



APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

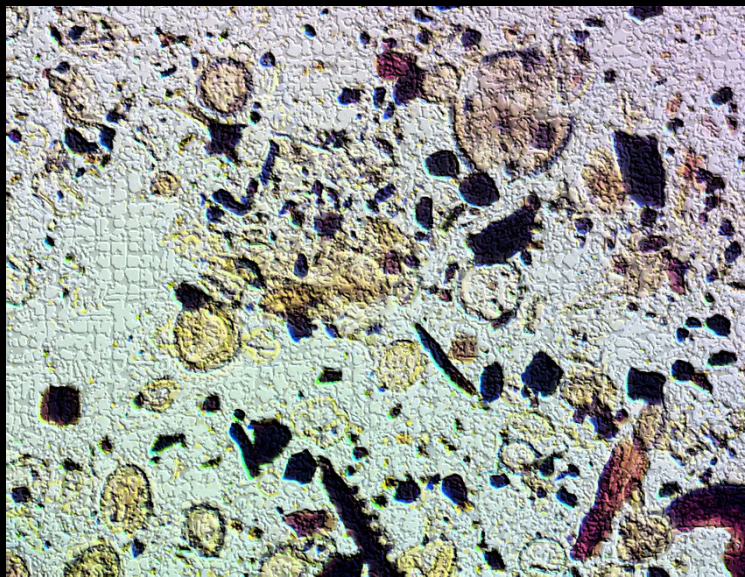
ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. Access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.

M^a Isabel Expósito Barea

APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A
CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE ATAPUERCA (BURGOS)
Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

TESIS DOCTORAL



Dirigida por: Dr. Francesc Burjachs i Casas



UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI

TARRAGONA
2018

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE
ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE
ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea

Tenía unos 10 años cuando pasó casi 10 horas en el tren, de Baza a Tarragona, escondido a ratos bajo el asiento en el que se sentaba un familiar, que sí tenía billete. Al llegar, no tardaron demasiado en enviarlo al pueblo a trabajar como pastor de cabras. Recordaba que dormía en el establo, donde se estaba caliente, y que tuvo que esperar mucho tiempo hasta que la señora se apiadó de él y le permitió comer dentro de la casa.

Para mi padre

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE
ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea

M^a Isabel Expósito Barea

**APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA
ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS
DE LA SIERRA DE ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS
NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO**

TESIS DOCTORAL

Dirigida por

Dr. Francesc Burjachs i Casas



UNIVERSITAT ROVIRA i VIRGILI

DEPARTAMENT D'HISTÒRIA I HISTÒRIA DE L'ART

TARRAGONA

2018

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE
ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

FAIG CONSTAR que aquest treball, titulat “Aproximaciones metodológicas desde la arqueopalinología a contextos antropogénicos de la Sierra de Atapuerca (Burgos) y a secuencias naturales del litoral mediterráneo”, que presenta M^a Isabel Expósito Barea per a l’obtenció del títol de Doctor, ha estat realitzat sota la meva direcció al Departament d’Història i Història de l’Art d’aquesta Universitat.

I STATE that the present study, entitled “Methodological approach from archaeopalynology to anthropogenic contexts of Sierra de Atapuerca (Burgos) and to natural sequences of Mediterranean coastline”, presented by M^a Isabel Expósito Barea for the award of the degree of Doctor, has been carried out under my supervision at the Department of History and History of Art of his university.

Tarragona, novembre 2018

El director de la Tesi doctoral

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Francesc Burjachs i Casas'.

Dr. Francesc Burjachs i Casas

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE
ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis doctoral es el resultado, en parte, del largo camino recorrido desde que empezó mi relación con la palinología. Echando la vista atrás, ese viaje ha pasado por etapas dispares, a veces sin mapas ni destino claro. Por suerte, el apoyo de compañeros y familiares ha llegado siempre en el momento oportuno y me ha traído hasta aquí. La materialización de esta tesis es, además del fruto del trabajo desarrollado durante estos últimos años, un motivo de celebración que quiero hacer extensivo a todas aquellas personas que han confiado en mí y en que este proyecto saldría adelante.

En primer lugar, quiero agradecer a los miembros del tribunal su atenta respuesta y el tiempo dedicado a juzgar esta tesis doctoral. También quiero agradecer a Robert Sala su interés en la evolución de este trabajo y la ayuda prestada en el ámbito administrativo, el más desconocido y problemático para muchos de nosotros.

Naturalmente, debo agradecer la supervisión del manuscrito llevada a cabo por el director de esta tesis, el Dr. Francesc Burjachs, con el que llevo compartiendo senda profesional desde finales del año 2001. Del mismo modo, debo hacer mención a la labor *iniciática* de Eudald Carbonell, que unos años antes suscitó mi interés y el de

muchos de mis compañeros hacia la Arqueología. Gracias a los dos.

Es necesario reconocer la gran labor desarrollada por los directores y el equipo de Atapuerca. Los trabajos realizados en el marco de los yacimientos son parte esencial de la labor desempeñada por gran parte del grupo humano que forma el IPHES. Aunque parezca difícil de creer, y a pesar de los años transcurridos, las campañas de excavación de Atapuerca todavía actúan como un aglutinante para el equipo con el que empecé a trabajar a finales de los años 90 del pasado siglo. El trabajo de campo ha sido para mí, como, para muchos de nosotros, un estímulo y una fuente inagotable de formación. Ha sido un lujo trabajar con Andreu, Antonio, Palmira, Rosa, Pep, Marina Mosquera, Raquel, Aurora, Marina Lozano, María, Juan, Lucía, Lena, Toni Pineda, Mónica, Bruno, Jesús, Xosé Pedro, Roser, Elena, Gerard y Toni Canals. Gracias a todos.

Por supuesto, debo agradecer el excelente trabajo de campo llevado a cabo por el equipo de excavación de *El Mirador*. Voldria fer menció especial a la Marta Fontanals, que ens ha fet sempre la feina tant fàcil, tant en aquest com en altres escenaris. Un plaer. Al Josep M^a Vergès vull agrair-li, a més de la seva tasca al *Mirador*,

que m'hagi donat la oportunitat de participar als treballs experimentals del Corral del Mas del Pepet. Aprovecho para recordar también a Juanin, Patri, Miquel, Ramon Viñas, Héctor y a todos aquellos que alguna vez han servido de alimento para las pulgas.

Por supuesto, debo detenerme en el reconocimiento a los compañeros vinculados con el área de Arqueobotánica. Por encima de todo, quiero agradecer a Ethel la confianza que me ha transmitido a lo largo de estos años y que ha sido crucial para llevar a buen término este viaje. Gracias, además, por la lectura crítica de los textos que componen este trabajo y por las sugerencias, siempre oportunas. A l'Aitor li he d'agrair moltes coses, sobre tot que parlem, perquè volem. Perquè tenim ganes de parlar. Perquè volem. Perquè a vegades volem un món nou. Perquè no ens agrada aquest ;) Gràcies per tot, ara és el teu torn i estic preparada pel que calgui fer. Molts ptns. Vull recordar també al Dan, que ja fa uns anys forma part de la diàspora d'investigadors que van créixer amb nosaltres i ara volten pel món. Gracias también a Elodie y a Cris, por sus ánimos y afecto.

Als companys de l'IPHES, Núria, Gala, Laura, Anna, Fèlix i Òscar, amb els que he compartit hores de feina i bons moments, moltes gràcies pel vostre interès. A Gema, Florent y Carlos, gracias por lo agradable del trabajo compartido y por vuestra comprensión en estos últimos meses. Gràcies especialment a la Vanessa per estar pendent i facilitar-me tots el tràmits, i per les estones de teràpia a l'ofice. Un petó.

A todos los que empezáis vuestro camino (Leo, Carlos, Iván, Edgar, José, Arturo, Paula, Miguel, Andión, Raquel, Diego, Nacho, Gala, Ana, Juan, Andrea...), disfrutad de estos años y mucha suerte.

Tengo que recordar a todas aquellas personas con las que he desarrollado un vínculo más allá

del ámbito estrictamente laboral. Gracias a Paola, Elías, Leonor, Miassa y Miriam por los momentos compartidos, y a Boris (Lolo y Amalia), por su cálido cuidado.

Quiero agradecer a mi madre y a mis hermanas Irene, Carol y Carmen su apoyo, especialmente en estos dos últimos años de *reagrupar pedazos*, tan tristes y raros para todas. Junto a nosotras han estado de manera incondicional Manel, Carlos y Esteban. A Cristina tengo que agradecerle el estar siempre pendiente de mi y de mi familia, gracias. Durante el tiempo en que esta tesis ha estado en suspenso todos ellos me han acompañado sin apremios, pero con firmeza, en el proceso de retomarla.

A Ariadna, Biel, Candela, Ángela y Pablo, que nos siguen los pasos y de los que aprendemos tanto, quiero agradecerles su cariño ilimitado.

Resulta difícil expresar mi agradecimiento a Isa, mi *escudo humano*, a quien admiro profundamente y que ha sido vital durante la redacción de esta tesis, como en tantos otros momentos. Para ella que no se cansa, no se rinde y no me deja nunca sola, mi gratitud infinita.

A Mari, Miguel, Juli, Enric e Isabel les agradezco el interés y el cariño, siempre presente

Y a todos los que olvido involuntariamente, también muchas gracias.

... i a vosaltres amics,
perquè em vindreu a veure
i ens mirarem feliços...

Tot l'enyor de demà
Joan Salvat-Papasseit

RESUMEN

Este trabajo toma como punto de partida el análisis palinológico desde la perspectiva de la antropización, considerando prioritaria la reconstrucción del entorno vegetal en el que se desarrollaron las actividades humanas durante el Pleistoceno y el Holoceno en el área mediterránea de la Península Ibérica, así como el tipo de gestión de los recursos vegetales que llevaron a cabo y su capacidad de transformación del ecosistema. Con la intensificación de las actividades antrópicas y su incidencia en el medio, las comunidades humanas interfieren en los procesos que rigen el medio natural alterando los elementos que

lo constituyen, entre los que se encuentran la vegetación y la fauna. A medida que crece la presión antrópica se manifiesta la deforestación o las fases de degradación de las comunidades vegetales que acompañan inevitablemente a la aparición de cultivos o plantas asociadas a las prácticas ganaderas.

Así, a través del análisis del polen y los palinomorfos no polínicos de la secuencia holocena de la Cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos), se ha reconstruido la evolución de la vegetación y el contexto climático de las ocupaciones del Neolítico y la Edad del Bronce. El análisis palinológico ha

evidenciado la intensidad de la presión antrópica ejercida en el medio y ha contribuido al conocimiento de la dinámica de formación de un depósito en *fumier* de gran complejidad.

La peculiaridad de este depósito ha motivado la realización del análisis tafonómico del espectro palinológico procedente del nivel Mir₄, encuadrado cronológicamente en la Edad del Bronce. La aportación fundamental de este estudio es la descripción de la relación, no siempre coincidente, del conjunto de palinomorfos identificado con respecto a las características descritas para las facies sedimentarias de procedencia, lo que ha contribuido significativamente al conocimiento de los procesos de formación del depósito.

En lo referente a los depósitos sedimentarios del Pleistoceno Inferior y Medio de las secuencias de Sima del Elefante, Gran Dolina y Galería (Sierra de Atapuerca, Burgos), la escasa resolución polínica observada ha suscitado la realización del análisis de los palinomorfos no polínicos contenidos en los sedimentos. Este estudio ratifica la potencialidad de los palinomorfos no polínicos, incluidos solo desde épocas recientes en los análisis palinológicos, como indicadores paleoecológicos.

Por su parte, los resultados polínicos y de microcarbones obtenidos a partir del estudio de diversas secuencias sedimentarias encuadradas en el Holoceno del ámbito mediterráneo de la Península Ibérica y las Islas Baleares han ratificado la importancia de los eventos de incendio en la formación y evolución del componente arbustivo y las maquias en el entorno mediterráneo y han

evidenciado la intensificación de este fenómeno a causa de la presión antrópica.

Como no podría ser de otro modo, las numerosas incógnitas promovidas por los diferentes trabajos realizados, han motivado la puesta en marcha de un programa experimental de replicación y observación sistemática destinado a contrastar algunas de las hipótesis planteadas y ha suscitado el planteamiento de nuevos proyectos experimentales que quedan recogidos en las propuestas de futuro.

Finalmente, los resultados derivados de los trabajos incluidos en esta tesis doctoral han evidenciado la idoneidad de la palinología arqueológica como herramienta para la reconstrucción paleoambiental. Del mismo modo, el análisis palinológico aplicado a secuencias naturales ha demostrado ser útil en la detección de los cambios antropogénicos de la vegetación, así como de su evolución en base a la incidencia y al cambio en la intensidad de las actividades antrópicas.

ÍNDICE

Capítulo 1	Introducción	1
Capítulo 2	Los Depósitos Estudiados	9
	2.1. Sierra de Atapuerca	10
	2.1.1. Trinchera del Ferrocarril	11
	2.1.1.1. Sima del Elefante (TE)	11
	2.1.1.2. Gran Dolina (TD)	13
	2.1.1.3. Galería (TG)	15
	2.1.2. La Cueva del El Mirador	16
	2.2. Secuencias naturales de la vertiente mediterránea de la Península Ibérica	20
	2.2.1. Burg (CMB-8)	20
	2.2.2. Castelló d'Empúries (S6)	21
	2.2.3. Besòs	23
	2.2.4. Cubelles	24
	2.2.5. Creixell	25
	2.2.6. Eivissa (TP1)	25
	2.2.7. Elx	27
	2.2.8. Cabo de Gata	28
Capítulo 3	Paleopalinología. Reconstrucción del contexto paleoecológico a través del registro polínico	29
	3.1. Introducción	29
	3.2. Presupuestos metodológicos	31
	3.2.1. Polen	31
	3.2.2. Palinomorfos No Polínicos	36
	3.2.3. Nomenclatura taxonómica	37
	3.2.3.1. Taxonomía polínica	37
	3.2.3.2. Tipología de los Palinomorfos No Polínicos	38
	3.2.4. Muestreo	39
	3.2.5. Técnicas de extracción y análisis	41
	3.2.6. Medida volumétrica	42
	3.2.7. Montaje del residuo	44
	3.2.8. Análisis y cuantificación	44
	3.3. Limitaciones de la disciplina	47
Capítulo 4	La Arqueopalinología. En busca del “paisaje polisémico”	49
	4.1. Introducción	49
	4.2. Historia de la disciplina	52
	4.3. La Palinología en depósitos arqueológicos	54
	4.4. El análisis arqueopalinológico y los yacimientos en cueva	55
	4.5. Aplicación	58
	4.6. La arqueopalinología en el marco del proceso de Neolitización	61

	Artículo 1. Expósito, I., Burjachs, F., Vergès, J. M. (2017). Human trace on the landscape during the Holocene at El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Spain): The palynological evidence. <i>Holocene</i> 27, 1201–1213.	67
Capítulo 5	Los Palinomorfos No Polínicos. No todo es polen	81
	5.1. Introducción	81
	5.2. Antecedentes	82
	5.3. Sistemática	83
	5.4. Significación ecológica	84
	5.4.1. Fungi	84
	5.4.2. Algas, Tecamebas y Cianobacterias	87
	5.4.3. Zoorrestos	89
	5.4.4. Otros palinomorfos	90
	5.5. Aplicación	91
	Artículo 2. Expósito, I., Burjachs, F., Allué, E. (2017). Filling in the gaps: The contribution of non-pollen palynomorphs to knowledge about the local environment of the Sierra de Atapuerca caves during the Pleistocene. <i>Quaternary International</i> 433, 224–242.	95
Capítulo 6	Partículas Microscópicas de Carbón. Donde hubo fuego	115
	6.1. Introducción	115
	6.2. La aproximación arqueobotánica	117
	6.3. Antecedentes	118
	6.4. Origen, dispersión y conservación	120
	6.5. Metodología de análisis	122
	6.6. Aplicación	124
	Artículo 3. Burjachs, F., Expósito, I. (2015). Charcoal and pollen analysis: Examples of Holocene fire dynamics in Mediterranean Iberian Peninsula. <i>Catena</i> 135, 340–349.	129
Capítulo 7	Tafonomía Polínica. Producido, Conservado, Registrado, Recuperado	139
	7.1. Introducción	139
	7.2. Mecanismos generales de alteración tafonómica	143
	7.2.1. Biodegradación	143
	7.2.2. Abrasión	144
	7.2.3. Bioerosión	145
	7.2.4. Distorsión	145

7.2.5. Necrocinesis y desplazamientos fosildiagénicos	146
7.2.6. Reagrupamiento	147
7.3. Análisis tafonómico del registro polínico	148
7.3.1. Mecanismos y procesos de alteración del polen y las esporas	149
7.3.1.1. Degradación mecánica	150
7.3.1.2. Factores químicos	150
7.3.1.3. Agentes biológicos	150
7.3.2. Vestigios de alteración del grano de polen	151
7.3.3. Alteraciones observadas	152
7.3.3.1. Oxidación	152
7.3.3.2. Fracturación	153
7.3.3.3. Compactación	153
7.4. Arqueopalinología en cueva	153
7.4.1. Particularidades tafonómicas de los contextos de estabulación	154
Artículo 4. Expósito, I., Burjachs, F. (2016). Taphonomic approach to the palynological record of burnt and unburnt samples from El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). <i>Quaternary International</i> 414, 258–271.	159
Capítulo 8 La Experimentación. Replicar para comprender	173
8.1. Introducción	173
8.2. El Corral del Mas del Pepet	175
8.3. El programa experimental	177
8.4. Desarrollo del programa experimental: la propuesta palinológica	180
8.4.1. Primeros resultados	184
Capítulo 9 Discusión	191
9.1. El espacio y el lugar	192
9.2. Los constructores del paisaje	195
9.3. La relatividad del sesgo	198
9.4. El <i>entre-tejido</i> del contexto mediterráneo	200
Capítulo 10 Conclusiones	203
Capítulo 11 Propuestas de futuro	207
Capítulo 12 Bibliografía	209

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE
ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2. Los Depósitos Estudiados

Figura 2.1.	Vista general de la Sierra de Atapuerca con la Trinchera del Ferrocarril a la izquierda de la imagen y El Mirador en la parte inferior.	10
Figura 2.2.	Mapa del sistema kárstico de la Sierra de Atapuerca basado en la topografía del grupo espeleológico Edelweiss (modificado de Ortega <i>et al.</i> 2013).	10
Figura 2.3.	Esquema de la secuencia estratigráfica del yacimiento de la Sima del Elefante (adaptado de Huguet <i>et al.</i> , 2017).	12
Figura 2.4.	Detalle de la secuencia estratigráfica de la pared norte del yacimiento de la Sima del Elefante.	12
Figura 2.5.	Esquema de la sección estratigráfica de Gran Dolina (adaptado de Rodríguez <i>et al.</i> 2011).	14
Figura 2.6.	Superficie de excavación del nivel TD10-3 del yacimiento de Gran Dolina.	14
Figura 2.7.	Imagen del yacimiento de Galería. En primer plano se observa la sección del conducto vertical (TN), en el centro el relleno que conforma el cuerpo central (TG), actualmente en proceso de excavación, y, al fondo, la Covacha de los Zarpazos (TZ).	15
Figura 2.8.	Esquema de la sección estratigráfica de Galería (adaptado de Rodríguez <i>et al.</i> 2011).	15
Figura 2.9.	Imagen de la entrada al yacimiento de la Cueva de El Mirador.	17
Figura 2.10.	Antigua planta de la Cueva de El Mirador (Extraída de GEE, 1981)	17
Figura 2.11.	Vista de la sección sur del sondeo realizado en El Mirador. En la imagen puede apreciarse la yuxtaposición de capas con diferente grado de cremación.	19
Figura 2.12.	Mapa de ubicación de los depósitos incluidos en Burjachs y Expósito (2015).	21

Capítulo 3. Paleopalinología

Figura 3.1.	Esquema básico de la estructura reproductora femenina de la flor (Dibujo: I.E.B).	31
Figura 3.2.	Principales componentes de la estructura básica de un grano polínico (Dibujo: I.E.B).	32
Figura 3.3.	Tétrada de polen. Formas y vistas fundamentales del grano de polen (Dibujo: I.E.B. Adaptado de Bui-Thi-Mai, 1974).	32
Figura 3.4.	Esquema de los componentes de la pared polínica (Dibujo: I.E.B).	32
Figura 3.5.	Componentes de la esporodermis del polen. Adaptado de Renault-Miskovsky <i>et al.</i> , 1976).	33
Figura 3.6.	Estratificación de la esporodermis, diversos tipos de ornamentación de la exina y sus elementos característicos (Dibujo: I.E.B).	33

Figura 3.7.	Esquema de los principales tipos polínicos (Dibujo: I.E.B).	35
Figura 3.8.	Fotografías de algunos palinomorfos no polínicos. a) <i>Polyadosporites</i> ; b) <i>Acari</i> ; c) <i>Pluricellaesporites</i> ; d) <i>Riccia</i> .	37
Figura 3.9.	Tipologías morfológicas más frecuentes empleadas en la identificación de palinomorfos no polínicos (Dibujo: I.E.B).	38
Figura 3.10.	Imagen del muestreo de un testimonio procedente de un depósito natural.	39
Figura 3.11.	Imagen del muestreo de parte de la secuencia estratigráfica del yacimiento de la Sima del Elefante durante la campaña de excavación del año 2015.	40
Figura 3.12.	Imagen del muestreo de la zona abdominal del esqueleto de un tapir aparecido en la excavación de Can Argilera, Camp dels Ninots, Caldes de Malavella, Girona (Fotografía: G.Campeny ©IPHES).	41
Figura 3.13.	Esquema del tratamiento de extracción del residuo palinológico (Burjachs, 1990; Burjachs <i>et al.</i> , 2003).	43
Figura 3.14.	Esquema de la fórmula del cálculo de la concentración palinológica (CP) y sus componentes (Loublier, 1978).	47

Capítulo 4. La Arqueopalinología

Figura 4.1.	Esquema en el que se muestra la interacción de las diferentes disciplinas de la arqueobotánica, así como sus objetos de estudio y objetivos principales.	51
Figura 4.2.	Recreación de las diversas formas de entrada de la lluvia polínica a una cueva.	57

Capítulo 5. Los Palinomorfos No Polínicos

Figura 5.1.	Algunos ejemplos de palinomorfos fúngicos. a) Hdv 16; b) <i>Alternaria</i> -tipo; c) <i>Glomus</i> sp.; d) <i>Pluricellaesporites</i> ; e) <i>Dictyosporites</i> ; f) Hdv 90; g) <i>Tilletia</i> ; h) <i>Chaetomium</i>	85
Figura 5.2.	Palinomorfos algales y cianobacteria. a) <i>Zygnema</i> ; b) <i>Gloeotrichia</i> ; c) <i>Debarya</i> ; d) <i>Spirogyra</i> .	88
Figura 5.3.	Algunos ejemplos de restos quitinosos pertenecientes a insectos. a) Hdv 52; b) Zoorresto; c) Hdv 36; d) Hdv 36c; e) Scolecodonte; f) Hdv 52.	89
Figura 5.4.	Palinomorfos de filiación ecológica indeterminada. a) <i>Pseudoschizaea</i> ; b) HdV 128; c) Protista; d) Grumo de protistas.	90

Capítulo 6. Partículas Microscópicas de Carbón

Figura 6.1.	Esquema de los principales factores condicionantes del régimen de incendios en diferentes escalas de envergadura y tiempo (Dibujo: I.E.B. Adaptado de Moritz <i>et al.</i> , 2005).	116
Figura 6.2.	Diagrama palinológico de la secuencia del depósito arqueológico de la Sima del Elefante (Sierra de Atapuerca, Burgos) que incluye la curva de representación de la concentración de partículas de microcarbón presentes en las láminas palinológicas.	119

Figura 6.3.	Dinámica de la dispersión y la deposición primaria y secundaria de las partículas de carbón producidas por un incendio forestal.	121
Figura 6.4.	Imagen que muestra el aspecto de las partículas de microcarbón en una lámina palinológica convencional.	123
Figura 6.5.	Imagen obtenida a partir de la selección de color de las partículas de microcarbón en un microscopio digital (HIROX-8700).	123
Figura 6.6.	Gráfico generado a partir del programa informático CharAnalysis en el que se muestra la correlación de los valores de partículas de carbón interpolado (<i>Cinterpolated</i>) y <i>background</i> (<i>Cbackground</i>), los umbrales de ruido (<i>Cnoise</i>), y los picos de incendio identificados (<i>Cpeak</i>).	124

Capítulo 7. Tafonomía Polínica

Figura 7.1.	Esquema de los subsistemas conceptuales de la Paleontología referentes a los procesos de fosilización (Dibujo I.E.B adaptado de Fernández López, 1988).	140
Figura 7.2.	Diagrama de flujo de la relación entre las entidades paleobiológicas y las entidades tafonómicas (Dibujo I.E.B. adaptado de Fernández López, 2000).	141
Figura 7.3.	Modelo de fosilización entendida desde un planteamiento individualista o globalista y transformista (Dibujo I.E.B. adaptado de Fernández López, 2000).	141
Figura 7.4.	Modelo de fosilización entendido desde un planteamiento sistemista y evolucionista (Dibujo I.E.B. adaptado de Fernández López, 2000).	142
Figura 7.5.	Factores que influyen en el estado de conservación, la abundancia y la distribución de los fósiles (Dibujo I.E.B. adaptado de Fernández López, 2000).	149
Figura 7.6.	Fotografía a 600 aumentos en la que se observa un polen alterado por oxidación (Euromex iScope IS.1153-Pli-Cámara digital CMOS 10 MP EUROMEX DC.10000-Pro).	152
Figura 7.7.	Fotografía a 600 aumentos en la que se observa un polen fracturado (Euromex iScope IS.1153-Pli-Cámara digital CMOS 10 MP EUROMEX DC.10000-Pro).	153
Figura 7.8.	Fotografía a 600 aumentos en la que se observa un polen compactado (Euromex iScope IS.1153-Pli-Cámara digital CMOS 10 MP EUROMEX DC.10000-Pro).	153
Figura 7.9.	Vista de la yuxtaposición de capas con diferente grado de cremación que conforma la estratigráfica típica del <i>fumier</i> arqueológico.	156

Capítulo 8. Experimentación

Figura 8.1.	Imágenes del Corral del Mas del Pepet, donde se muestran las ruinas de la antigua construcción y la pared de roca a la que se adosa el corral actual.	175
Figura 8.2.	Imagen en la que se aprecian los dos ámbitos diferenciados del corral.	176
Figura 8.3.	Imágenes que ilustran las características del relieve de la zona circundante al corral.	176
Figura 8.4.	Aspecto general de las zonas de pasto del ganado.	177
Figura 8.5.	Identificación taxonómica de especies por parte del Dr. Francesc Burjachs con el objetivo de crear el inventario botánico de la zona.	179

Figura 8.6.	Fotografías del ganado en las zonas de pasto.	180
Figura 8.7.	Fichas de trabajo en las que se muestra la planificación del muestreo arqueobotánico de las campañas 2015 y 2016.	182
Figura 8.8.	Testigo recogido durante la campaña 2014 y muestra de micromorfología de la campaña 2016.	183
Figura 8.9.	Trampa polínica en campo correspondiente a la campaña de 2014.	183
Figura 8.10.	Imagen de la recogida y pesado de leña en la campaña 2016.	183
Figura 8.11.	Imagen del seguimiento del ganado en las zonas de pasto.	184
Figura 8.12.	Muestreo de excrementos no quemados en el Corral durante la campaña 2015.	184
Figura 8.13.	Imagen de los excrementos amontonados durante la campaña 2016.	185
Figura 8.14.	Imagen del muestreo de excrementos quemados en el Corral durante la campaña 2015.	185
Figura 8.15.	Vista interior de los amontonamientos de estiércol quemados de la campaña de 2015. A la derecha está el montón número 2.	186
Figura 8.16.	Valores de la concentración (granos por gramo de sedimento seco) de los taxones de polen y NPP identificados en el montón 2 de CMP'15.	187
Figura 8.17.	Diagrama de los resultados polínicos preliminares de los excrementos quemados y no quemados del montón 2 de CMP'15.	188
Figura 8.18.	Frecuencias absolutas de los principales grupos de palinomorfos no polínicos identificados (NPPs) en el montón 2 de CMP'15.	189
Figura 8.19.	Frecuencias relativas de la representación de taxones anemófilos y entomófilos identificados en el montón 2 de CMP'15.	190

Índice de Tablas

Capítulo 1. Introducción

Tabla 1.1.	Relación de los artículos incluidos en este trabajo.	7
-------------------	--	---

Capítulo 2. Los Depósitos Estudiados

Tabla 2.1.	Dataciones de la Cueva de El Mirador (Vergès <i>et al.</i> , 2008).	18
Tabla 2.2.	Relación de los depósitos incluidos en el trabajo de Burjachs y Expósito (2015), así como de las dataciones disponibles para la base y el techo de las secuencias.	22

Capítulo 5. Los Palinomorfos No Polínicos

Tabla 5.1.	Listado de los NPPs más frecuentemente identificados y de las connotaciones ecológicas asociadas a cada uno de ellos.	92
-------------------	---	----

Capítulo 8. Experimentación

Tabla 8.1.	Descripción de las muestras analizadas y su contexto.	187
-------------------	---	-----

1 INTRODUCCIÓN

Las relaciones entre los grupos humanos, el clima y los recursos vegetales disponibles es el centro de un debate que se desarrolla de manera recurrente en el ámbito de la paleoecología y la arqueología (Gamble *et al.*, 2004; Büntgen *et al.*, 2011; Barton *et al.*, 2013). Esta interacción de los grupos humanos y el clima es especialmente interesante durante el Pleistoceno, cuando la sucesión de periodos climáticos tuvo necesariamente que influir en las estrategias de subsistencia y los patrones de asentamiento y movilidad de las comunidades humanas. La relación entre la variabilidad climática y el movimiento

poblacional se ha estudiado en la Península Ibérica en depósitos holocenos (Berger y Guilaine, 2009; González Sampériz *et al.*, 2009; Cortés *et al.*, 2012) y con algo menos de intensidad en contextos del Paleolítico Superior (Gamble *et al.*, 2004; Finlayson *et al.*, 2006; Schmidt *et al.*, 2012). Estos trabajos han evidenciado la estrecha relación existente entre el paleoambiente y la evolución de los engranajes sociales y culturales de las poblaciones humanas.

Paralelamente, la profundización en la casuística de los cambios paleoambientales ha permitido evidenciar la relevancia de los

grupos humanos en lo que concierne a la modificación del medio natural (López-Sáez y López-García, 1992; López-García *et al.*, 1997). Así, el estudio arqueopalinológico de secuencias procedentes de contextos arqueológicos o de sondeos naturales que contribuyen a su contextualización, ha generado nuevas hipótesis de tipo paleoclimático, además de contribuir a un mayor conocimiento de la evolución de la vegetación regional (Bryant y Holloway, 1983; Berglund, 2000, 2001).

La aplicación de los análisis paleopalinológicos a depósitos arqueológicos se inicia casi paralelamente al desarrollo de la disciplina (Bryant y Holloway, 1983; Davis, 1990). A pesar del largo camino recorrido, la arqueopalinología ha sido frecuentemente infravalorada, principalmente a causa de algunos factores limitantes entre los que se encuentran las supuestas discontinuidades sedimentarias de las secuencias arqueológicas, la conservación diferencial de los palinomorfos o el sesgo impuesto al registro palinológico por las comunidades humanas o animales (Carrión *et al.*, 2000a). De hecho, con el objetivo de evaluar la posible distorsión existente en este tipo de depósitos, se han venido desarrollando algunos trabajos de índole tafonómica (Girard, 1973; Dupré y Renault-Miskovsky, 1990). En cualquier caso, a medida que los análisis arqueopalinológicos avanzan y amplían su radio de acción, los prejuicios iniciales generan nuevos horizontes de análisis que tributan de manera incuestionable a las investigaciones de índole arqueológica (Diot, 1984/1985).

Este trabajo toma como punto de partida, precisamente, el análisis palinológico desde la perspectiva de la antropización, considerando

como prioritaria la reconstrucción de las características del paisaje cotidiano de esas comunidades humanas, así como del tipo de gestión de los recursos vegetales que llevaron a cabo y su capacidad de transformación del ecosistema. Las premisas básicas que atañen a la interacción de los grupos humanos con el paleoambiente, incluyen aspectos fundamentales que han de contribuir a la constitución de un entorno antrópicamente modificado. Algunos de estos aspectos, como la deforestación en el entorno de un asentamiento, el uso del fuego, el carácter natural o antrópico de los incendios forestales o la introducción de prácticas agrícolas o ganaderas, constituyen la base para establecer el grado de antropización del medio, la intensidad de la ocupación documentada y las fases de abandono acontecidas (López-Sáez *et al.*, 1998, 2000, 2003b; Galop y López-Sáez, 2002).

Desde luego, no siempre es posible vislumbrar la “huella humana” en el paisaje dibujado en los diagramas palinológicos. La primera dificultad manifiesta es la falta de resolución de algunos de los testimonios estudiados. El segundo obstáculo guarda relación con la discreta incidencia de los grupos humanos y sus actividades en el sistema natural en las cronologías más antiguas. En este ámbito cronológico, el espacio físico o *geosistema*, que rodeó la existencia de los grupos humanos se corresponde con un entorno regido de manera preeminente, por distintos procesos naturales, como el clima o la geología, y en el que la incidencia de la antropización es casi indetectable. Aun así, a pesar de que las características demográficas, sociales y culturales de los grupos humanos que habitaron la Península Ibérica durante Pleistoceno hicieron prácticamente invisible

su paso por los ecosistemas que habitaron, hemos intentado acercarnos a los datos obtenidos por el análisis polínico desde la perspectiva más antropogénica. Esto es, tomando en consideración el espectro palinológico obtenido no tanto como una descripción pasiva de la vegetación y el clima existente, sino como una fuente de información centrada en los recursos vegetales disponibles y las características climáticas imperantes. Estas dos cuestiones, el clima y los recursos vegetales disponibles condicionarán la subsistencia de estas comunidades y conducirán a los grupos humanos a su adaptación a los potenciales recursos aportados por el medio. Esta acomodación a un entorno cambiante seguramente se llevó a cabo a partir de pautas culturales relacionadas con su estructuración social (Steward, 1955), supeditada a cuestiones derivadas de los movimientos poblacionales o a los cambios tecnológicos en la gestión de los recursos (Redman, 1999).

Y aunque, como ya hemos dicho, hay que asumir la dificultad, en algunos casos, a la hora de realizar una reconstrucción paleoambiental completa, la arqueopalinología ha acometido la exploración de nuevas vías de análisis que permiten la restitución de los contextos ambientales pretéritos. Este es el caso de los palinomorfos no polínicos que forman parte del conjunto palinológico junto al polen y las esporas de musgos y helechos, y aportan datos complementarios de clima, antropización, dinámica hidrológica y cambios vegetacionales. Este archivo paleoambiental alternativo ha permitido, por ejemplo, la descripción de la evolución de algunas de las cavidades del sistema kárstico de Atapuerca, en las que estas comunidades desarrollaron sus actividades.

Con la intensificación de las actividades antrópicas y su incidencia en el medio, las comunidades humanas modifican el ritmo natural de muchos de los procesos que rigen el medio natural, así como alteran las características de los elementos que lo constituyen entre los que se encuentran la vegetación y la fauna. Desde el momento en que las condiciones paleoecológicas son alteradas artificialmente por los grupos humanos, debemos empezar a considerarlas como un producto histórico que surge como resultado de la interrelación de procesos naturales y prácticas sociales.

Es aquí cuando resulta evidente que la función de la Arqueopalinología no puede limitarse a la reconstrucción del medio, sino que debe necesariamente participar en el tipo de relación establecida entre estos grupos humanos y su entorno, lo que dará lugar al proceso de construcción social del paisaje (Criado Boado, 1993, 1999). El paisaje, complejo conceptualmente, constituye un reflejo de nuestra percepción subjetiva del medio que nos rodea. En cualquier caso, y partiendo del enfoque de la ecología histórica de que son las comunidades humanas las que contribuyen decisivamente a la transformación de ese paisaje, la historia de la vegetación aparece íntimamente ligada al concepto de “paisajes culturales” o ecosistemas culturizados (Laurie, 1970; López-Sáez y López-García, 1992; McDonnell y Pickett, 1993), que son el producto de la interacción entre los seres humanos y la naturaleza. Esta reciprocidad se produce en forma de un proceso dinámico dialéctico entre las actividades humanas y su repercusión en el medio natural (López-Sáez y López-García, 1992).

Estos cambios en la estructuración de la relación de las comunidades humanas con el medio son especialmente evidentes durante el Holoceno. Durante este período, la relativa estabilización y bonanza climáticas, favorecieron el cambio en la relación de los grupos humanos con su entorno, que al intensificarse contribuye a facilitar la visibilización de la huella humana en el paisaje.

La percepción palinológica de las actividades antrópicas implica la identificación de los llamados “indicadores polínicos de antropización” (Iversen, 1949; Behre, 1981, 1986, 1988) que suponen la presencia de cortejos polínicos específicos asociados al desarrollo de la agricultura o la ganadería (Galop, 1998; López-Sáez *et al.*, 2003b), o palinomorfos no polínicos que proliferan en contextos asociados a tales actividades (López-Sáez *et al.*, 2000; Galop y López-Sáez, 2002)

De hecho, durante el Holoceno, y especialmente en el período Neolítico, los cambios en la vegetación van a estar relacionados no sólo con los parámetros climáticos, sino especialmente con la acción antrópica sobre el medio, cada vez más vehemente. Así, la regresión de los bosques y el incremento de las formaciones herbáceas y arbustivas, que podrían deberse a la generalización de unas condiciones climáticas de frío y aridez, están relacionadas con el incremento de la actividad antropozoógena que favorece la proliferación de los matorrales y los bosques heliófilos y que se van a materializar, además, en la deforestación de una buena parte de la superficie boscosa ya en el Neolítico final.

Estos aspectos resultan más claramente detectables en el análisis de depósitos arqueológicos, por su resolución con respecto a las características de la vegetación local y extralocal, vinculada a las actividades antrópicas y la intensidad con que estas se desarrollaron (Behre, 1988). Desde la perspectiva de los registros aportados por el análisis de depósitos naturales, en los que también es posible dilucidar eventos de deforestación, picos de incendio y otros aspectos de origen posiblemente antrópico, resulta algo más complejo establecer cuál es el factor que ha incidido de manera más poderosa en los cambios acontecidos en la vegetación holocena de la Península Ibérica. La antropización del medio y algunos procesos no antropogénicos asociados al clima deben haberse solapado a menudo y son difícilmente distinguibles en algunos períodos en lo que respecta a sus efectos sobre la cobertura vegetal (Fernández *et al.*, 2018).

En términos generales, existe un importante corpus de información acerca de la evolución del clima Holoceno. Algunos estudios han puesto de manifiesto que la variabilidad climática y vegetacional a lo largo del Holoceno ha sido superior en los territorios mediterráneos que, en el área de influencia atlántica de la Península Ibérica, fundamentalmente a causa de la incidencia de las crisis de aridez (Stevenson y Harrison, 1992; Peñalba, 1994; Pérez-Obiol y Julià, 1994, Burjachs *et al.*, 1997; Julià *et al.*, 2001; Riera y Julià, 2002; Yll *et al.*, 2003, De Beaulieu *et al.*, 2005).

