutir el papel del fuego a lo largo del Holoceno. Tres de ellos se encuentran en la montaña Cantábrica (turberas de la Molina, 534 m, del Sertal, 1.002 m y del Cueto de la Avellanosa, 1.340 m) y los otros cinco registros pertenecen al Pirineo catalán (Estany Llebreta, 1.600 m, Estany de Burg, 1.821 m, turberas de la Bassa Nera, 1.890 m, de Clots de Rialba, 2.090 m y de Estanilles, 2.247 m) (Figura 1).

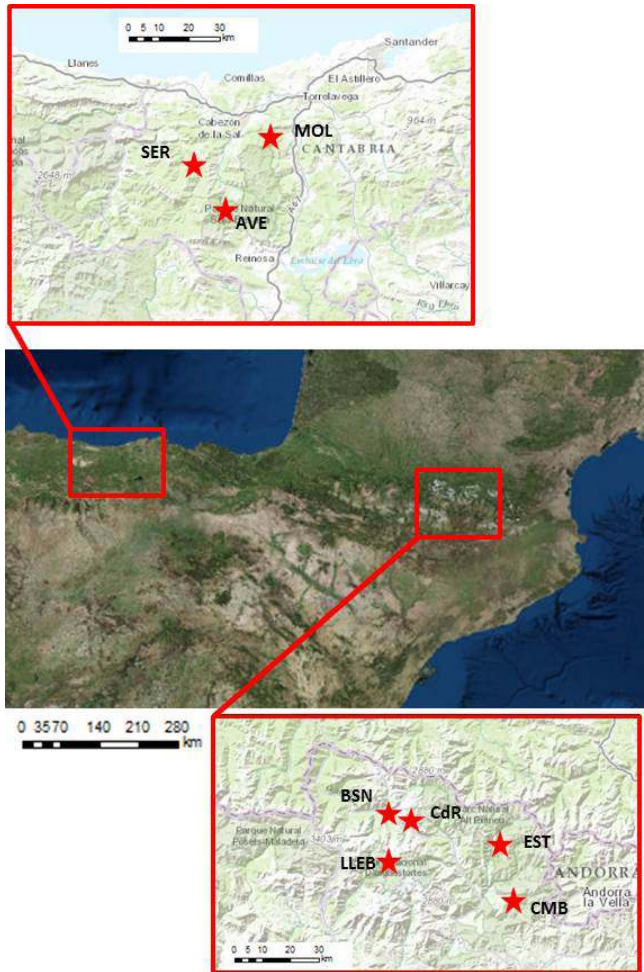
## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. *Material disponible*

#### 3.1.1. Montaña Cantábrica

1. La Molina (MOL). Altitud: 484 m. Material: turba. Sedimento disponible: 2,40 m y una datación de base a 4,67 m de 18.840 años cal BP; 2. Sertal (SER). Altitud: 1.002 m. Material: suelo higroturboso. Sedimento disponible: 63 cm y una datación de base de 5045 a 5310 años cal BP; 3. Cueto de la Avellanosa (AVE). Altitud: 1.340 m. Material: turba. Sedimento disponible: se estiman 4,25 m y una datación de base: 7160 a 6890 años cal BP.

Figura 1. Mapa de situación de las localidades analizadas.



### 3.1.2. Pirineos

4. Llebreta (LLEB). Altitud: 1.615 m. Material: lacustre. Sedimento disponible: 9 m y una datación de base: 3.540 años cal BP; 5. Estany de Burg (CMB). Altitud: 1.821 m. Material: lacustre y palustre. Sedimento disponible: 14,41 m. Datación de base: 19.906 años cal BP; 6. Bassa Nera (BSN). Altitud: 1889 m. Material: turba. Sedimento disponible: 2,70 m y una datación de base de entre 9490 a 9550 años cal BP; 7. Clots de Rialba (CdR). Altitud: 2090 m. Material: turba. Sedimento disponible: se estiman 20 m. Datación de base: no existe, la datación más profunda hasta el momento es a 840 cm y ha llegado a 7220 +/- 30 años cal BP; 8. Estanilles (EST). Altitud: 2.247 m. Material: turba y lacustre. Sedimento disponible: 2,75 m. y una datación de base a 11.700 cal BP.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Carbones sedimentarios

Extracción de carbones sedimentarios según un protocolo propio adaptado (Pérez-Obiol et al., 2016) de Carcaillet et al. (2001, 2007) que equipara  $\text{mm}^2/\text{cm}^3$  en sedimentos de lago a  $\text{mm}^2/\text{g}$  en turberas. En todas las muestras se ha realizado el recuento de carbones ( $>150 \mu\text{m}$ ) agrupándolos en categorías de tamaño (clase 1= $0,0625 \text{ mm}^2$ , clase 2= $0,125 \text{ mm}^2$ , clase 3= $0,25 \text{ mm}^2$ , clase 4= $0,5625 \text{ mm}^2$ , clase 5= $1 \text{ mm}^2$ , clase 6= $1,5625 \text{ mm}^2$ , clase 7= $3,125 \text{ mm}^2$ , clase 8= $6,25 \text{ mm}^2$ ) para diferenciar los carbones transportados desde larga distancia de los originados a corta distancia. La concentración de macrocarbones ha permitido estimar los incendios locales (Whitlock y Larsen, 2001).

### 4.2. Análisis polínicos

Tratamiento físico-químico estándar de las muestras. Para la identificación y recuento de los taxones esporopolínicos y otros palinomorfos se han utilizado las colecciones de referencia apropiadas para el ámbito de estudio y claves de identificación o atlas (por ejemplo, Moore et al. 1991; Reille, 1992, 1998). Para AVE y SER no disponemos aún de resultados propios.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

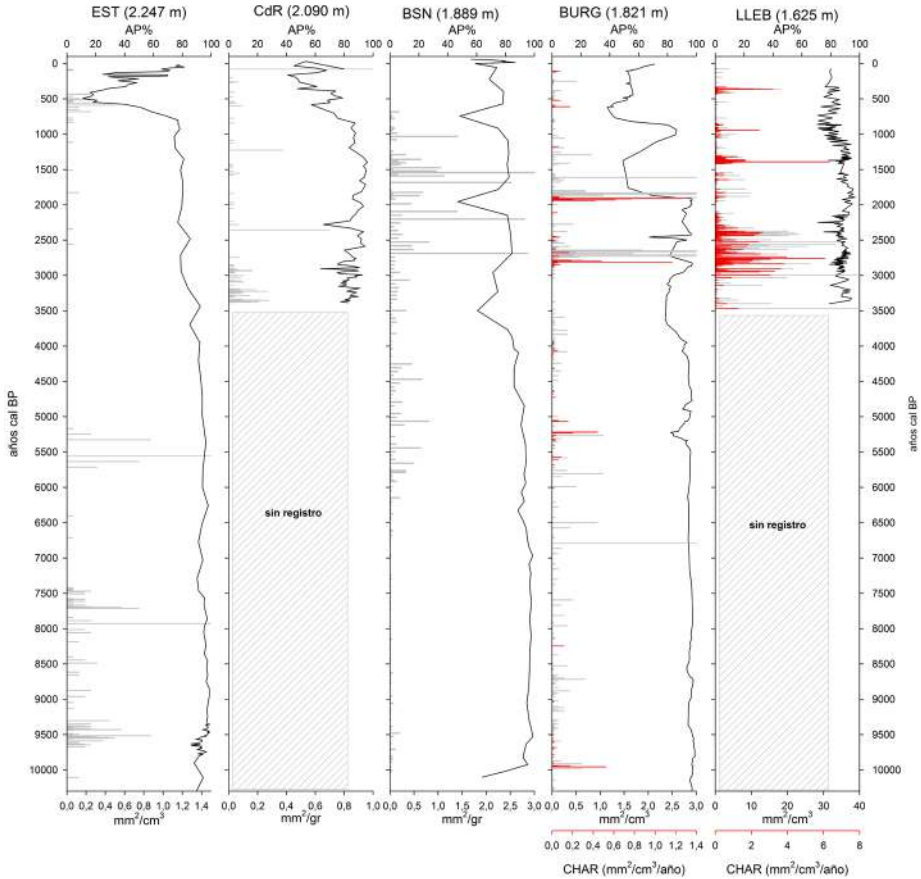
A la hora de interpretar los resultados de los valores de los carbones sedimentarios hay que tener en cuenta diversas consideraciones que son claves para su explicación:

a) Los carbones sedimentarios indican una señal local de los fuegos originados por especies leñosas. Su localización debe buscarse en el propio valle. Según los modelos, trabajar con carbones de tamaño igual o superior a  $150 \mu\text{m}$ , implica no ir más allá de unos 6-7 km de distancia de la columna de humo. Los resultados que se presentan integran esta señal a partir de la suma de todos los fragmentos identificados, por ello se consideran buenos indicadores de “episodios de incendio” (*fire events* en inglés).