En cualquier caso, una dificultad añadida la constituye que todas las secuencias naturales estudiadas aquí se encuadran en el área climática mediterránea, caracterizada por

cambios estacionales en lo referente a temperatura y precipitaciones que condicionan el desarrollo de la vegetación (Blondel y Aronson, 1999). Además, la diversidad en formaciones geológicas, conformadas con materiales litológicos distintos, también han dado lugar a distintos suelos con grados de fertilidad diversa (Joffre y Rambal, 2002). Este contexto heterogéneo de gran diversidad paisajística se materializa en un mosaico vegetal caracterizado por la escasa vegetación y por un alto grado de erosión del suelo que, además, es fruto de la prolongada incidencia de la presión antrópica en el medio.

Esta tesis doctoral se organiza en torno a cuatro publicaciones. Cada una de ellas va precedida de un capítulo que actúa a modo de introducción a la metodología y problemática concretas desarrolladas en el artículo. Es por esta razón que la tesis no cuenta con los capítulos convencionales de marco teórico, marco conceptual, metodología, etc. Los contenidos que deberían estar desarrollados en estos apartados aparecen en cada uno de los capítulos que preceden a las publicaciones que cuentan, además, con sus propios objetivos específicos.

Los objetivos generales atañen al sentido global de esta tesis doctoral, y constituyen la base para el desarrollo de las diferentes publicaciones que la conforman. Como ya se plantea al inicio de esta introducción, uno de los objetivos principales de este trabajo es evaluar la idoneidad de la palinología en lo referente a la reconstrucción del clima y la vegetación de los conjuntos arqueológicos. Del mismo modo, es necesario refrendar el valor de los palinomorfos no polínicos como herramienta en la reconstrucción paleoambiental. Junto a estos dos objetivos

principales, relacionados con la descripción de los caracteres paleoecológicos detectados en base al análisis palinológico, pretendemos evidenciar la validez de la palinología en la detección y descripción de la huella antrópica en el paisaje.

Así, el trabajo se inicia con el capítulo introductorio que ahora nos ocupa en el que se plantea la problemática que subyace en el planteamiento inicial de este trabajo, los objetivos y la descripción de la organización del texto. A continuación, se ha incluido un apartado en el que se describen las características principales de los depósitos incluidos en esta tesis.

El tercer capítulo está destinado a la descripción de la **Paleopalínología**, sus antecedentes, presupuestos metodológicos, objetivos, aplicaciones y limitaciones, lo que constituye el marco teórico de esta tesis.

En el cuarto apartado, dedicado a la **Arqueopalínología**, se describe la evolución historiográfica y los objetivos de la palinología arqueológica. Como ejemplo de la aplicación de la palinología a contextos arqueológicos, se incluye el artículo centrado en el análisis del polen y los palinomorfos no polínicos de la secuencia holocena de la Cueva de El Mirador: “*Human trace on the landscape during the Holocene at El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Spain): The palynological evidence*” publicado en la revista *The Holocene* (Tabla 1.1).

El objetivo fundamental del trabajo desarrollado en esta publicación es reconstruir la evolución de la vegetación y el contexto climático de las ocupaciones del Neolítico y la Edad del Bronce en El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos), así como determinar la intensidad de la presión antrópica ejercida en

el medio por los grupos humanos que frecuentaron esta cueva-redil durante este periodo. Finalmente, y considerando la complejidad que típica de un depósito en *fumier*, la aplicación del análisis de los palinomorfos no polínicos tiene el propósito de contribuir al conocimiento de la dinámica de formación del depósito.

Posteriormente, en el quinto capítulo, centrado en los **Palinomorfos No Polínicos (NPP)**, se describen los inicios de la inclusión de este tipo de microrrestos en los análisis palinológicos convencionales y ahonda en su aportación como indicadores ecológicos en lo que a la reconstrucción paleoambiental se refiere. El capítulo se completa con el artículo "*Filling in the gaps: the contribution of Non-Pollen Palynomorphs to knowledge about the local environment of the Sierra de Atapuerca caves during the Pleistocene*", publicado en la revista *Quaternary International* (Tabla 1.1). En esta publicación se ahonda en la aportación de los **NPPs** cuando nos encontramos ante depósitos poco o nada resolutivos desde el punto de vista polínico por cuestiones fundamentalmente ligadas a la conservación. En este trabajo se incluye el análisis de **NPPs** de los depósitos Pleistocenos de Sima del Elefante, Gran Dolina y Galería, todos ellos ubicados en la Trinchera del Ferrocarril, Sierra de Atapuerca (Burgos, España).

La finalidad primordial de este artículo es establecer la variabilidad taxonómica de los **NPPs** y contrastar la información paleoecológica aportada por el conjunto de palinomorfos identificados en cada uno de los depósitos. Además, se ha planteado la reconstrucción de la evolución de las condiciones ambientales del karst a partir de

la comparación de las tres secuencias de la Trinchera del Ferrocarril.

En el siguiente apartado, se ahonda en la significación del análisis y cuantificación de los **Microcarbones** que pueden observarse en las preparaciones palinológicas. Como colofón al capítulo se presenta un trabajo versado en el estudio de diversas secuencias sedimentarias encuadradas en el Holoceno del ámbito mediterráneo de la Península Ibérica y las Islas Baleares, una de las cuales cubre la compleja transición Tardiglacial-Holoceno inicial: "*Charcoal and pollen analysis: Examples of Holocene fire dynamics in Mediterranean Iberian Peninsula*", publicado en la revista *Catena* (Tabla 1.1).

En este caso, el propósito del análisis de las secuencias incluidas en este artículo ha sido sintetizar los resultados polínicos y de microcarbones obtenidos, así como ratificar la importancia de los eventos de incendio en la formación y evolución del componente arbustivo y las maquias en el este de la Península Ibérica. De este modo se pretende mejorar el conocimiento acerca del vínculo existente entre condiciones climáticas, evolución de la vegetación, régimen de paleoincendios y acción antrópica, así como el grado de influencia de cada uno de estos factores en la configuración del paisaje mediterráneo a lo largo del Holoceno.

A continuación, en el capítulo séptimo, destinado a la **Tafonomía Polínica**, se hace un recorrido por la literatura producida en los últimos años en el campo del análisis tafonómico aplicado al registro polínico y se presenta un trabajo en el que se analizan las muestras procedentes de diversas facies sedimentarias de la Cueva de El Mirador: "*Taphonomic approach to the palynological record*

of an equal context. Burned and non-burned samples of El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain)”, publicado en *Quaternary International* (Tabla 1.1). La intención de este último artículo es caracterizar el contenido en microfósiles de cada una de estas facies y establecer en qué medida los resultados son los esperados en función de la génesis de cada una de estas capas sedimentarias.

valor de la aportación del análisis tafonómico del registro palinológico con respecto a su contribución al conocimiento de los procesos de formación del depósito.

El octavo capítulo se ha dedicado a los trabajos **experimentales** que se están llevando a cabo con el objetivo de dotar de referentes actuales a algunos de los procesos documentados en los depósitos estudiados. El programa

Capítulo	Publicación
Arqueopalinología	Expósito, I. , Burjachs, F., Vergès, J. M. (2017). Human trace on the landscape during the Holocene at El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Spain): The palynological evidence. <i>Holocene</i> 27, 1201-1213.
La aportación de los NPP	Expósito, I. , Burjachs, F., Allué, E. (2017). Filling in the gaps: The contribution of non-pollen palynomorphs to knowledge about the local environment of the Sierra de Atapuerca caves during the Pleistocene. <i>Quaternary International</i> 433, 224-242.
Microcarbones	Burjachs, F., Expósito, I. (2015). Charcoal and pollen analysis: Examples of Holocene fire dynamics in Mediterranean Iberian Peninsula. <i>Catena</i> 135, 340-349.
Formación de depósitos	Expósito, I. , Burjachs, F. (2016). Taphonomic approach to the palynological record of burnt and unburnt samples from El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). <i>Quaternary International</i> 414, 258-271.

Tabla 1.1. Relación de los artículos incluidos en este trabajo.

El objeto de esta publicación es caracterizar las asociaciones de polen y NPPs, así como las alteraciones presentes en espectro polínico identificado en las muestras procedentes del *fumier* documentado en el nivel Mir4 de El Mirador. Asimismo, se persigue estudiar la relación del conjunto de palinomorfos identificado, en términos de abundancia y variabilidad, así como de las connotaciones ecológicas que se desprenden de su identificación, con respecto a las características descritas para las facies sedimentarias de procedencia. Finalmente, el objetivo último de este artículo es la puesta en

experimental en curso surge como respuesta a los diversos interrogantes suscitados por las investigaciones presentadas en esta tesis. En este caso, y aunque el capítulo no vaya acompañado de una publicación al uso, hemos considerado oportuno incluir los objetivos específicos para esa línea argumental.

En primer lugar, la pretensión fundamental ha sido describir la necesidad de referentes experimentales en palinología arqueológica. La intención fundamental de este enfoque actualista está basada en los numerosos interrogantes que han suscitado algunos de los

rasgos de los conjuntos palinológicos analizados. En muchos casos, tanto la conservación diferencial, como los estigmas de alteración, deben guardar necesariamente relación con las dinámicas biostratinómicas y postdeposicionales acontecidas. Este no es un aspecto nuevo, algunos autores ya han publicado acerca de la representatividad y conservabilidad de los espectros polínicos (Havinga, 1971, 1984; Holloway, 1989; Campbell, 1991; Campbell y Campbell, 1994; Gosh *et al.*, 2006; Braadbaart *et al.*, 2009; Lebreton *et al.*, 2010; Twiddle y Bunting, 2010).

A continuación, el trabajo incluye un capítulo de **Discusión general**, en el que se describen

las aportaciones de cada uno de los trabajos de manera individual y desde un punto de vista global.

La tesis doctoral sigue con el capítulo décimo dedicado a las conclusiones, en el que se recuperan los objetivos iniciales del trabajo y se evalúa el grado de cumplimentación de cada uno de ellos. En el capítulo onceavo se presentan las propuestas de futuro que darán continuidad a las líneas de investigación desarrolladas.

Finalmente, el último apartado incluye las referencias bibliográficas consultadas y citadas a lo largo del trabajo.

2 LOS DEPÓSITOS ESTUDIADOS

Los depósitos de la Sierra de Atapuerca, que se describen detalladamente a continuación, han constituido la base de tres de los artículos que conforman esta tesis doctoral. Las secuencias sedimentarias de Sima del Elefante, Gran Dolina y Galería, enmarcadas entre el Pleistoceno Inferior y Medio, se han analizado con el objetivo de exponer los datos derivados de los palinomorfos no polínicos presentes en las láminas palinológicas (Expósito *et al.*, 2017). Por su parte, el análisis del relleno sedimentario holoceno de la Cueva de El Mirador ha contribuido a la reconstrucción

paleoambiental de la Sierra de Atapuerca durante el Neolítico y la Edad del Bronce (Expósito *et al.*, 2017) y a la realización de una aproximación tafonómica a la dinámica sedimentaria del nivel Mir4 ($3040 \pm 40 - 3400 \pm 40$ BP) (Expósito y Burjachs, 2016).

Del mismo modo, se describen a continuación las ocho secuencias pertenecientes a la vertiente mediterránea de la Península Ibérica y las Illes Balears que han dado lugar al trabajo asociado a la cuantificación de los restos microscópicos de cenizas presentes en las láminas palinológicas (Burjachs y Expósito, 2015).

2.1 Sierra de Atapuerca

La Sierra de Atapuerca, cuya altitud máxima es de 1085 m s.n.m. (Monte de San Vicente), ocupa un área de unos 25 km², a una distancia aproximada de unos 15 km de la ciudad de Burgos (42° 21' 09" N - 03° 31' 06" O) (Fig.2.1).



Figura 2.1. Vista general de la Sierra de Atapuerca con la Trincheras del Ferrocarril a la izquierda de la imagen y El Mirador en la parte inferior.

La Sierra, que se extiende de noroeste a suroeste entre la Cordillera Cantábrica y el Sistema Ibérico, se halla inmersa en el llamado “Corredor de la Bureba”, una zona de paso natural entre las cuencas hidrográficas del Ebro y el Duero. Está formada, en términos generales, por calizas y dolomías del Cretácico Superior (Cenomaniense y Turoniense). Estructuralmente se corresponde con un anticlinal tumbado en los materiales mesozoicos, de modestas dimensiones, convergencia NE y eje principal NNO-SSE.

Las últimas modificaciones que darán lugar a su constitución definitiva no se producen hasta los ajustes tectónicos del Mioceno y el Plioceno (Olive *et al.*, 1990; Pineda y Arce, 1993).

Toda la Sierra está fuertemente karstificada, conformando un sistema multinivel, en el que se han documentado abundantes fenómenos endo y exokársticos. El desarrollo de sus morfologías subterráneas, cuyo espesor es de unos 70 m, se produjo al suroeste, a favor de la formación turoniense. Se trata, por tanto, de un karst cubierto, de origen freático, que se originó a finales del Aragoniense (Zazo *et al.*, 1983) y continuó su desarrollo en el Cuaternario, al reactivarse con el descenso del nivel de base de erosión, en este caso específico, controlado por la dinámica fluvial del río Arlanzón. El sistema cárstico está formado por tres niveles principales de conductos subhorizontales interconectados

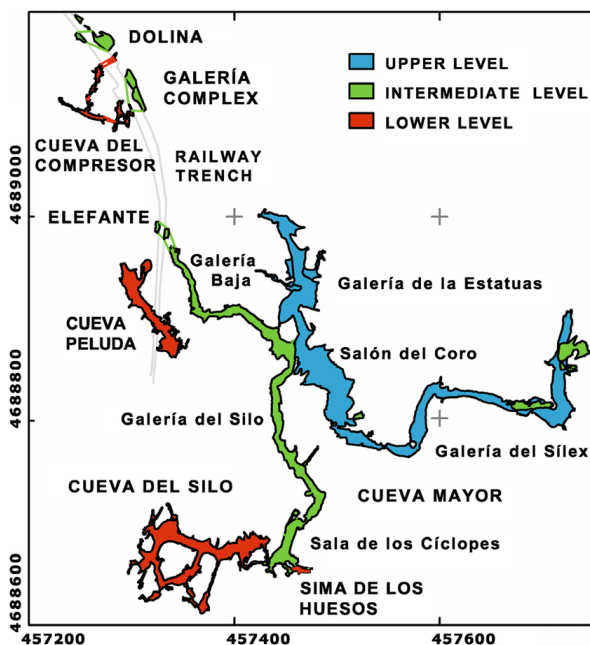


Figura 2.2. Mapa del sistema kárstico de la Sierra de Atapuerca basado en la topografía del grupo espeleológico Edelweiss (modificado de Ortega *et al.*, 2013).

situados a 90, 70 y 60 metros sobre el curso actual del río Arlanzón (Ortega *et al.*, 2013, 2014) (Fig. 2.2). En los 4, 7 km explorados se han identificado más de cincuenta cavidades completamente colmatadas (Ortega *et al.*, 2009), algunas de las cuales se pusieron al descubierto tras la construcción de un ferrocarril minero a finales del siglo XIX, que conectaba las localidades de Monterrubio de la Demanda y Villafría (Ortega y Martín, 2012).

La situación estratégica de este enclave ha contribuido a que la Sierra de Atapuerca y los territorios adyacentes hayan funcionado como una encrucijada biogeográfica propiciando el tránsito y encuentro de comunidades diversas. Esto se traduce en la confluencia de caracteres mediterráneos, atlánticos y continentales que se materializan en una amplia diversidad de biotopos, así como en la coexistencia de una gran variedad de especies de flora y fauna.

2.1.1 Trinchera del Ferrocarril

Los rellenos sedimentarios de **Sima del Elefante, Gran Dolina y Galería**, que constituyen las tres secuencias de mayor importancia dentro del segundo nivel del sistema cárstico de la Sierra de Atapuerca, se descubren, como ya hemos mencionado, a raíz de la construcción del ferrocarril minero. Los trabajos realizados, que tenían como objetivo hacer circular la vía ferroviaria por el interior de la estructura caliza de la Sierra, acabaron generando la llamada Trinchera del Ferrocarril, un pequeño conducto excavado en la roca que puso al descubierto las cavidades y rellenos sedimentarios del sistema cárstico.

Las evidencias paleontológicas indican que el proceso de relleno del sistema cárstico de la sierra se inicia ya en el Pleistoceno Inferior.

Durante el Pleistoceno Medio, el sistema de cuevas queda aislado de la influencia del río Arlanzón y se abren la mayoría de las cavidades dando lugar a la formación de un gran número de depósitos con un gran interés arqueopaleontológico (Ortega *et al.*, 2013). Entre estos rellenos se encuentran la **Sima del Elefante, Gran Dolina y Galería**, cuyas secuencias palinológicas han sido incluidas en el artículo que concluye el capítulo destinado a la significación de los Palinomorfos no polínicos.

2.1.1.1 Sima del Elefante (TE)

La Sima del Elefante (TE) corresponde a un relleno de unos 25 metros de potencia muy heterogéneo, ya que presenta importantes cambios laterales y verticales (Fig. 2.3 y Fig. 2.4). El depósito contiene 16 unidades estratigráficas (de TE7 a TE21, de base a techo) (Rosas *et al.*, 2006) que se agrupan en tres fases sedimentarias principales. Las unidades inferiores (TE7 a TE14) conforman la fase I, de TE15 a TE19 la fase II y las unidades TE20 y TE21 constituirían la fase III (Rosas *et al.*, 2001, 2006). Los análisis paleomagnéticos han identificado un cambio de polaridad en la base de la unidad TE17, adscribiéndose los sedimentos localizados por debajo de esta unidad (de TE16 a TE7) al subcrón Matuyama (>780 ka) (Parés *et al.*, 2006). El nivel TE9c ha sido datado en 1.22 ± 0.16 a partir del análisis de cosmogénicos (Carbonell *et al.*, 2008), lo que resulta coherente con los datos biocronológicos disponibles (Cuenca-Bescós y García, 2007; García *et al.*, 2008).

Las unidades más recientes (TE18-TE19) se han datado, en base a datos biocronológicos, en la segunda mitad del Pleistoceno Medio (ca

Los depósitos estudiados

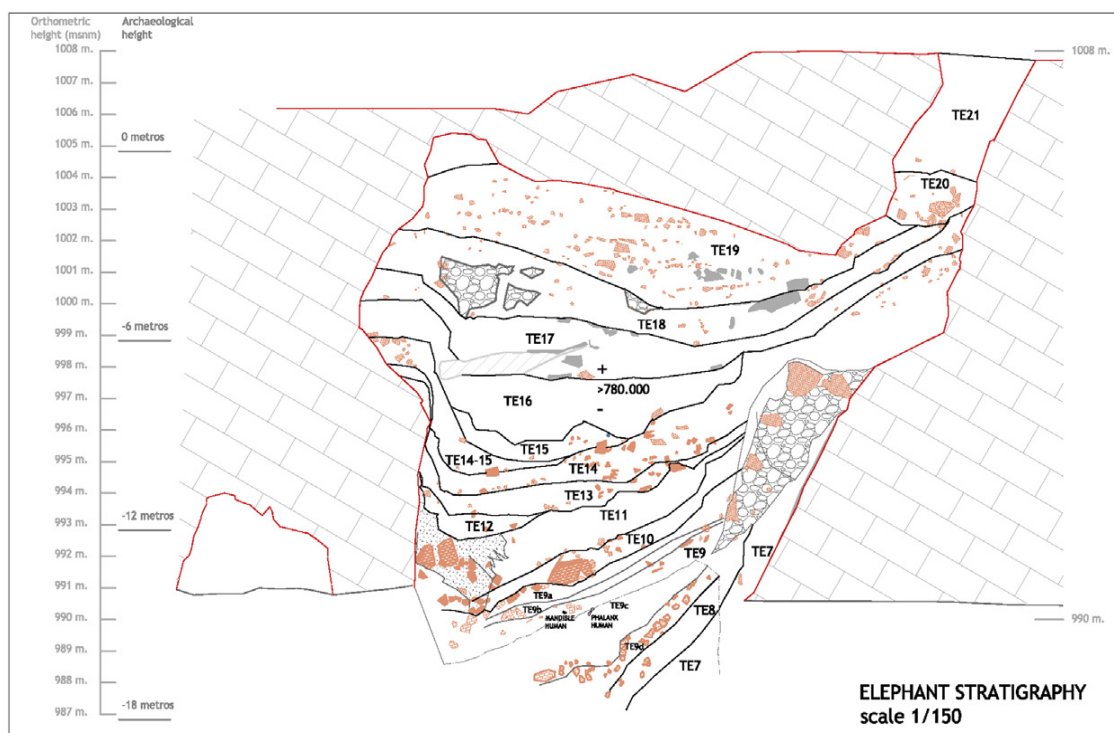


Figura 2.3. Esquema de la secuencia estratigráfica del yacimiento de la Sima del Elefante (adaptado de Huguet *et al.*, 2017).

250-350 ka) (Rosas *et al.*, 2006; López García *et al.*, 2011), aunque la datación de una costra estalagmítica a techo de TE18 por U/Th (307 ± 19 ka y 255 ± 12) (Bischoff. com. pers.) indicaría que el nivel TE19 tiene una cronología posterior a los 255.000 años. En las unidades superiores, la asociación faunística recuperada sugiere la existencia de un paisaje de bosque húmedo con espacios abiertos y condiciones más secas y frías que las documentadas en la parte baja de la secuencia (Rosas *et al.*, 2006; López García *et al.*, 2011).

Entre las evidencias antrópicas recuperadas a lo largo de la secuencia destacan los objetos líticos, así como las modificaciones de origen antrópico identificadas en los restos faunísticos de animales de todas las tallas (Carbonell *et al.*, 2008; Ollé *et al.*, 2013; Huguet *et al.*, 2013). No obstante, el conjunto de evidencias recuperadas indica que las ocupaciones, en términos generales, serían de baja intensidad y siempre localizadas en áreas

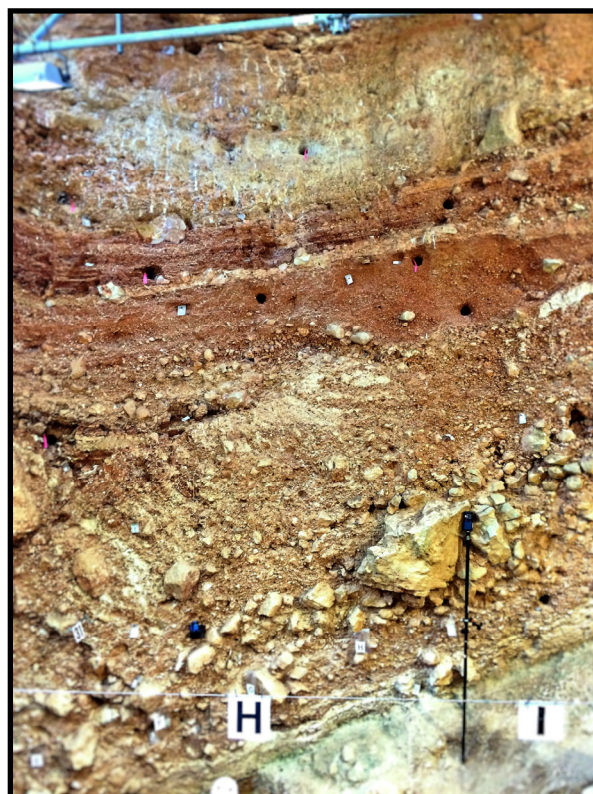


Figura 2.4. Detalle de la secuencia estratigráfica de la pared norte del yacimiento de la Sima del Elefante.

cercanas a la entrada de la cavidad (Huguet *et al.*, 2007). La única excepción a este tipo de funcionamiento general la constituye la unidad TE₁₉, para la que se ha planteado la hipótesis, todavía por confirmar, de que la cavidad pudiera haber funcionado en este momento como una trampa natural (Rosas *et al.*, 2004).

En los niveles inferiores de la Sima del Elefante se ha identificado una asociación faunística que podría estar relacionada con la existencia en la Sierra de Atapuerca, durante el Pleistoceno Inferior, de hábitats abiertos, con predominio de zonas húmedas y boscosas, y grandes extensiones de agua permanente (Rosas *et al.*, 2006; Blain *et al.*, 2010).

Finalmente, hay que resaltar la aportación de mayor calado del depósito; el hallazgo, en la subunidad TE_{9c}, datada entre los 1.5-1.2 Ma, de uno de los restos humanos más antiguos de Europa, atribuido a *Homo sp.* (Carbonell *et al.*, 2008; Bermúdez de Castro *et al.*, 2011). Estos fósiles humanos aparecen asociados a industria lítica y a restos de fauna con evidencias de procesamiento antrópico (Huguet *et al.*, 2017).

2.1.1.2 Gran Dolina (TD)

Gran Dolina tiene una potencia sedimentaria de unos 18 metros y está dividida en 11 unidades (de TD_I a TD_{II}, de suelo a techo) (Gil y Hoyos, 1987; Parés y Pérez-González, 1995, 1999; Pérez González *et al.*, 2001; Rodríguez *et al.*, 2011) (Fig. 2.5 y Fig. 2.6). El cambio de polaridad se ha detectado entre las unidades TD₇ y TD₈ (Parés y Pérez-González, 1995, 1999), lo que ha dividido la secuencia en rellenos del Pleistoceno Inferior

(de TD_{I-2} a TD₇) y unidades de Pleistoceno Medio (TD₈-TD_{II}).

En la base del relleno se han documentado evidencias antrópicas desde la unidad TD₃₋₄, que funcionó como una trampa natural, a partir de la presencia de artefactos líticos y marcas de carnicería en los huesos (Rodríguez *et al.*, 2011). Las unidades TD₅ y TD₆₋₃ son especialmente relevantes por lo relacionado con la actividad de carnívoros, que actúan como acumuladores junto con los procesos gravitacionales (Huguet, 2007; Saladié, 2009). Como rasgo de especial excepcionalidad de la zona media de la secuencia sedimentaria de Gran Dolina, cabe resaltar la recuperación, en la subunidad TD₆₋₂, de once individuos asignados a la especie *Homo antecessor*, que presentan evidencias de canibalismo cultural y aparecen en asociación con restos líticos y faunísticos (Carbonell *et al.*, 1995, 2005, 2010; Bermúdez de Castro *et al.*, 1997, 2008; Falguères *et al.*, 1999; Fernández-Jalvo *et al.*, 1999; Saladié *et al.*, 2012, 2014). Los últimos estudios indican que *H. antecessor* podría representar un linaje europeo de un ancestro asiático y se encontraría evolutivamente en un punto cercano a la divergencia de *Homo sapiens* y *Homo neanderthalensis* (Bermúdez de Castro y Martín-Torres, 2013). La última unidad que completa el bloque del Pleistoceno Inferior, TD₇, representa un cambio en la dinámica de la cavidad, marcada por la influencia de la actividad hídrica y por la reapertura de la trampa natural del techo (Rosell y Blasco, 2009).

Las cuatro unidades superiores, asociadas al Pleistoceno Medio, muestran características específicas derivadas del uso diferencial de la cavidad. Así, las unidades TD₈ y TD_{8/9}, que tienen una datación de ca 600 ka BP

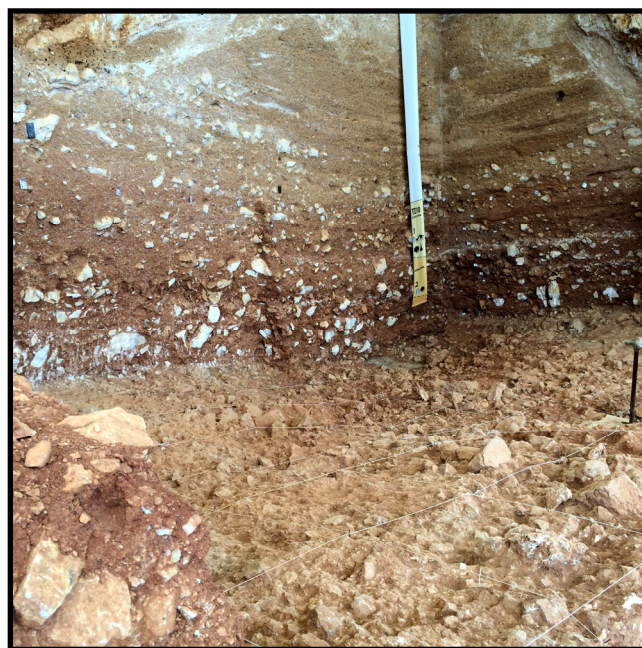
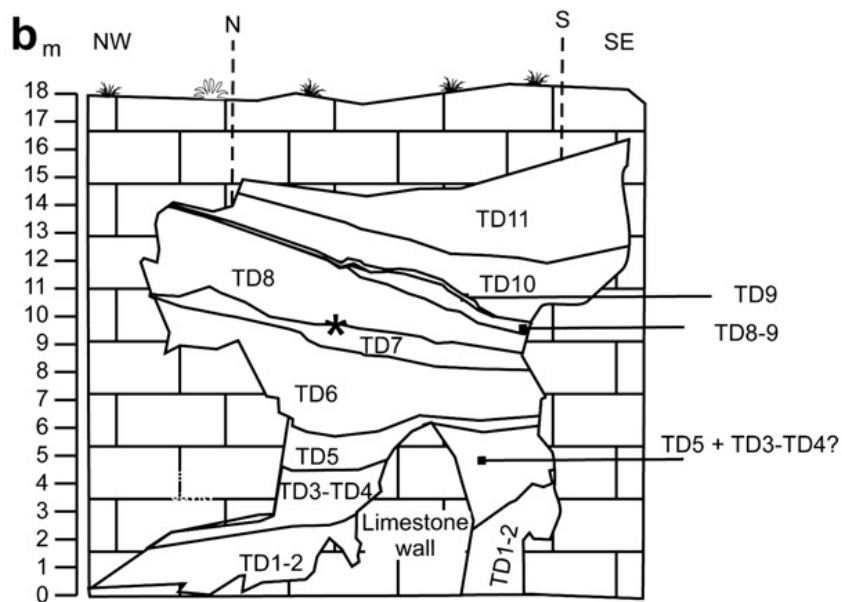


Figura 2.6. Superficie de excavación del nivel TD₁₀₋₃ del yacimiento de Gran Dolina.

(Falgueres *et al.*, 1999, 2013) representan un hiato en lo referente a la presencia de actividad antrópica en Gran Dolina. Las primeras evidencias antrópicas de la parte superior de la secuencia, en forma de instrumentos líticos, se encuentran en TD₉, con una datación de 480 ± 130 ka (Ollé *et al.*, 2013). En los niveles que colmatan el relleno,

concretamente en TD₁₀ y sus cuatro sub-unidades estratigráficas asociadas, se ha localizado la mayor concentración de material arqueológico documentada con respecto a todos los depósitos arqueológicos de la Sierra de Atapuerca.

Las dos sub-unidades superiores de TD₁₀, TD₁₀₋₁ y TD₁₀₋₂, datadas entre los 430 ± 59

(techo de TD₁₀₋₃) y los 337 ±51 (media para el techo de TD₁₀₋₁) (Falguères *et al.*, 1999, 2013; Berger *et al.*, 2008), están excavadas en su totalidad y se han interpretado, en parte a causa de la gran cantidad de restos faunísticos e industria lítica localizada, como los vestigios de una ocupación intensa de la cavidad por parte de grupos de *Homo heilderbergensis*.

Finalmente, cabe destacar que uno de los rasgos más relevantes de los niveles superiores de Gran Dolina es la acumulación, en la sub-

unidad TD₁₀₋₂, de restos óseos que han sido relacionados con los deshechos generados por dos episodios de caza especializada de bisontes (*Bison* sp.) (Rodríguez-Hidalgo *et al.*, 2016).

2.1.1.3 Galería (TG)

Trincheras Galería es un depósito de unos 17 metros de potencia dividido en tres sectores: el tramo central (TG), la sala conocida como Covacha de los Zarpazos (TZ) al norte, y un



Figura 2.7. Imagen del yacimiento de Galería. En primer plano se observa la sección del conducto vertical (TN), en el centro el relleno que conforma el cuerpo central (TG), actualmente en proceso de excavación, y, al fondo, la Covacha de los Zarpazos (TZ). © EIA.

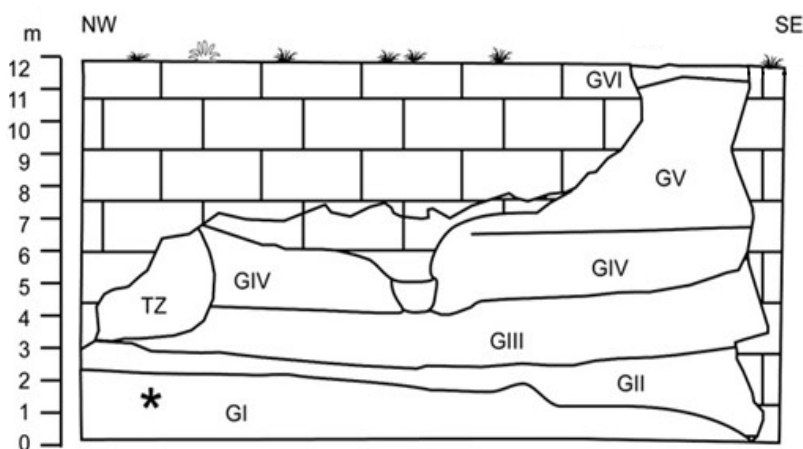


Figura 2.8. Esquema de la sección estratigráfica de Galería (adaptado de Rodríguez *et al.*, 2011).

conducto vertical abierto al exterior llamado Trinchera Norte (TN) (Fig. 2.7 y Fig. 2.8).

Los trabajos de excavación se centraron en la zona central entre 1982 y 1995 y, posteriormente, entre el 2001 y el 2010, en la Covacha de los Zarpazos. En 2013 se reinició la excavación ampliándose la superficie intervenida a más de 40 m² hacia el interior de la cavidad, en su zona central.

El relleno sedimentario se compone de cinco unidades litoestratigráficas (GI a GVI). Las dataciones obtenidas desde la unidad GII, en la base de la secuencia arqueopaleontológica, hasta GIV, a techo de la cavidad, sugieren que el relleno se forma entre 500 ka y 250 ka por ESR/U-Th y luminiscencia (Ollé y Huguet, 1999; Pérez-González *et al.*, 1999, 2001; Vallverdú, 2002; Berger *et al.*, 2008; Falguères *et al.*, 2013; Demuro *et al.*, 2014). El límite Matuyama-Brunhes ha sido identificado en la unidad GI (Pérez-González *et al.*, 1999), formada por limos endocársticos, y el espeleotema que sella la unidad GIV, se ha datado en $118 \pm 71 / -49$ ka y 200 ka, por series de uranio y ESR, respectivamente (Grün y Aguirre, 1987; Falguères *et al.*, 2013).

Las unidades GII y GIII han proporcionado abundantes restos faunísticos y elementos de industria lítica pertenecientes al modo 2 (Cuenca-Bescós *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2011; Ollé *et al.*, 2013; García-Medrano *et al.*, 2017). La cavidad se colmata con las unidades GIV y GV, que, aunque eran consideradas estériles inicialmente, han proporcionado más de un centenar de restos después del reinicio de los trabajos de excavación en 2013. Cabe resaltar que, durante los primeros años de excavación, se hallaron, en la unidad GIII, un occipital y un fragmento de mandíbula,

atribuidos a *Homo heidelbergensis* (Bermúdez de Castro y Rosas, 1992; Arsuaga *et al.*, 1999).

En lo que respecta al origen de la acumulación, parece que la cavidad no reunía las condiciones ambientales propicias para el establecimiento de campamentos humanos y tampoco fue utilizada por los carnívoros como cubil. La dinámica inferida a partir de los estudios faunísticos y de industria lítica sugiere que el conducto vertical (TN) funcionó como una trampa natural para los animales que merodeaban por las proximidades. Los homínidos y algunos carnívoros aprovecharon sistemáticamente los recursos cárnicos que se acumulaban en la cavidad tras la caída de los animales (Huguet *et al.*, 2001; Cáceres, 2002; Huguet, 2007; Cáceres *et al.*, 2010). El estudio tafonómico de realizaban un acceso primario a los animales caídos y los procesaban para facilitar su transporte. Los carnívoros actuaban generalmente sobre los restos esqueléticos que los grupos humanos habían abandonado.

2.1.2 La Cueva del El Mirador

La Cueva de El Mirador se sitúa a unos 1033 m s.n.m. a 42° 20' 58" N y 03° 30' 33" O, en la vertiente más meridional de la Sierra de Atapuerca (Fig. 2.9). La cavidad, que forma parte del sistema cárstico de la Sierra, presenta la morfología de un abrigo debido al hundimiento de buena parte de su bóveda y alcanza unos 15 m de profundidad. A causa de los desprendimientos y modificaciones sufridas, su entrada es excepcionalmente grande, de unos 23 m de anchura por 4 m de altura (Fig. 2.10). En su parte externa se observan bloques de caída que indican la degradación reciente de la visera del abrigo.

La Cueva del Mirador se excava de manera sistemática por el Equipo de Investigación de Atapuerca (EIA), desde el año 1999. Ese año se inició un sondeo de 6 m² (3,20 x 2,20 m) situado bajo la visera actual, en la zona del oeste teórico de la cavidad, que no había sido

niveles Pleistocenos y Holocenos (Moral, 2002; Vergès *et al.*, 2002). A partir del año 2009 hasta la actualidad, y una vez finalizado el sondeo, se inicia la excavación de dos sectores laterales denominados 100 y 200 con el objetivo de reseguir la pendiente del relleno



Figura 2.9. Imagen de la entrada al yacimiento de la Cueva de El Mirador

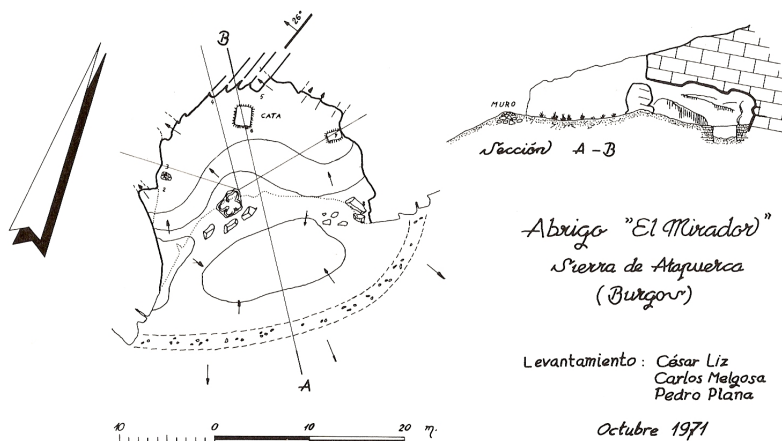


Figura 2.10. Antigua planta de la Cueva de El Mirador (Extraída de GEE, 1981)

afectada por las excavaciones llevadas a cabo por el Grupo Espeleológico Edelweis a principios de los años 70 del pasado siglo, ni por la actividad de los furtivos, y que proporcionó una estratigrafía de 20 metros de

sedimentario adosado a las paredes de la cueva (Vergès *et al.*, 2016).