En este sentido, uno de los principales resultados del estudio comparado es que en todos los registros analizados, tanto en Pirineo como en Montaña cantábrica, se han podido identificar episodios de incendio en la mayor parte del Holoceno (Figura 2 y Figura 3).

b) El número de fragmentos de cada muestra y los tamaños que tienen los carbones vegetales son un buen indicador de la intensidad del fuego, aunque estimar el tamaño de los incendios, su severidad o intensidad sólo es posible en términos generales. También puede ocurrir que los procesos de deposición de carbón vegetal en los registros sedimentarios ocurran algunos años después de los fuegos (Whitlock y Larsen, 2001).

Figura 2. Carbones sedimentarios de las localidades pirenaicas.

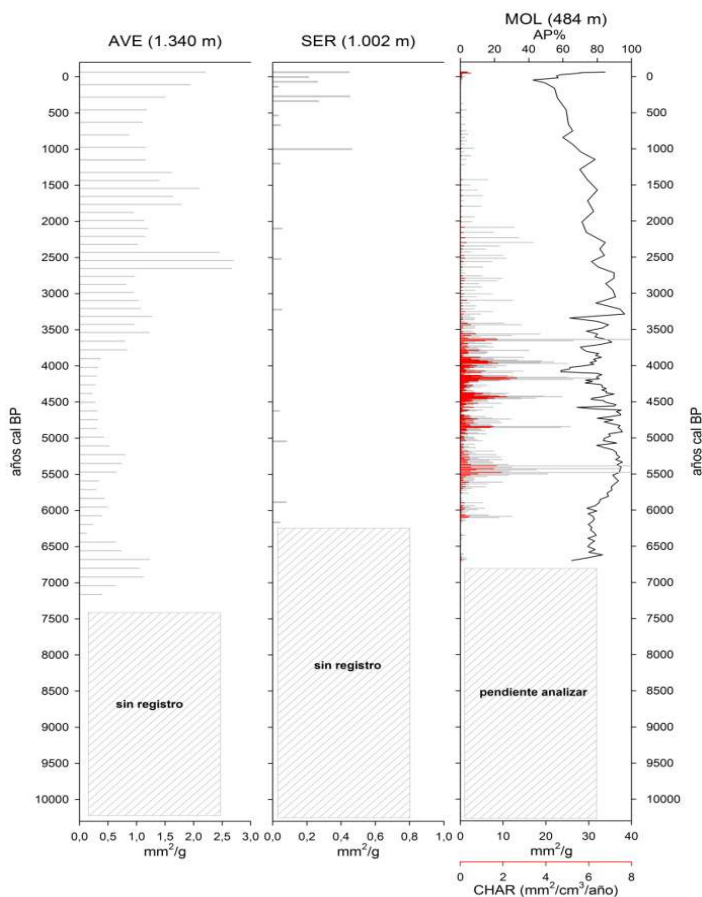


Por este motivo, los resultados de las curvas de carbón vegetal deben considerarse con extremada prudencia interpretativa. Ahora bien, para minimizar el error, validar los resultados y estar seguros que los carbones no son el resultado de la removilización erosiva del mismo episodio de incendios, existe la posibilidad de dividir los fragmentos de carbón por el número de años que integra cada muestra tratada, es decir, usar la tasa de sedimentación para calcular CHAR (*Charcoal accumulation rates* medida en  $\text{mm}^2/\text{g}/\text{año}$ ) y separar la señal de fondo (*background component*) de las alta frecuencias y picos (*peaks component*). También se recomienda usar otros indicadores que permitan estimar si ha habido procesos erosivos que puedan haber influido en el recuento de los carbones primarios añadiendo carbones secundarios (Whitlock y Larsen, 2001).

En esta comunicación, las tasas de acumulación del carbón vegetal (CHAR) en dos localidades del Pirineo (CMB y LLEB) y en una de la montaña cantá-

brica (MOL) comparadas con la curva de carbón sedimentario ( $\text{mm}^2/\text{g}$  o  $\text{mm}^2/\text{cm}^3$ ) son un buen ejemplo de este hecho (Figura 2 y Figura 3). Los resultados demuestran como CHAR permite matizar mejor la intensidad del incendio y su severidad si se compara con la caída de la cubierta forestal que indica la curva de Polen Arbóreo ( $\text{AP}^0\%$ ), aunque también resulta evidente que los cambios son proporcionales a la cantidad de carbón vegetal determinado y que los picos de las curvas de carbones sedimentarios en comparación con  $\text{AP}^0\%$  también describen las perturbaciones forestales sin necesidad de usar CHAR.