La génesis de la formación de la Cueva del Mirador es eminentemente cárstica, aunque,

de momento, no ha sido posible averiguar su eventual relación con el sistema de Cueva Mayor y con las cavidades situadas en la Trinchera del Ferrocarril. Probablemente, en su origen, fue una antigua dolina colapsada por los procesos de retroceso de la vertiente y completamente colmatada.

yuxtaposición y contraposición de sedimentos de características litológicas y estructurales similares y recurrentes. Las unidades están descritas utilizando normas sedimentológicas, edafológicas, estratigráficas y arqueológicas, a través de parámetros geoarqueológicos escogidos *ad hoc* (Angelucci, 2003). El relleno

unidad	material	código lab.	AMS radiocarbono date BP	años cal. BP (rango 2σ)	¹³ C/ ¹² C ratio
MIR 4 (techo)	carbón	Beta-154894	3040±40	3350-3140	-23.9 ‰
MIR 4 (base)	carbón	Beta-153366	3400±40	3720-3560	-23.8 ‰
MIR 6	carbón	Beta-153367	4780±40	5600-5460	-23.5 ‰
MIR 8	carbón	Beta-181086	4970±40	5860-5830	-23.6 ‰
MIR 9	semilla	Beta-220912	5090±40	5920-5730	-22.6 ‰
MIR 11	carbón	Beta-181087	5360±50	6280-6000	-23.9 ‰
MIR 13	semilla	Beta-208131	5470±40	6310-6190	-21.8 ‰
MIR 14	semilla	Beta-220913	5480±40	6320-6200	-24.3 ‰
MIR 16	carbón	Beta-181088	5700±70	6660-6320	-25.0 ‰
MIR 18	semilla	Beta-208132	6120±40	7160-7110	-23.0 ‰
MIR 19	carbón	Beta-182040	6130±50	7180-6870	-24.7 ‰
MIR 20	semilla	Beta-197384	6100±50	7160-7110	-22.9 ‰
MIR 21	carbón	Beta-197385	6380±40	7410-7250	-22.9 ‰
MIR 22	semilla	Beta-208133	6150±40	7180-6900	-22.3 ‰
MIR 23	semilla	Beta-208134	6320±50	7320-7170	-23.8 ‰
MIR 24	semilla	Beta-220914	6110±40	7160-7120	-23.4 ‰
	carbón	Beta-197386	7060±40	7960-7800	-22.9 ‰

Tabla 2.1. Dataciones de la Cueva de El Mirador (Vergès *et al.*, 2008).

Una de las principales características de la sucesión estratigráfica del yacimiento de El Mirador es la variabilidad interna de cada nivel arqueológico, representada por la

sedimentario documentado corresponde a una secuencia holocena que se articula en 25 conjuntos principales pertenecientes al Neolítico y el Bronce medio / tardío (de 7960-

7800 a 3350-3140 años calibrados BP). La contextualización cronológica de la sucesión estratigráfica holocena se basa en diecisiete dataciones ^{14}C AMS (Tabla 2.1).



Figura 2.11. Vista de la sección sur del sondeo realizado en El Mirador. En la imagen puede apreciarse la yuxtaposición de capas con diferente grado de cremación.

La mayor parte de las fechas obtenidas son coherentes con la sucesión estratigráfica y con los conjuntos arqueológicos documentados. Así, existe un primer grupo de niveles que se han asignado crono-culturalmente a la Edad del Bronce (Mir 3A y Mir 4) y un segundo bloque, a partir del nivel Mir 6 y hasta la base, que responden a un horizonte estratigráfico netamente Neolítico.

La práctica totalidad de la potencia sedimentaria representa el resultado de acciones de combustión *in situ* de material vegetal y animal, que determinan la existencia en el sedimento de un muy elevado

componente de ceniza. El depósito es un *fumier* típico, conformado por los desechos orgánicos derivados de la quema periódica de las heces del ganado estabulado en la cavidad (Vergès *et al.*, 2008) (Fig. 2.11). El enterramiento de carácter secundario hallado en Mir4B, que presenta evidencias de canibalismo (Cáceres *et al.*, 2007), y el nivel Mir5 representan las únicas excepciones a esta dinámica. En la unidad Mir5, que separa la secuencia Neolítica de los niveles del Bronce, dominan los procesos sedimentarios de formación natural y representa un lapso de tiempo en el que el abrigo no acogió una ocupación agrícola-ganadera, sino que tuvo una funcionalidad ligada a las prácticas funerarias (Vergès *et al.*, 2008, 2016).

El registro arqueológico recuperado, típico de un asentamiento que frecuentaron comunidades cuyas actividades incluían el desarrollo de prácticas agrícolas y ganaderas, es muy completo e incluye cerámica, restos de macro y micro fauna y artefactos líticos (Moral *et al.*, 2003-2004; Cáceres *et al.*, 2007; Vergès *et al.*, 2008; López-García *et al.*, 2008; Bañuls *et al.*, 2013; Martín *et al.*, 2009, 2014; Oms *et al.*, 2014). Además de todo esto, cabe señalar que el registro arqueobotánico es el más abundante, aunque los vestigios vegetales conservados en forma de semillas, carbones, esferolitos, polen y fitolitos están solo parcialmente estudiados (Rodríguez-Cruz, 2004; Allué y Euba, 2008; Cabanes *et al.*, 2009; Euba *et al.*, 2016; Rodríguez *et al.*, 2016).

2.2 Secuencias naturales de la vertiente mediterránea de la Península Ibérica

Las secuencias incluidas en el artículo integrado en el apartado de análisis de micro carbones, ubicadas en el litoral mediterráneo de la península Ibérica y las Illes Balears (Fig. 2.12), están listadas, con su correspondiente contextualización cronológica, en la Tabla 2.2.

2.2.1 Burg (CMB-8)

El lago Burg (42° 30' 18" N, 01° 18' 22" E) se localiza en el Pirineo oriental de Lleida, entre las cabeceras de los ríos Noguera-Pallaresa y Segre a una altitud de 1821 m s.n.m, en la comarca de Pallars Sobirà (Fig. 2.12). La secuencia sedimentaria recuperada tiene una longitud de 6,5 m y contiene sucesiones de sedimento turboso, material arcilloso y sedimentos más masivos (Pèlachs *et al.*, 2007). El modelo de edad está basado en cuatro dataciones radiocarbónicas que sitúan la base de la secuencia en 10.510 años cal. BP (Tabla 2.2).

La secuencia polínica del lago Burg (Pèlachs *et al.*, 2007; Pèlachs *et al.*, 2011) refleja tres configuraciones distintas del paisaje que se suceden en el tiempo. La primera de ellas, que acontecería entre los 9400 y los 6200 años cal. BP, está caracterizada por la dominancia de

Betula, que formaría bosques en las inmediaciones del lago a expensas de *Juniperus*. Así, este tramo se considera como un periodo de transición desde el final del Tardiglacial hasta el establecimiento definitivo del bosque de abedul. El segundo episodio tiene lugar entre 5200 y 2800 años cal. BP, durante el cual el bosque de *Betula* es sustituido por el de *Abies*. Es complicado

conocer hasta qué punto la dinámica de la vegetación corresponde a cambios climáticos o a la intervención humana en el paisaje, aunque la aparición de *Alnus* en esta zona polínica, ausente hasta el momento, confirmaría la instalación de unas condiciones de mayor humedad ambiental, con lo que parece que la transición entre el bosque de *Betula* y el de *Abies* pudo deberse exclusivamente a un incremento en las precipitaciones. La tercera etapa de esta secuencia comienza hace 2800 años cal. BP, con la sustitución del bosque de abeto por el de pino (*Pinus sylvestris*). A partir de este momento, y hasta la actualidad, se observa un considerable incremento de todos los taxones herbáceos en general, lo que sugiere una apertura del paisaje. La sustitución de *Abies* por *Pinus* coincide con un descenso en las precipitaciones según Jalut *et al.* (2000), lo que implica que la intensificación de la sequía estival podría ser la causa principal del cambio en el taxón arbóreo dominante. Sin embargo, aunque el cambio en el paisaje pudo deberse principalmente a cuestiones climáticas, este momento coincide con un importante aumento de la presión antrópica (Pèlachs, 2005), evidenciada en el diagrama por un aumento en la presencia de *Cerealia*. Así, aunque la intervención humana no hubiese sido determinante, sin duda pudo haber sido aceleradora del proceso de sustitución vegetal. A partir de este momento, y hasta la actualidad, se observa un considerable incremento de todos los taxones herbáceos en general, y de las gramíneas en particular, lo que sugiere una apertura significativa del paisaje.

2.2.2 Castelló d'Empúries (S6)

El testimonio analizado proviene de un sondeo mecánico efectuado en el Parque Natural de Aiguamolls de l'Empordà ($42^{\circ} 16' 53''$ N, $03^{\circ} 07' 13''$ E), dentro del término municipal de Palau-Saverdera (Alt Empordà, Girona). Se trata de una antigua laguna litoral entre los ríos Muga y Fluvià, hoy en día convertida gran parte del año en un humedal efímero formado a causa de la antropización del territorio (Fig. 2.12).

requerimientos de humedad exigentes, aunque el componente arbóreo de la vegetación nunca es el dominante. Así, durante esta primera fase, *Quercus* tiene el protagonismo junto a otros taxones méxicos (*Corylus*, *Acer*, *Tilia*, *Ilex*, *Castanea* y *Carpinus*). Cabe resaltar que la climatología de esta zona nunca ha propiciado el desarrollo de grandes masas forestales, ya que el viento constante contribuye a potenciar la aridez y facilita la proliferación de los incendios forestales naturales. Estos condicionantes climáticos favorecen, en



Figura 2.12. Mapa de ubicación de los depósitos incluidos en Burjachs y Expósito (2015).

La contextualización cronológica del registro abarca desde los 9500 años cal. BP hasta la actualidad y la evolución de la vegetación documentada para el Holoceno sigue una pauta similar a la identificada en las Illes Balears (Burjachs *et al.*, 2005) (Tabla 2.2). Así, el contexto paleoambiental documentado antes de los 3500 años BP, se caracteriza por la presencia de masas boscosas densas y con

cambio, el desarrollo de formaciones arbustivas de *Quercus coccifera*, *Erica*, *Pistacia* y *Buxus*, entre otros. Es importante remarcar la alta representación de *Abies* y *Fagus* ya desde inicios del Holoceno, ya que no coincide con los resultados palinológicos de las montañas circundantes para esta época, en las que se ha documentado una expansión posterior de estos taxones arbóreos. Es muy probable que la

Los depósitos estudiados

llanura litoral actuara de refugio climático durante el Pleistoceno, contribuyendo a la permanencia de estas formaciones hasta mediados del Holoceno. El Holoceno reciente se caracteriza, sin embargo, por un descenso general de la cobertura arbórea. La proporción

La recolonización cristiana tras la etapa de dominio musulmán se caracteriza por el cultivo de la vid, la silvicultura del castaño y la adecuación de pastizales para la trashumancia, lo que se materializa en el aumento de Cyperaceae. La importancia de

depósito	Rango cronológico (dataciones cal. BP)		referencia
	techo	base	
Burg (CMB-8)	8075 ± 64 (Beta-252598)	16907 ± 174 (NOSAMS-59788)	Pèlachs <i>et al.</i> , 2007
Castelló d'Empúries	2695 ± 35 (Poz-20592)	8480 ± 40 (Poz-20050)	Burjachs <i>et al.</i> , 2005
Besós	1236 ± 42 (UBAR-211)	7730 ± 95 (UBAR-212)	Riera, 1995 Riera y Palet, 2005 Riera y Palet, 2008
Cubelles	861 ± 55 (Gd-5918)	5789 ± 88 (Gd-5919)	Riera, 1995 Riera y Esteban, 1997
Creixell	3313 ± 45 (Beta-148772)	6092 ± 71 (Beta-145576)	Burjachs y Schulte, 2003
Eivissa (TP-1)	2238 ± 61 (Poz-23489)	3731 ± 70 (Poz-23490)	Yll <i>et al.</i> , 2009
Elx	4007 ± 82 (Beta-74943)	9582 ± 52 (Beta-74945)	Burjachs y Riera, 1996 Burjachs <i>et al.</i> , 1997
Cabo de Gata	3825 ± 83	6759 ± 73	Esteban Amat, 1995 Burjachs y Riera, 1996 Jalut, 2000

Tabla 2.2: Relación de los depósitos incluidos en el trabajo de Burjachs y Expósito (2015), así como de las dataciones disponibles para la base y el techo de las secuencias.

de *Quercus* y taxones méxicos disminuye al tiempo que aumentan *Olea* y *Pinus*, en parte favorecidos antrópicamente. El monte bajo pasa a estar dominado por especies de *Erica* y *Cistus*, con presencia de *Calluna*, *Thymelaeaceae*, *Phillyrea*, *Rosmarinus* y *Jasminum* prácticamente hasta época medieval.

este depósito radica en que demuestra la existencia de un refugio pleistoceno para *Abies* y *Fagus* en esta zona, establece una baja densidad boscosa para todo el Holoceno probablemente motivada por los condicionantes climáticos del área y

documenta la presencia de *Carpinus* en los Pirineos orientales antes de su extinción.

2.2.3 Besòs

La secuencia de Besòs se localiza en el municipio de Sant Adrià del Besòs (Barcelonès, Barcelona) (41° 24' N, 02° 15' E), a 7 m s.n.m., en la costa central catalana (Fig. 2.12). La columna sedimentológica, de 35,3 m de potencia, procede de la plataforma deltaica del río Besòs, a menos de 1 km de distancia de la línea de costa (Riera, 1995). El contexto cronológico documentado abarca desde los 7730 a los 1220 años cal. BP (Tabla 2.2).

Los datos polínicos obtenidos han evidenciado la existencia de dos fases diferenciadas en lo que a las características del medio vegetal se refiere; una primera etapa caracterizada por una buena representación del estrato arbóreo y una segunda fase en la que se documenta el predominio de taxones herbáceos y arbustivos, ya a techo de la secuencia. Así, en la base del testimonio estudiado se documenta el predominio de las comunidades forestales de tendencia submediterránea, así como una elevada presencia de taxones caducifolios como *Quercus* o *Corylus*, y una buena representación de elementos meso y termomediterráneos (*Quercus* perennifolios, *Pistacia* y *Olea*). Inmediatamente después, en el período de máxima expansión forestal, se desarrollan los encinares mixtos con robles y se expanden los pinares registrándose, además, una mayor presencia de *Fagus*. Tras este momento de máxima expansión de los bosques, se produce una rápida deforestación y la consecuente expansión de taxones herbáceos (Poaceae, Asteroideae y *Artemisia*) y arbustivos (Ericaceae y *Cistus*). Posteriormente, el pinar y el encinar se

regeneran, aunque los *Quercus* caducifolios no volverán a alcanzar en la mitad superior del diagrama valores similares a los de la fase anterior. Los valores de taxones arbustivos continúan siendo elevados y se produce un incremento de taxones cultivados, principalmente Cerealia. Tras una nueva fase de retroceso del pinar, que comporta una extensión de los arbustos y el aumento de apófitos y cultivos, al final de la secuencia se produce una nueva regeneración forestal, principalmente del encinar (*Quercus* perennifolio), que va acompañada de un gran aumento en la representación de los taxones cultivados (*Olea*, Cerealia, *Cannabis* y *Vitis*). De hecho, las primeras evidencias claras de actividad humana se registran en la secuencia hacia los 4500 cal. BC. En este momento se documenta un incremento de incendios forestales, el aumento de *Cistus* y Cerealia, la presencia de una alta diversidad de taxones ligados a la actividad antrópica y la reducción de los porcentajes de polen arbóreo. Sin embargo, es en la parte superior de la secuencia, en torno al siglo V cal. AD (Riera y Palet, 2005, 2008), donde se documenta de manera más intensa la presión ejercida en el medio por las comunidades humanas. El incremento en los valores de apófitos en esta zona sugiere un posible desarrollo de las actividades ganaderas en estos sectores litorales, lo que coincidiría con la hipótesis del posible uso de las plataformas deltaicas como zonas de pasto. Durante el período medieval, con el desarrollo de actividades agrícolas, los incendios descienden y los bosques se regeneran. Una de las aportaciones fundamentales de la secuencia de Besòs es el establecimiento de las etapas y posibles causas potenciadoras de la instalación del encinar litoral en el sector central de la costa catalana.

Así, con posterioridad a 1635-1421 cal. BC se constata una fase de extensión de la encina que no parece necesariamente asociada a la presión antrópica. Este desarrollo del encinar habría dado lugar a un bosque mixto de encinas y robles que en la actualidad ha quedado relegado a las vertientes de las sierras litorales orientadas norte, mucho más húmedas.

2.2.4 Cubelles

La secuencia de Cubelles se localiza en el sector norte de la llanura litoral o Marina del Penedès, en la costa central catalana (Garraf, Barcelona) (41° 13' N, 01° 39' E), a 1 m s.n.m (Fig. 2.12). La columna sedimentológica, de 4,5 m de potencia, se extrajo de una paleolaguna conocida como Mar Morta, actualmente desecada (Riera, 1995). El modelo cronológico del registro, construido a partir de cuatro dataciones radiocarbónicas, indica que el diagrama cubre un lapso temporal entre 6050 y 400 años cal. BP (Tabla 2.2).

En términos generales, la secuencia polínica obtenida pone de manifiesto una continuidad en la composición vegetal de las comunidades arbóreas y arbustivas en la zona. En este sentido, los bosques de este sector se caracterizarían por el predominio de *Quercus* perennifolio y *Pinus*, a los que acompañarían especies termomediterráneas como *Pistacia* y *Olea*, así como algunos taxones submediterráneos (*Quercus* caducifolio y *Corylus*), así como por la presencia de formaciones de ribera de desarrollo escaso (Riera y Esteban, 1997). Partiendo de estas generalidades, se han observado ciertas variaciones a lo largo de la secuencia, como la existencia de una fase de menos cobertura

arbórea entre 6050 y 4420 años cal. BP, y una importante representación del lentisco (*Pistacia*). Sin embargo, a partir de 5686 años cal. BP se produce una extensión de formaciones mixtas de *Quercus* perennifolio y *Quercus* caducifolio y, entre los 4220 y los 2610 cal. BP, se registran los valores más elevados de polen arbóreo de la secuencia, fundamentalmente a causa del desarrollo del pinar, que va acompañado del descenso en la representación de las comunidades termófilas (*Pistacia* y *Olea*). A partir de 2610 cal. BP, los valores de polen arbóreo se reducen, principalmente como resultado del declive de *Pinus* y, en menor medida, de los taxones submediterráneos (*Quercus* caducifolio y *Corylus*). Esto va asociado a un incremento de taxones herbáceos (Poaceae, *Artemisia* y Asteraceae) así como a las evidencias de posibles cultivos (*Olea*, Cerealia tipo, *Vitis*, *Castanea* y *Cannabis* tipo). La reducción de la superficie forestal se acentúa a partir de 1390 años cal. BP, causando la práctica desaparición de los pinares del área. Tanto los *Quercus* caducifolios como *Pistacia* retroceden, mientras aumentan *Juniperus* y Ericaceae. El incremento de taxones herbáceos y plantas sinantrópicas que se produce en la etapa de mayor índice de deforestación y coincide con la fase de máxima recurrencia de incendios, podría relacionarse inequívocamente con una mayor incidencia de la actividad humana. Finalmente, el período medieval (entre 800 y 400 años cal. BP) supone la práctica desaparición de los bosques, a excepción del pinar que se regenera al disminuir la recurrencia de los incendios. Paralelamente, se aprecia un desarrollo de los cultivos, taxones apófitos (Cichorioideae y *Plantago lanceolata*) y prados húmedos usados como pastos (Amaranthaceae, Cyperaceae, etc.).

2.2.5 Creixell

Se trata de un depósito holoceno encuadrado cronológicamente entre los 6090 y 3313 años cal. BP procedente de las marismas de *Els Muntanyans* (41° 09' 20" N, 01° 26' 02" E, 1 m s.n.m.), en el término municipal de Torredembarra (Tarragonés, Tarragona) (Burjachs y Schulte, 2003) (Fig. 2.12, Tabla 2.2).

De acuerdo con los datos obtenidos, hace aproximadamente unos 6000 años la vegetación se caracterizaba por el equilibrio de *Pinus* y *Quercus* en el marco de un paisaje de encinar mixto. Durante esta época las precipitaciones eran superiores a las actuales, a juzgar por la mayor riqueza de taxones mesófilos: *Quercus* caducifolios, *Fagus*, *Corylus*, *Alnus*, *Tilia*, *Ulmus* o *Arbutus unedo*. Es necesario resaltar que la procedencia de alguno de estos taxones estaría relacionada con las cadenas montañosas paralelas a la costa, en las que también se ha identificado la presencia de *Abies*, *Betula*, *Fagus* e incluso *Carpinus*, taxones que en la actualidad tienen una distribución muy limitada. En la fase que abarca los últimos 3000 años se observa la substitución de las quercíneas por la maquia de *Olea*, mientras *Pinus* mantiene su representación, los taxones mesófilos descienden significativamente o desaparecen y la mayor parte de los arbustos reducen su presencia, a excepción de *Erica* y *Phillyrea*. La importancia de esta secuencia radica primordialmente en que demuestra la existencia pretérita de *Abies* y *Fagus* en las montañas tarraconenses, antes de su retroceso y extinción, hecho que sucedería a partir del cambio climático de mediados del Holoceno.

2.2.6 Eivissa (TP1)

El testimonio sedimentario de Prat de Vila (TP1), que abarca desde los 8000 años cal. BP hasta la actualidad, procede de la zona húmeda de Ses Feixes, en las proximidades de la ciudad de Ibiza (38° 54' 57" N, 01° 26' 06" E) (Fig. 2.12). La secuencia presenta una potencia de 7 m, en cuya parte superior se han realizado tres dataciones que han permitido extrapolar un marco cronológico que cubre gran parte del Holoceno (Yll *et al.*, 2009) (Tabla 2.2).

La zonación del diagrama se ha definido básicamente en función del comportamiento diferencial de los árboles. Hasta los 6200 años cal. BP aproximadamente, *Pinus*, *Quercus* y una buena representación de caducifolios, dominan el diagrama. Inmediatamente después, hacia los 3500 años cal. BP, el porcentaje de los taxones arbóreos continúa siendo importante, aunque descienden progresivamente los *Quercus* perennifolios. Finalmente, a techo de la secuencia, desaparecen las curvas de *Quercus* caducifolios y *Corylus*, así como las señales de la presencia de *Fagus* y *Betula*. Cabe reseñar que los pinos tienen un comportamiento discreto a lo largo de toda la secuencia a excepción de la zona intermedia, en la que parece evidenciarse que toman un cierto protagonismo. Tal como indica la sucesión taxonómica antes descrita, en el intervalo que va de esta zona media a la parte superior de la secuencia se detecta una progresiva substitución de los taxones mesófilos y caducifolios por los esclerófilos y más xéricos. La dinámica de los taxones arbustivos acompaña a la de los arbóreos y registra también su descenso más pronunciado al final de esta fase, mientras que los taxones herbáceos presentan una gran diversidad y, a partir de esta zona central, ascienden

progresivamente hasta dominar el espectro polínico en la parte superior del diagrama. En cuanto a las condiciones locales, durante la fase más antigua, entre la base y 6200 años cal. BP, el medio era muy salobre y la vegetación estaba formada principalmente por pinares en convivencia con encinares mixtos y especies templadas y húmedas, como *Corylus*. La siguiente fase, entre 6200 y 4000 años cal. BP aproximadamente, refleja un ambiente salobre, pero con un cierto aumento de algas de agua dulce (*Gloetrichia*) y hepáticas (*Riccia*) y una mayor extensión de árboles caducifolios. A continuación, hasta los 1600 años cal. BP, las condiciones ambientales muestran una progresiva xericidad, lo que provoca la disminución de árboles y arbustos, una mayor presencia de pinos y una reducción de las áreas inundadas. Entre 1600 y 700 años cal. BP y a pesar de coincidir con los momentos de dominio vándalo, bizantino y musulmán y hasta el inicio de la presencia cristiana, la zona no muestra un impacto antrópico destacable y se observa un aumento de los prados secos y las comunidades halófilas. La dinámica ecológica de la zona de marismas de Prat de Vila, ha estado siempre condicionada por las oscilaciones climáticas y la eventual aportación de agua de los ríos y fuentes cercanas. La irregularidad de estas aportaciones hídricas provoca las avenidas, sequías e inundaciones que quedan registradas a lo largo de toda la secuencia y que convierten Ses Feixes en una zona de gran inestabilidad. A inicios de la última fase, documentada en el siglo XVII, que es cuando se conforma el paisaje actual de Ses Feixes, los únicos árboles que conforman el paisaje son *Pinus* y *Quercus* perennifolios y el análisis palinológico muestra un aumento de las esporas de hongos, probablemente a causa de

la práctica del pastoreo que se generaliza gracias a la reducción drástica de la superficie inundada. En relación a la detección de la acción antrópica en el medio, cabe resaltar que, probablemente a causa de sus características biogeográficas, en Prat de Vila las consecuencias de la antropización no se detectan hasta época muy reciente. Los resultados obtenidos de esta secuencia, así como los procedentes del testimonio sedimentario de Prat de ses Monges (PSM₁), extraído de un punto muy cercano (Yll *et al.*, 2009), significan la constatación definitiva de la existencia en la isla de Ibiza de comunidades con *Quercus*, tanto perennifolios como caducifolios, ya desde el Holoceno antiguo. Esto acaba, por tanto, con las dudas planteadas acerca del carácter autóctono de estas especies. En general, y tal como se ha constatado en los análisis polínicos de otras secuencias de Mallorca y Menorca (Burjachs *et al.*, 2017), los datos derivados del análisis de TP₁ evidencian la substitución, de manera paulatina durante el V milenio BC, de árboles y arbustos de carácter mesófilo por otras especies con menor requerimiento hídrico. De hecho, a través de estas secuencias se ha documentado la extinción insular de taxones arbóreos como los robles, alisos y avellanos. También se ha ratificado el hecho de que el carácter más meridional de las Pitiusas y el conjunto de sus características biogeográficas favorecieron probablemente que, desde principio del Holoceno, se instaurase una vegetación más adaptada a las lluvias escasas e irregulares, haciendo que las consecuencias del cambio climático asociado a este período que se muestra de manera muy evidente en muchas zonas mediterráneas, fuera aquí menos apreciable.

2.2.7 Elx

La secuencia palinológica de Elx corresponde al sondeo efectuado en el paraje de las marismas de *El Hondo*, en la antigua albufera de Elx, hoy en día catalogado como Parque Natural (Baix Vinalopó, Alicante) (38° 10' 28" N; 00° 45' 10" O; 1 m s.n.m.) (Fig. 2.12).

En términos generales, la vegetación Holocena en esta región se caracteriza por una cobertura boscosa parcial en la que los taxones xerófitos (*Quercus perennifolios*, *Olea-Phillyrea* y *Pinus*) siempre dominan a los méxicos, incluso durante el óptimo climático del Holoceno (Burjachs y Riera, 1996; Burjachs *et al.*, 1997). De hecho, se observa una tendencia cada vez más acusada a la aridez típica del área mediterránea a lo largo de la secuencia (9582-4007 años cal. BP) (Tabla 2.2). La base del diagrama, encuadrada cronológicamente en el período climático Boreal, muestra los índices de mayor humedad ambiental de la secuencia. La existencia de unas condiciones algo más húmedas viene refrendada por los máximos en los valores de representación de los taxones méxicos (principalmente *Quercus caducifolios*, con *Corylus* y *Tilia* a nivel de presencia) y por la presencia de robledales, con acompañamiento de *Buxus*. Sin embargo, los bosques no llegaron a desarrollarse del todo en esta primera etapa, ya que la presencia de *Cistaceae*, *Erica*, *Ephedra* o *Pistacia* indica el papel preponderante de maquias y matorrales. Por otra parte, desde un punto de vista local, la albufera, que en este momento está cerrada al mar, presenta un mosaico de zonas dulcícolas (*Myriophyllum*, *Typha*, *Cyperaceae* y *Poaceae*) y salobres (*Amaranthaceae* y *Artemisia*). Inmediatamente después, en lo que correspondería al período Atlántico u óptimo

climático los taxones méxicos tienen una representación más discreta, lo que implicaría un cierto descenso en la humedad ambiental. Sin embargo, el estrato arbóreo alcanza valores porcentuales nada despreciables y se ha identificado la presencia de *Alnus*, *Fraxinus* y *Vitis* así como de maquias arbustivas bien desarrolladas. La presencia de ostrácodos marinos nos indica que es en este momento cuando la laguna se abre al mar, lo que explicaría el predominio de halófitos locales (*Amaranthaceae*) por encima de *Poaceae* y la desaparición en el diagrama de la acuática dulcícola *Myriophyllum*. El descenso de los taxones méxicos continúa a inicios del período Subboreal. De hecho, es durante este período en el que escasea el agua dulce cuando se inicia el descenso de las formaciones boscosas de *Quercus perennifolios* en favor de los pinares y maquias (*Olea-Phillyrea* y arbustos). Por otro lado, los resultados de la parte superior del diagrama, que se encuadran en hace unos 4400 años cal. BP aproximadamente, muestran la instalación de un cordón dunar en esta área que aísla la albufera y la cierra al paso del agua salobre. Este evento posibilita la máxima extensión de la población de *Pinus* así como la aparición de *Ruppia*, *Rhamnus* y *Thymelaea* y el aumento en la representación de *Tamarix*. A partir de este momento, el diagrama presenta bastantes hiatos, sin embargo, el espectro polínico identificado es representativo de la existencia de unas condiciones climáticas y un entorno vegetal muy similar al actual, con bajos porcentajes de cobertura arbórea, dominio de *Pinus* y una buena representación de *Erica*.

2.2.8 Cabo de Gata

El sondeo realizado en Cabo de Gata, en la provincia de Almería (38° 47' N; 00° 05'), procede del área más árida del oeste europeo en la actualidad (Fig. 2.12). Este depósito, en parte inédito, forma parte de la tesis doctoral de Esteban Amat (1995). La secuencia cubre los últimos 6700 años (Tabla 2.2) y es comparable, en lo que al espectro polínico identificado se refiere, a los datos obtenidos en otros sondeos litorales, secuencias continentales, testimonios marinos y secuencias ubicadas en el norte de África para este tramo cronológico (Jalut, 2000). Los resultados del sondeo realizado en el Cabo

de Gata reflejan, ya en la base del diagrama, un índice de vegetación arbórea muy bajo, que cede el protagonismo a la vegetación arbustiva, caracterizada por la alta presencia de acebuche (*Olea-Phillyrea*) (Burjachs y Riera, 1996). A partir del Neolítico medio (5500-4500 años BP), el medio vegetal identificado es muy similar al de la fase anterior, aunque se observa una cierta recuperación de los taxones caducifolios. En el Neolítico final (4500-4000 años BP), el paisaje sigue dominado por la maquia litoral, que se reduce drásticamente hacia el 3500 BP, para dar paso a una vegetación de tipo estépico, que se ha mantenido hasta la actualidad.

3. PALEOPALINOLOGÍA

Reconstrucción del contexto paleoecológico a través del registro polínico

3.1 Introducción

La Palinología es una disciplina de la botánica, relativamente joven, dedicada al estudio del polen de las plantas superiores y de las esporas de pteridófitos, briófitos, algas y hongos. Etimológicamente, la palabra proviene del verbo griego *palynein*, que significa arrojar lejos, esparcir. En la antigua Roma *pollen-inis* designaba también un polvo muy fino, la flor de la harina, el polen, por ejemplo.

El papel del polen en la fecundación de las plantas fue conocido ya por asirios y fenicios,

pero no fue hasta la invención del microscopio, a mediados del siglo XVII, cuando se hizo posible el inicio de los estudios de anatomía vegetal y biología de las plantas. Desde que, en 1682, Grew describió las primeras formas polínicas, los científicos se centraron en la descripción de su morfología, características y propiedades, aunque el verdadero desarrollo de la Palinología como disciplina paleontológica, el incorporarse a las observaciones cualitativas del polen, su

estudio estadístico, no se remonta más allá del inicio del siglo XX.

Como afirma Dupré (1979), la Palinología ha recorrido tres etapas principales. La primera de ellas se centró en el estudio de la morfología polínica de especímenes actuales, principalmente. Más tarde, los resultados del análisis palinológico se destinaron a la caracterización y correlación de secuencias de diversa índole, como turberas, horizontes hulleros, perfiles estratigráficos, etc. Finalmente, hacia 1930 se desarrollaron estudios paralelos a las dos líneas de investigación antes citadas, aplicándose el análisis de polen y esporas a diversas disciplinas.

Las aplicaciones de la Palinología son numerosas e incluyen la taxonomía (p. ej. Harley y Ubara, 2012), la paleobotánica (p. ej. Stuessy, 2009), la aerobiología (p. ej. Hyde, 1969), la melisopalinología (p. ej. Jones y Bryant, 1992), la ciencia forense (p. ej. Wiltshire, 2016), la datación relativa de depósitos (p. ej. Whittle *et al.*, 2011), los estudios centrados en los cambios climáticos bruscos (p. ej. Burjachs y Julià, 1994), la influencia de la actividad antrópica en la historia de la vegetación (p. ej. Revelles, 2017), etc.

Los primeros trabajos derivados del análisis de polen eran fundamentalmente de carácter cualitativo. No es hasta que se materializan los primeros estudios estadísticos de representación polínica y, posteriormente, los primeros diagramas paleopalinológicos (Von Post, 1933), cuando podemos hablar de lo que actualmente conocemos como paleopalinología moderna. El método del análisis polínico presentado por Von Post en el congreso de Oslo de 1916, implica la

representación continua de las síntesis de los recuentos polínicos en forma de diagrama. Este método permitía reconstruir la evolución del clima y la vegetación a lo largo del tiempo.

En un principio, el análisis polínico se llevó a cabo únicamente en medios turbosos, aunque actualmente este puede aplicarse a sedimentos secos. Este tipo de medios, aunque menos ricos en polen, puede aportar información valiosa en zonas en las que no es posible localizar zonas húmedas.

Considerando la paleoecología como el estudio de los cambios en el medioambiente a lo largo del tiempo, la consideración del análisis palinológico como una herramienta imprescindible en la restitución paleoecológica se evidencia en los estudios de Auer (1927) y Sears (1930) en Norteamérica. En Europa, esta idea empieza a imponerse en el Baltic Committee Meeting, en 1933.

Tras la aceptación de la potencialidad del análisis palinológico en la reconstrucción de la vegetación y el clima del pasado, la palinología se adentró progresivamente en la problemática relacionada con la injerencia de las comunidades humanas pretéritas en el entorno vegetal.

La Paleopalinología, en tanto pretende reconstruir la vegetación y condiciones climáticas del pasado, parte de tres hipótesis principales (Reille, 1990):

1. La lluvia polínica actual representa fielmente la vegetación.
2. El depósito y la conservación de pólenes y esporas no modifican la imagen aportada por la lluvia polínica.
3. El muestreo palinológico, la extracción química de los palinomorfos, su conteo y determinación restituyen

fielmente la imagen de la lluvia polínica.

La Paleopalínología empieza a desempeñar, a partir de este momento, un papel fundamental en la reconstrucción paleoecológica dada la evidente relación existente entre el suelo, la vegetación y el clima. Los estudios palinológicos contribuirán, a partir de este momento, al conocimiento de las fluctuaciones climáticas, los cambios en la vegetación o el desarrollo de las interacciones de las actividades humanas con el medio.

3.2 Presupuestos metodológicos

3.2.1 Polen

Las evidencias de las que disponemos hasta el momento indican que las primeras esporas pertenecientes a helechos se han localizado en sedimentos del Silúrico (423-443 Ma), aunque se trata de un horizonte todavía cambiante. Los primeros granos de polen, de lo que se denomina Protogimnospermas, no aparecen, en cambio, hasta el final del Devónico, hace aproximadamente unos 350 millones de años. De hecho, no es hasta el Triásico (240 Ma) cuando se documenta la aparición de los primeros pólenes de angiospermas (Hochuli y Feist-Burkhardt, 2013), que no aparecen en los registros estudiados, de forma generalizada, hasta el Cretácico inferior (115 Ma).

El interés fundamental del estudio del polen deviene de diversos factores, entre los que se encuentran la relativa frecuencia en la que aparece, tanto en medios marinos como continentales, la abundancia en la que se encuentra, su durabilidad, gracias a las características de su cubierta, y su rápida evolución, que ha permitido que sea ampliamente usado en bioestratigrafía.

El grano de polen es un componente fundamental en el intercambio de información genética que tiene lugar durante los procesos de reproducción vegetal. Forma parte de la estructura reproductora masculina o *androceo*, y su función biológica consiste en fecundar los óvulos del ovario, localizados en el *gineceo* de la flor. Para ello, el polen liberado de las estructuras productoras o *anteras*, localizadas en los estambres, debe alcanzar el ovario de la flor (Fig. 3.1). Por lo general, el polen fecunda flores de otras plantas, a excepción del de las plantas autóгамas, en las que el polen fecunda la planta de la que procede.

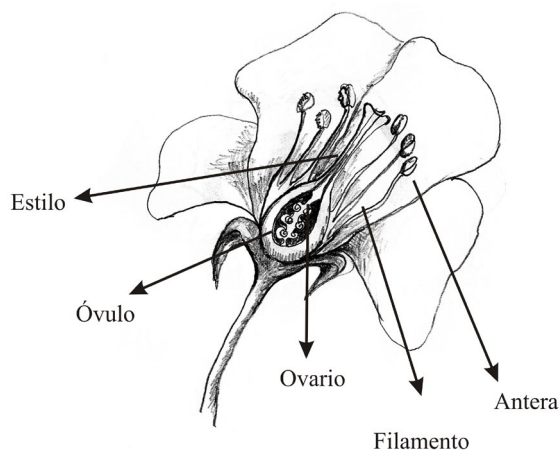


Figura 3.1. Esquema básico de las estructuras reproductoras femenina y masculina de la flor (Dibujo: I.E.B.).

En el desplazamiento que realiza, el polen debe preservar su contenido celular para que llegue en buenas condiciones al ovario y, es precisamente, la resistencia desarrollada por su envoltorio para preservar su interior, la característica del grano que permite su preservación. Así, el grano de polen (Fig. 3.2) tiene una pared denominada **esporodermis** que reúne los rasgos fundamentales de la morfología externa del polen que permite su identificación.

El grano polínico está originalmente agrupado en tétradas cuando se forma en la antera de la flor. La posición del grano en la tétrada le confiere caracteres morfológicos que dan lugar a una cubierta externa con rasgos estructurales distintos (Fig. 3.3)

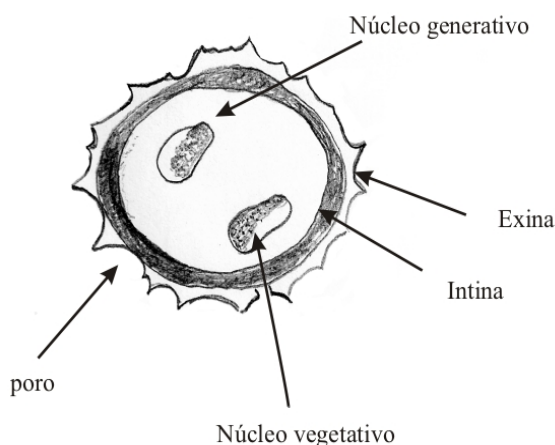


Figura 3.2. Principales componentes de la estructura básica de un grano polínico (Dibujo: I.E.B.).

La esporodermis o pared polínica del polen y las esporas, que protege el gametofito (protoplasma) de la falta de humedad y el ataque microbiano, se compone de dos capas (Fig. 3.4). La capa interior o **intina**, también llamada endospora en las esporas, suele estar formada por celulosa y desaparece al morir el contenido celular del grano de polen.

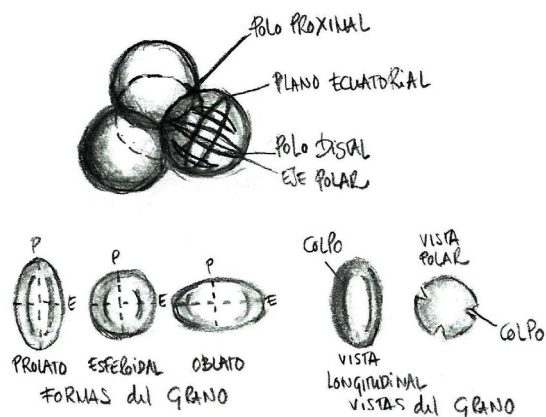


Figura 3.3. Tétrada de polen. Formas y vistas fundamentales del grano de polen (Dibujo: I.E.B. Adaptado de Bui-Thi-Mai, 1974).

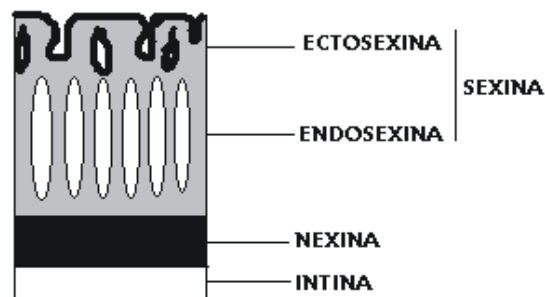


Figura 3.4. Esquema de los componentes de la pared polínica (Dibujo: I.E.B.).

La pared exterior, o **exina**, es muy resistente a la descomposición y a los ataques microbiológicos, y puede conservarse durante millones de años. La exina está conformada por celulosa, hemicelulosa, lignina, sustancias pécticas y de un material altamente resistente llamado esporopolenina (Stanley y Linskens, 1974). Esta sustancia, que sobrevive a las inclemencias atmosféricas, al proceso de fosilización e incluso a los ataques químicos del tratamiento físico-químico necesarios para la extracción del residuo polínico del sedimento, no ha sido descrita químicamente en su totalidad, aunque se cree que se compone de biopolímeros oxidativos de carotenoides, de ésteres de carotenoides, cadenas largas de ácidos grasos, fenilpropanoides y fenoles (Shaw, 1971; Brooks y Shaw, 1972, 1978; Guilford *et al.*, 1988; Boavida *et al.*, 2005). La esporopolenina, que se caracteriza por su gran estabilidad química, lo que favorece su resistencia al proceso de fosilización, está presente en los diferentes taxones polínicos en distintas proporciones. La estructura de la exina es compleja, ya que se subdivide en diversas capas (*endexina* y *ektexina*) y subcapas (*téctum*, *infratéctum* y *base*) que han sido descritas y jerarquizadas por diversos autores a lo largo del tiempo (Ertman, 1948; Faegri, 1956; Renault-

Miskovsky *et al.*, 1976; Dupré, 1992; Sáenz Laín, 2004). (Fig. 3.5).

(conformada por elementos en forma de verrugas), etc. (Fig. 3.6).

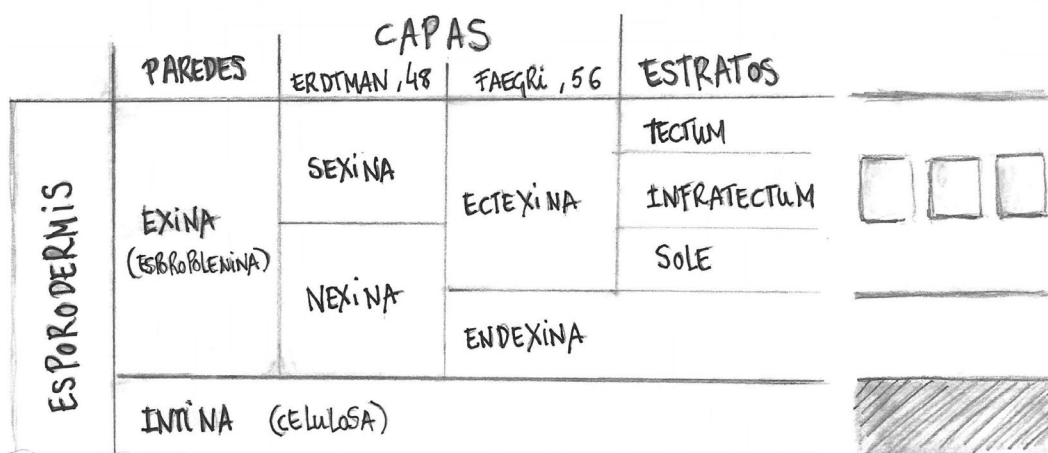


Figura 3.5. Componentes de la esporodermis del polen (Adaptado de Renault-Miskovsky *et al.*, 1976).

Las características morfológicas externas de la cubierta polínica son particulares y comunes a nivel de familia o de género, lo que posibilita que los granos de polen puedan ser asignados a ese nivel taxonómico con un alto grado de fiabilidad. La función de estos patrones superficiales es todavía desconocida, aunque existen numerosas teorías que abogan por significaciones diversas (Blackmore y Ferguson, 1986). Los rasgos diagnósticos que permiten la identificación de pólenes y esporas son la ornamentación y estructura de la exina, la distribución y morfología de las aperturas, y la forma y tamaño generales.

Es en la capa más externa de la exina (*ectexina*) donde pueden apreciarse los elementos esculturales o de **ornamentación** que caracterizan a los diferentes palinomorfos. En términos generales, el grano de polen puede tener una exina totalmente lisa, de superficie baculada (con elementos más altos que anchos), equinada (con elementos esculturales puntiagudos), verrugosa

La estructura de la exina presenta, además, variaciones en su grosor. Estas alteraciones en la superficie del grano se transforman en ocasiones en aperturas, en las que la exina desaparece. Estos “vacíos” en la exina tienen como misión facilitar la emisión del tubo polínico a través del cual se produce la fecundación, además de permitir los cambios

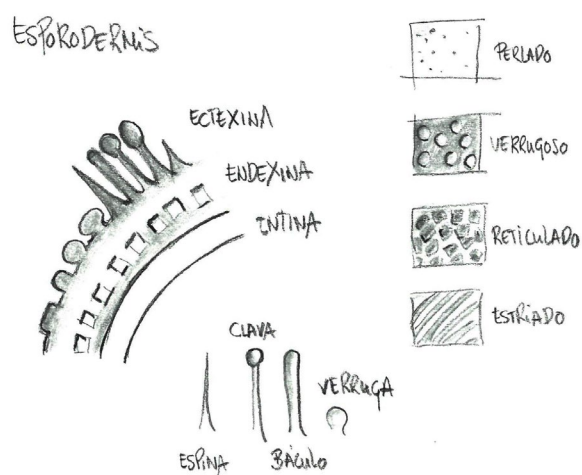


Figura 3.6. Estratificación de la esporodermis, diversos tipos de ornamentación de la exina y sus elementos característicos (Dibujo: I.E.B.).

de volumen del polen debidos a las oscilaciones en la humedad ambiental. Las aperturas constituyen uno de los rasgos imprescindibles para la identificación del polen en función de su forma y distribución.

Atendiendo a la **forma de las aperturas** los granos de polen se clasifican en: colpados (por la presencia de colpos); porados (por la presencia de poros) y colporados (presencia de colpos y poros).

La diferencia entre colpo y poro se establece por una proporción respecto a la longitud y anchura de $2/1$. Como ya hemos dicho, la **distribución de las aperturas** también es un elemento diagnóstico, pudiendo ubicarse estos vacíos en la zona del ecuador (zonoaperturado), en los polos, o a lo largo de toda la superficie del grano (pantoaperturado). Otro aspecto importante a tener en cuenta es el **número de aperturas**. Podemos encontrar granos polínicos sin aperturas (inaperturado), con una sola de ellas (monoaperturado), con dos (diaperturado), y así sucesivamente (Fig. 3.7).

Una vez fuera de la antera de la flor, **la forma y el tamaño** del grano de polen pueden sufrir variaciones como consecuencia de la exposición a las condiciones medioambientales y de deposición / sedimentación, aunque en líneas generales, los distintos tipos polínicos mantienen características similares.

Por último, a los criterios de identificación habría que añadir un último factor que atañe a la morfología conservada de los granos polínicos durante la dispersión una vez han salido de la antera. Aunque, como ya hemos dicho, generalmente los granos polínicos se encuentran unidos en tétradas en el interior de la antera, al ser liberados, la gran mayoría se

dispersa de forma individual. Aun así, en ocasiones pueden mantenerse formando grupos de dos (díadas), de 4 (tétradas) o de más de 4 granos (políadas). Aunque resulta un aspecto de enorme simplicidad, este es uno de los caracteres básicos para establecer una primera aproximación a la identificación esporopolínica.

Cabe señalar que la identificación de la planta productora del polen entraña mucha dificultad. Generalmente la identificación puede llegar al género o familia. Solo en algunos casos excepcionales es posible llegar a identificar una especie concreta.

La estructura y composición química de la esporodermis de las esporas (células reproductivas de las plantas Criptógamas) es similar a la de los pólenes, característica por la que también es posible su conservación y estudio. Hay que señalar, que los pólenes y esporas estudiados en los análisis palinológicos son aquellos que no alcanzaron su objetivo y que, por tanto, no cumplieron con su función reproductiva.

La emisión, dispersión y sedimentación del polen de las diferentes especies vegetales está condicionada por diversos aspectos que influirán necesariamente en su preservación como registro fósil.

Las plantas tienen diversas formas de dispersar su polen y cada modalidad de dispersión condiciona la representación en los análisis palinológicos del polen depositado (Moulton, 1942; Havinga, 1967; Edmonds y Benninhoff, 1973; Faegri y Iversen, 1989). El polen anemófilo es aquel que se dispersa gracias a la acción del viento y es producido en grandes cantidades, lo que generalmente implica que aparezca sobrerrepresentado en los análisis palinológicos. El polen entomófilo

o zoófito, es el transportado por insectos y animales de la *antera* de una flor al *estigma* de otra y suele ser mucho menos abundante, por lo que suele aparecer de manera puntual en el registro polínico. El agua es otro de los agentes de diseminación, que resulta fundamental para la dispersión polínica de las plantas higrófitas o higrófilas, muy presentes en medios acuáticos o húmedos.

Tanto el polen zoófilo como el perteneciente a autógamias (plantas que se polinizan a sí mismas), aparece raramente en los espectros y si lo hace, debemos considerarlo como un artefacto en la representación a causa del aporte de animales o humanos, o de la conservación diferencial que se da en las familias de polen más resistente a la alteración, como el de las Asteráceas.

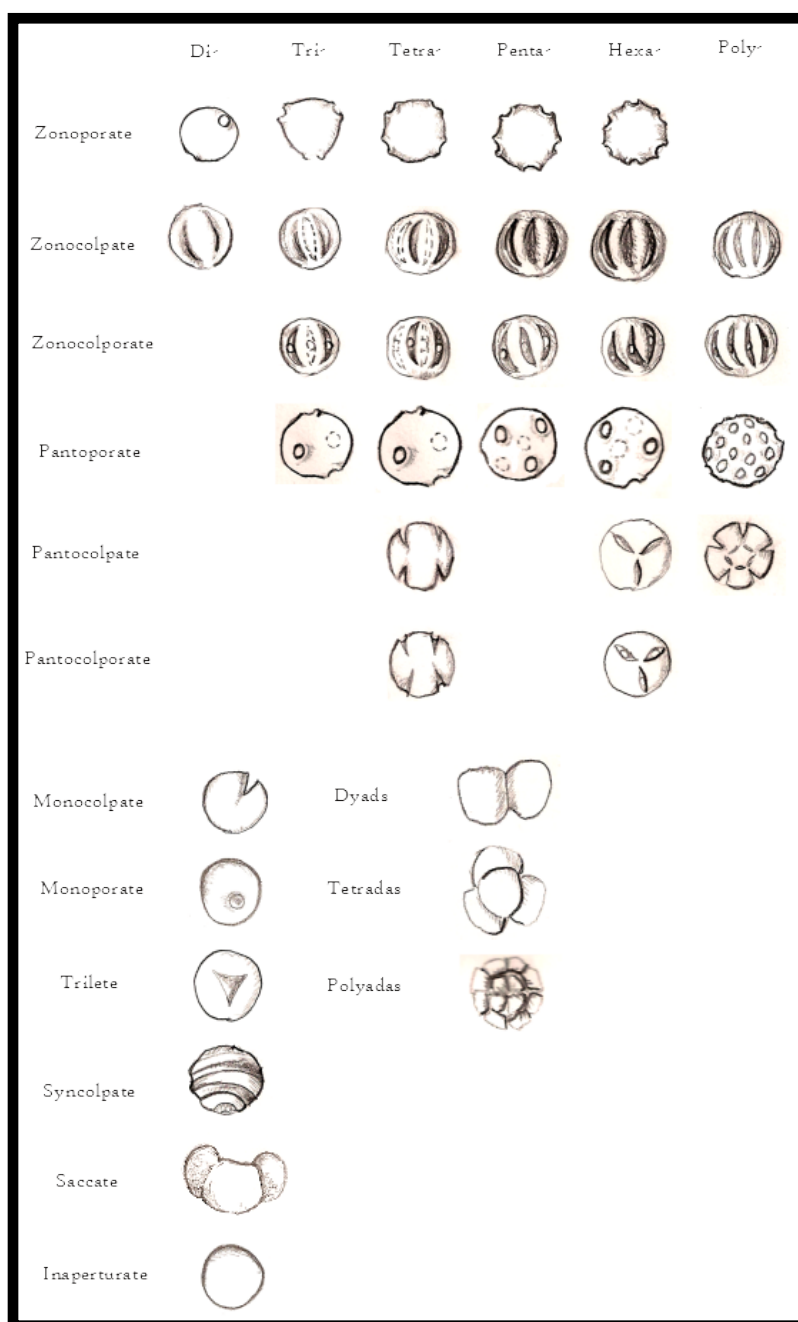


Figura 3.7. Esquema de los principales tipos polínicos (Dibujo: I.E.B.).

Además de las diferentes modalidades de dispersión, hay factores como la morfología polínica, la medida y el peso del grano, el tiempo transcurrido desde su emisión, o la estructura física de la vegetación entre la que debe desplazarse, que condicionan su diseminación.

El grado de dispersión del polen está también sujeto a otros aspectos ajenos a su forma de emisión y características morfológicas como son la velocidad del viento o la temperatura que, entre otros aspectos, condicionarán la presencia del polen en la atmósfera y la distancia a la que este podrá depositarse (Moulton, 1942; Havinga, 1967; Edmonds y Benninhoff, 1973; Faegri y Iversen, 1989).

3.2.2 Palinomorfos No Polínicos

Junto al análisis del residuo polínico, es cada vez más frecuente el estudio del amplio registro de microfósiles no polínicos que aparecen en las preparaciones microscópicas (Diot, 1991a; Coil *et al.*, 2003; van Geel (Ed.), 2006). El conjunto de elementos del residuo palinológico (*palinodebris*) está formado tanto por materia orgánica amorfa, *debris* opacos (restos minerales, microcarbones), *debris* vegetales (hifas, estomas, filidios, etc.) y microfósiles (pólenes, esporas, palinomorfos no polínicos). (Combaz 1964; Jarzen y Elsik, 1986; van Geel, 1986, 1992; Diot, 1991a; Hawksworth *et al.*, 1995). Los *debris* vegetales y otros microfósiles no polínicos conservados en las preparaciones palinológicas, se han denominado Palinomorfos No Polínicos o NPP (Non Pollen Palynomorphs; van Geel, 2001) e incluyen diversos tipos de palinomorfos resistentes a la descomposición, formados principalmente por esporopolenina, lignina o quitina. En su mayor parte, proceden

de grupos bióticos en los que los macrorestos vegetales que los alojaban han desaparecido a causa de la descomposición, entre otros factores (Fig. 3.8).

Los grupos que se identifican más frecuentemente en los análisis palinológicos son las esporas fúngicas (van Geel, 1978; van Geel y Aptroot, 2006), seguidos por las microalgas (Jankovská y Kómarek, 2000; Kómarek y Jankovská, 2001), los restos quitinosos de insectos y otros palinomorfos de origen indeterminado (López Sáez *et al.*, 1998, 2000, 2005; van Geel, 2001; Carrión y Navarro, 2002; Galop y López Sáez, 2002).

Estos palinomorfos conforman el registro palinológico junto a esporas de briófitos (musgos, hepáticas y antóceras) o pteridofitos (helechos). Prácticamente todos ellos tienen una significación ecológica que trasciende solo discretamente a lo estrictamente local, aunque resultan útiles en las reconstrucciones paleoecológicas. De hecho, la también llamada Palinofacies, puede proporcionar, en ocasiones, información valiosa que contribuya a caracterizar la muestra sedimentaria (estrato, nivel, *facies*, etc.). Su estudio y cuantificación no supone tratamientos químicos adicionales, sino que éstos son los mismos que los utilizados en los análisis palinológicos tradicionales (Burjachs, 1990; van Geel, 2001; Burjachs *et al.*, 2003; Coil *et al.*, 2003), que permiten asilar el residuo de pólenes y palinomorfos en la misma preparación microscópica.

El comportamiento de las esporas es similar al del grano polínico ya que también requieren dispersarse en el espacio para llevar a cabo sus funciones, aunque las esporas de criptógamos solo necesitan llegar a un lugar proclive a la germinación, a diferencia del grano de polen.

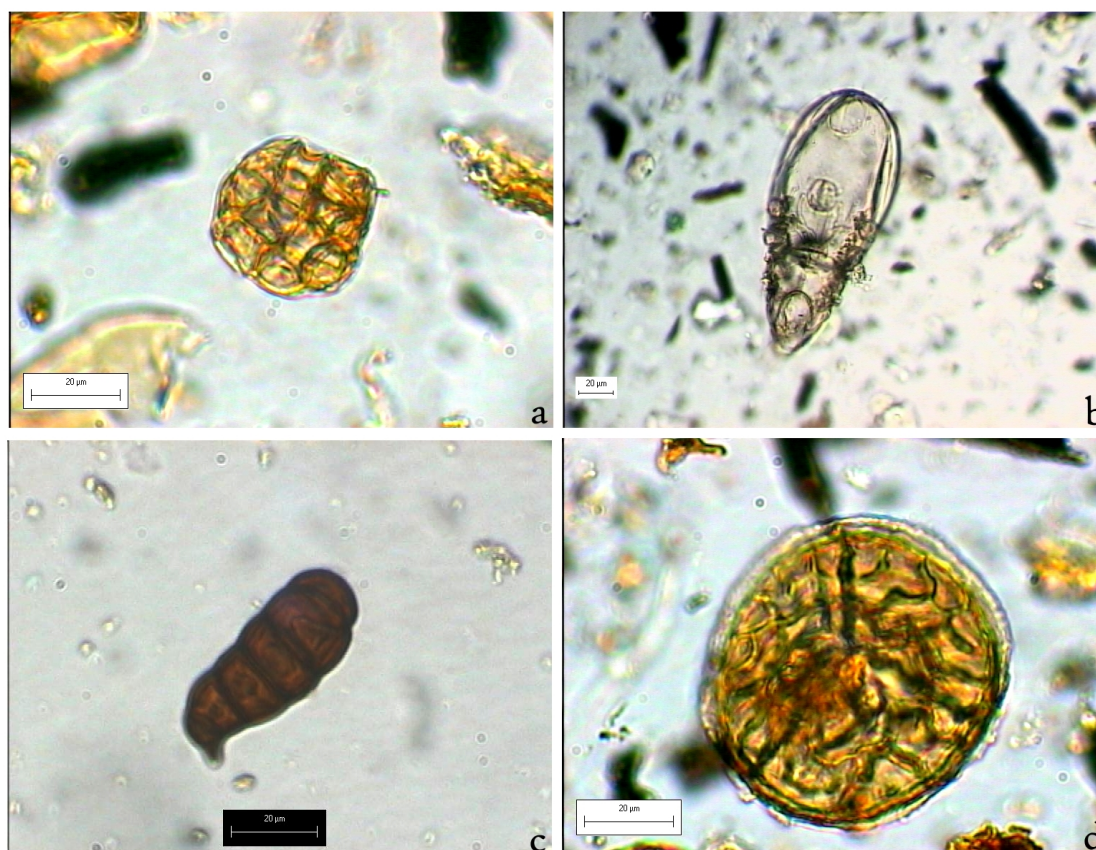


Figura 3.8. Fotografías de algunos palinomorfos no polínicos. a) *Polyadosporites*; b) *Acari*; c) *Pluricellaesporites*; d) *Riccia*.

Al depositarse en el lugar adecuado, permiten la germinación y el desarrollo del vegetal, con la consecuente nueva producción de esporas.

La significación ecológica de estos palinomorfos, así como lo referente a su reproducción, dispersión y otras características biológicas, serán tratadas en profundidad en el capítulo 5 de esta tesis, dedicado a la aportación de los NPPs al análisis palinológico.

3.2.3 Nomenclatura taxonómica

En líneas generales la nomenclatura taxonómica empleada procede de la llamada taxonomía biológica, que comparte muchas de sus principios de clasificación con otras disciplinas ligadas con las ciencias naturales.

3.2.3.1 Taxonomía polínica

El conjunto de los restos polínicos identificados o taxones, pertenecientes a un mismo tipo polínico, pueden englobarse bajo la nomenclatura específica de familia, género o especie. En ocasiones, los taxones pertenecientes a determinados géneros vegetales presentan unas características insuficientes para la diferenciación entre las distintas especies de este género. En este caso, se emplea la denominación “**tipo**” (por ejemplo, *Ephedra* tipo *distachya*). Otra convención establecida es la que afecta a los componentes del género *Quercus*. Sus características polínicas dificultan su identificación en rango de especie, por eso normalmente en los estudios paleopalinológicos estas especies aparecen

englobadas bajo la denominación de *Quercus ilex-coccifera* o *Quercus perennifolios*, que incluye las especies mediterráneas de hoja perenne (encina, coscoja, alcornoque), o *Quercus caducifolios*, que engloba las especies de hoja caduca (robles). Solo en el caso de que el material polínico esté bien conservado, puede determinarse también el tipo *Q. suber*. Otro término que se emplea es la abreviatura “sp”, cuando el grano se identifica a nivel de una de las especies del género, pero no puede especificarse cuál es la especie en concreto a la que pertenece (p. ej: *Pinus* sp), o “spp” cuando se observa que hay diferentes tipos de un mismo género que no podemos discriminar (*Pinus* spp). Finalmente, la abreviatura “cf” se utiliza cuando la asignación a una determinada especie o género no es totalmente certera, aunque la situación biogeográfica del depósito así lo indique (cf *Juniperus*).

3.2.3.2 Tipología de los Palinomorfos No Polínicos

En cuanto a los palinomorfos no polínicos, la nomenclatura empleada procede de diversas fuentes bibliográficas. Cabe reseñar que esta rama de la disciplina empezó a desarrollarse en los años 70 del siglo pasado y que, todavía con más frecuencia que en lo referente al registro polínico, las divergencias en la nomenclatura empleada por los diferentes investigadores son generalizadas. Así, existen tres tendencias principales; la que adopta una nomenclatura de la sistemática botánica, derivada de la **especie**, **género** o **familia** de hongos y algas, como en el caso de *Sporormiella* (Davis y Shafer, 2006; Graf y Chmura, 2006) siempre y cuando sea posible su atribución; la puramente relacionada con la **morfología** de los palinomorfos como ocurre

con *Pluricellaesporites*, *Polyadosporites* y otros (Jarzen y Elsik, 1986) (Fig. 3.9) y la más extendida, que parte de la descripción de una serie de **tipos**, como el HdV 55, el HdV 90, el HdV 128A u otros, que permiten un mayor detalle en la identificación y contribuyen a universalizar las atribuciones taxonómicas de dichos palinomorfos (van Geel *et al.*, 1981).

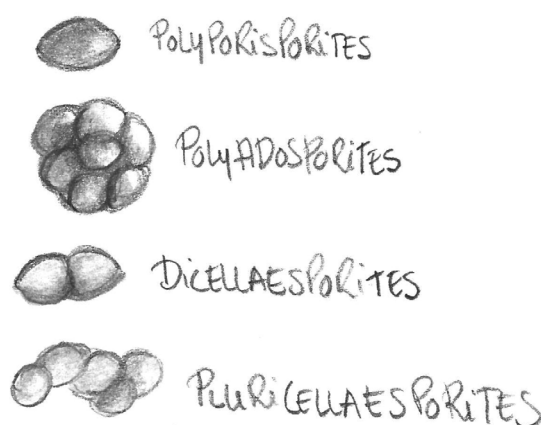


Figura 3.9. Tipologías morfológicas más frecuentes empleadas en la identificación de palinomorfos no polínicos (Dibujo: I.E.B.).

En la actualidad, la mayoría de los microfósiles no polínicos, identificados en los estudios paleoambientales, se tipifican siguiendo la numeración continua consignada por la escuela del Dr. Bas van Geel de la Universidad de Amsterdam (van Geel, 1986, 2001). Esta tipificación, y los tipos correspondientes a cada palinomorfo, han sido recogidos detalladamente, junto a su significación paleoecológica, a lo largo de las últimas décadas en varias publicaciones (van Geel, 1972, 1976a, 1976b, 1978; van Geel *et al.*, 1981, 1983, 1984, 1989, 1996; López Sáez *et al.*, 1998, 2000; Carrión y van Geel, 1999; Miola, 2012; Revelles *et al.*, 2016). Recientemente, y con el objetivo de uniformizar criterios, se ha añadido a la numeración las siglas

identificativas del laboratorio en el que se realizó la asignación del tipo y se han realizado diversos esfuerzos para establecer correspondencias entre la nomenclatura procedente de todas estas fuentes (Miola, 2012).

3.2.4 Muestreo

Cuando se trata de llevar a cabo el análisis de polen fósil, es necesario extraerlo de la matriz sedimentaria en la que se depositó. En la mayoría de las ocasiones las muestras proceden de sondeos o cortes estratigráficos, aunque también se pueden analizar muestras procedentes de coprolitos, fondos de recipientes, etc.

Los testimonios obtenidos por sondeo, mediante el empleo de sonda mecánica o manual, permiten obtener una representación completa de la potencia del depósito y es el tipo de muestreo más adecuado para ambientes húmedos como turberas o fondos de lago. El muestreo de los testimonios sedimentarios obtenidos se lleva a cabo en el laboratorio, después de describir la sucesión estratigráfica recuperada. Con el fin de evitar contaminaciones, es conveniente eliminar la capa superior de la zona a muestrear. El intervalo en la toma de muestras se establece en función del tipo de sedimento y de los cambios litológicos observados. Las muestras tomadas se señalizan y se documenta el muestreo con fotografías y dibujos (Fig. 3.10).

En los yacimientos arqueológicos la metodología y el tipo de muestreo están relacionados con las características del yacimiento arqueológico a analizar. Evidentemente, el planteamiento de recogida de muestras no puede ser el mismo para un

depósito en cueva o al aire libre, etc., por lo que ha de adaptarse a las características propias de cada horizonte sedimentario (Girard, 1975; Burjachs, 1985, 1990; Burjachs *et al.*, 2003). En cualquier caso, en depósitos arqueológicos está especialmente indicado el muestreo de los cortes estratigráficos más representativos de la totalidad de la potencia excavada. El muestreo en perfiles sedimentarios es el denominado “**vertical**”, en “**perfil estratigráfico**” o “**continuo**” y se lleva a cabo tomando muestras a lo largo del perfil escogido desde la base del relleno hasta el límite superior del relleno. Una vez decidida la zona del muestreo, es necesario realizar una limpieza previa del perfil para eliminar la contaminación de polen actual de los sedimentos más expuestos. Tras la limpieza, es necesaria la utilización de una escala de medida y se tomará la profundidad y posición exacta de cada muestra. El muestreo debe



Figura 3.10. Imagen del muestreo de un testimonio procedente de un depósito natural.

realizarse siempre desde la base hacia el techo, con el objetivo de impedir la contaminación de la zona todavía por muestrear. Por regla general, deben obtenerse muestras de unos 50 gr de sedimento que se depositarán, por ejemplo, en una bolsa de plástico de cierre hermético previamente etiquetada. Este tipo de muestreo puede realizarse siguiendo la dinámica de los trabajos de excavación, lo que provee cortes estratigráficos frescos y carentes de contaminación (Fig. 3.11).

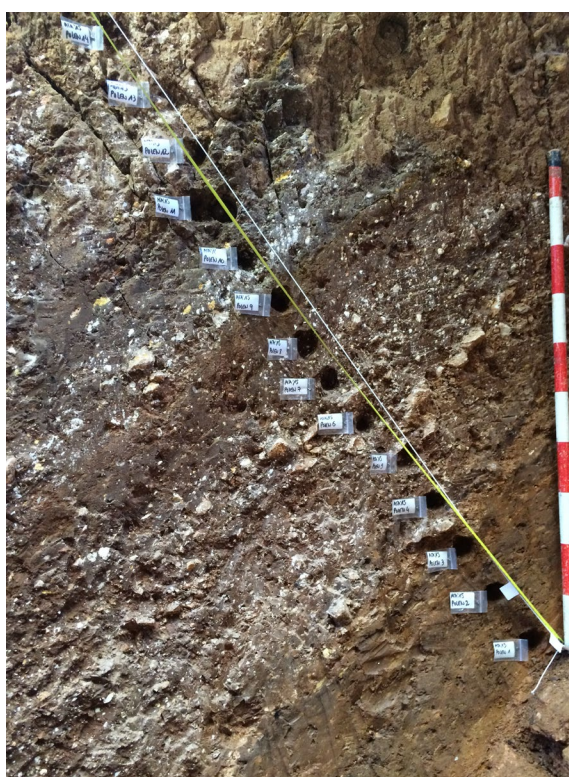


Figura 3.11. Imagen del muestreo de parte de la secuencia estratigráfica del yacimiento de la Sima del Elefante durante la campaña de excavación del año 2015.

Este tipo de muestreo posibilita una recreación, relativamente continua, de la potencia sedimentaria del depósito. Esto permite la realización de estudios encaminados a caracterizar cuestiones relacionadas con la dinámica de la vegetación a un nivel diacrónico, a lo largo de la

formación del yacimiento. El estudio pormenorizado de depósitos con una resolución suficiente, nos permite reconstruir “momentos climáticos específicos”, que generalmente podrían ser datados en base a la cronografía, la estratigrafía o la presencia de artefactos (Emery-Barbier, 1995).

El muestreo vertical es el más frecuente, sobre todo si el objetivo de los análisis es la reconstrucción diacrónica de la evolución de la vegetación. Cabe resaltar que, sin embargo, cada vez es más frecuente el muestreo horizontal de la totalidad o una parte de la superficie de excavación, como por ejemplo un suelo de ocupación, denominándose en este caso muestreo “horizontal” (Burjachs *et al.*, 2003; López Sáez, *et al.*, 2006). Así, es frecuente en yacimientos arqueológicos, el muestreo de sedimentos contenidos en material cerámico, concreciones adheridas a diversos objetos, resinas, contenido sedimentario de restos óseos, coprolitos, etc. Este tipo de muestreo es, además, especialmente interesante para evaluar cuestiones de índole tafonómica, como la conservación polínica diferencial o la presencia de determinados palinomorfos no polínicos ecológicamente significativos en áreas concretas (Girard, 1975; Burjachs *et al.*, 2003) (Fig. 3.12).

Una de las problemáticas derivadas del muestreo en depósitos arqueológicos, a diferencia de otros contextos sedimentarios de origen natural, es que la tasa de sedimentación varía de forma importante (Richard, 1999). Así, los incendios dan lugar a un proceso de acumulación sedimentaria muy rápido, semejante en rapidez al que puede darse en todo tipo de rellenos de origen antrópico. En cambio, la velocidad de sedimentación es muy

lenta en las zonas de circulación o paso. Estos factores contribuyen a que la deposición de sedimentos varíe en función de la dinámica sedimentaria, e incluso que la tasa de sedimentación sea distinta dependiendo de la incidencia antrópica (López Sáez y Blanco González, 2004). Por regla general, los sedimentos naturales suelen no estar sometidos al efecto directo de la antropización y suelen corresponder a secuencias sedimentarias ininterrumpidas, en la mayoría de los casos.

emplazamiento asignado a las muestras y contribuye a que los detalles del muestreo estén disponibles para el conjunto de especialistas que conforman el equipo de excavación y análisis.

3.2.5 Técnicas de extracción y análisis

En términos generales, la extracción de material esporopolínico de sedimentos de origen natural, como turberas o fondos de lago, no reviste demasiada dificultad, dada la



Figura 3.12. Imagen del muestreo de la zona abdominal del esqueleto de un tapir aparecido en la excavación de Can Argilera, Camp dels Ninots, Caldes de Malavella, Girona (Fotografía: G. Campeny ©IPHES).

El muestreo de sedimentos procedentes de yacimientos arqueológicos requiere la estrecha colaboración con arqueólogos, geólogos y demás especialistas, y es imprescindible que las muestras sean recogidas con todo tipo de detalles acerca de su ubicación en la secuencia de niveles arqueológicos existentes. Si es posible, además, resulta del todo conveniente tomar sus coordenadas y que entren a formar parte de la base de datos de registros arqueológicos recuperados. Esta precaución evita, en gran manera, los errores en el

gran proporción de materia orgánica que conforma este tipo de sedimentos.

Las muestras sedimentarias procedentes de depósitos arqueológicos son algo más complejas, dado el bajo componente orgánico que presentan, por lo que el procedimiento para la extracción del material esporo-polínico debe eliminar una importante fracción mineral.

La evolución de los tratamientos físico-químicos ha ido encaminada, por un lado, a la

optimización de la concentración y obtención de material esporo-polínico, y por otro, a la economización del tiempo y materiales destinados a este procedimiento.

Los primeros tratamientos de sedimentos minerales se deben a Assarson y Grandlund (1924), que crearon el llamado procedimiento *clásico*. Esta técnica de extracción implicaba numerosos pasos como el tamizado con agua del sedimento o la maceración de la muestra en ácido fluorhídrico de uno a tres días. La gran cantidad de tiempo necesario, así como los resultados no demasiado satisfactorios en lo que a concentración polínica se refiere, hicieron necesaria la modificación de esta metodología inicial.

Así, este primer procedimiento sufrió diversas modificaciones entre las que destaca la de Gritchouk (1940), que añadió el paso de la flotación del residuo en un licor de densidad igual a la de la exina polínica (*Licor de Thoulet*). Esta mejora esencial, permitía eliminar prácticamente toda la fracción mineral que no hubiera reaccionado a los ácidos, aislando y preservando únicamente los componentes orgánicos de densidad superior a 2 g / cm^3 . A pesar del gran avance que suponía esta innovación técnica, este nuevo protocolo sólo se difundió en la Europa del Este, y únicamente se generalizó a partir de la publicación del procedimiento por Frenzel (1964).

Posteriormente, Girard y Renault-Miskovsky (1969) propusieron la supresión de la acetólisis, empleada en el método clásico, que suponía un problema añadido, ya que “fosilizaba” de forma artificial los granos polínicos imposibilitando la detección de la posible contaminación actual.

A éstas le sucedieron otras modificaciones y mejoras del denominado procedimiento de Assarson y Grandlund (Guillet y Planchais, 1969; Juvigne, 1973 y Bates *et al.*, 1978), hasta que Goeury y de Beaulieu (1979) dieron a conocer un nuevo tratamiento basado en la aplicación de la propuesta de Frenzel (1964) simplificada.

Finalmente, y a partir de la adaptación de la técnica de Goeury y de Beaulieu (1979), Burjachs propuso un nuevo protocolo, que reduce considerablemente el tiempo destinado al procesamiento, garantizando la máxima preservación de material esporo-polínico (Burjachs, 1990; Burjachs *et al.*, 2003). Este es el protocolo empleado en la extracción polínica de las muestras que componen este trabajo. Los principales pasos de los que consta el procedimiento físico-químico aparecen en la Figura 3.13.

3.2.6 Medida volumétrica

El paso inmediatamente posterior a la extracción del residuo polínico, es la medida volumétrica del residuo y la preparación de la lámina microscópica.

Generalmente, si para el cálculo de la concentración polínica se sigue el método volumétrico, se añade al material esporo-polínico una cantidad conocida de glicerina fenolada, parcialmente diluida. A continuación, se aspira la mezcla con una micropipeta de medida variable y se anota la cantidad recogida: el volumen real del residuo se obtendrá de la resta de la cantidad añadida.

La cantidad de residuo a montar se mide con una pipeta graduada o de volumen fijo, y se deposita la fracción del residuo elegida sobre un portaobjetos, previamente etiquetado con

la referencia de la muestra y se le añaden dos o más gotas de glicerina pura fenolada. Inmediatamente, se homogeniza y se extiende el residuo en más de la mitad de la medida del cubreobjetos. La lámina se sella con una línea de *histolaca* dispuesta en los bordes más largos del cubreobjetos que se deposita sobre el

portaobjetos. A continuación, se sella definitivamente la lámina extendiendo *histolaca* a lo largo de los extremos cortos de la preparación microscópica, de manera que quede perfectamente cerrada y sin burbujas en su interior.