Figura 3. Carbones sedimentarios de las localidades cantábricas.



c) Los resultados indican que los registros situados a menor altitud (LLEB y MOL) presentan mayores concentraciones de carbones vegetales que los situados a mayor altitud (EST y CdR). ¿Se quema más a menor altitud? ¿Hay más combustible leñoso en cotas bajas? ¿Influye el tamaño de la cuenca? ¿Todas estas cosas a la vez?

d) La comparación de las localidades pirenaicas y cántabras confirman parcialmente la periodización de Rius et al. (2011, 2012). En los registros pirenaicos se observa la importancia de los fuegos en el inicio del Holoceno en el piso alpino (EST) y subalpino (CMB) (Figura 2), un hecho relacionado con la actividad solar (Cunill et al., 2013).

También se ha interpretado desde un punto de vista climático el incremento de picos entre 6000 y 5000 cal BP, coincidente con el episodio Bond Event 4 tal y como se ha señalado para Pirineo (Pèlachs et al., 2011) y Montaña Cantábrica (Pérez-Obiol et al., 2016). Un momento histórico que coincide con el inicio del Neolítico en ambas zonas.

Entre 5000 y 3000 cal BP en Cantabria (MOL) y, en menor medida, en Burg (CMB) los episodios de incendios parecen evidentes.

En cambio, a partir del 3000 cal BP y hasta el 2500 cal BP la mayoría de los registros indican un incremento muy importante de los picos de carbón y una deforestación generalizada que coincide con el final de la Edad del Bronce y primera parte de la del Hierro.

Las aperturas forestales a partir de ese momento se prolongarán en el tiempo y las sucesivas perturbaciones en la transición al mundo romano y, sobre todo, durante la Edad Media acabarán de configurar un paisaje abierto que ha tenido en el fuego uno de los principales aliados hasta hace poco, como por ejemplo se puede observar en las cotas más altas pirenaicas (EST).

La falta de incendios significativos para los últimos siglos se debe atribuir al hecho de que las quemadas se han realizado sobre herbáceas y paisajes abiertos. Se trataría de fuegos de mantenimiento y no de apertura forestal.

## 6. CONCLUSIONES

La metodología utilizada combinando carbones sedimentarios y curvas de polen arbóreo (AP) ha servido para identificar episodios de incendios que se han podido relacionar con perturbaciones del sistema forestal.

La tasa de sedimentación aplicada a los carbones vegetales (CHAR) permite discernir mejor la señal de los incendios y distinguir los picos de la señal de fondo. Ahora bien, la curva de carbones sedimentarios junto con la curva de AP% también permite interpretar la señal de los incendios, la cual es mucho mayor a baja altitud que en las partes altas.

En los Pirineos se han distinguido incendios naturales en el inicio del Holoceno. La comparación de estos con la montaña Cantábrica, ha permitido observar la influencia humana desde el Neolítico, así como una intensificación a partir del Bronce y el Hierro que se ha prolongado hasta la Edad Media. Las quemadas más recientes han sido difíciles de identificar por la falta de carbón de leñosas dado la naturaleza de los incendios.



## 7. AGRADECIMIENTOS

El Llebreta no se habría podido estudiar sin el apoyo del Proyecto de Parques Nacionales: “Análisis ecológico de la culturización del paisaje de alta montaña desde el Neolítico: los Parques Nacionales de montaña como modelo (CUL-PA) (Ref. 998/2013)”. Del mismo modo que el Proyecto: “Geohistoria ambiental del fuego en el Holoceno. Patrones culturales y gestión territorial desde el inicio de la ganadería y la agricultura en la montaña Cantábrica y Pirineo” del Ministerio de Economía y Competitividad (CSO2012-39680-C02-02) ha servido para estudiar el resto de localidades paleobotánicas, que también han contado con la ayuda del “Grup de Geografia Aplicada” AGAUR – Generalitat de Catalunya (2009 SGR 106) y (2014 SGR 1090).