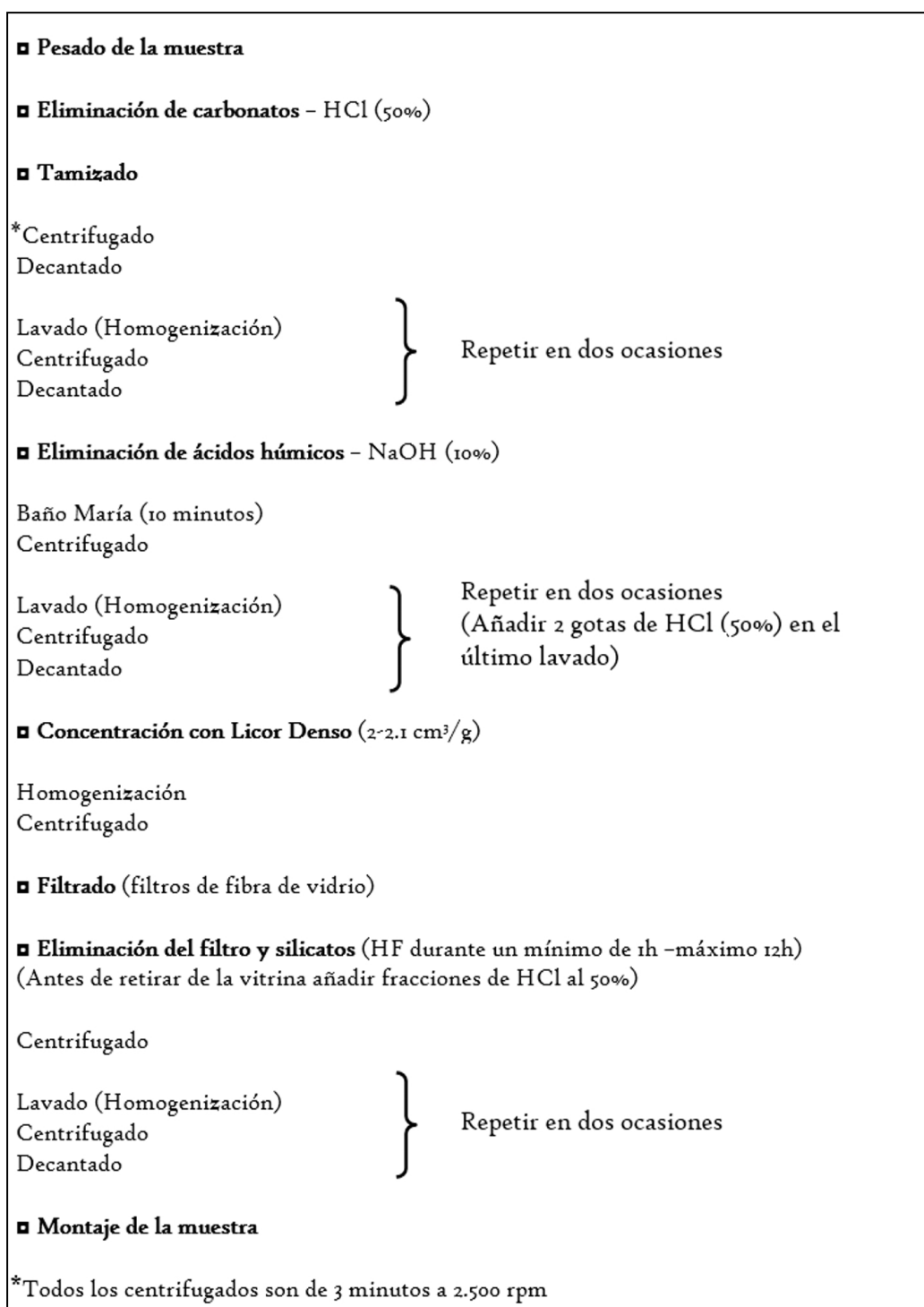


Figura 3.13. Esquema del tratamiento de extracción del residuo palinológico (Burjachs, 1990; Burjachs *et al.*, 2003).

3.2.7 Montaje del residuo

La identificación del material esporopolínico se realiza mediante microscopía óptica. El medio en que se debe montar el residuo, con el fin de que los granos espora-polínicos puedan ser observados adecuadamente, tiene que tener un índice de refracción superior o inferior al de la membrana polínica (1,48). Tanto la glicerina, el aceite de silicona como la gelatina glicerinada cumplen esta condición, por eso se utilizan indistintamente, aunque la glicerina facilita en mayor medida la rotación de los granos polínicos. Así, con una pequeña presión sobre el cubreobjetos, se consigue que los granos giren y puedan observarse en toda su morfología, lo que facilita la determinación polínica. La gelatina glicerinada, por el contrario, inmoviliza el grano, por lo que es el medio óptimo de montaje si el objetivo es realizar fotografías, aunque esto puede dificultar la identificación. El aceite de silicona sí permite la movilidad del grano, aunque menos acentuada que la glicerina, pero puede, sin embargo, modificar el tamaño de pólenes y esporas, lo que es especialmente limitante cuando el tamaño del polen o sus aperturas son rasgos esenciales para la identificación como en el caso de Cerealia.

3.2.8 Análisis y cuantificación

Junto al microscopio es imprescindible disponer de un buen material de referencia. Este material se compone principalmente de una colección de referencia de preparaciones biológicas de microscopía, que contiene palinomorfos “fossilizados” artificialmente mediante la técnica de la acetólisis, y de obras de referencia sobre descripción morfológica de los diferentes tipos de pólenes y esporas (Erdtman, 1965, 1971; Sáenz de Rivas, 1978;

Reille, 1990), así como atlas polínicos con un buen apartado gráfico (Bonnefille y Rioulet, 1980; Moore *et al.*, 1991; Reille, 1992).

La identificación y el recuento de los palinomorfos de todos los trabajos incluidos en esta tesis doctoral se han llevado a cabo con microscopía óptica (Olympus cx41 y Euromex iScope IS.1153-PLi), a unos 600 aumentos. El montaje de las preparaciones se ha realizado con glicerina fenolada.

El número de líneas a leer ha variado dependiendo de la riqueza polínica de la muestra. El número de granos a contar sigue siendo un tema controvertido entre los palinólogos, como se explica más adelante (Bryant y Hall, 1993; Puertas, 1997). Birks y Birks (1980) insisten en adaptar el número mínimo de pólenes a contar a la riqueza de la preparación.

Los análisis polínicos, en la actualidad, se llevan a cabo en contextos sedimentarios sumamente variados, en los cuales no solamente tiene que tenerse en cuenta la propia naturaleza de dicho contexto, sino también las características tafonómicas de cada depósito y el tipo de muestreo llevado a cabo. Todo ello implica que la fiabilidad estadística de los análisis paleopalinológicos estará en directa relación con la conservación polínica derivada de cada contexto, para cada uno de los cuales han de establecerse unos límites de fiabilidad (Burjachs *et al.*, 2003; López Sáez *et al.*, 2003b). Básicamente, son tres los conceptos considerados tradicionalmente y que se han tenido en cuenta para establecer la validez de los resultados incluidos en este trabajo: la suma base polínica, la diversidad taxonómica y la concentración polínica.

La **Suma Base** (SB) polínica hace referencia al número de palinomorfos contados en cada muestra. Faegri y Iversen (1950) fueron los primeros en indicar que la SB polínica debería incluir no sólo los árboles (polen arbóreo o **AP**) sino también las herbáceas (polen no arbóreo o **NAP**), especialmente en aquellas áreas no del todo forestadas donde la vegetación herbácea tuvo que tener cierta importancia. Los porcentajes de representación de cada taxón se calculan con respecto a la Suma Base, esto es, al total de granos polínicos identificados (Cour, 1974; Moore *et al.*, 1991). Dicha identificación puede resultar difícil, ya que, en ocasiones, los granos polínicos aparecen deteriorados o erosionados. Cuando la identificación de este tipo de pólenes no es posible, se consideran como “indeterminables”. Para que el espectro polínico identificado sea estadísticamente fiable, el porcentaje de indeterminables no debe exceder el 50% (Bryant y Hall, 1993; Bryant y Holloway, 1996).

En general, de la suma base polínica han de excluirse los tipos polínicos que pueden aparecer sobrerrepresentados, las esporas de criptógamas y, en general, todos los microfósiles no polínicos (Wright y Patten, 1963; López Sáez *et al.*, 1998, 2000, 2003b). El porcentaje relativo de estos palinomorfos excluidos se calcula, precisamente, respecto al total de pólenes contados. En el caso de los tipos polínicos que aparecen como mayoritarios en los espectros polínicos, su sobrerrepresentación puede enmascarar la representación del resto de palinomorfos, impidiendo que podamos evaluar adecuadamente la evolución de la curva temporal de cada uno de ellos.

En secuencias arqueopalinológicas, es recomendable excluir de la suma base a Cichorioideae (Asteráceas del tipo Ligulifloras), de acuerdo a su hipotética sobrerrepresentación por su carácter zoófilo (Bottema, 1975; Carrión, 1992; Puertas, 1997) e, incluso en ocasiones, a los tipos *Aster* o *Cardueae* (también incluidas en las Asteráceas del tipo Ligulifloras) por las mismas circunstancias. De hecho, los porcentajes de pólenes zoófilos suelen ser muy elevados en el interior de cuevas o abrigos, reflejo de la frecuentación humana y animal, de ahí que se aconseje su exclusión de la suma base polínica (González Sampériz, 1998).

Para que un espectro polínico sea estadísticamente fiable, su suma base polínica ha de tener un valor numérico determinado, que dependerá básicamente de la naturaleza del sedimento originario (Burjachs, 1990; Horowitz, 1992). En sedimentos de marcado carácter turboso, debido a que la concentración polínica suele ser muy alta por la buena conservación de los palinomorfos, se recomienda que el valor de la suma base polínica sea relativamente alto, en general mayor de 500 y, en ocasiones, incluso se postula la necesidad de superar los 1000 pólenes por muestra (Moore *et al.*, 1991).

Burjachs (1990) y otros autores (McAndrews y King, 1976; Janssen, 1981; Bryant y Holloway, 1983, 1996; Sánchez Goñi, 1993) siguiendo la lectura metodológica anterior, han determinado que en contexto arqueológico una suma base polínica de entre 150 y 300 granos es estadísticamente fiable, aunque como postula Vuorela (1992), siempre que sea posible alcanzar los 500 pólenes por muestra debería hacerse.

En el caso de que los Palinomorfos No Polínicos (NPPs) se grafiquen, consideramos que los criterios de los mínimos valores representativos vienen siempre dados por los mismos criterios establecidos para el conteo polínico.

En cuanto a la **diversidad taxonómica**, ésta hace referencia al número de taxones polínicos identificados. Los datos experimentales (Gros, 1984) demuestran que el número de tipos polínicos identificados tiende a disminuir según avanza la lectura de líneas al microscopio. La cuestión es discernir cuál es el número mínimo de taxones identificados que posibilita la fiabilidad estadística de la muestra, o lo que es lo mismo, cuál debería ser la representación cualitativa mínima de un espectro polínico.

Sánchez Goñi (1993, 1994a, 1994b) propone un “test de fiabilidad” a partir de criterios de base tafonómica para la interpretación de análisis palinológico en cueva, que pueden ser aplicados a otros contextos arqueológicos. Este test considera que un espectro polínico es válido para la reconstrucción ecológica cuando está compuesto de más de 100 pólenes, sin contar el palinomorfo dominante, y de una diversidad de 20 taxones polínicos (McAndrews y King, 1976; Pons y Reille, 1986). Además, Sánchez Goñi (1993) determina que el espectro polínico de una muestra debe poseer un conjunto de taxones coherentes desde el punto de vista ecológico, es decir, que puedan coexistir en la misma formación vegetal.

La **concentración o riqueza polínica** puede calcularse en base algunas variables de dos métodos iniciales: el primero de ellos es el método directo, puesto en práctica por Armstrong *et al.*, 1930 y desarrollado por Davis

(1965, 1966), que implica procesar un volumen o peso de sedimento conocido y contar todo el polen presente en una alícuota de muestra. En cuanto al método indirecto, este consiste en agregar a la muestra, previamente al tratamiento, una cantidad conocida de polen exótico (p. ej. *Eucalyptus* en el hemisferio norte, *Alnus* en el hemisferio sur) o esporas (p. ej. *Lycopodium*), mediante una tableta o suspensión preparada para tal efecto y cuyo contenido en esporas es conocido. Por ejemplo, el método empleado por Stockmarr (1971) emplea pastillas de CaCO_3 que contienen un número determinado de esporas de *Lycopodium*. La concentración de la muestra se calcula multiplicando la cifra de esporas añadidas por los pólenes contados y dividiendo el resultado por el número de esporas exóticas cuantificadas. Este método tiene la ventaja de contribuir a la evaluación de la efectividad del tratamiento de extracción, ya que, aún en el caso de esterilidad total de la muestra, las esporas exóticas, si el tratamiento se ha realizado sin problemas, deben conservarse.

El método escogido en este trabajo es una modificación del método directo (Armstrong *et al.*, 1930; Davis, 1965, 1966), propuesta por Loublier (1978) y Burjachs (1990), en el que la concentración palinológica se obtiene, después de montar una cantidad conocida de residuo, aplicando una fórmula que considera diversos factores como la superficie leída, el peso inicial de la muestra, el volumen final obtenido, el volumen montado, las líneas leídas y el número total de pólenes, esporas o palinomorfos contados. La concentración palinológica se expresa en granos / gránulos por gramo de sedimento seco.

3.3 Limitaciones de la disciplina

La interpretación de los espectros polínicos entraña ciertas dificultades que deben acometerse teniendo en cuenta la presencia desigual de algunos taxones o comunidades vegetales. Algunos de los problemas fundamentales que puede presentar el análisis polínico tiene que ver con la conservación diferencial de los granos, que va a condicionar irremediablemente la reconstrucción del paisaje existente.

Así, en la fase de interpretación de datos, es importante aplicar factores de corrección que

contribuyan a minimizar los sesgos en la representación. Esto implica considerar la distinta producción polínica de las diferentes especies, familias o géneros, el modo de diseminación, la resistencia del grano al proceso de fosilización, la naturaleza del sedimento que acoge el residuo polínico, la morfología y el tamaño del grano, la contaminación posiblemente presente en el sedimento y las características en las que se produjo la sedimentación polínica, entre otras cuestiones. Estos y otros aspectos se tratarán extensamente en el capítulo dedicado a la tafonomía polínica.

$$CP = (((21 \times T) / (n \times 0,3)) / v) \times V / p$$

p: peso del sedimento procesado
V: volumen de residuo obtenido tras el tratamiento
v: volumen de residuo montado en la lámina microscópica
c: anchura del campo microscópico utilizado en el conteo
l: anchura del cubreobjetos
n: número de líneas contadas al microscopio
T: número total de pólenes contados

Figura 3.14. Esquema de la fórmula del cálculo de la concentración palinológica (CP) y sus componentes (Loublier, 1978).

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE
ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea

4 La ARQUEOPALINOLOGÍA

En busca del “paisaje polisémico”

4.1 Introducción

Ya se ha mencionado en capítulos anteriores que el objetivo fundamental de la Paleocología es la reconstrucción del contexto ecológico pretérito en lo que atañe a las condiciones climáticas, el cortejo vegetal existente, las especies faunísticas asociadas, etc. El corpus metodológico tradicionalmente aplicado se basa en el uniformismo o uniformitarismo, según el cual los requerimientos ecológicos y la asociación de especies vegetales son factores inmutables y extrapolables en el tiempo (Lyell, 1830-1833).

Por tanto, en consonancia con esta perspectiva, la reconstrucción medioambiental emana de la comparación del registro fósil obtenido, con los grupos ecológicos actuales.

No son pocas las revisiones de este enfoque metodológico que se han ido sucediendo. Dada la naturaleza cambiante de las comunidades vegetales y la respuesta individualista de la vegetación a los cambios climáticos, parece lógico que debe abandonarse la idea del equilibrio de las formaciones vegetales como entelequia. No resulta viable seguir

considerando que, tras los períodos de crisis de casuística diversa, las comunidades vegetales van a retornar a constituirse en las asociaciones vegetales originarias (Carrión *et al.*, 2000a).

El amplio espectro de condicionantes ambientales que entran en juego en la caracterización del paleoambiente, requiere la entrada en escena de diversas disciplinas como la Geología, Geomorfología, Botánica, Zoología, Climatología y Arqueología, entre otras.

En este mismo sentido, la Arqueología moderna se apoya, como la Paleoecología, en la interdisciplinariedad científica. El avance de la investigación arqueológica ha generado la necesidad de complementar el estudio y descripción de los artefactos humanos con la aproximación al medio ambiente, el clima y los recursos disponibles que condicionaron la forma de vida de las comunidades humanas en el pasado.

La Arqueobotánica se ocupa del estudio de los restos vegetales preservados tanto en yacimientos arqueológicos y redonda, a partir del estudio de carbones, semillas, fitolitos y otros vestigios, en las formas de aprovechamiento de los recursos vegetales por parte de los grupos humanos (Girard, 1973; López García *et al.*, 1997). (Fig. 4.1)

Encuadrada en este campo de estudio, la Arqueopalinología juega un papel fundamental en el conocimiento concreto del impacto de los grupos humanos en el medio (López Sáez y López García, 1992; López Sáez *et al.*, 2003a). Esta subdisciplina, también llamada Palinología arqueológica permite, de hecho, describir de manera fidedigna la relación entre un depósito arqueológico y el paisaje existente, entendido como el resultado

de la interacción de las comunidades humanas y el medio (Ruiz Zapata *et al.*, 1997; López Sáez *et al.*, 2000).

El término arqueopalinología fue acuñado por Faegri e Iversen (1989), y se refirió fundamentalmente al estudio del impacto humano en el medio ambiente a partir de los datos procedentes del análisis palinológico. El espectro polínico obtenido a partir del registro sedimentario de turberas y fondos de lago puede ser usado para estudiar a las comunidades humanas como agentes activos en lo que a los cambios en la vegetación se refiere, del mismo modo que se estudian los efectos del clima. Firbas (1934) e Iversen (1949) lideraron la aplicación de estos estudios en el Norte de Europa.

Los cambios antropogénicos en los diagramas polínicos, sin embargo, pueden ser difíciles de detectar, sobre todo cuando nos referimos a los depósitos arqueológicos, a causa de la preservación desigual del residuo esporopolínico. La detección de los taxones indicadores de la existencia de actividades humanas relacionadas con la explotación del entorno, como las plantas cultivadas o las malas hierbas que se asocian a entornos antropizados, son de vital importancia (Iversen, 1949; Behre, 1986, 1988).

Con el objetivo de captar estas señales en las secuencias polínicas, se desarrollaron, ya desde el inicio del desarrollo de la arqueopalinología, diferentes trabajos de carácter experimental. De hecho, Iversen llevó a cabo diversos análisis destinados a investigar la posible influencia de las comunidades humanas en la lluvia polínica aclarando un área boscosa con herramientas de piedra, y siguiendo el posterior desarrollo de la maleza. Estas malas hierbas acompañan al primer

polen de trigo en los diagramas polínicos europeos que datan de la transición Atlántico/Sub-boreal. En esta misma línea de trabajo, otros estudios evidenciaron la formación de nuevos patrones de vegetación regional en el medio oeste estadounidense, a causa de los incendios causados por las comunidades indias (Grimm, 1983). Así, del grado de alteración de la vegetación se pueden inferir los posibles cambios en la densidad de población o la duración de las ocupaciones, entre otros aspectos.

En este mismo sentido, Dimbleby (1957, 1960), que lideró en los años 50 del siglo XX la arqueología paleoambiental en Gran Bretaña, entendida como el estudio de los sedimentos de yacimientos arqueológicos, demostró que la preservación del polen era posible en determinados suelos de ocupación e interpretó los porcentajes de representación de los diversos taxones en clave antropogénica.

La arqueopalinología aporta, además, valiosos datos acerca de la vegetación introducida o potenciada por las comunidades humanas, las condiciones climáticas existentes, los recursos vegetales disponibles, considerados como una aplicación del trabajo humano sobre la naturaleza, y el tipo y grado de modificación del medio (Leroi-Gourhan y Renault Miskovsky, 1977; Renault-Miskovsky y Leroi-Gourhan, 1981; López García, 1982, 1984; Burjachs, 1990; López Sáez y López García, 1992; Bui-Thi y Girard, 2002; Burjachs, 2006; Riera, 2006). El estudio de los palinomorfos no polínicos (NPPs) contenidos en las láminas palinológicas permite, además, inferir las características del ambiente local de las ocupaciones, así como la dinámica de formación de los niveles o estratos arqueológicos, ya que la presencia de determinados organismos puede ser indicativa de las condiciones tróficas del medio la existencia de estratos quemados, eventos

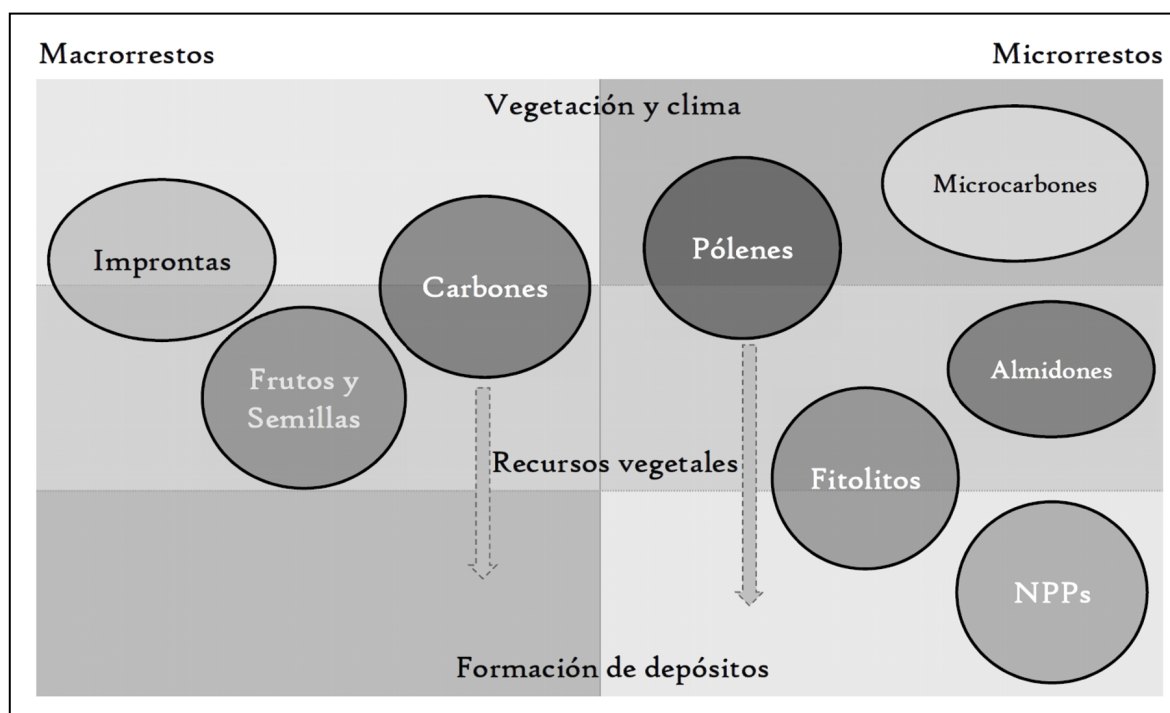


Figura 4.1. Esquema en el que se muestra la interacción de las diferentes disciplinas de la arqueobotánica, así como sus objetos de estudio y objetivos principales.

erosivos, acumulaciones de materia orgánica en descomposición, etc. (López-Sáez *et al.*, 2000; van Geel, 2001).

La Paleopalinoología aplicada a la Arqueología también permite establecer algunas pautas acerca de la evolución de la vegetación a escala regional (Bryant y Holloway, 1983; López García, 1986, Dupré, 1988; Cattani y Renault-Miskovsky, 1989; Sánchez Goñi, 1993; Berglund, 2001). Sin embargo, la aportación más interesante, desde el punto de vista de la investigación arqueológica, posiblemente sea la información referente a la vegetación de tipo “local” o “extra local”, vinculada de manera más directa con el tipo e intensidad de las actividades antrópicas (Behre, 1988).

La alteración en los componentes del mosaico vegetal que rodeó a los asentamientos humanos puede deberse a múltiples factores como el grado de deforestación del entorno, la evolución trófica del suelo, la existencia de una cabaña ganadera, la introducción de especies exóticas, el desarrollo de prácticas agrícolas, la utilización selectiva del fuego, la relación entre los períodos de sequedad y humedad, el nivel de circulación del agua, el grado de erosión, e incluso el grado de ocupación y las fases de abandono de un asentamiento (Faegri, 1944; Behre, 1981, 1986, 1988; Birks *et al.*, 1988; Edwards y Macdonald, 1991; López Sáez, *et al.*, 2003a; López-Sáez *et al.*, 2014). La disciplina palinológica es, por tanto, una herramienta fundamental en la reconstrucción del medio en el que se desarrollaron las diversas ocupaciones humanas, así como de la relación establecida entre dichos grupos sociales y su entorno.

El factor antrópico ha sido decisivo en lo que respecta a la génesis del paisaje actual. La arqueopalinoología permite detectar el rastro de

la influencia antrópica en la evolución de las comunidades vegetales en cronologías recientes, cuando el grado de antropización del medio se hace más evidente. La visibilización de la interacción de los grupos humanos y el medio se hace más complicada en contextos anteriores al Holoceno, cuando la influencia antrópica en el paisaje vegetal es más discreta. Aun siendo conscientes de esta dificultad, la arqueopalinoología permite la reconstrucción del entorno vegetal y su evolución, las condiciones climáticas y los recursos disponibles, aún en los registros arqueológicos más antiguos.

4.2 Historia de la disciplina

A pesar del gran avance de los estudios paleoambientales, la Arqueología tardó en beneficiarse de sus aportaciones, sobre todo de las derivadas de los análisis arqueopalinológicos (Dimbleby, 1985). Durante los años 20 y 30 del siglo pasado, antes incluso del desarrollo de las técnicas de datación por radiocarbono, unos pocos arqueólogos europeos comenzaron a usar los resultados polínicos como una herramienta de datación, mediante la correlación ecológica de los espectros derivados de distintos yacimientos arqueológicos con algunas secuencias de turberas y depósitos lacustres en Norteamérica y Europa (Auer, 1927; Sears, 1930; Faegri, 1981).

El primer análisis polínico de sedimentos procedentes de un depósito arqueológico fue llevado a cabo por Jenssen (1935) en sedimentos del norte de Dinamarca. Más tarde, Iversen (1941, 1949) dató el inicio del período Neolítico en ese mismo país en base al declive de *Ulmus* y al aumento en paralelo de las plantas herbáceas. Muy poco después

Faegri (1944) documentó la primera aparición de la agricultura en el sur de Dinamarca y Anderson (1955) empezó a analizar sedimentos procedentes de depósitos arqueológicos en cueva.

En este contexto de investigación centrado en la detección de la influencia humana en el paisaje, Iversen estudió la introducción antrópica de especies vegetales durante el Neolítico y la consecuente alteración del equilibrio de la vegetación natural a causa del aclarado del bosque (Iversen, 1975; Bryant y Holloway, 1996). Otros trabajos pusieron en evidencia los cambios paleoambientales motivados por el paso de la economía cazadora-recolectora a una fundamentada en la agricultura y ganadería (Dimbleby, 1960) o la impronta dejada por las comunidades humanas en el paisaje a causa del sobrepastoreo (Troels-Smith, 1960).

En España, la Arqueopalinología tuvo un primer arranque a finales de los años 70 y en la década de los 80 del pasado siglo, gracias especialmente a los trabajos de dos investigadoras francesas del Musée de l'Homme de París (Francia) que centraron sus investigaciones sistemáticas en diversas cuevas y abrigos del Paleolítico Superior en la Cornisa Cantábrica: Arlette Leroi-Gourham (Leroi-Gourham, 1971, 1986; Renault-Miskovsky y Leroi-Gourham, 1981) y Anaïs Boyer-Klein (Boyer-Klein, 1976, 1980, 1982). No obstante, con cierta anterioridad, tanto Donner y Kurten (1958) como Menéndez Amor y Florschütz (1963) habían presentado sendos diagramas polínicos correspondientes a la Cueva del Toll (Barcelona), posiblemente los primeros trabajos de índole arqueopalinológica realizados sobre yacimientos peninsulares.

Esta dinámica en el campo de la Arqueopalinología se consolidó gracias a las investigaciones emprendidas por dos palinólogas españolas: Pilar López García (López García, 1977a, 1977b, 1978, 1985, 1986, López García *et al.*, 2002) que pone a punto en el año 1977 el Laboratorio de Arqueobotánica en el antiguo Instituto Español de Prehistoria en el Museo Arqueológico Nacional de Madrid, gracias al apoyo del Prof. M. Almagro Basch, y Michelle Dupré (Dupré, 1979, 1986, 1988), de la Universitat de València. A estos trabajos y contribuciones deberíamos añadir las primeras investigaciones de índole arqueopalinológica emprendidas en Catalunya por Francesc Burjachs (Burjachs, 1984, 1985, 1990) en la Universitat Autònoma de Barcelona. A partir de estas primeras aproximaciones, el número de investigaciones palinológicas en contextos arqueológicos ha ido aumentando considerablemente, tal y como queda evidenciado en la proliferación, ya desde los años ochenta del pasado siglo, de las recopilaciones de síntesis de los resultados palinológicos disponibles para la Península Ibérica (López García, 1985, 1986; Dupré, 1988; Sáenz Laín y Gutiérrez Bustillo, 1991; Gutiérrez Bustillo, 1994; Salas, 1995; Martínez Atienza, 1999; Carrión *et al.*, 2000^a; López García *et al.*, 2002; Carrión *et al.*, 2009, 2010, 2012; González-Sampériz, *et al.*, 2010; Pérez-Díaz *et al.*, 2017, 2018).

Desde que en los años 60 se publicaron los primeros trabajos comunes entre paleopalinólogos y prehistoriadores en Europa, la Arqueopalinología ha traspasado las fronteras estrictas de la Prehistoria, para propagarse por igual entre aquellos especialistas de la Protohistoria y la Historia Antigua (Richard, 1999).

4.3 La Palinología en depósitos arqueológicos

El análisis palinológico puede aplicarse a diversos medios sedimentarios; turberas, fondos lacustres o marinos, suelos y, naturalmente, depósitos arqueológicos. Todos ellos presentan ventajas e inconvenientes, aunque las turberas y fondos lacustres aportan registros polínicos bien conservados y estratificados. El análisis polínico de los sedimentos procedentes de contextos arqueológicos tiene, sin embargo, una serie de limitaciones relacionadas con una peor conservación del residuo espora-polínico (Bottema, 1975; Coûteaux, 1977; Turner y Hannon, 1988; Bottema y Woldring, 1994). Estos depósitos susceptibles de análisis pueden ser asentamientos al aire libre u ocupaciones en cavidades de origen natural como cuevas o abrigos.

La mayoría de las secuencias estratigráficas de los yacimientos arqueológicos en cueva incluyen hogares, brechas, costras estalagmíticas, estratos arenosos, bloques y otras intrusiones que no favorecen la deposición, sedimentación y conservación de pólenes y esporas. Del mismo modo, los depósitos arqueológicos al aire libre, están formados mayoritariamente por niveles de gravas o arenas y son especialmente pobres en lo referente a la conservación del registro palinológico, fundamentalmente por efecto de los procesos postdeposicionales (Carrión *et al.*, 2009).

A pesar de que el problema del desconocimiento del sesgo tafonómico existente en los registros polínicos recuperados en este tipo de sedimentos (Coles y Gilbertson, 1994) fue planteado ya por van Campo y Leroi-Gourhan (1956), pocos estudios metodológicos se habían centrado en

los procesos tafonómicos observables en Palinología hasta que esta línea de investigación ha experimentado un nuevo impulso en las últimas décadas (Carrión *et al.*, 1999a, 1999b; Prieto y Carrión, 1999; Navarro *et al.*, 2000, 2001; Carrión *et al.*, 2009; Hunt y Rushworth, 2005; Pérez-Díaz y López-Sáez, 2012; Fiacconi y Hunt, 2015, 2017, 2018; Hunt y Fiacconi, 2018; Revelles, 2017; Revelles y van Geel, 2016, Revelles *et al.*, 2016; Pérez-Díaz *et al.*, 2007, 2016).

La lluvia polínica, compuesta por especies locales o regionales, está constantemente presente en la atmósfera. Su composición está sujeta a cambios en función de las especies que la compongan, el momento del año, los fenómenos meteorológicos y el clima. De hecho, los taxones anemófilos, que se desplazan por el aire, están generalmente sobrerrepresentados en los registros polínicos, mientras que los entomófilos, que dependen de la actividad de insectos u otros animales, aparecen infrarrepresentados. Así, la abundancia de un taxón entomófilo en un contexto arqueológico es potencialmente indicativa de un uso cultural, aunque puede deberse a otros factores, como la propia actividad de los insectos (Davis y Buchmann, 1994).

Además, en los depósitos arqueológicos, las alteraciones de pólenes y esporas son frecuentes. El polen que pasa a formar parte de los contextos arqueológicos ha sido producido, transportado, depositado y alterado de manera diferencial por una serie de procesos biológicos, químicos y físicos (Bryant y Hall, 1993; Dimbleby, 1985; Faegri y Iversen, 1989; Hall, 1991).

La conservación diferencial de los granos de polen y esporas se debe a la oxidación, a la

intervención de agentes biológicos como hongos o bacterias y a la incidencia de procesos mecánicos como el transporte vertical (Bryant *et al.*, 1994; Bryant y Holloway, 1996). Aunque la sensibilidad a la oxidación varía de uno a otro taxón y está directamente relacionada con la calidad o estructura de la exina (Lebreton *et al.*, 2010), procesos como la cremación, reciclaje y bioturbación pueden reubicar los materiales y estas migraciones pueden producir favorecer la intensificación de las alteraciones en el registro polínico. Aunque estas cuestiones se tratarán en profundidad en el capítulo dedicado al análisis tafonómico del registro palinológico, cabe mencionar ya en este punto la existencia de varios trabajos de índole tafonómica que han explorado la representatividad de los conjuntos de palinomorfos identificados en depósitos arqueológicos en cueva (Weinstein-Evron, 1981, 1994; Coles *et al.*, 1989; Diot, 1991b; Genty *et al.*, 2001; Simpson y Hunt, 2009).

Una de las maneras de valorar el sesgo producido por la destrucción y conservación diferencial de los palinomorfos es establecer correlaciones entre los resultados arqueopalinológicos y las secuencias procedentes de turberas o lagos. Asimismo, resulta necesario el intercambio de datos con otras disciplinas, como la Sedimentología, que pueden contribuir al esclarecimiento de las discontinuidades sedimentarias, los problemas generados por el supuesto movimiento vertical de palinomorfos, la sobrerrepresentación de algunos taxa, el sesgo tafonómico debido a las actividades humanas o animales, la continuidad de las secuencias arqueológicas, etc. (Navarro, 2000; Carrión *et al.*, 2000a).

4.4 El análisis arqueopalinológico y los yacimientos en cueva

A las limitaciones antes aludidas con respecto a la viabilidad del análisis palinológico de los depósitos arqueológicos hay que añadir una mayor complejidad si el depósito estudiado se encuentra ubicado, como es muy habitual, en el interior de una cueva.

Aunque los resultados palinológicos derivados de este tipo de depósitos han sido puestos en duda durante mucho tiempo, no son pocos los autores que sostienen que los estudios en este tipo de medio sedimentario pueden proporcionar suficientes evidencias sobre las condiciones paleoambientales, siempre y cuando se tengan en consideración los problemas derivados de la preservación y representación polínicas (Leroi-Gourhan, 1973; Bui-Thi, 1974, 1985; Leroi-Gourhan y Renault-Miskovsky, 1977; Bryant y Holloway, 1983; Dupré, 1986, 1988; Cattani y Renault-Miskovsky, 1989; Davis, 1990; Carrión, 1992; Horowitz, 1992; Simmons, 1993; Sánchez Goñi, 1993, 1994a, 1996; Carrión *et al.*, 1999a, 1999b; Navarro, 2000; Navarro *et al.*, 2001a, 2001c).

Con el objetivo de ahondar en la representatividad de los datos aportados por este tipo de rellenos sedimentarios se han realizado numerosos estudios sobre los tres principales medios de transporte de pólenes y esporas (aéreo, acuático y biótico) y acerca de los condicionantes concretos de la dispersión y deposición del polen en el interior de las cuevas (Navarro, 2000).

Más concretamente, en lo referente al polen que viaja por el aire, en los últimos años se han publicado diferentes trabajos experimentales cuyo objetivo es caracterizar la dinámica de la lluvia polínica en el interior de

cuevas y abrigos rocosos, así como su representatividad (Burjachs, 1988; Burney y Burney, 1993; Bui-Thi, 1974; van Campo y Leroi-Gourhan, 1956; Coles y Gilbertson, 1994).

Otras investigaciones se han centrado en los pólenes y esporas que llegan al interior de las cuevas a través de corrientes de agua o por percolación (Damblon, 1974; Bastin, 1982; Bastin *et al.*, 1982; Bui-Thi y Girard, 1988; Coles *et al.*, 1989; Davis, 1990; Davis, 1994; Davis y Buchmann, 1994).

En cuanto al transporte de origen biótico, que puede incluir el polen y esporas transportado por insectos, animales o por las propias comunidades humanas y sus animales domésticos (Argant, 2001; Verdasco, 2001, 2002), este representa una fuente importante de aporte de restos orgánicos al relleno de las cuevas (Jennings, 1957, 1980; Fernández-Jalvo *et al.*, 1996, 1999). Dentro de este tipo de transporte, cabe reseñar uno de los aportes zoógenos más interesantes, que es el que se produce a partir de los excrementos fósiles (Thompson *et al.*, 1980; O'Rourke y Mead, 1985; Scott, 1987; Carrión *et al.*, 1999b; Davis *et al.*, 1984; Davis, 1987; Minckley *et al.*, 1997; Dumbleby, 1985) (Fig. 4.2).

Los coprolitos pueden haber sido producidos por seres humanos, otros mamíferos, roedores o aves. Se han desarrollado numerosos estudios comparativos del material palinológico contenido en excrementos y suelos actuales que han avalado la fiabilidad y representatividad de los datos palinológicos obtenidos de heces fosilizadas (Scott, 1987; Scott y Bousman, 1990; Scott y Cooremans, 1992; Rhode, 2003; Scott *et al.*, 2003; Scott *et al.*, 2005; Gatta *et al.*, 2016). Esto implica que el sesgo producido por las preferencias

alimenticias en el espectro polínico no es necesariamente excesivo, y que el polen, en algunos tipos de material coprolítico, puede dar un buen reflejo de la vegetación de los alrededores. De hecho, el material fecal procedente de cánidos y otros carnívoros ha sido utilizado en algunos trabajos, para obtener resultados palinológicos en depósitos arqueológicos en cueva y al aire libre con problemas de conservación de polen y esporas en la matriz sedimentaria (Pineda *et al.*, 2017).

Se hace necesario reseñar que los depósitos en cueva o abrigo suelen poseer secuencias más largas que los situados al aire libre y engloban períodos cronológicos mucho más amplios que los que pueden obtenerse de los depósitos turbosos de la Península Ibérica, que no suelen conservar registro más allá del Tardiglacial. Por tanto, los análisis palinológicos en cueva tienen un enorme potencial en lo que hace referencia a la reconstrucción paleoambiental, sobre todo tomados en consideración dentro de un contexto de investigación multidisciplinar (Carrión *et al.*, 1999a).

De hecho, la información que aportan los espectros polínicos, de cuevas o de turberas, no se limita a la vegetación local, sino que en ambos tipos de depósito se observan los mismos rasgos paleoambientales a nivel regional (Sánchez Goñi, 1996). Así lo ponen de manifiesto muchos de los estudios realizados en Europa, en los que se comparan los resultados procedentes de yacimientos arqueológicos y turberas. La comparación de ambos espectros muestra un panorama de la vegetación y de su evolución, así como del clima, completamente sincrónicos a nivel regional.

Las cuevas, al ser medios relativamente cerrados, no perciben más que una parte de la

lluvia polínica. Navarro (2000) elaboró una síntesis de los rasgos fundamentales del análisis palinológico en cuevas y abrigos.

Según Navarro, uno de los rasgos fundamentales del registro de polen y esporas en el interior de las cuevas es la falta de homogeneidad en la deposición y preservación polínica. Existen múltiples factores, como el aporte humano y el flujo sedimentario asociado a entradas diversas, entre otros, que intervienen en la distribución y grado de conservación polínica provocando la heterogeneidad interna de los depósitos. La propia morfología de las cavidades condiciona la deposición y conservación polínica. Así, las

cuevas con grandes entradas y salas de diámetro similar reciben más polen y presentan menos problemas de alteración de los espectros polínicos, mientras que en las cavidades de morfología alargada se produce una disminución significativa de la concentración de taxones aerovagantes.

Navarro también confirma que unas condiciones de mayor aridez constituyen un factor positivo para la preservación biótica. Por el contrario, las muestras de espeleotemas y de sedimento superficial sometido a condiciones de humedad suelen presentar un mayor índice de esterilidad polínica o mala preservación, espectros muy sesgados o bajas

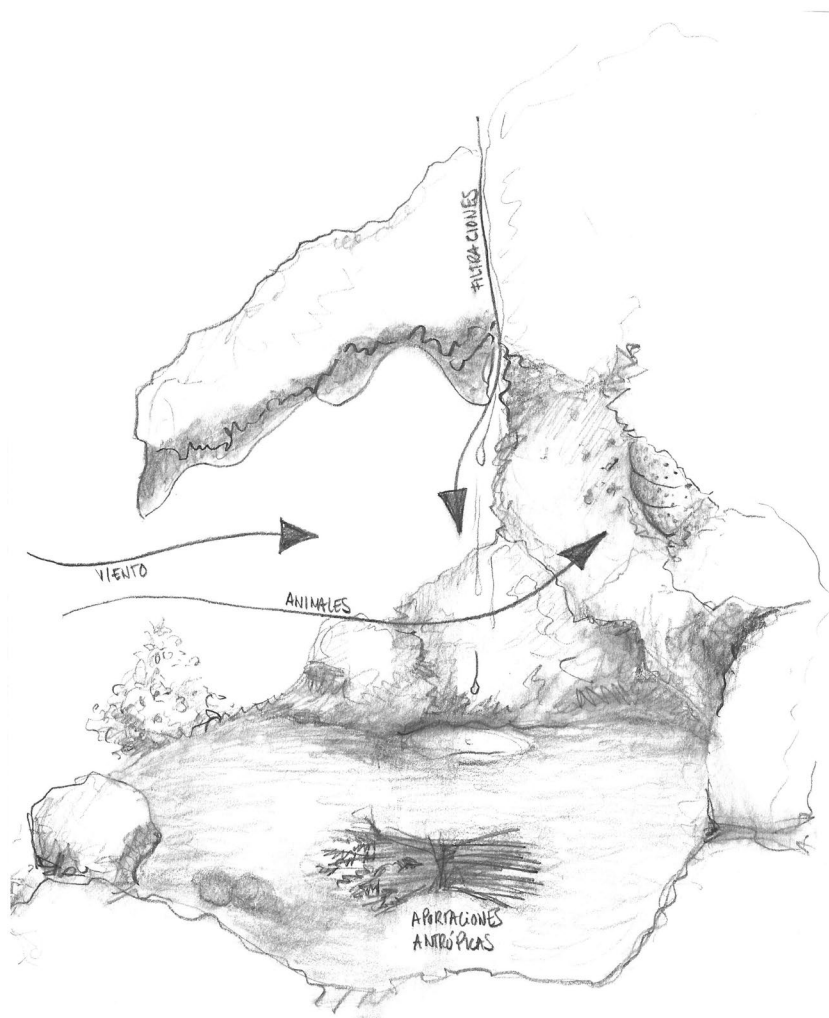


Figura 4.2. Recreación de las diversas formas de entrada de la lluvia polínica a una cueva.

concentraciones. El autor también considera que los restos orgánicos, y especialmente los excrementos, representan una fuente importante de información polínica, a pesar del posible sesgo de sus espectros, que, por otro lado, Navarro describe como fácilmente detectable.

De hecho, en el trabajo de Navarro se insiste en que la incorporación del polen por transporte biótico no influye negativamente en la representatividad de los espectros polínicos de sedimentos de cuevas.

Finalmente, el autor concluye que los espectros polínicos obtenidos de depósitos en cueva reflejan aceptablemente el paisaje del área de captación polínica en comparación con las muestras de control del exterior de la cavidad, siendo, en ocasiones más representativas que las de exterior.

Partiendo de las conclusiones de Navarro y otros autores acerca de la fiabilidad de los registros polínicos en cueva, cabe reseñar la contribución inestimable de la inclusión cada vez más frecuente, del análisis de los palinomorfos no polínicos, que también aparecen en las láminas palinológicas, y contribuyen a la reconstrucción de las condiciones paleoambientales de estas cavidades, aunque poseen un rango de dispersión bastante más limitado que el polen (van Geel y Aptroot, 2006). De hecho, su deposición y posterior fosilización se produce muy cerca del lugar donde ha tenido lugar la esporulación o donde han sido producidos, lo que les confiere un carácter estrictamente local.

Por ejemplo, existen numerosos trabajos relativos a la importante señal ecológica aportada por los palinomorfos algales en lo referente al pH, temperatura, humedad o

condiciones tróficas de los depósitos acuáticos (Rull *et al.*, 2008; van Geel, 1976a; van Geel y van der Hammen, 1978). Aun así, la presencia de palinomorfos algales en depósitos en cueva es, sin embargo, mucho menos significativa que la de restos fúngicos. Los hongos están generalmente representados por restos de ascomicetos (hongos con micelio que producen ascosporas endógenas), ascosporas (esporas de ascomicetos) e hiphae (Traverse, 2007). Los palinomorfos fúngicos se relacionan con una gran diversidad de hábitats y contextos ecológicos, pudiéndose identificar especies parásitas, simbióticas, micorrizas, formas coprófilas, descomponedores de celulosa, o colonizadoras de restos de madera carbonizada. Así, y a pesar de su limitada dispersión, los palinomorfos no polínicos, y especialmente las formas fúngicas, resultan un elemento clave en la reconstrucción paleoambiental, convirtiéndose, en ocasiones, en el único indicador paleoecológico cuando el registro polínico no se conserva.

4.5 Aplicación

Con la premisa de la contrastada representatividad, tanto de los espectros polínicos procedentes de depósitos en cueva, como de los de origen fundamentalmente biótico, abordamos el análisis palinológico de la secuencia de la Sección Sur del yacimiento de la Cueva de El Mirador.

La razón fundamental de la inclusión del trabajo centrado en el análisis palinológico de la sección sur de la Cueva del Mirador, es que este es un depósito eminentemente antropogénico en el que se ha identificado un espectro palinológico de excepcional valor. Al tratarse de un espacio ocupado de manera reiterada y tan intensamente a lo largo del

Holoceno medio, los datos palinológicos nos permiten seguir fielmente la impronta dejada en el entorno vegetal por las comunidades que frecuentaron el asentamiento.

La excepcionalidad de la secuencia polínica analizada radica en la detallada contextualización cronológica derivada de la gran cantidad de dataciones disponibles, así como de su coherencia. La secuenciación pormenorizada de cada uno de los niveles que conforman la potencia sedimentaria analizada, así como el pequeño lapso de tiempo que separa dichas unidades, convierten la secuencia palinológica de El Mirador en la más compleja y extensa de las existentes para un contexto arqueológico Neolítico en el ámbito geográfico de la Meseta Norte.

La percepción a través del análisis palinológico de las actividades antrópicas se basa en la utilización de los llamados “indicadores polínicos de antropización” (Iversen, 1949; Turner, 1964; Berglund, 1969; Behre, 1986, 1988; Jalut, 1991; Hicks, 1993; Richard, 1999; Barbier *et al.*, 2001), mencionados de forma ligera en la introducción de este capítulo. Esta categorización emana de los trabajos realizados por diversos investigadores en Europa y América, que intentaron detectar la influencia de la actividad antrópica en el medio a partir de las oscilaciones en del componente arbóreo de la vegetación o el aumento en la representación de plantas ligadas a prácticas económicas como la agricultura o la ganadería (Barbier *et al.*, 2001).

De hecho, la incidencia de la acción antrópica en el medio depende del tipo de relación establecida entre las comunidades humanas y el ecosistema. El tipo de actividades realizadas, que pueden incluir deforestación,

recolección, cultivo o pastoreo, así como la intensidad con la que se desarrollaron, generaron variaciones importantes en el paisaje facilitando el crecimiento y proliferación de las dos categorías de plantas tradicionalmente favorecidas por la actividad humana; los **apófitos**, indicadores de prados, pastos y tierras removidas, y las **antropócoras**, o plantas introducidas por el hombre, indicadoras de actividades de arado (Behre, 1981; Vuorela, 1992; Segerström, 1991; López-García *et al.*, 1997). Así, las zonas de asentamiento, los prados artificiales destinados al ganado o los campos de cultivo aportan forzosamente señales palinológicas distintas entre sí y frente a áreas no modificadas como los prados naturales (Behre, 1986, Hicks, 1988).

Así, la identificación de espacios antropizados implica desde la identificación de áreas de pasto asociadas a grupos de cazadores-recolectores en función de la presencia de plantas típicas de este tipo de biótopos como las gramíneas silvestres (Poaceae), la detección de praderas degradadas a causa del sobrepastoreo en las que abundarían las hierbas nitrófilas como los llantenos o los cenizos, entre otras herbáceas (*Plantago*, *Amaranthaceae*), la localización de campos de cultivo en los que crecerían cereales, leguminosas, etc., a la constatación de la presencia de plantas arvenses y ruderales como *Plantago*, *Urtica* o *Rumex*, que proliferan en los campos de cultivo o en zonas antropizadas (Behre, 1986; Barbier *et al.*, 2001).

Además de estos indicadores, es necesario considerar otros factores como las variaciones de las frecuencias de los taxones arbóreos o arbustivos de carácter heliófilo como *Betula* o *Corylus*, pioneros en la colonización de áreas

deforestadas (Galop, 1998), la oscilación en las concentración o riqueza polínica (Birks y Line, 1992), la identificación de hongos coprófilos como *Sporormiella* o *Podospora*, entre otros, que proliferan en las heces de herbívoros (López Sáez *et al.*, 2000; Galop y López Sáez, 2002) o las evidencias de incendio o erosión (López Sáez *et al.*, 1998, 2000). Todo ello contribuye, no solo a detectar la huella de las comunidades humanas en el paisaje, sino también a conocer la dinámica temporal de la antropización (Richard, 1999; López Sáez y López Merino, 2007).

La antropización del medio es un proceso que se desarrolla en base a mecanismos complejos y cuya caracterización no puede fundamentarse en un único rasgo, sino que debe obedecer a la confluencia de diversas señales inequívocas (Galop, 1998; Barbier *et al.*, 2001; López Sáez *et al.*, 2003b; Li *et al.*, 2008). Por esta razón, el aclaramiento de los bosques mediante la quema, a pesar de ser una actividad netamente antrópica, no puede dar lugar, en sí misma, a la consideración de que nos encontramos ante un medio antropizado. De hecho, algunos fenómenos que acompañan tradicionalmente a la presión antrópica en el medio, como la deforestación, pueden responder, como en el fenómeno documentado en el Mesolítico en algunas secuencias de la Península Ibérica (Ramil Rego, 1992 y 1993, Ramil Rego *et al.*, 1998), a parámetros exclusivamente climáticos, dada la importancia de los incendios naturales, especialmente virulentos en épocas de aridez, como causantes de la reducción de la superficie de los bosques (Berglund, 2003).

La antropización debe entenderse, además, como un proceso que implica, la manipulación y transformación del paisaje por parte de las

comunidades humanas. Esta dinámica, cuyo arranque coincide, para la mayoría de autores, con el inicio de la domesticación de plantas y animales (Ellis y Ramankutty, 2008), implica la sucesión de una serie de fenómenos que modifican el medio y configuran un nuevo paisaje, en ocasiones, de manera muy drástica (Berglund, 2003).

Además, si partimos del enfoque conceptual propuesto por las arqueologías del paisaje, este soporte físico generado a partir de la inferencia de los grupos humanos en el medio no puede entenderse prescindiendo de la dimensión social del paisaje, ya que enmarca la vida cotidiana de estas comunidades como una realidad de carácter polisémico, vinculada tanto a la producción y la reproducción como a las transformaciones sociales (Thomas, 2001).

El objetivo del artículo que incluimos en este apartado ha sido la reconstrucción del paisaje que acompañó a las comunidades humanas durante el Neolítico y La Edad del Bronce en el entorno de la Sierra de Atapuerca, así como la detección de las actividades humanas y su intensidad. Para ello hemos acometido el análisis del polen, esporas y palinomorfos no polínicos. Todo ello nos ha aportado una visión diacrónica de la evolución de la vegetación del entorno, caracterizada por la progresiva deforestación.

Aun así, el aspecto más relevante de la vegetación identificada es el carácter eminentemente antrópico que se observa, tanto por la presencia de los indicadores polínicos de antropización desde la base de la secuencia analizada, como en su evolución diacrónica, caracterizada por el aumento y la estabilización de los elementos antrópicos del

paisaje conforme nos acercamos al techo de la secuencia.

Estos rasgos eminentemente antropogénicos del paisaje identificado se han evidenciado, además de por la apertura progresiva de las formaciones boscosas del entorno del asentamiento, por la presencia de polen de cereal desde los niveles más antiguos, así como por la aparición de un cortejo de plantas herbáceas relacionadas con el desarrollo de la actividad agrícola y ganadera.

Esta progresión hacia un paisaje cada vez más modificado implica, además del retroceso de las masas boscosas, la ocupación de los claros generados en el bosque por árboles y arbustos heliófilos, y el aumento de las comunidades herbáceas y arbustivas típicas de estas fases de degradación.

4.6 La arqueopalinología en el marco del proceso de Neolitización

Como ya hemos dicho, los estudios paleoambientales en la rama arqueobotánica contribuyen a la reconstrucción fidedigna, tanto de la transformación del entorno vegetal de las comunidades prehistóricas, como de las características y evolución de sus bases paleoeconómicas. En cronologías recientes, con la mejora de las condiciones climáticas en el Holoceno (entre 11700 cal BP y el presente), a pesar de las disrupciones en forma de eventos fríos que acontecieron (Bond *et al.*, 1997; Dean *et al.*, 2002; Berger y Guilaine, 2009), la relación de los grupos humanos con el medio cambia y se intensifica imprimiendo rasgos en el entorno vegetal que son fácilmente detectables en las secuencias palinológicas.

La investigación arqueobotánica contribuye, además, al conocimiento de los fenómenos de incendio, procesos erosivos, eutrofización de las aguas, presión pastoral, degradación de la vegetación, repoblaciones e introducción de nuevos cultivos, prácticas agrarias, ritmos de la trashumancia, etc., todos ellos fenómenos ligados a las actividades antrópicas y su interacción con el medio (Zapata Peña y Peña Chocarro, 1999; López Sáez *et al.*, 2003; López Sáez y López Merino, 2005; Fuller, 2007).

La principal aportación de la palinología arqueológica está relacionada con cuestiones de tipo “local” o “extralocal”, que se encuentran en el ámbito de influencia de las actividades antrópicas y delimitan su intensidad (Behre, 1988).

El proceso de Neolitización, que, como ya hemos dicho, constituye uno de los eventos en los que la influencia antrópica en el medio natural es más fácilmente detectable, conduce a la adopción del sistema de producción agrícola, la sedentarización y la jerarquización de las comunidades. El paso de la economía cazadora-recolectora a un modo de subsistencia netamente neolítico ha generado un debate intenso en el seno de la comunidad científica (Smith, 2001; Zvelebil, 2001; Carrión *et al.*, 2010), que se polarizó inicialmente en dos interpretaciones difusionistas distintas, aunque complementarias; la visión *indigenista* y la *migracionista* (Chapman, 1994).

La teoría *indigenista* considera que la forma de vida neolítica se origina a partir de los intercambios materiales de los pueblos mesolíticos, que contribuirían así a la expansión de las innovaciones culturales y económicas sin necesidad de que se produjeran movimientos poblacionales (Barker *et al.*, 1985; Vicent, 1997). La visión *migracionista*, en

cambio, considera que el proceso de neolitización se relaciona con el movimiento de las comunidades en el territorio, aunque no desestima el papel que pudo desempeñar la transmisión de del modelo por parte de las comunidades mesolíticas (Ammerman y Cavalli-Sforza, 1971, 1984; Zilhão, 2000, 2001; Zvelebil, 2001).

Poco a poco se imponen otras interpretaciones menos extremas, como las desarrolladas en modelos como el de la “frontera agrícola”, el de “disponibilidad” o el de “colonización pionera”, que implican la concepción del proceso de Neolitización como fruto de la interacción de los nuevos grupos humanos y las innovaciones tecnológicas a las que están asociados, con los grupos de cazadores-recolectores (Zvelebil, 1986). En esta misma línea se fragua el llamado *modelo dual* (Bernabeu Aubán *et al.*, 1993), que implica que el proceso neolitizador se desarrolla a partir de la convivencia de grupos mesolíticos y neolíticos de forma mucho más compleja y menos lineal que lo descrito por dos premisas básicas antes descritas. Además, los datos recabados referentes a la tecnología, la subsistencia y el tipo de asentamientos de este período apuntan a que existió, dentro de este marco de complejidad, una gran diversidad regional en cuanto a la difusión y adquisición de las innovaciones neolíticas (Dennell, 1985; Moore, 1985).

En cuanto a las motivaciones últimas de la adopción de este nuevo sistema económico, éstas podrían responder a cuestiones de diversa índole como el cambio climático (Berger y Guilaine, 2009; Weninger *et al.*, 2006), el desequilibrio entre la población y los recursos disponibles o la capacidad de producción (Binford, 1968; Renfrew, 1973), la

demografía (Bocquet-Appel, 2002), la aparición de una nueva ideología (Cauvin, 2000), la transformación de los mecanismos de reproducción social (Testart, 1982) o el triunfo de un nuevo sistema de valores relacionado con el dominio social de la naturaleza (Hodder, 1990).

Ya en el ámbito de la Península Ibérica, la introducción de las innovaciones tecnoculturales y económicas asociadas a la implantación del sistema cultural Neolítico parece que se produjo de forma relativamente rápida, aunque discontinua, desde las áreas costeras hacia el interior peninsular (Bernabeu Aubán *et al.*, 2014). Las primeras evidencias de la implantación del Neolítico, datadas en torno a la segunda mitad del octavo milenio cal. BP, se encuentran en algunos asentamientos del litoral mediterráneo, donde se ha documentado la coexistencia de los grupos Neolíticos con las comunidades Mesolíticas indígenas (Bernabeu Aubán, 1996, 2002; Bernabeu Aubán *et al.*, 2014).

Las últimas investigaciones en el campo de la arqueobotánica y la arqueozoología acerca de la instalación del Neolítico en Europa parecen abogar por la implantación de un modelo mixto que incluiría el desarrollo simultáneo de la agricultura intensiva y las prácticas ganaderas, ambas a pequeña escala (Bogaard, 2004; Marinova, 2007; Bogaard *et al.*, 2011, 2013). En la Península Ibérica, contrariamente a lo documentado en el resto del continente europeo, la práctica agrícola se caracteriza, además, por la amplia diversidad de plantas cultivadas (Buxó, 1997; Peña-Chocarro *et al.*, 2005; Zapata-Peña *et al.*, 2014). Esta variabilidad en los cultivos se ha considerado una estrategia destinada a minimizar el riesgo frente a la inestabilidad climática, al cultivar

plantas en pequeñas parcelas con requerimientos distintos y desarrollo estacional diversificado (Halstead, 1989). Más adelante, ya en el Neolítico medio-final, se observa una tendencia hacia la agricultura extensiva, que implica la reducción de especies cultivadas (Antolín *et al.*, 2015).

Tomando como punto de partida la complejidad del proceso que Childe (1925) denominó la “revolución neolítica”, que afecta tanto a la comprensión acerca de los tipos de subsistencia imperantes como al tiempo y naturaleza de dicho proceso, el artículo que presentamos al final de este apartado pretende contribuir al conocimiento de la actuación humana sobre el medio y a la evolución de la adquisición de los elementos de la economía productiva de las comunidades que frecuentaron la Cueva de El Mirador, ya desde el Neolítico antiguo (Riera *et al.*, 2004; Cruz *et al.*, 2014; Gerbault *et al.*, 2014).

El espectro polínico registrado en El Mirador, que incluye la presencia de cereales, y especies arvenses y ruderales desde la base de la secuencia, implica que los grupos que frecuentaban la cueva redil, incluían, además de las obvias prácticas ganaderas, la agricultura entre sus actividades. Tal y como plantea Bernabeu Aubán (1996), una vez superada la fase de asimilación del sistema económico neolítico, la dependencia de la agricultura como medio de producción, ha de implicar la existencia de ciertas condiciones de estabilidad y sedentarización en estas poblaciones, ya que la economía eminentemente agrícola requiere un sistema de explotación constituido por equipos de trabajo estables, dependientes del medio de producción y del excedente. Parece que solo la actividad ganadera es compatible con la

existencia de cierta movilidad estacional (Bernabeu Aubán, 1996).

En cualquier caso, la presencia de plantas domésticas en el registro carpológico (Rodríguez Cruz *et al.*, 2016) y palinológico de El Mirador desde el Neolítico inicial podría indicar que los grupos humanos que frecuentaron la cueva, habrían adquirido plenamente un sistema económico de producción agrícola, con las connotaciones de estabilidad y sedentarización que esto implicaría para estas comunidades. De hecho, parece que las evidencias arqueológicas existentes para la Península Ibérica no avalan la progresividad en la incorporación de los sistemas neolíticos, si no que parece claro que las comunidades del neolítico inicial son esencialmente estables y desarrollan, casi desde el inicio, actividades agrícolas (Bernabeu Aubán, 1996).

Asimismo, la identificación de una gran variabilidad de plantas asociadas a las prácticas ganaderas, que han sido plenamente documentadas a partir del estudio de los restos faunísticos recuperados (Martín, 2015; Martín *et al.*, 2009, 2016), refrenda la función de la cueva como redil (Vergès *et al.*, 2016). Esta confluencia de ambos tipos de señales, la agrícola y la ganadera, es la prueba irrefutable de que los grupos humanos que frecuentaron la Cueva de El Mirador desarrollaron ambos tipos de actividad, probablemente estableciendo una alternancia de tipo estacional.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE
ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea

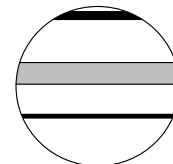
Expósito, I., Burjachs, F., Vergès, J. M. (2017). Human trace on the landscape during the Holocene at El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Spain): The palynological evidence. Holocene 27, 1201–1213.



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI


APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea



Research paper

Human trace on the landscape during the Holocene at El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Spain): The palynological evidence

The Holocene
2017, Vol. 27(8) 1201–1213
© The Author(s) 2017
Reprints and permissions:
sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav
DOI: 10.1177/0959683616683253
journals.sagepub.com/home/hol


Isabel Expósito,^{1,2} Francesc Burjachs^{1,2,3} and Josep M Vergès^{1,2}

Abstract

The archaeological research focusing on El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Spain) has revealed a succession of occupation levels in a dung layers context that span from the early Neolithic to the middle Bronze Age. The robustness and coherence of the chronological dates of the sequence have contributed to framing the beginning of farming practices on the northern Plateau of the Iberian Peninsula. This study focuses on the palynological analysis of the sedimentary sequence, spanning from ca. 7970–7770 to ca. 3390–3070 cal. yr BP. The results have allowed us to identify a landscape of mixed forest with evergreen and deciduous oaks and pinewood. Despite the discontinuities in such sediments, some fluctuations between different categories of anthropogenic taxa can be observed throughout the sequence, illustrating greater or lesser pressure from livestock or agriculture. From the Neolithic to the Bronze Age, we documented a reduction in the tree cover because of increased human pressure typical of the Neolithisation process, while the relationship between environment and society changes.

Keywords

Bronze Age, human impact, Iberian Peninsula, mid-Holocene, Neolithic, NPP, pollen analysis

Received 4 March 2016; revised manuscript accepted 15 November 2016

Introduction

The palynological studies of most of the deposits on the Iberian Peninsula indicate that human communities started to modify the landscape about 7500 years ago (Pérez-Obiol et al., 2011; Riera-Mora et al., 2004). However, the definitive establishment of ‘cultural landscapes’ came later, during the Chalcolithic and Bronze Age (Atienza-Ballano, 1995; Carrión, 2002; Carrión et al., 2001a, 2001b, 2007; Ruiz-Zapata et al., 2003, 2006).

Human occupation has played a decisive role in shaping the present landscape of the Peninsula since the middle Holocene. The effects of human activities on the environment are reflected in the changes in the composition of plant communities because of deforestation, use of fire, agricultural practices and use of grassland areas as pastures for livestock. Still, anthropogenic changes are detected erratically on the Iberian Peninsula, especially in the pollen records obtained in mountainous areas (Carrión et al., 2010; Riera-Mora et al., 2004; Sánchez-Goñi and Hannon, 1999). The palynological analysis of archaeological deposits clearly gives us the opportunity to more directly determine the magnitude of the anthropogenic footprint on the landscape (Bueno et al., 2002; Burjachs and Expósito, 2007; Carrión et al., 2010; Delibes de Castro et al., 2015; López-García and López-Sáez, 1994, 2000; López-Sáez, 2002; 2014; López-Sáez and López-Merino, 2007; López-Sáez et al., 2006, Ontañón et al., 2013; Ruiz-Zapata et al., 2003).

In addition to palynological analyses, the identification and quantification of micro-algae, fungi, chitinous remains and other organisms (non-pollen palynomorphs (NPPs)) have emerged in

recent decades as a further source of information. The input of NPPs contributes additional information about the local environment that framed the formation of the deposits, as well as about the intensity of the anthropogenic activities that took place at a given site (López-Sáez and López-Merino, 2007; López-Sáez et al., 1998, 2000; Van Geel et al., 1989).

The aim of this study is to contribute to the knowledge of the Neolithisation process in the Iberian Peninsula from the palynological evidence of the farming practices identified in El Mirador sequence. Almost the entire deposit is made up of stabling layers originating from in situ burning of animal dung. This resulted in a typical *fumier* with a peculiar appearance that comes from the alternation of burned and non-burned livestock dung (Angelucci et al., 2009; Vergès et al., 2002, 2008, 2016).

Generally, these kinds of accumulations are rich in archaeobotanical material because they are formed from the repeated burning of waste generated after the use of these caves as a fold for

¹Institut Català de Paleocologia Humana i Evolució Social (IPHES), Spain

²Àrea de Prehistòria, Universitat Rovira i Virgili (URV), Spain

³Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA), Spain

Corresponding author:

Isabel Expósito, Institut Català de Paleocologia Humana i Evolució Social (IPHES), Campus Sescelades URV (Edifici W3), 43007 Tarragona, Spain.

Email: iexpósito@iphes.cat

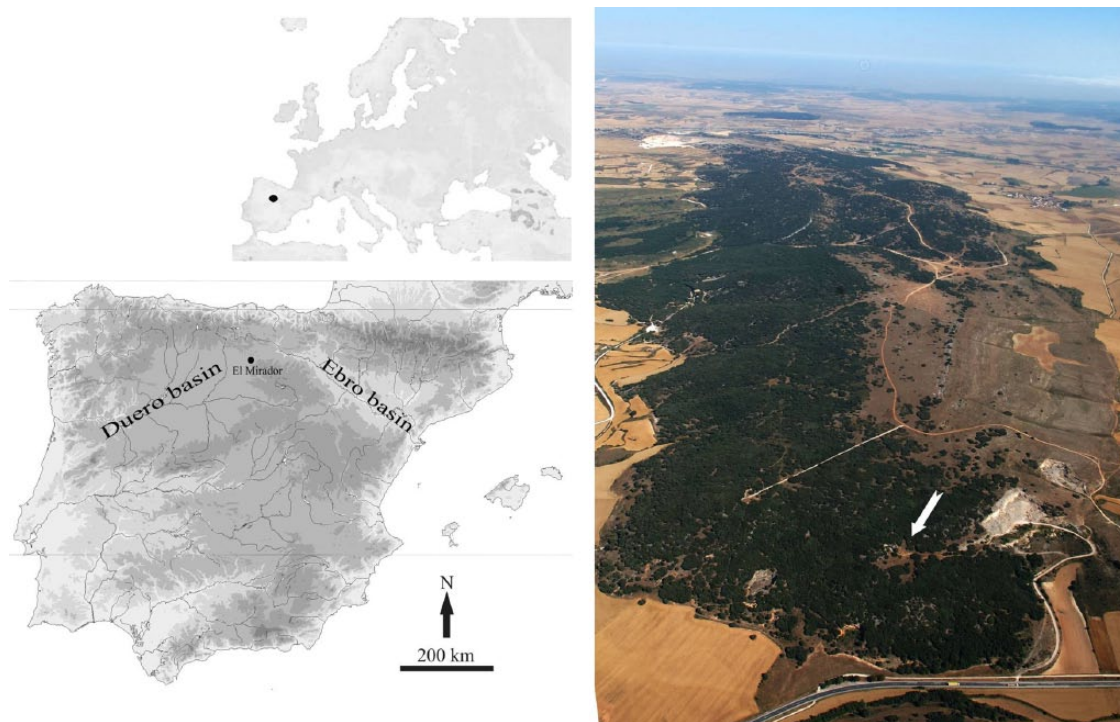


Figure 1. The location of El Mirador Cave and the main associated river basins. The arrow in the picture points to the location of El Mirador Cave with respect to the Sierra de Atapuerca.

cattle (Brochier et al., 1992; Canti, 1999; Vergès et al., 2008). Burning an accretion of faeces serves several purposes: deworming, reducing the volume of the accumulated manure and so on. This activity was very common during the Neolithic and Bronze Age in Europe (Badal, 1999; Charles, 1998) and has been identified at numerous sites, such as Arene Candide in Italy (Maggi, 1997), Caune de Belesta in France (Brochier et al., 1998) and Cova de les Cendres (Badal, 1999), Los Husos (Fernández-Eraso, 2010; Polo-Díaz and Fernández-Eraso, 2008), Cova Gran (Polo-Díaz et al., 2014), El Mirón (Peña-Chocarro et al., 2005), Peña Larga, Peña Parda and San Cristóbal (Ruiz-Alonso et al., 2016) inter alia on the Iberian Peninsula.

The study area and archaeological background

The Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain) is located in the foothills of the Iberian Range and is composed of Upper Cretaceous limestone and dolomites (Cenomanian and Turonian). It is a complex groundwater-source karstic system that originated during the Neogene/early Pleistocene in the late Cretaceous (Ortega et al., 2013; Zazo et al., 1983) and continued developing in the Quaternary.

The mountain range is located at a biogeographic crossroads where the north sub-plateau, Iberian Range and Cantabrian Range converge. This geographical context in which the Eurosiberian and the Mediterranean regions converge contains a mixture of ecological trends (Pérez-González et al., 1995, 1999; Torres, 1976; Zazo et al., 1983, 1987).

Current vegetation is a mixed open continental forest of *Quercus rotundifolia* (= *Quercus ilex* subsp. *Ballota*) and *Quercus faginea* with an Atlantic influence evidenced by the presence of *Erica vagans* L. and *Quercus pyrenaica*, which grows on the Arlanzón terraces on siliceous soils. The intensity of the anthropic activities such as fuelwood exploitation and grazing has influenced its physiognomy, characterised by the bushy appearance of oaks (García-Antón et al., 1995).

El Mirador Cave is located about 1033 m a.s.l. at 42°20'58" N and 03°30'33" W, on the southern slope of the Sierra de Atapuerca

(Figure 1). The cave has a shelter morphology due to the collapse of its dome and is about 15 m deep. The Edelweiss speleological group carried out the first archaeological work in the 1970s (Ortega and Martín, 2012; Osaba and Ruiz de Erenchun, 1978), and the activity of clandestine diggers subsequently affected the deposit. Finally, the cave is being systematically excavated since 1999.

The Holocene sequence discovered after the initial survey is 5.5 m thick and includes 24 levels, ranging from the early Neolithic to the Bronze Age (Figure 2). Most of these units exhibit scarce postdepositional modifications and an exceptional degree of preservation (Angelucci et al., 2009). The upper levels, MIR3A and MIR4, are assigned to the middle Bronze Age, level MIR5 is a disruption in the overall sedimentary dynamic when the cave was used as a burial site during the Chalcolithic (Vergès et al., 2016) and from MIR6 to the base of the sequence the deposit is clearly related to a Neolithic horizon (Vergès et al., 2008).

Chronology is based on a set of radiometric dates (Table 1) obtained from charred plant remains.

The archaeological record, typical of a settlement with agricultural and livestock practices, is quite complete and includes one Bronze Age human burial (3580±40 BP) with evidence of cannibalism, pottery, macro- and micromammal remains and lithic artefacts (Bañuls et al., 2013; Cáceres et al., 2007; Gómez-Sánchez et al., 2014; López-García et al., 2008; Lozano et al., 2015; Martín et al., 2009, 2014, 2016a, 2016b; Moral del Hoyo et al., 2003–2004; Oms et al., 2014; Saladié et al., 2015; Vergès et al., 2008). However, the archaeobotanical record is the most complete, although it has only been partially studied (Allué and Euba, 2008; Cabanes et al., 2009; Euba et al., 2016; Expósito and Burjachs, 2016; Rodríguez-Cruz and Buxó, 2008; Rodríguez-Cruz et al., 2016).

Materials and methods

The palynological samples were collected simultaneously to the archaeological work. The sampling was adapted to the complex stratigraphy of the deposit and to the overlap of the sedimentary facies. The samples were collected on a succession of sediment layers proposed by the archaeologist. We focused our

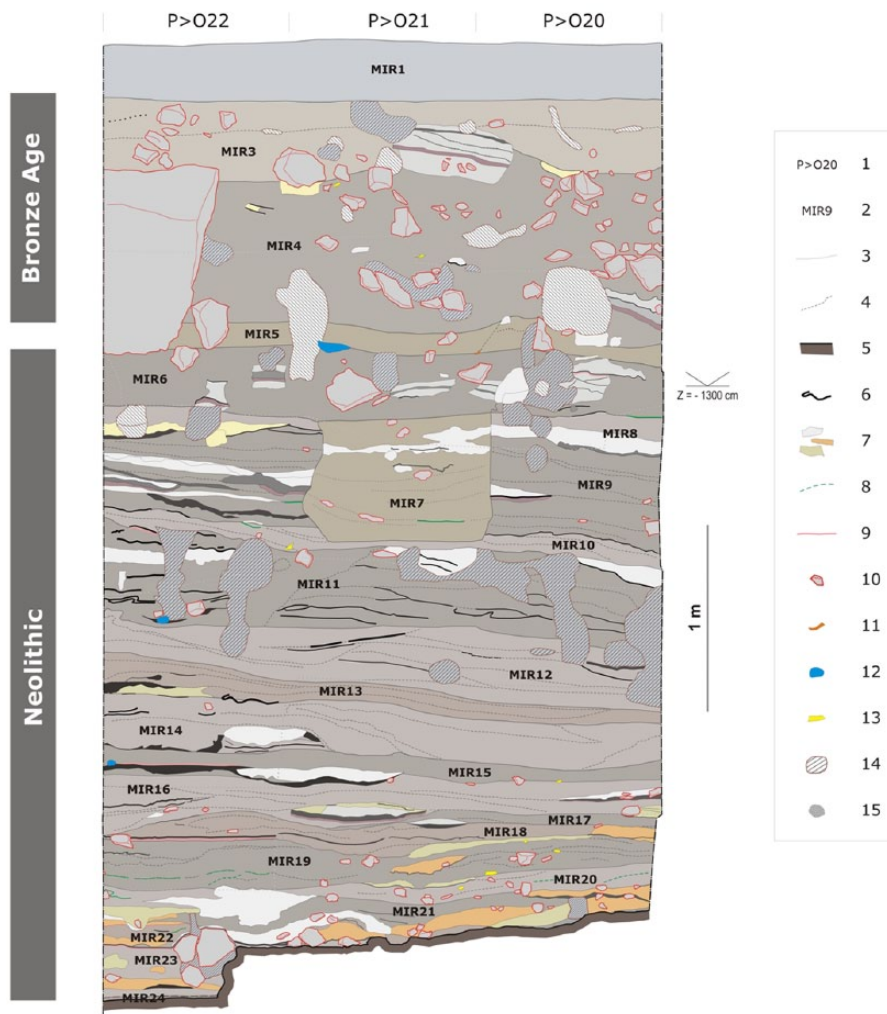


Figure 2. Stratigraphic sequence of the test trench at El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain).
 1: squares; 2: unit names; 3: unit boundaries; 4: facies boundaries; 5: top of Pleistocene succession; 6: charcoal accumulations; 7: ash accumulations (distinct facies); 8: ash layers; 9: burnt sediment (rubefaction); 10: limestone fragments; 11: potsherds; 12: lithic artefacts; 13: bones; 14: sub-actual burrows; 15: ancient burrows.

Table 1. Chronological dates from El Mirador Cave (Vergès et al., 2016), calibrated using IntCal 13 curve (Reimer et al., 2013) in CalPal 2013.

Unit	Material	Taxa	Lab. code	AMS radiocarbon date BP	Cal. yr BP (2σ range)	¹³ C/ ¹² C ratio (‰)
MIR4 (roof)	Charcoal	<i>Quercus</i> sp. evergreen	Beta-154894	3040 ± 40	3390–3070	-23.9
MIR4 (base)	Charcoal	<i>Quercus</i> sp. deciduous	Beta-153366	3400 ± 40	3730–3530	-23.8
MIR4 (pit)	Human bone	<i>Homo sapiens</i>	Beta-153366	3670 ± 40	4010–3770	-19.3
MIR4 (pit)	Human bone	<i>Homo sapiens</i>	Beta-182041	3900 ± 40	4330–4050	-19.2
MIR4 (pit)	Human bone	<i>Homo sapiens</i>	Beta-182042	3830 ± 40	4220–3940	-18.8
MIR6	Charcoal	<i>Quercus</i> sp. evergreen	Beta-153367	4780 ± 40	5630–5350	-23.5
MIR8	Charcoal	<i>Quercus</i> sp. evergreen	Beta-181086	4970 ± 40	5770–5570	-23.6
MIR9	Seed	<i>Triticum aestivum/durum</i>	Beta-220912	5090 ± 40	5940–5660	-22.6
MIR11	Charcoal	<i>Quercus</i> sp. evergreen	Beta-181087	5360 ± 50	6300–5940	-23.9
MIR13	Seed	<i>Triticum dicoccum</i>	Beta-208131	5470 ± 40	6310–6140	-21.8
MIR14	Seed	<i>Triticum aestivum/durum</i>	Beta-220913	5480 ± 40	6340–6180	-24.3
MIR16	Charcoal	<i>Quercus</i> sp.	Beta-181088	5700 ± 70	6680–6320	-25.0
MIR18	Seed	<i>Triticum dicoccum</i>	Beta-208132	6120 ± 40	7080–6840	-23.0
MIR19	Charcoal	<i>Quercus</i> sp. deciduous	Beta-182040	6130 ± 50	7210–6850	-24.7
MIR20	Seed	<i>Triticum dicoccum</i>	Beta-197384	6100 ± 50	7070–6790	-22.9
MIR21	Charcoal	<i>Quercus</i> sp.	Beta-197385	6380 ± 40	7390–7190	-22.9
MIR22	Seed	<i>Triticum aestivum/durum</i>	Beta-208133	6150 ± 40	7200–6840	-22.3
MIR23	Seed	<i>Triticum dicoccum</i>	Beta-208134	6320 ± 50	7330–7130	-23.8
MIR24	Seed	<i>Triticum dicoccum</i>	Beta-220914	6110 ± 40	7060–6820	-23.4
	Charcoal	<i>Pinus-type sylvestris</i>	Beta-197386	7060 ± 40	7970–7770	-22.9

Table 2. Allocation of pollen and non-pollen palynomorphs to groups with ecological affinity (Behre, 1986; Carrión et al., 2010; Galop and López-Sáez, 2002; Hillbrand et al., 2012; López-Sáez et al., 1998, 2000; Ruiz-Zapata et al., 2006).