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, J. R. M., Huntley, B., Watts, W. A. (1996): “The vegetation and climate of northwest Iberian over the last 14000 yr”. *Journal of Q. Science*, 11 (2), 125-147.
- Bal, M.-C., Pèlachs, A., Pérez-Obiol, R., Julià, 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, 179-190.
- 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”. *The Holocene*, 11, 467-476.
- 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 (2), 465-477.
- Carcaillet, C., Hörnberg, G., Zackrisson, O. (2012): “Woody vegetation, fuel and fire track the melting of the Scandinavian ice-sheet before 9500 cal yr BP”. *Quaternary Research*, 78 (3), 540-548.
- Carracedo, V. (2015): *Incendios forestales y gestión del fuego en Cantabria*. Universidad de Cantabria, Santander, 574 pp [tesis doctoral].
- Carrión-García, J. S., ed. (2012): *Paleoflora y paleovegetación de la Península Ibérica e Islas Baleares: Plioceno-Cuaternario*. Ministerio de Economía y Competitividad y la Universidad de Murcia, Madrid.
- 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 (4-5), 373-384.
- 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.
- Feurdean, A., Spessa, A., Magyari, E. K., Willis, K. J., Veres, D., Hickler, T. (2012): “Trends in biomass burning in the Carpathian region over the last 15,000 years”. *Quat. Sci. Rev.*, 45, 111-125.
- García-Amorena, I., Morla, C., Rubiales, J. M., Gómez-Manzanaque, F. (2008):

- “Taxonomic composition of the Holocene forests or the northern coast of Spain, as determined from their macroremains”. *The Holocene*, 18, 819-829.
- 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., García-Prieto Fronce, E. (2014): “Biomass-modulated fire dynamics during the Last Glacial–Interglacial Transition at the Central Pyrenees (Spain)”. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 402, 113-124.
  - Miras, Y., Ejarque, A., Riera, S., Palet, J. M., Orenge, H., 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 m, Vall del Madriu, Andorre)”. *Les comptes rendus, Série Palevol*, 6 (4), 291-300.
  - Moore, P. D., Webb, J. A., Collinson, M. E. (1991): *Pollen Analysis*. Blackwell. Oxford.
  - 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, 75-93.
  - Pérez-Obiol, R., García-Codron, J. C., Pèlachs, A., Pérez-Haase, A., Soriano, J. M. (2016): “Landscape dynamics and fire activity since 6740 cal yr BP in the Cantabrian region (La Molina peat bog, Puente Viesgo, Spain)”. *Quaternary Science Reviews*, 135 (1), 65-78.
  - Power, M. J. J., Marlon, N., Ortiz, P. J., Bartlein, S. P., Harrison, F. E., Mayle, A., Ballouche, R. H. W., Bradshaw, C., Carcaillet, C., Cordova, S., Mooney, P. I., Moreno, I. C., Prentice, K., Thonicke, W., Tinner, C., Whitlock, Y., Zhang, Y., Zhao, A. (2008): “Changes in fire regimes since the Last Glacial Maximum: an assessment based on a global synthesis and analysis of charcoal data”. *Climate Dynamics*, 30, 887-907.
  - Ramil-Rego, P., Muñoz-Sobrinho, C., Rodríguez-Gutián, M., Gómez-Orellana, L. (1998): “Differences in the vegetation of the North Iberian Peninsula during the last 16,000 years”. *Plant Ecol.*, 138, 41-62.
  - Reille, M. (1992): *Pollen et spores d’Europe et d’Afrique du Nord*. Marseille. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Université d’Aix-Marseille III, Marseille.
  - Reille, M. (1998): *Pollen et spores d’Europe et d’Afrique du Nord - Supplément 2*. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Université d’Aix-Marseille III, Marseille.
  - Riera, S. (2006): “Cambios vegetales holocenos en la región mediterránea de la península ibérica: ensayo de síntesis”. *Ecosistemas*, 1.
  - Rius, D., Vannièrre, B., Galop, D., Richard, H (2011): “Holocene fire regime changes from multiple-site sedimentary charcoal analyses in the Lourdes basin (Pyrenees, France)”. *Quaternary Science Reviews*, 30, 1696-1709.
  - Rius, D., Vannièrre, B., Galop, D. (2012): “Holocene history of fire, vegetation and land use from the central Pyrenees (France)”. *Quat. Research*, 77, 54-64.
  - Tinner, W., Conedera, M., Ammann, B., Lotter, A. F. (2005): “Fire ecology north and south of the Alps since the last ice age”. *The Holocene*, 15, 1214-1226.
  - Whitlock, C., Larsen, C. (2001): Charcoal as a fire proxy. En Smol, J. P., Birks, H. J. B., Last, W. M., eds., *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*, vol. 3. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 75-97.