Increased rainfall	Anthropic-nitrophilous plants	Livestock pressure	Erosion	Oligotrophic conditions	Agriculture
Deciduous <i>Quercus</i>	Asteraceae	<i>Plantago</i> spp.	<i>Glomus</i> sp.	Cyperaceae	Cerealia-type
<i>Betula</i>	Brassicaceae	Urticaceae	<i>Pseudoschizaea</i>	<i>Gloeotrichia</i>	Faboideae
<i>Castanea</i>	Dipsacaceae	Sordariaceae	HdV 143	<i>Rivularia</i>	<i>Asphodelus</i>
<i>Corylus</i>		<i>Sporormiella</i>		<i>Botryococcus</i>	Cannabaceae
<i>Juglans</i>		HdV 1013 – <i>Cercophora</i>		<i>Gelasinospora</i>	Malvaceae
<i>Fagus</i>		HdV 55B			Convulvaceae
<i>Salix</i>		<i>Riccia</i>			<i>Puccinia</i>
<i>Alnus</i>					<i>Tilletia</i>
<i>Ulmus</i>					
<i>Tilia</i>					
<i>Myriophyllum</i>					
<i>Typha/Sparganium</i>					
<i>Isoetes</i>					
<i>Polypodium</i>					
<i>Ophioglossum</i>					
Trilete spores					

palynological analysis on the south section of the archaeological survey, which contains virtually all the documented levels.

The samples were treated with HCl, NaOH and HF, and flotation was performed with Thoulet's solution (Burjachs et al., 2003; Goeury and De Beaulieu, 1979). Fossil pollen, spores and NPPs were identified using published keys (Jarzen and Elsik, 1986; Miola, 2012; Moore et al., 1991; Reille, 1992, 1995; Van Geel, 1978, 1986) and a modern pollen reference collection.

A set of 50 samples were analysed from 21 levels (MIR4–MIR24). We counted a minimum of 100 grains of pollen as indicated by the methodology established for the palynological analysis of archaeological deposits (Bryant and Holloway, 1983, 1996; Janssen, 1981; McAndrews and King, 1976; Sánchez-Goñi, 1993) with an Olympus Cx41 microscope at 600 magnifications.

Data processing and graphic representation were performed with the help of the software Tilia (Grimm, 1991–2011). The results are expressed in relative frequencies separately for pollen and NPPs. Pollen percentages of trees, shrubs and herbs were calculated based on a pollen sum, excluding Asteraceae and Cerealia-type because they have a specific pollination system and/or are favoured by anthropic activity. For the palynological concentration (PC), we used the volumetric method proposed by Loublier (1978). Local pollen assemblage zones were determined with a cluster analysis using CONISS (Grimm, 1987).

In order to simplify the results, we created a synthetic diagram in which the pollen and NPP taxa appear grouped according to their ecological affinities (Table 2).

Results

The characteristics of the deposit, as well as their taphonomic history, have conditioned the unequal preservation of pollen and spores. Still, despite the irregularities, we could guess the plant environment and we have identified the most essential features in terms of its evolution.

A cluster analysis made it possible to divide the sequence into two main palynological zones (A and B) and two subzones (A1 and A2/B1 and B2; Figures 3–5 and Table 3).

Discussion

The vegetation and environmental evolution

The pollen spectra identified suggest that the landscape may have been made up of a mixed forest of *Pinus*, deciduous and

evergreen *Quercus* and other deciduous trees like *Corylus*, *Fagus* and *Juglans*. We identified a riverside community comprising *Salix*, *Tilia*, *Ulmus*, *Alnus* and hydro-hygrophilous taxa like Cyperaceae, *Typha–Sparganium* and the aquatic *Myriophyllum*. The presence of these hydro-hygrophilous taxa implies the existence of a water source near the cave on the past. At least *Castanea* and deciduous *Quercus* (e.g. *Q. pyrenaica*) may have lived on the acidophilous Arlanzón terraces, and some species of mountain pines and *Betula* must be regarded as having been transported by wind over a long distance from the higher elevations of the neighbouring regional mountain ranges, like the northwest foothills of the Iberian System (Carrión et al., 2010; Franco-Múgica et al., 2001; López-Sáez et al., 2010). It must be emphasised that the continuous presence of *Castanea* wick matches with its expansion from the northeast to the northwest of the Iberian Peninsula, during the middle Holocene (García-Antón et al., 1990). With respect to *Abies*, it should have travelled from the central and western Pyrenees, where its expansion has been documented after 6000 BP (Alba-Sánchez et al., 2009). Meanwhile, *Fagus* could be linked with the documented communities of the Iberian System (López-Merino et al., 2008) or the Cantabrian massifs and Pyrenees (Martínez-Atienza and Morla-Juaristi, 1992) that have acted as refuge areas until the beech expansion in the middle Holocene (Magri, 2008).

Heliophilous taxa such as *Cistus* or *Helianthemum* would have lived in the open areas within the forest. In the meadows, we would have found Poaceae, Asteraceae, Chenopodiaceae, *Plantago* spp., Apiaceae, *Artemisia*, Urticaceae, Ranunculaceae, *Asphodelus* and other herbs. Some of these deforested areas may have been devoted to the cultivation of cereal crops, but not continuously.

Therefore, the relatively diverse plant taxonomical composition, and its development throughout the profile, suggests the existence of a temperate climate context with some fluctuations in temperature and humidity, marked by oscillation in the representation of thermophilous and mesophilous trees and the riparian community.

The most temperate and wet phase was detected at the bottom of the sequence, where we found the highest values of arboreal taxa. This stage is consistent with the climatic stability and the thermo-mesophilous taxa expansion described in the climatic optimum (ca. 10,000 and 6500 cal. yr BP) for the Mediterranean area (Giralt et al., 1999; Jiménez-Moreno and Anderson, 2012), the north (Peñalba-Garmendia et al., 1997; Sánchez-Goñi and

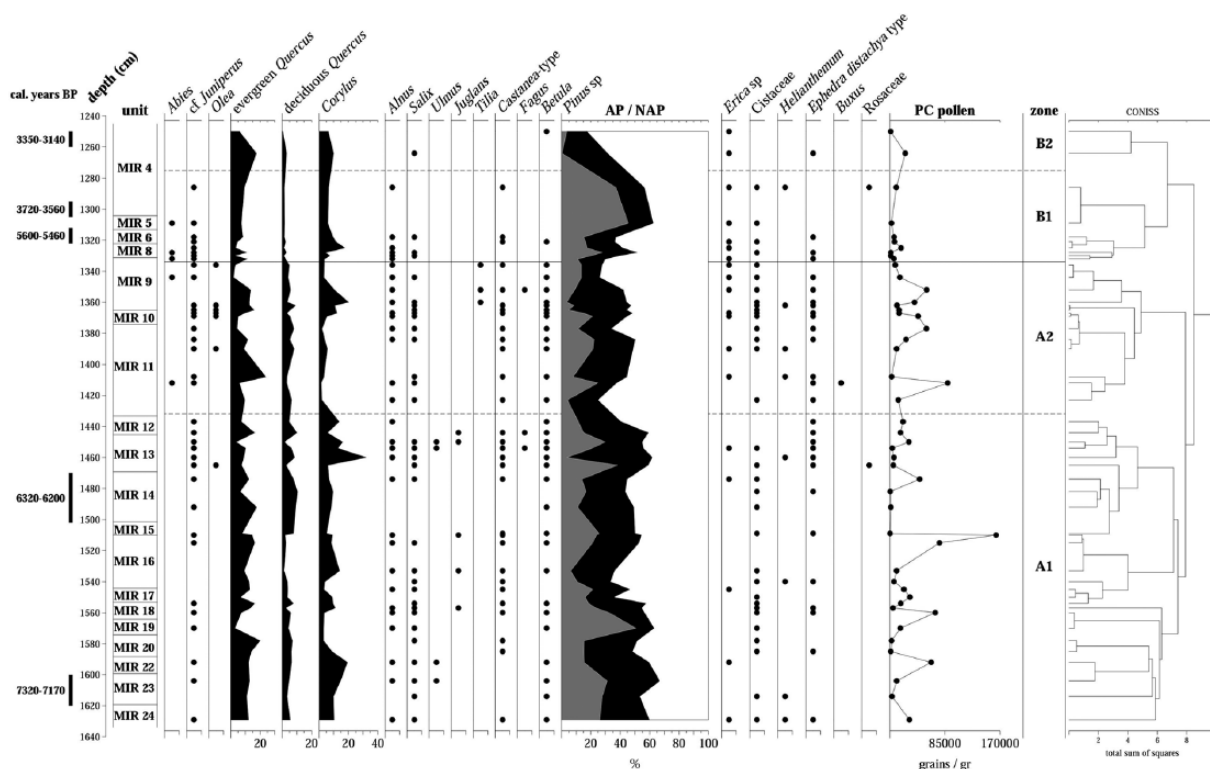


Figure 3. Diagram of the relative frequencies of the tree and shrub taxa of El Mirador Cave. Points indicate frequencies below 2%.

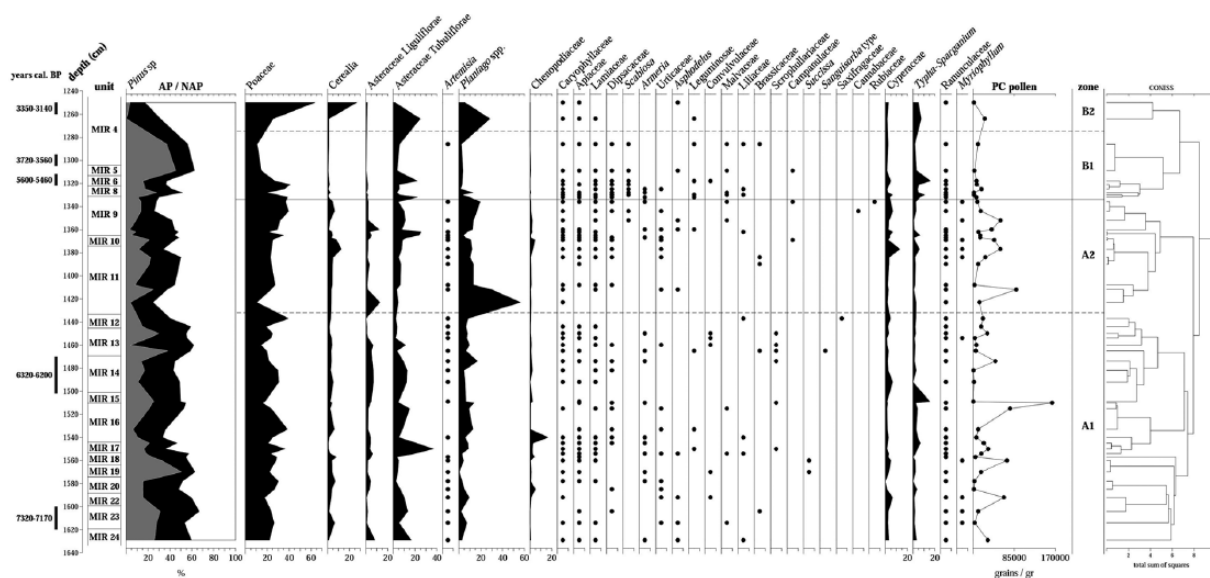


Figure 4. Diagram of the relative frequencies of the herbaceous taxa of El Mirador Cave. Points indicate frequencies below 2%.

Hannon, 1999) and the southwest Iberian Peninsula (Fletcher et al., 2007; Reed et al., 2001).

The most important trend in the evolution of the vegetation is the progressive decrease in the arboreal pollen percentage throughout the Neolithic occupation. We observed a gradual opening up of the environment, which became much more intense as we approached the Bronze Age levels. This involved the appearance of heliophilous trees and shrubs, the development of grassland areas and the increase in vegetation associated with crops (Figure 4).

In fact, like at El Mirador, the arboreal pollen values from palynological studies conducted at archaeological sites in the north and centre of the Iberian Peninsula are generally low (Atienza-Ballano, 1995; Bueno et al., 2002; López-García and López-Sáez, 2000;

López-Sáez and Burjachs, 2002; López-Sáez and López-Merino, 2007; Ruiz-Zapata et al., 2003, 2006). This is often directly related to human disturbance since AP rates are much lower than those evidenced in natural sequences for this geographical area and chronological period (López-García, 1978).

With regard to the relatively high and constant representation of pine through the sequence, it should be noted that pine is also the most represented arboreal taxa in natural and archaeological deposits available for this geographical area and chronological period (Carrión et al., 2010; Franco-Múgica et al., 2001; García-Antón et al., 2011; López-Sáez et al., 2010). In fact, the presence of pine is considered to be linked to regional vegetation and to be directly related to the surrounding mountain ranges of the Northern Plateau because of its great capacity for pollen dispersal. Pine

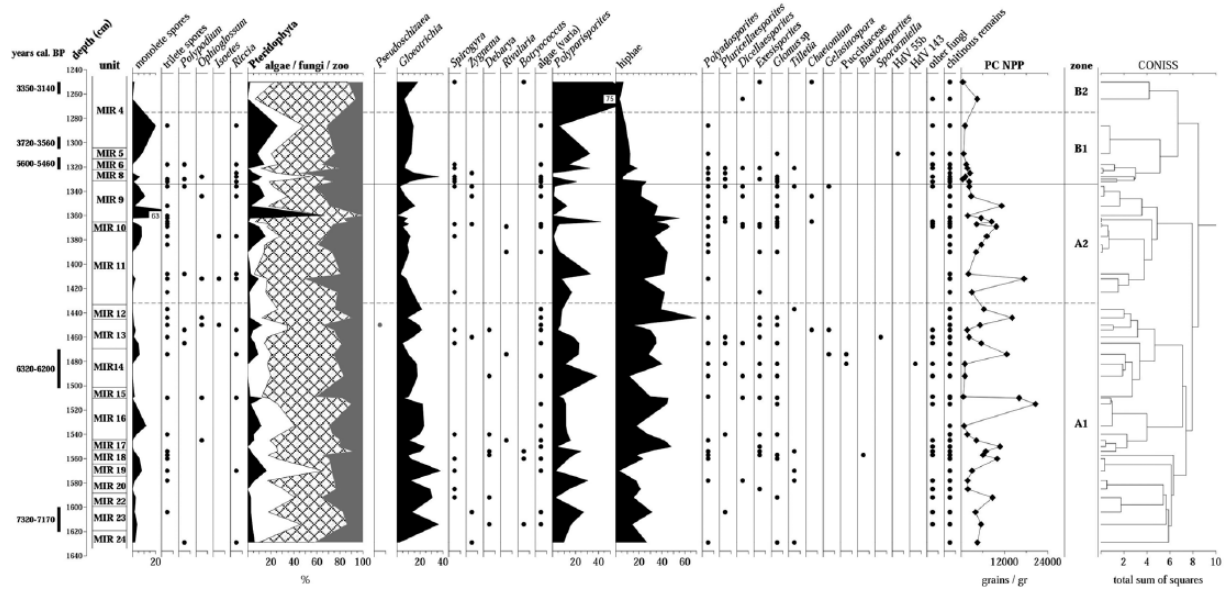


Figure 5. Diagram of the relative frequencies of non-pollen palynomorphs (NPP) of El Mirador Cave. Points indicate frequencies below 2%.

Table 3. Description of palynological zones established by CONISS (Grimm, 1987).

Zone	Chronology (cal. BP)	Description
A1	ca. 7100–5400	Maximum of AP percent (33.3–66.8%) and taxonomic variability (16–29 taxa identified) Meso-thermophilous taxa are well represented, mainly by evergreen <i>Quercus</i> and <i>Corylus</i> <i>Fagus</i> presence (0.3–0.4%) The riverside community is the most taxonomically diverse of the entire sequence Low values of livestock pressure indicators (especially <i>Plantago</i>) Cerealia appears from the base of the sequence (1.2–7.9%). Humid local conditions related to the presence of algal palynomorphs (maximum of 48.6%) Presence of taxa associated with erosive events
A2	ca. 5400–4980	Decline in AP values (24.7–50.1%), mainly <i>Pinus</i> Taxonomic variability of the riverside community declines <i>Fagus</i> and <i>Abies</i> presence (0.3% and 0.3%, respectively) Descent of Poaceae and growth of ruderal herbs and pastoral pressure indicators Stages clearly linked to livestock activities alternate with other periods in which nitrophilous and ruderal plants dominate Presence of taxa associated with erosive events (<i>Glomus</i> sp) on the upper part of the palynological zone
B1	ca. 4980–3400	Recovery of AP values, mainly because of the <i>Pinus</i> percent Minimum representation of riparian trees, deciduous <i>Quercus</i> and other mesophilous (<i>Ulmus</i> , <i>Juglans</i> , <i>Tilia</i> or <i>Fagus</i>) Drastic descent of the taxonomic variability of trees and shrubs Low values related to anthropisation or livestock pressure
B2	ca. 3400–3000	Decay of AP values (17.4–31.3%) with the virtual disappearance of <i>Pinus</i> Recovery of <i>Corylus</i> (6.4–10%), evergreen <i>Quercus</i> (5.9–17.4%) and deciduous <i>Quercus</i> (0.5–3%) and minimums of taxonomic diversity (17–18 taxa identified) Maximum values of the livestock pressure indicators on the basis of the zone and exponential growth of Poaceae on the top Maximum peak in Cerealia (26.7%)

is present from the late Pleistocene in many of the sequences of the central and coastal Iberian Peninsula (Carrion, 2002; Franco-Múgica et al., 2001, 2005; López-Sáez et al., 2014; Peñalba-Garmendia, 1994) and would have prevailed during the first half of the Holocene, with some oscillations.

This constant presence of pine during the Holocene on the Northern Plateau of the Iberian Peninsula is evident in sequences such as Cueva del Moro (López-García and López-Sáez, 1994), Gallocanta (Burjachs et al., 1996), Espinosa de Cerrato (Franco-Múgica et al., 1996) and Lillo (Franco-Múgica et al., 1997), which show the great prevalence of pine forests in the Mediterranean region. In fact, *Pinus* dominated, together with *Quercus*, *Betula* and *Juniperus*, from the Last Glacial Maximum until the influence of the establishment of deciduous

trees in Atlantic areas during the Holocene (Carrion et al., 2010; Peñalba-Garmendia, 1994).

In any case, although the elevation and location of the deposits imply variations in the representation of pine and other taxa, the general trend is a fluctuation in the role of *Pinus* and *Quercus* based on small climatic variations or human pressure (Carrion et al., 2010). In fact, it seems that *Pinus pinaster* could be dominant in some of the regional mountain ranges and also could have been part of the mesophytic forest formations with *Quercus* (Carrion et al., 2000, 2007).

In the case of El Mirador, palynological data reinforce the idea of the coexistence of both types of forests during the Holocene and both regional and local presence of *Pinus*. The anthracological data are consistent with that coexistence throughout the

sequence, but with a dominance of *Quercus* compared with the occasional presence of *Pinus sylvestris* type. The palynological data, however, illustrate a close similarity in the dynamic of the *Pinus* and *Quercus* curves. The lines only occasionally diverge, which may correspond to an aridification episode, as evidenced in Zone B1 (Figures 3 and 4). In fact, this phase related to MIR5 and the base of MIR4 level lacks evidence of anthropogenic impact on vegetation. This fact also occurs throughout the Peninsula, the central area of the Iberian Peninsula, and could match with the 4.2 ka cal. BP event (Magny, 2004; Magny et al., 2009).

So, overall, we can confirm the existence of a phase of increased aridity in the upper part of the sequence, which would coincide with the aridity episodes described for the interval 5300–3540 cal. yr BP, closely linked to the expansion of pine, sometimes in conjunction with evergreen *Quercus* (Carrión et al., 2010). In El Mirador, the beginning of this phase coincides with level MIR5 (chronologically between 3560 and 5600 cal. yr BP), and the rise of *Pinus* starts becoming irrefutable in MIR4. It is precisely in this level, which belongs to the Bronze Age phase, where we observed the maximum representation of pine and an increase in the Mediterranean trends and aridity characteristic of the beginning of the middle Holocene in this geographic area and that would have influenced the decline or disappearance of *Ulmus*, *Juglans*, *Tilia* and *Fagus* populations (Carrión et al., 2010; Franco-Múgica et al., 2001, 2005; García-Antón et al., 2011; Gil-García et al., 2002; López-Sáez et al., 2003; Muñoz-Sobrino et al., 2004). The incidence of aridity and the intensification of human pressure are also reflected in the anthracological record, which shows a change in dominance from deciduous *Quercus* to evergreen. This change is noticeable from MIR14 (6320–6200 cal. yr BP) and is definitely consolidated at the top of the sequence (Allué and Euba, 2008).

It is difficult to document the influence of these xerophytic phases in the settlements in the vicinity of the Sierra de Atapuerca, although some evidence of the occurrence of some of these aridity episodes has been found. This is the case of the 8.2 ka BP event, verified from the pollen record of Cañada de la Cruz, which caused the migration of most of the hunter-gatherer communities from the central Ebro basin (González-Sampérez et al., 2009). In our case, it was not possible to assess the impact of natural forest fires so closely related to processes of aridity. The genesis of the deposit does not allow us to differentiate between charcoals from fires and those generated by anthropic systematic burning. At any rate, the incidence of decreased rainfall is parallel to the progressive increase in indicators of anthropic pressure. Thus, the oscillation of the representation of arboreal pollen at El Mirador is clearly accompanied by the appearance of vegetation typical of a deforestation phase, the development of anthropozoogenous grasslands and the proliferation of nitrophilous or ruderal plants (Barbier et al., 2001; Behre, 1981; López-Sáez et al., 1998).

Human activities and anthropogenic modifications

Although one of the objectives of this work has been the landscape reconstruction in the vicinity of the Sierra de Atapuerca during the Neolithic and Bronze Age, the most important trend identified in the sequence analysed is the role of vegetation related to a clear anthropised environment.

It should be noted that in the data from bogs and palaeolakes of the north and central areas of the Peninsula, such as Comeya (Jiménez-Sánchez et al., 2003), Monte Areo and Alto de la Espina (López-Merino, 2009), Puerto de los Tornos (Peñalba-Garmendia, 1994), Turbera de la Piedra (Muñoz-Sobrino et al., 1996), Quintanar de la Sierra (Peñalba-Garmendia, 1989), Hoyos de Iregua (Gil-García et al., 2002), Lago del Carrizal (Franco-Múgica et al., 2005), Espinosa de Cerrato (Franco-Múgica et al., 2001) and Cañada de la Cruz (González-Sampérez et al., 2009),

the first pollinical evidence of the start of anthropisation appears only in the early Neolithic.

Nevertheless, the first clear signs of human impact are not found in the Iberian System until the late Bronze Age (Ruiz-Zapata et al., 2002), when the higher elevation areas of the Northern Plateau began being colonised. This late sign of human communities' influence on the landscape is surely related to the elevation at which these deposits are found. It seems obvious that the first more or less permanent settlements that exerted pressure on the environment were located in the lowlands and valleys, so a pollen analysis that only provides a regional view of the landscape would not detect these signs (Carrión et al., 2010). This increase in the phenomenon of anthropic activity has been widely observed in most palynological sequences available for the north and the central areas of the Iberian Peninsula at sites such as Can Roqueta (Burjachs and Expósito, 2007), Lago Enol (López-Merino, 2009), Rascafría (Ruiz-Zapata et al., 2006), El Portalón (Ruiz-Zapata et al., 2003) and Covatilla (Atienza-Ballano, 1995).

The palynological analyses of archaeological deposits such as Azutan (Bueno et al., 2002), Barruecos (López-Sáez et al., 2007), Cueva de Chaves (López-Sáez et al., 2006), La Cueva de los Gitanos (Ontañón et al., 2013) and Dehesa Río Fortes (López-Sáez, 2002) reflect an evident human modification of the vegetation on the north and centre of the Iberian Peninsula at the end of the Atlantic period (Carrión et al., 2010; Delibes de Castro et al., 2015; López-Sáez et al., 2014) as in the rest of European continent (Zvelebil, 1989).

The first archaeobotanical evidence of agricultural practices on the Iberian Peninsula was documented on the east coast, at Mas d'Is, Valencia, dating to ca. 6600 ± 50 BP (Bernabeu-Aubán et al., 2003). The available data from inner Iberia have documented the agriculture practices in some sites in the Meseta as La Lámpara and La Revilla (Rojo-Guerra et al., 2006) and Cueva de la Vaquera (Estremera, 2003), among others, around 6400 cal. yr BP. In the northeast of the Iberian Peninsula, Can Sadurní (Blasco et al., 2005) has reported evidences of farming activities at 6450 ± 50 BP, and in the rockshelter of Chaves, located in the Ebro valley, cereal pollen have been identified between 6230 and 6120 BP (López-Sáez and López-García, 2000).

In this way, Neolithisation process implies significant changes in the relation between environment and human communities. These transformations spread throughout the Iberian Peninsula at various stages of inland colonisation through the channels of major rivers of the Mediterranean coastal area (Bernabeu-Aubán et al., 2014). This process starts in the first half of the eighth millennium completing the cultural and social change that had begun in the southeast of the European continent in the ninth millennium (Marinova et al., 2012; Revelles, 2016).

The palynological sequence of El Mirador reflects reliably the introduction and settlement of this new production system characterised, in the Iberian Peninsula, for the great diversity of the crops including a large variability of cereals and vegetables, from ca. 7970 to 7770 cal. yr BP (Zapata et al., 2004).

In El Mirador, the agricultural practices have already been demonstrated through the data provided by the archaeobotanical analysis (Rodríguez-Cruz and Buxó, 2008). The presence of seeds of *Triticum aestivum/durum* and *Triticum dicoccum* was identified from MIR6 to MIR24, as well as, exceptionally, *Hordeum vulgare* var. *nudum*. Agricultural by-products have also been identified in 10 levels, although with a greater presence at the base of the sequence (from MIR19 to MIR24).

The palynological analysis revealed that the Cerealia-type curve is continuous throughout the entire sequence with some fluctuations, perhaps related to the nature of the activities carried out by the communities who occupied the cave. Indeed, there seems to be an alternation between livestock and farming practices that also involves changes in the values of the nitrophilous

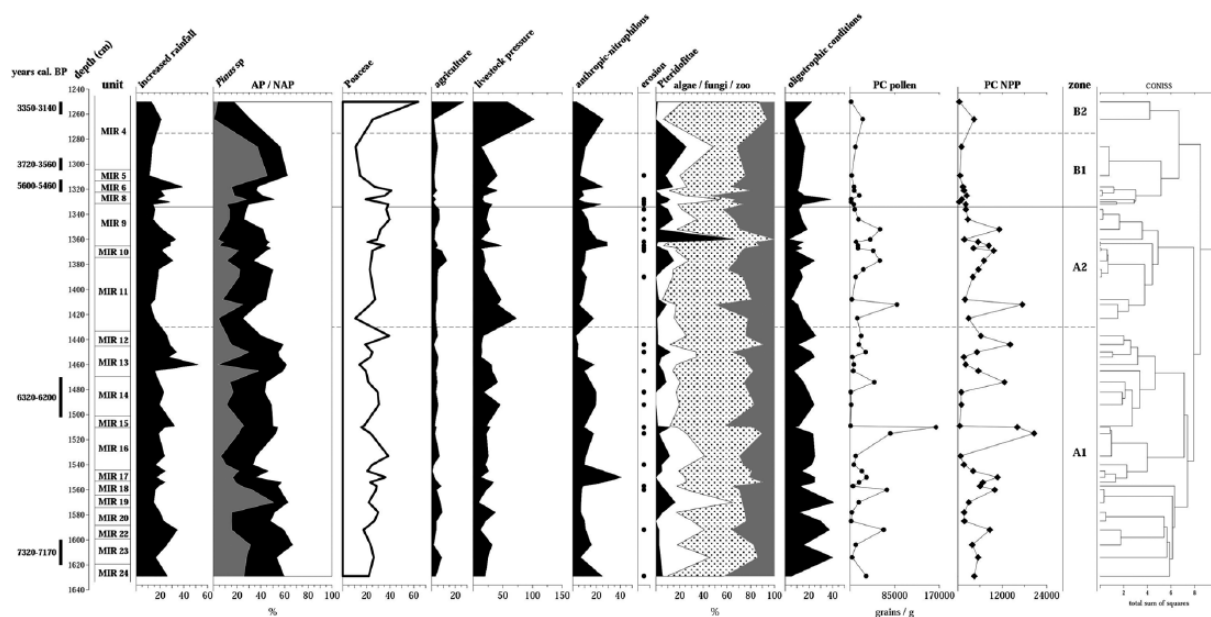


Figure 6. Synthetic palynological diagram of El Mirador Cave. The groups are formed according to the taxa allocation shown in Table 2.

vegetation component, in accordance with the intensity of the occupations. Still, it is necessary to thoroughly assess the significance of the oscillation of the different indicators. For example, at the top of the sequence, the decline in nitrophilous plants, coinciding with a rise in cultivation, does not appear to be exclusively related to a lesser degree of anthropisation, but rather to a change in land use strategies. According to López-Sáez et al. (2000), areas previously occupied by nitrophilous and ruderal plants were afterwards used for crops, and this could have been the case at El Mirador.

Nevertheless, in some cases, it has identified a very intensive development of livestock. Thus, the progressive decrease in Poaceae observed in some moments of the sequence was probably related to the high incidence of farming practices in an arid or less humid environment, which may have been decisive in the decrease in grassland areas near the cave at the beginning of the Bronze Age. So the increase in percentages of pastoral pressure indicators that match with the minimal representation of Poaceae could be related to the depletion of these types of herbaceous plants by overgrazing (Burjachs et al., 1997) and could involve the existence of a more sedentary mobility pattern in these communities.

In any case, the Cerealia percentage exceeds 3% in 27 of the samples analysed, which may be related to the existence of crop fields near the cave (Diot, 1992; Richard, 1995). Values close to 10%, identified in some of the levels of the sequence (Figure 4), have been attributed, however, to the existence of some degree of anthropogenic manipulation (Diot, 1992) or to an indirect contribution of anthropogenic origin (Bower, 1998; Diot, 1992; Robinson and Hubbard, 1977).

The impact on the environment intensified in the Bronze Age levels is evidenced by an increase in anthropogenic indicators. The exceptional location of the settlement probably made it possible to establish cultivation areas in the vicinity and to use large areas of grassland. In addition, the strategic location of El Mirador cave, connecting two large valleys, suggests that this site that would have been frequented by pastoralist groups of the Northern Plateau moving to the area of Cantabrian influence or the Iberian System to reach high-mountain pastures.

The only point in which there is no evidence of these activities at El Mirador is in MIR5 which, as mentioned above, represents a unique and uncommon phenomenon. Thus, palynologically, this level yielded evidence of plants and NPPs opposite to those

associated with anthropogenic contexts, as well as the existence of a particularly dry climate context.

Regarding the contribution of NPPs and considering the functionality of the infilling and the fact that it was subjected to periodic burning for the purpose of cleaning and deworming, one would expect greater taxonomic variability and a greater percentage of NPPs, and especially coprophilous and carbonicolous ones. The low presence of these kinds of microorganisms leads us to consider that the systematic fires may have inhibited the activity of these saprophytic organisms.

The oscillation in the representation of taxa associated with nitrogenated contexts (Figure 6) indicates that the changes in the trophic conditions can be explained by the increase or decrease in phosphate- and nitrate-rich waste related to pastoral pressure (Van Geel et al., 1981). Naturally, the systematic burning of infill drastically reduces the eutrophic content of the soil, which is regenerated through the proliferation of species like *Gloeotrichia*, a pioneer alga that colonises nitrogen-poor substrates (Van Geel, 1986; Van Geel et al., 1984, 1989), or through a new occupation of the cave.

Conclusion

This first palynological analysis of the complete sequence of El Mirador cave has shown the existence of an open landscape formed by a mixed forest of pines and oaks from the early Neolithic to the Bronze Age. Mixed in with these forest formations were other deciduous trees such as *Corylus* or *Castanea*-type, which grew on the acidophilous terraces. The riparian forest was made up of *Salix*, *Tilia* and *Alnus*. *Betula*, *Abies* and *Pinus* were probably distributed among the mountain ranges of the region.

The different plant communities documented and the values of the arboreal pollen (always around 50%) suggest that the landscape had a clear open sub-Mediterranean character with a clear importance of sclerophyllous trees and pine woodlands like is typical of the continental central areas of the Iberian Peninsula in this chronological frame (Burjachs et al., 1997; Carrión et al., 2010; Pérez-Obiol, 2007; Pérez-Obiol et al., 2011).

The decline in forest formations, the occupation of the open areas with heliophilous trees and bushes and the increase in grasslands and scrublands suggest the typical phases of landscape degradation. Thus, this evolution towards a highly anthropised environment implies the progressive increase in nitrophilous and

anthropozoogenous taxa associated with areas dedicated to grazing and cultivation. Therefore, as would be expected given the use of the cave as a fold, the community most widely represented is the group of grazing plants.

The data indicate that the human groups visiting El Mirador from the early Neolithic to the Bronze Age carried out livestock rearing and cereal cultivation practices and made use of the available forest resources in the chronological frame that the beginning of this mode of production was documented in the north of the central area of northern Plateau of the Iberian Peninsula.

The exceptional resolution of the palynological data, as well as the excellent chronological adscription of documented levels in El Mirador, makes this palynological record essential for the characterisation of the implementation of the Neolithic economic system in the Sierra de Atapuerca biogeographic crossroad, little explored so far.

Acknowledgements

The authors are deeply grateful to the Atapuerca research team and the fieldwork participants. They also thank Ethel Allué, Carmen Expósito and Isabel Cáceres for their help and comments that have certainly helped improve the manuscript. The authors also acknowledge the comments and suggestions made by the anonymous reviewers.

Funding

The Ministerio de Ciencia e Innovación (N_CGL2009-12703-C03-02/BTE, HUM2007-62915/HIST, HAR2008-01984/HIST) and the Ministerio de Economía y Competitividad (CGL2015-65387-C3-1-P (MINECO/FEDER)) and the Generalitat de Catalunya (2014SGR900, 2014SGR899) supported this research. Funding for the fieldwork came from the Consejería de Cultura y Turismo, the Junta de Castilla y León and the Fundación Atapuerca.

References

- Alba-Sánchez F, López-Sáez JA, Benito de Pardo B et al. (2009) Historia paleoecológica y modelo de idoneidad de *Abies alba* Mill. en la cordillera pirenaica. *Pirineos* 164: 93–116.
- Allué E and Euba I (2008) Los datos antracológicos de la secuencia neolítica del El Mirador (Atapuerca, Burgos): Un estudio sobre el medio vegetal y la explotación de las especies vegetales leñosas. In: Hernández Pérez MS, Soler Díaz JA and López-Padilla JA (eds) *IV Congreso del Neolítico Peninsular*, vol. 1. Alicante: MARQ, Museo Arqueológico de Alicante, Diputación de Alicante, pp. 345–352.
- Angelucci DE, Boschian G, Fontanals M et al. (2009) Shepherds and karst: The use of caves and rock-shelters in the Mediterranean region during the Neolithic. *World Archaeology* 41(2): 191–214.
- Atienza-Ballano M (1995) Estudio palinológico de los cambios en el límite superior del bosque durante el Holoceno en la Sierra de Béjar. Sistema Central español. In: Alexandre Campos T and Pérez-González A (eds) *Reconstrucción de paleoambientes y cambios climáticos durante el Cuaternario* (Monografías 3). Madrid: Centro de Ciencias Medioambientales, C.S.I.C., pp. 329–338.
- Badal E (1999) El potencial pecuario de la vegetación mediterránea: las Cuevas Redil. *SAGVNTVM Extra-2*: 69–76.
- Bañuls S, López-García JM and Vergès JM (2013) Palaeoenvironmental and Palaeoclimatic approach of the Middle Bronze Age (Level MIR4) from El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Quaternaire* 24(2): 203–209.
- Barbier D, Burnouf J and Visset L (2001) Les diagrammes société/vegetation: un outil de dialogue interdisciplinaire pour la compréhension des interactions homme/milieu. *Quaternaire* 12(1–2): 103–108.
- Behre KE (1981) The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen et Spores* 23(2): 225–245.
- Behre KE (1986) *Anthropogenic Indicators in Pollen Diagrams*. Rotterdam: A.A. Balkema.
- Bernabeu-Aubán J, García Puchol O, Pardo S et al. (2014) Socioecological dynamics at the time of Neolithic transition in Iberia. *Environmental Archaeology* 19(3): 214–225.
- Bernabeu-Aubán J, Orozco Köhler T, Díez Castillo A et al. (2003) Mas d'Is (Penàguila, Alicante): Aldeas y recintos monumentales del Neolítico inicial en el Valle del Serpis. *Trabajos de Prehistoria* 60(2): 39–59.
- Blasco A, Edo M and Villaba MJ (2005) Cardial, epicardial y postcardial en Can Sadurní (Begues, Baix Llobregat). El largo fin del Neolítico Antiguo en Cataluña. In: Arias P, Ontañón C and García-Moncó C (eds) *Actas del III Congreso del Neolítico Antiguo en la Península Ibérica (Santander 2003)*, *Monografías del Instituto Internacional de Investigaciones prehistóricas de Cantabria I*. Santander: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria, pp. 867–878.
- Bower MA (1998) *A Critical Path to the Characterisation of Agriculture through the Pollen of Cereals*. Cambridge: University of Cambridge.
- Brochier JE, Claustre F and Heinz C (1998) Environmental impact of Neolithic and Bronze Age farming in the eastern Pyrenees forelands, based on multidisciplinary investigations at La Caune de Bélesta (Bélesta Cave), near Perpignan, France. *Vegetation History and Archaeobotany* 7: 1–9.
- Brochier JE, Villa P and Giacomarra M (1992) Shepherds and sediments: Geo-ethnoarchaeology of pastoral sites. *Journal of Anthropological Archaeology* 11: 47–102.
- Bryant VM and Holloway RG (1983) The role of palynology in archaeology. *Advances in Archaeological Method and Theory* 6: 191–224.
- Bryant VM and Holloway RG (1996) Chapter 23: New frontiers in palynology. 23A – Archaeological palynology. In: Jansonius J and McGregor DC (eds) *Palynology: Principles and Applications*, vol. 3. Salt Lake City, UT: American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, pp. 913–917.
- Bueno P, Barroso R, Balbín R et al. (2002) Áreas habitacionales y funerarias en el Neolítico de la cuenca interior del Tajo: la provincia de Toledo. *Trabajos de Prehistoria* 59(2): 65–79.
- Burjachs F and Expósito I (2007) El paisatge vegetal. In: Carlús X, López-Cachero FJ, Oliva M et al. (eds) *Cabanes, sitges i tombes: El paratge de Can Roqueta (Sabadell, Vallès Occidental) del 1300 al 500 AC* (Quaderns d'Arqueologia, vol. 4). Sabadell: Museu d'Història de Sabadell, Ajuntament de Sabadell, pp. 72–73.
- Burjachs F, López-Sáez JA and Iriarte MJ (2003) Metodología arqueopalinológica. In: Buxó R and Piqué R (eds) *La recogida de muestras en arqueobotánica: objetivos y propuestas metodológicas*. Barcelona: Museu d'Arqueologia de Catalunya, pp. 11–18.
- Burjachs F, Rodó X and Comín FA (1996) Gallocanta: ejemplo de secuencia palinológica en una laguna efímera. In: Ruiz-Zapata B (ed.) *Estudios Palinológicos*. Alcalá de Henares: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá, pp. 25–29.
- Burjachs F, Giralt S, Roca JR et al. (1997) Palinología holocénica y desertización en el Mediterráneo Occidental. In: Ibáñez JJ, Valero BL and Machado C (eds) *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación*. Logroño: Geofoma Editores, pp. 379–394.
- Cabanes D, Burjachs F, Expósito I et al. (2009) Formation processes through archaeobotanical remains: The case of the Bronze Age levels in El Mirador cave, Sierra de Atapuerca, Spain. *Quaternary International* 193: 160–173.

- Cáceres I, Lozano M and Saladié P (2007) Evidence for Bronze Age cannibalism in El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *American Journal of Physical Anthropology* 133: 899–917.
- Canti MG (1999) The production and preservation of faecal spherulites: Animals, environment and taphonomy. *Journal of Archaeological Science* 26: 251–258.
- Carrión JS (2002) Patterns and processes of Late Quaternary environmental change in a montane region of southwestern Europe. *Quaternary Science Reviews* 21: 2047–2066.
- Carrión JS, Andrade A, Bennett KD et al. (2001a) Crossing forest thresholds: Inertia and collapse in a Holocene sequence from south-central Spain. *The Holocene* 11: 115–142.
- Carrión JS, Fernández S, González-Sampériz P et al. (2010) Expected trends and surprises in the Lateglacial and Holocene vegetation history of the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162: 458–475.
- Carrión JS, Fuentes N, González-Sampériz P et al. (2007) Holocene environmental change in a montane region of southern Europe with a long history of human settlement. *Quaternary Science Reviews* 26: 1455–1475.
- Carrión JS, Munuera M, Dupré M et al. (2001b) Abrupt vegetation changes in the Segura mountains of southern Spain throughout the Holocene. *Journal of Ecology* 89: 783–797.
- Carrión JS, Munuera M, Navarro C et al. (2000) Paleoclimas e historia de la vegetación cuaternaria en España a través del análisis polínico. *Viejas falacias y nuevos paradigmas. Complotum* 11: 115–142.
- Charles M (1998) Fodder from dung: The recognition and interpretation of dung-derived plant material from archaeological sites. *Environmental Archaeology* 1: 111–122.
- Delibes de Castro G, Abarquero-Moras FJ, Crespo-Díez M et al. (2015) The archaeological and palynological record of the Northern Plateau of Spain during the second half of the 3rd millennium BC. *Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle Band* 13: 1–20.
- Diot MF (1992) Études palynologiques de blés sauvages et domestiques issus de cultures expérimentales. *Monographies du CRA* 6: 107–111.
- Estremera MS (2003) *Primeros agricultores y ganaderos en la Meseta Norte: el Neolítico de la Cueva de la Vaquera (Torreiglesias, Segovia)* (Arqueología en Castilla y León, vol. 11). Zamora: Junta de Castilla y León.
- Euba I, Allué E and Burjachs F (2016) Wood uses at El Mirador cave (Atapuerca, Burgos) based on anthracology and dendrology. *Quaternary International* 414: 285–293.
- Expósito I and Burjachs F (2016) Taphonomic approach to the palynological record of burnt and unburnt samples from El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Quaternary International* 414: 258–271.
- Fernández-Eraso J (2010) La actividad pecuaria en la Rioja alavesa durante la Prehistoria reciente. *Cuadernos de Arqueología de la Universidad de Navarra* 18: 159–171.
- Fletcher W, Boski T and Moura D (2007) Palynological evidence for environmental and climatic change in the lower Guadiana valley (Portugal) during the last 13000 years. *The Holocene* 17: 153–166.
- Franco-Múgica F, García-Antón M and Sainz-Ollero H (1997) Impacto antrópico y dinámica de la vegetación durante los últimos 2000 años BP en la vertiente septentrional de la Sierra de Gredos: Navarredonda (Avila, España). *Revue de Paléobiologie* 16(1): 29–45.
- Franco-Múgica F, García-Antón M, Maldonado J et al. (1996) Aproximación a la dinámica de la vegetación holocena en la Meseta Norte: Espinosa de Cerrato (Palencia). In: Ruiz Zapata B (ed.) *Estudios Palinológicos*. Alcalá de Henares: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá, pp. 53–56.
- Franco-Múgica F, García-Antón M, Maldonado J et al. (2001) The Holocene history of *Pinus* forests in the Spanish Northern Meseta. *The Holocene* 11(3): 343–358.
- Franco-Múgica F, García-Antón M, Maldonado J et al. (2005) Ancient pine forest on inland dunes in the Spanish northern meseta. *Quaternary Research* 63(1): 1–14.
- Galop D and López-Sáez JA (2002) Histoire agraire et paléoenvironnement: les apports de la palynologie et des microfossiles non-polliniques. *Trabalhos de Antropologia e Etnologia* 42(1–2): 161–164.
- García-Antón M, Morla-Juaristi C and Sainz-Ollero H (1990) Consideraciones sobre la presencia de algunos vegetales relictos terciarios durante el Cuaternario en la Península Ibérica. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural: Sección Biológica* 86(1–4): 95–105.
- García-Antón M, Franco-Múgica F, Maldonado-Ruiz J et al. (1995) Una secuencia polínica en Quintana Redonda (Soria). Evolución holocena del tapiz vegetal en el Sistema Ibérico Septentrional. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 52(2): 187–195.
- García-Antón M, Franco-Múgica F, Morla-Juaristi C et al. (2011) The biogeographical role of *Pinus* forest in the Northern Spanish Meseta: A new Holocene sequence. *Quaternary Science Reviews* 30(5–6): 757–768.
- Gil-García MJ, Dorado-Valiño M, Valdeolmillos-Rodríguez A et al. (2002) Late-glacial and Holocene palaeoclimatic record from Sierra de Cebollera (northern Iberian Range, Spain). *Quaternary International* 93–94: 13–18.
- Giralt S, Burjachs F, Roca JR et al. (1999) Late Glacial to Early Holocene environmental adjustment in the Mediterranean semi-arid zone of the Salines playa-lake (Alacante, Spain). *Journal of Paleolimnology* 21: 449–460.
- Goeury C and De Beaulieu JL (1979) À propos de la concentration du pollen à l'aide de la liqueur de Thoulet dans les sédiments minéraux. *Pollen et Spores* 21(1–2): 239–251.
- Gómez-Sánchez D, Olalde I, Pierini F et al. (2014) Mitochondrial DNA from El Mirador cave (Atapuerca, Spain) reveals the heterogeneity of Chalcolithic populations. *PLoS ONE* 9(8): e105105.
- González-Sampériz P, Utrilla P, Mazo C et al. (2009) Patterns of human occupation during the Early Holocene in the Central Ebro Basin (NE Spain) in response to the 8.2 ka climatic event. *Quaternary Research* 71(2): 121–132.
- Grimm EC (1987) CONISS: A FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences* 13: 13–35.
- Grimm EC (1991–2011) *Tilia, Tilia-Graph and TGView*. Springfield, IL: Illinois State Museum. Available at: <https://www.ncdc.noaa.gov/paleo/tiliafaq.html>.
- Hillbrand M, Hadorn P, Cugny C et al. (2012) The palaeoecological value of *Diporothea rhizophila* ascospores (Diporotheaceae, Ascomycota) found in Holocene sediments from Lake Nussbaumersee, Switzerland. *Review of Palaeobotany and Palynology* 186: 62–68.
- Janssen C (1981) Contemporary pollen assemblages from the Vosges (France). *Review of Palaeobotany and Palynology* 33: 183–313.
- Jarzen DM and Elsik WC (1986) Fungal palynomorphs recovered from recent river deposits, Luangwa valley, Zambia. *Palynology* 10: 35–60.
- Jiménez-Moreno G and Anderson RS (2012) Holocene vegetation and climate change recorded in alpine bog sediments from the Borreguiles de la Virgen, Sierra Nevada, southern Spain. *Quaternary Research* 77: 44–53.

- Jiménez-Sánchez M, Ruíz-Zapata MB, Farias-Arquer P et al. (2003) Palaeoenvironmental research in Cantabrian Mountains: Redes Natural Park and Comella Basin. In: Ruíz-Zapata MB, Dorado-Valiño M, Valdeolmillo-Rodríguez A et al. (eds) *Quaternary Climatic Changes and Environmental Crises in the Mediterranean Region*. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá de Henares, Ministerio de Ciencia y Tecnología, INQUA, pp. 229–240.
- López-García JM, Cuenca G and Rosell J (2008) Resultados del estudio de microvertebrados del Neolítico de la cueva de El Mirador (Ibeas de Juarros, Sierra de Atapuerca, Burgos). In: Hernández Pérez MS, Soler Díaz JA and López-Padilla JA (eds) *IV Congreso del Neolítico Peninsular*. Alicante: Museo de Arqueología de Alicante, pp. 338–344.
- López-García P (1978) Resultados polínicos del Holoceno en la Península Ibérica. *Trabajos de Prehistoria* 35: 9–44.
- López-García P and López-Sáez JA (1994) Contribución al conocimiento de la historia de la vegetación de Huesca: análisis Palinológico del yacimiento de la Cueva del Moro (Olvena). *Boletín Geológico y Minero* 105(5): 427–435.
- López-García P and López-Sáez JA (2000) Análisis polínico del Dolmen de Azután (Toledo, España). *Revista Española de Micropaleontología* 32(1): 107–113.
- López-Merino L (2009) *Paleoambiente y antropización en Asturias durante el Holoceno*. PhD Thesis, Universidad Autónoma de Madrid.
- López-Merino L, López-Sáez JA, Ruiz Zapata MB et al. (2008) Reconstructing the history of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the north-western Iberian Range (Spain): From Late-Glacial refugia to the Holocene anthropic-induced forests. *Review of Palaeobotany and Palynology* 152: 58–65.
- López-Sáez JA (2002) Análisis paleopalínológico del yacimiento Dehesa de Río Fortes (Mironcillo, Ávila). *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología: BSAA* 68: 42–48.
- López-Sáez JA and Burjachs F (2002) Análisis palinológico de la fosa de Valdeprados. Una contribución al conocimiento del paisaje Calcolítico en el valle de Amblés (Ávila). *Cuadernos Abulenses* 31: 11–23.
- López-Sáez JA and López-García P (2000) Le paysage et la phase Épipaléolithique-Mésolithique dans les Pré-Pyrénées Aragonaises et le Bassin Moyen de l'Èbre à partir de l'analyse palynologique. In: Cupillard C and Richard A (eds) *Les derniers chasseurs-cueilleurs d'Europe occidentale (13.000-5.000 av.j.c.): actes du Colloque International de Besançon, octobre 1998*. Besançon: Presses Universitaires Franc-Comtoises, pp. 59–69.
- López-Sáez JA and López-Merino L (2007) Coprophilous fungi as a source of information of anthropic activities during the Prehistory in the Amblés Valley (Ávila, Spain): The archaeopalynological record. *Revista Española de Micropaleontología* 39: 103–116.
- López-Sáez JA, López-García P and López-Merino L (2006) La transición Mesolítico-Neolítico en el Valle Medio del Ebro y en Prepirineo aragonés desde una perspectiva paleoambiental: dinámica de la antropización y origen de la agricultura. *Revista Iberoamericana de Historia* 1: 4–11.
- López-Sáez JA, van Geel B and Martín Sánchez M (2000) Aplicación de los microfósiles no polínicos en Palinología Arqueológica. In: Oliveira Jorge V (ed.) *Contributos das Ciências e das Tecnologias para a Arqueologia da Península Ibérica. Actas 3º Congresso de Arqueologia Peninsular, Vila-Real, Portugal, setembro de 1999*, vol. 9. Porto: ADECAP, pp. 11–20.
- López-Sáez JA, Abel-Schaad D, Pérez-Díaz S et al. (2014) Vegetation history, climate and human impact in Spanish Central System over the last 9000 years. *Quaternary International* 353: 98–122.
- López-Sáez JA, Dorado-Valiño M, Burjachs F et al. (2003) Paleambiente y paleoconomía en el Valle de Amblés (Ávila). *Polen* 13: 129–141.
- López-Sáez JA, López-García P, López-Merino L et al. (2007) Origen prehistórico de la dehesa en Extremadura: una perspectiva paleoambiental. *Revista de Estudios Extremeños* 63(1): 493–510.
- López-Sáez JA, López-Merino L, Alba-Sánchez F et al. (2010) Late-Holocene ecological history of *Pinus pinaster* forests in the Sierra de Gredos of central Spain. *Plant Ecology* 206: 195–209.
- López-Sáez JA, van Geel B, Farbos-Texier S et al. (1998) Remarques paléocologiques à propos de quelques palynomorphes non-polliniques provenant de sédiments quaternaires en France. *Revue de Paléobiologie* 17(2): 445–459.
- Loublier Y (1978) *Application de l'analyse pollinique à l'étude du paléoenvironnement du remplissage Würmien de la grotte de L'Arbreda (Espagne)*. Montpellier: Académie de Montpellier (U.S.T.L.).
- Lozano M, Bermúdez de Castro JM, Arsuaga JL et al. (2015) Diachronic analysis of cultural dental wear at the Atapuerca sites (Spain). *Quaternary International*. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.028>.
- McAndrews JH and King JE (1976) Pollen of the North American Quaternary: The top twenty. *Geoscience and Man* 15: 41–49.
- Maggi R (ed.) (1997) *Arene Candide: A Functional and Environmental Assessment of the Holocene Sequence* (Memorie dell'Istituto Italiano di Paleontologia Umana, N.S. 5). Roma: Il Calamo.
- Magny M (2004) Holocene climatic variability as reflected by mid-European lake-level fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements. *Quaternary International* 113: 65–79.
- Magny M, Vannière B, Zanchetta G et al. (2009) Possible complexity of the climatic event around 4300–3800 cal BP in the central and western Mediterranean. *The Holocene* 19: 823–833.
- Magri D (2008) Patterns of postglacial spread and the extent of glacial refugia of European beech (*Fagus sylvatica*). *Journal of Biogeography* 35: 450–463.
- Marinova E, Tonkov S, Bozilova E et al. (2012) Holocene anthropogenic landscapes in the Balkans: The palaeobotanical evidence from southwestern Bulgaria. *Vegetation History and Archaeobotany* 21: 413–426.
- Martín P, Rosell J and Vergès JM (2009) La gestión de los recursos faunísticos durante el Neolítico en la Sierra de Atapuerca (Burgos): los niveles 19 y 20 de la Cueva del Mirador. *Trabajos de Prehistoria* 66: 77–92.
- Martín P, Vergès JM and Nadal J (2016a) The status problem of Iberian Holocene equids: New data from Cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Spain). *International Journal of Osteoarchaeology* 26(2): 232–245.
- Martín P, García-González R, Nadal J et al. (2016b) Perinatal ovicaprine remains and evidence of shepherding activities in Early Holocene enclosure caves: El Mirador (Sierra De Atapuerca, Spain). *Quaternary International* 414: 316–329.
- Martín P, Saladié P, Nadal J et al. (2014) Butchered and consumed: Small carnivores from the Holocene levels of El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos). *Quaternary International* 353: 153–169.
- Martínez-Atienza F and Morla-Juaristi C (1992) Aproximación a la paleoecología de *Fagus* en la Península Ibérica a través de datos paleopolínicos. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales. Fuera de Serie* 1(2): 3–12.
- Miola A (2012) Tools for Non-Pollen Palynomorphs (NPPs) analysis: A list of Quaternary NPP types and reference literature in

- English language (1972–2011). *Review of Palaeobotany and Palynology* 186: 142–161.
- Moore PD, Webb JA and Collinson ME (1991) *Pollen Analysis*. 2nd Edition. London: Blackwell Scientific Publications.
- Moral del Hoyo S, Rodríguez Marcos JA and Díez Fernández-Lomana C (2003–2004) Las cerámicas de la cueva de El Mirador (Ibeas de Juarros, Burgos) en el contexto del Bronce medio de la Submeseta norte. *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología: BSAA* 60–70: 57–74.
- Muñoz-Sobrino C, Ramil-Rego P and Gómez-Orellana L (2004) Vegetation of the Lago de Sanabria area (NW Iberia) since the end of the Pleistocene: A palaeoecological reconstruction on the basis of two new pollen sequences. *Vegetation History and Archaeobotany* 13: 1–22.
- Muñoz-Sobrino C, Ramil-Rego P, Delibes de Castro G et al. (1996) Datos paleobotánicos sobre la turbera de La Piedra (Páramo de Tozo, Burgos). In: Ramil Rego P, Fernández-Rodríguez C and Rodríguez-Gutián M (eds) *Biogeografía Pleistocena-Holocena de la Península Ibérica*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia, pp. 149–162.
- Oms FX, Marsal R, Moral S et al. (2014) Vessels of the shepherds: The Neolithic pottery sequence at El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain): A whole perspective. In: *XVII UISPP World Congress, Abstracts*: 766, Burgos, Spain, 1–7 September.
- Ontañón R, Altuna J, Álvarez-Fernández E et al. (2013) Contribution à l'étude de la néolithisation dans la région Cantabrique. La grotte de Los Gitanos (Cantabrie, Espagne). In: Daire M-Y, Dupont C, Baudry A et al. (eds) *Anciens peuplements littoraux et relations homme/milieu sur les cotes de l'Europe atlantique* (BAR international series). Oxford: Archaeopress, pp. 383–390.
- Ortega AI and Martín MA (2012) *Cuevas de Atapuerca. Una visión de la mano del Grupo espeleológico Edelweiss*. Burgos: Publicaciones de la Excma, Diputación Provincial de Burgos y del Grupo espeleológico Edelweiss.
- Ortega AI, Benito-Calvo A, Pérez-González A et al. (2013) Evolution of multilevel caves in the Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain) and its relation to human occupation. *Geomorphology* 196: 122–137.
- Osaba B and Ruiz de Erenchun B (1978) Las cuevas prehistóricas burgalesas en relación con el Museo Arqueológico. Kaite I. Grupo Espeleológico Edelweiss. Caja de Ahorros Municipal de Burgos, pp. 71–82.
- Peña-Chocarro L, Zapata-Peña L, Iriarte MJ et al. (2005) The oldest agriculture in northern Atlantic Spain: New evidence from El Mirón Cave (Ramales de la Victoria, Cantabria). *Journal of Archaeological Science* 32: 579–587.
- Peñalba-Garmendia MC (1989) *Dynamique de végétation tardiglaciaire et holocène du Centre-Nord de l'Espagne d'après l'analyse pollinique*. PhD Thesis, Universidad Aix-Marseille III.
- Peñalba-Garmendia MC (1994) The history of the Holocene vegetation in northern Spain from pollen analysis. *Journal of Ecology* 82: 815–832.
- Peñalba-Garmendia MC, Arnold M, Guiot J et al. (1997) Termination of the Last Glaciation in the Iberian Peninsula inferred from the pollen sequence of Quintanar de la Sierra. *Quaternary Research* 48: 205–214.
- Pérez-González A, Alexandre T, Pinilla A et al. (1995) Aproximación a la estratigrafía de Galería en la trinchera de la Sierra de Atapuerca (Burgos). In: Bermúdez de Castro JM, Arsuaga JL and Carbonell E (eds) *Evolución humana en Europa y los yacimientos de la Sierra de Atapuerca*. Valladolid: Junta de Castilla y León, Consejería de Cultura y Turismo, pp. 99–122.
- Pérez-González A, Parés JM, Alexandre T et al. (1999) Geología y estratigrafía del relleno de Galería de la Sierra de Atapuerca (Burgos). In: Carbonell E, Rosas A and Díez JC (eds) *Atapuerca: Ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*, vol. 7. Zamora: Junta de Castilla y León, Consejería de Educación y Cultura, pp. 31–42.
- Pérez-Obiol R (2007) Palynological evidence for climatic change along the eastern Iberian peninsula and Balearic Islands. *Contributions to Science* 3: 415–419.
- Pérez-Obiol R, Jalut G, Julià R et al. (2011) Mid-Holocene vegetation and climatic history of the Iberian Peninsula. *The Holocene* 21: 75–93.
- Polo-Díaz A and Fernández-Eraso J (2008) Aportación de la micromorfología a la determinación de los rediles prehistóricos en el Alto Valle del Ebro: el caso del neolítico de los Husos II (El Villar, Álava). *Cuaternario y geomorfología: Revista de la Sociedad Española de Geomorfología y Asociación Española para el Estudio del Cuaternario* 22(3–4): 159–171.
- Polo-Díaz A, Martínez-Moreno J, Benito-Calvo A et al. (2014) Prehistoric herding facilities: Site formation processes and archaeological dynamics in Cova Gran de Santa Linya (Southeastern Prepyrenees, Iberia). *Journal of Archaeological Science* 41: 784–800.
- Reed JM, Stevenson T and Juggins S (2001) A multi-proxy record of Holocene climatic change in southwestern Spain: The Laguna de Medina, Cádiz. *The Holocene* 11: 707–719.
- Reille M (1992) *Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du nord*. Marseille: Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie.
- Reille M (1995) *Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du Nord* (Supplément 1). Marseille: Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, CNRS.
- Reimer PJ, Bard E, Bayliss A et al. (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55: 1869–1887.
- Revelles J (2016) Archaeoecology of Neolithisation: Human-environment interactions in the NE Iberian Peninsula during the Early Neolithic. *Journal of Archaeological Science: Reports*. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.02.004>.
- Richard H (1995) Indices d'anthropisation dans les diagrammes polliniques du massif jurassien. *Palynoscience* 3: 37–49.
- Riera-Mora S, López-Sáez JA and Argilagos JB (2004) Premières traces d'anthropisation à l'est de la Péninsule Ibérique et les Îles Baléares. Néolithisation précoce. In: Richard H (ed.) *Premières traces d'anthropisation du couvert végétal à partir des données polliniques*. Besançon: Presses Universitaires Franco-comtoises, pp. 195–220.
- Robinson M and Hubbard RNLB (1977) The transport of pollen in the bracts of hulled cereals. *Journal of Archaeological Science* 4: 197–199.
- Rodríguez-Cruz A and Buxó R (2008) Cultivos y alimentación vegetal durante el Neolítico en la Cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos). In: Hernández Pérez MS, Soler Díaz JA and López-Padilla JA (eds) *IV Congreso del Neolítico Peninsular*, vol. 1. Alicante: MARQ, Museo Arqueológico de Alicante, Diputación de Alicante, pp. 317–325.
- Rodríguez-Cruz A, Allué E and Buxó R (2016) Agriculture and livestock economy among prehistoric herders based on plant macroremains from El Mirador (Atapuerca, Burgos). *Quaternary International* 414: 272–284.
- Rojo-Guerra M, Kunst M, Garrido-Pena R et al. (2006) La Neolitización de la Meseta Norte a la luz del C14: análisis de 47 dataciones absolutas de dos yacimientos domésticos del Valle de Ambrona, Soria, España. *Archivo de Prehistoria Levantina* 26: 30–100.
- Ruiz-Alonso M, Zapata L, Pérez-Díaz S et al. (2016) Selection of firewood in northern Iberia: Archaeobotanical data from three archaeological sites. *Quaternary International*. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2016.01.045>.
- Ruiz-Zapata MB, Gil-García MJ, Dorado-Valiño M et al. (2002) Clima i vegetación durante el Pleistoceno superior y el Holoceno en la Sierra de Neila (Sistema Ibérico Noroccidental). *Revista Cuaternario y Geomorfología* 16(1–4): 9–20.

- Ruiz-Zapata MB, Gómez-González C, López-Sáez JA et al. (2006) Detección de la actividad antrópica durante el Holoceno reciente, a través de la asociación de palinomorfos polínicos y no polínicos en dos depósitos higroturbosos (El Berrueco y Rascafría) en la Sierra de Guadarrama, Madrid. *Revista española de Micropaleontología* 38(2–3): 355–366.
- Ruiz-Zapata MB, Ortega-Martínez AI, Dorado-Valiño M et al. (2003) Vegetational history during Bronze and Iron Ages in Portalón cave (Sierra de Atapuerca, Burgos). In: Ruiz-Zapata MB, Dorado-Valiño M, Valdeolmillo-Rodríguez A et al. (ed.) *Quaternary Climatic Changes and Environmental Crises in the Mediterranean Region*. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá de Henares, Ministerio de Ciencia y Tecnología, INQUA, pp. 99–106.
- Saladié P, Cáceres I, Huguet R et al. (2015) Experimental butchering of a chimpanzee carcass for archaeological purposes. *PLoS ONE* 10(3): 1–31.
- Sánchez-Goñi MF (1993) Criterios de base tafonómica para la interpretación de análisis palinológicos en cueva: el ejemplo de la región cantábrica. In: Fumanal MP and Bernabeu J (eds) *Estudios sobre Cuaternario, medios sedimentarios, cambios ambientales, hábitat humano*. València: Universitat de València, pp. 117–130.
- Sánchez-Goñi MF and Hannon G (1999) High-altitude vegetational pattern on the Iberian Mountain Chain (north-central Spain) during the Holocene. *The Holocene* 9: 39–57.
- Torres TJ (1976) El karst de la Sierra de Atapuerca. *Cuadernos de Arqueología de Deusto* 1: 13–15.
- Van Geel B (1978) A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and The Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. *Review of Palaeobotany and Palynology* 25: 1–120.
- Van Geel B (1986) Application of fungal and algal remains and other microfossils in palynological analyses. In: Berglund BE (ed.) *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, pp. 497–505.
- Van Geel B, Bohncke SJP and Dee H (1981) A palaeoecological study of an Upper Late Glacial and Holocene sequence from ‘De Borchert’, The Netherlands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 31: 367–448.
- Van Geel B, Coope GR and Van der Hammen T (1989) Palaeoecology and stratigraphy of the Lateglacial type section at Usselo (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology* 60: 25–129.
- Van Geel B, de Lange L and Wiegers J (1984) Reconstruction and interpretation of the local vegetational succession of a Lateglacial deposit from Usselo (The Netherlands), based on the analysis of micro- and macrofossils. *Acta Botanica Neerlandica* 33(4): 535–546.
- Vergès JM, Allué E, Angelucci D et al. (2002) La Sierra de Atapuerca durante el Holoceno: Datos preliminares sobre las ocupaciones de la edad del Bronce en la cueva de El Mirador (Ibeas de Juarros, Burgos). *Trabajos de Prehistoria* 59(1): 107–126.
- Vergès JM, Allué E, Angelucci D et al. (2008) Los niveles Neolíticos de la Cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos): Nuevos datos sobre la implantación y el desarrollo de la economía agropecuaria en la submeseta norte. In: Hernández Pérez MS, Soler Díaz JA and López-Padilla JA (eds) *IV Congreso del Neolítico Peninsular*, vol. 1. Alicante: MARQ, Museo de Arqueología de Alicante, Diputación de Alicante, pp. 418–427.
- Vergès JM, Allué E, Fontanals M et al. (2016) El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain): A whole perspective. *Quaternary International* 414: 236–243.
- Zapata L, Peña-Chocarro L, Pérez-Jordà G et al. (2004) Early Neolithic agriculture in the Iberian Peninsula. *Journal of World Prehistory* 18(4): 283–325.
- Zazo C, Goy JL and Hoyos M (1983) Estudio geomorfológico de los alrededores de la Sierra de Atapuerca. *Estudios Geológicos* 39: 179–185.
- Zazo C, Goy JL and Hoyos M (1987) Contexto geológico y geomorfológico. In: Carbonell E, Bermúdez de Castro JM and Aguirre E (eds) *El hombre fósil de Ibeas y el Pleistoceno de la Sierra de Atapuerca*. Soria: Junta de Castilla y León, pp. 41–46.
- Zvelebil M (1989) On the transition to farming in Europe, or what was spreading with the Neolithic: A reply to Ammerman (1989). *Antiquity* 63: 379–383.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE
ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea

5 LOS PALINOMORFOS NO POLÍNICOS

No todo es polen

5.1 Introducción

La contribución del estudio del registro polínico a la reconstrucción paleoecológica y especialmente al conocimiento de los cambios en el medio vinculados con la actividad antrópica, es indiscutible. Sin embargo, existen diversos factores de índole ecológica que quedan al margen de la información aportada por el análisis polínico convencional (Diot, 1991a; López Sáez *et al.*, 1998, 2000, 2005; Galop y López Sáez, 2002; Martín Sánchez y López Sáez, 2002). Este es el caso, por ejemplo, de la evolución trófica del medio, el origen natural o antrópico de los incendios, la oscilación de los períodos de sequedad o

humedad, los procesos erosivos, o el grado de antropización de un yacimiento, entre otros. Todas estas cuestiones pueden ser abordadas mediante el estudio de los microfósiles no polínicos (microalgas, cianobacterias, cuerpos fructíferos de hongos, esporas de briofitos o pteridofitos, microrrestos animales, o microfósiles de naturaleza biológica indeterminada) (López Sáez *et al.*, 1998, 2000, 2005; van Geel, 2001; Carrión y Navarro, 2002; Galop y López Sáez, 2002) que constituyen una parte muy importante de la composición general de la *palinodebris* (Diot, 1991a; Coil *et al.*, 2003). Estos microfósiles, a los que ya

hemos aludido en el capítulo 3 de esta tesis y que a partir de este momento denominaremos NPPs (**Non Pollen Palynomorphs**), aparecen en el residuo palinológico junto a materia orgánica amorfa, *debris* opacos (restos minerales, microcarbones) y *debris* vegetales (hifas, estomas, filidios, etc.).

5.2 Antecedentes

El estudio sistemático de los NPP no es habitual hasta el último cuarto del siglo pasado (Combaz, 1964; van Geel, 1972, 1978; Pals *et al.*, 1980). Los datos aportados por este tipo de microfósiles resultan un complemento indispensable a los datos interpretativos de las asociaciones vegetales ya que, además de aportar información acerca de las características del medio de sedimentación, ayudan en el conocimiento del recorrido tafonómico que han sufrido pólenes y esporas (Diot, 1991a; López Sáez *et al.*, 1991).

En las últimas décadas, diversos autores han hecho un gran esfuerzo para describir e identificar los palinomorfos no polínicos. Ya en los años 60 del pasado siglo, Bas van Geel estudió los microfósiles desconocidos que aparecían en algunas secuencias turbosas procedentes de Países Bajos y de la parte más occidental de Alemania (van Geel 1972, 1978). Inspirado por su supervisor Thomas van der Hammen, Bas van Geel inició sus investigaciones contactando con micólogos o limnólogos, con el objetivo de identificar el origen de los fósiles y explorar su posible como indicadores paleoambientales.

La mayoría de los trabajos se centraron inicialmente en el análisis de depósitos del noroeste de Europa, donde van Geel (1972, 1986, 2001, etc.) y otros autores (Pals *et al.*,

1980; Bakker y van Smeerdijk, 1982; van der Wiel, 1982; Kuhry, 1985; Haas, 1996; Guy-Ohlson, 1998; López-Sáez *et al.*, 1998; Davis *et al.*, 2002) analizaron la presencia de estos microrestos en una gran variedad de contextos sedimentarios.

Aunque, como hemos dicho, los primeros análisis de este tipo se llevaron a cabo en secuencias naturales de turberas o lagos europeos (Kuhry, 1985; van Smeerdijk, 1989; Ralska-Jasiewiczowa y van Geel, 1992; Carrión y Navarro, 2002; Cugny *et al.*, 2010; Mudie *et al.*, 2010), estos análisis se han aplicado progresivamente en secuencias procedentes de otros continentes. Así, son ya numerosos los estudios realizados en Norteamérica (Almeida-Lenero *et al.*, 2005; Graf y Chmura, 2006; van Geel *et al.*, 2007; Gill *et al.*, 2009; Gauthier *et al.*, 2010; McAndrews y Turton, 2010), Sudamérica (Berrio *et al.*, 2006; Ledru *et al.*, 2006; Medeanic, 2006; Rull *et al.*, 2008; Montoya *et al.*, 2010), Asia (Limaye *et al.*, 2007; Zong *et al.*, 2007; van Geel *et al.*, 2008), África (Jarzen y Elsik, 1986; Carrion *et al.*, 2000; Burney *et al.*, 2003; Lejju *et al.*, 2005; Mumbi *et al.*, 2008; Gelorini *et al.*, 2011; Gelorini *et al.*, 2012) o Australia (Hawksworth y Yip, 1981; Cook *et al.*, 2011).

Ya más recientemente el estudio sistemático de este tipo de microfósiles en contextos arqueológicos se ha convertido en una práctica habitual como un recurso de información adicional respecto al paleoambiente local, la formación de los depósitos y el grado de intensidad de las actividades antropogénicas (van Geel *et al.*, 1989; López Sáez *et al.*, 1998, 2000; van Geel *et al.*, 2003; López-Sáez y López-Merino, 2007; Zong *et al.*, 2007; Cugny

et al., 2010; Gauthier *et al.*, 2010; McAndrews y Turton, 2010).

A pesar de esto, la principal limitación a la que debe enfrentarse un estudio en el que se añaden los NPPs al análisis palinológico convencional, es el conocimiento todavía limitado acerca del valor como indicador paleoecológico de algunos de los palinomorfos más frecuentemente identificados, además de la dificultad, también achacable al polen, de la resolución en cuanto al nivel de identificación alcanzable.

Con el objetivo de superar las limitaciones existentes, cada vez son más frecuentes los estudios centrados en el análisis de poblaciones actuales de NPPs, procedentes de diversos contextos medioambientales y que se han podido relacionar con tipos de vegetación, grado de apertura del paisaje o presión antrópica (Cugny *et al.*, 2010; Montoya *et al.*, 2010).

5.3 Sistemática

Tal como ya apuntamos en el apartado del capítulo de paleopalinoología dedicado a la nomenclatura taxonómica de los NPPs, la sistematización del estudio se debe, en gran parte a van Geel (1978), que creó la tipología numérica en la que se asientan los criterios de identificación de la mayoría de los investigadores que han emprendido su estudio. En estos últimos años se han descrito numerosos nuevos taxones o tipos que han ido a engrosar la lista de morfotipos, que actualmente contiene cerca de 1,300 (Miola, 2012).

El desarrollo de la aplicación del análisis de NPPs implicó un largo período inicial de casi tres décadas de descripciones morfológicas y

exploración, en ocasiones infructuosa, de las connotaciones ecológicas de los palinomorfos. En la actualidad, cada vez un número mayor de los palinomorfos no polínicos identificados se consideran indicadores paleoecológicos de gran resolución.

Aun así, la principal dificultad a superar cuando se acomete la identificación de NPPs es el hecho de que, al tratarse de una sistemática con una historia relativamente reciente, los criterios de identificación y descripción de palinomorfos no son uniformes. Después de unos años en que las publicaciones se han multiplicado en este campo, se han organizado diversos encuentros con el objetivo de unificar criterios en la identificación. El resultado de esta puesta en común se ha publicado en dos monográficos de *Review of Palaeobotany and Palynology* (2006, editado por B. van Geel) y *Vegetation History and Archaeobotany* (2010, editado por J. N. Haas). La materialización de la unificación en las reglas y criterios para la identificación ha avanzado considerablemente, al menos en lo referente a la literatura generada en el mundo anglosajón, gracias al esfuerzo de Miola (2012), que ha recogido en su publicación las tipologías de palinomorfos, así como su posible significación ecológica y ha establecido la correspondencia entre las nomenclaturas de las diferentes fuentes o laboratorios implicados en su identificación. Esto ha dado lugar a una nomenclatura mixta que incluye un acrónimo del laboratorio o universidad en el que se ha realizado la adscripción taxonómica y descripción y un número. Este es el caso, entre otros, de los palinomorfos identificados por Bas van Geel en laboratorio Hugo de Vries (University of Amsterdam), cuyas siglas en la nomenclatura son HdV (van Geel, 1972, 1986; van Geel *et al.*, 1978, 1981,

2010, etc.) o el de los palinomorfos identificados por Revelles y van Geel (2016) en los sedimentos de La Draga, que fueron catalogados con las siglas de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Cabe señalar que en el caso de los palinomorfos identificados a nivel de especie, como es el caso del taxón algal *Closterium* cf. *kützingii* (van Geel y van der Hammen, 1978), el sistema de acrónimo y número no se usa, ya que prevalece la asignación taxonómica.

5.4 Significación ecológica

5.4.1 Fungi

Los palinomorfos que aparecen de forma más abundante en las preparaciones palinológicas son las esporas fúngicas (van Geel, 1978, 2006). La mayoría de ellas han sido identificadas por primera vez en depósitos turbosos, especialmente en niveles de turba formados bajo condiciones relativamente secas. De hecho, los restos fúngicos están generalmente ausentes o no se preservan en depósitos lacustres. De varios trabajos se desprende que las esporas fúngicas responden a condiciones prácticamente locales ya que, en términos generales, fosilizan en el lugar donde fueron producidas, o muy cerca, depositándose a corta distancia del lugar en el que tuvo lugar la esporulación (van Geel, 2001; van Geel y Aptroot, 2006).

Aun así, el tipo de dispersión de las esporas fúngicas, puede presentar diversos grados de dispersión. Algunas formas fúngicas, de hecho, producen un gran número de esporas secas, que se dispersan con facilidad. Otras especies, sin embargo, producen esporas que se exudan en un medio húmedo, y que no pueden

dispersarse si no es con la ayuda de insectos, por ejemplo (Lacey, 1996).

En términos generales, la dispersión de la mayoría de las formas fúngicas es muy limitada, no superando el metro de distancia en la mayoría de los casos. Solo en el caso de los hongos que crecen en lugares más elevados, como por ejemplo *Alternaria* o *Cladosporium*, que viven en las hojas de los árboles, las esporas pueden dispersarse por el aire, depositándose a mayores distancias (Lacey y West, 2006) (Fig. 5.1).

Los hongos productores de las esporas pueden ser, en términos generales, saprótrofos o biótrofos. Los hongos **saprótrofos** o **saprófitos** también conocidos como descomponedores, entre los que se encuentran los **coprófilos**, son colonizadores de materia orgánica inerte. Los hongos **biótrofos** o **patogénicos** son colonizadores de materia orgánica viva como (por ejemplo, *Fusarium* y *Puccinia*). Actúan como parásitos de las plantas, afectando su normal funcionamiento y su intervención supone, en muchos casos, la muerte de la misma. También dentro del grupo de los biótrofos se incluirían las **micorrizas**, como *Glomus*, muy frecuentemente identificadas en el análisis palinológico y que son una simbiosis entre hongo y raíz donde ambos, hongo y planta, en su asociación, resultan beneficiados.

Los hongos biótrofos pueden mantener con el organismo al que se asocian una relación mutualística, es decir, de beneficio mutuo, o antagonista, beneficiosa únicamente para uno de los organismos y perjudicial para el otro. La distribución de saprótrofos o biótrofos depende de la dependencia del hongo con respecto al medio. Pueden actuar como indicadores de la presencia de un determinado

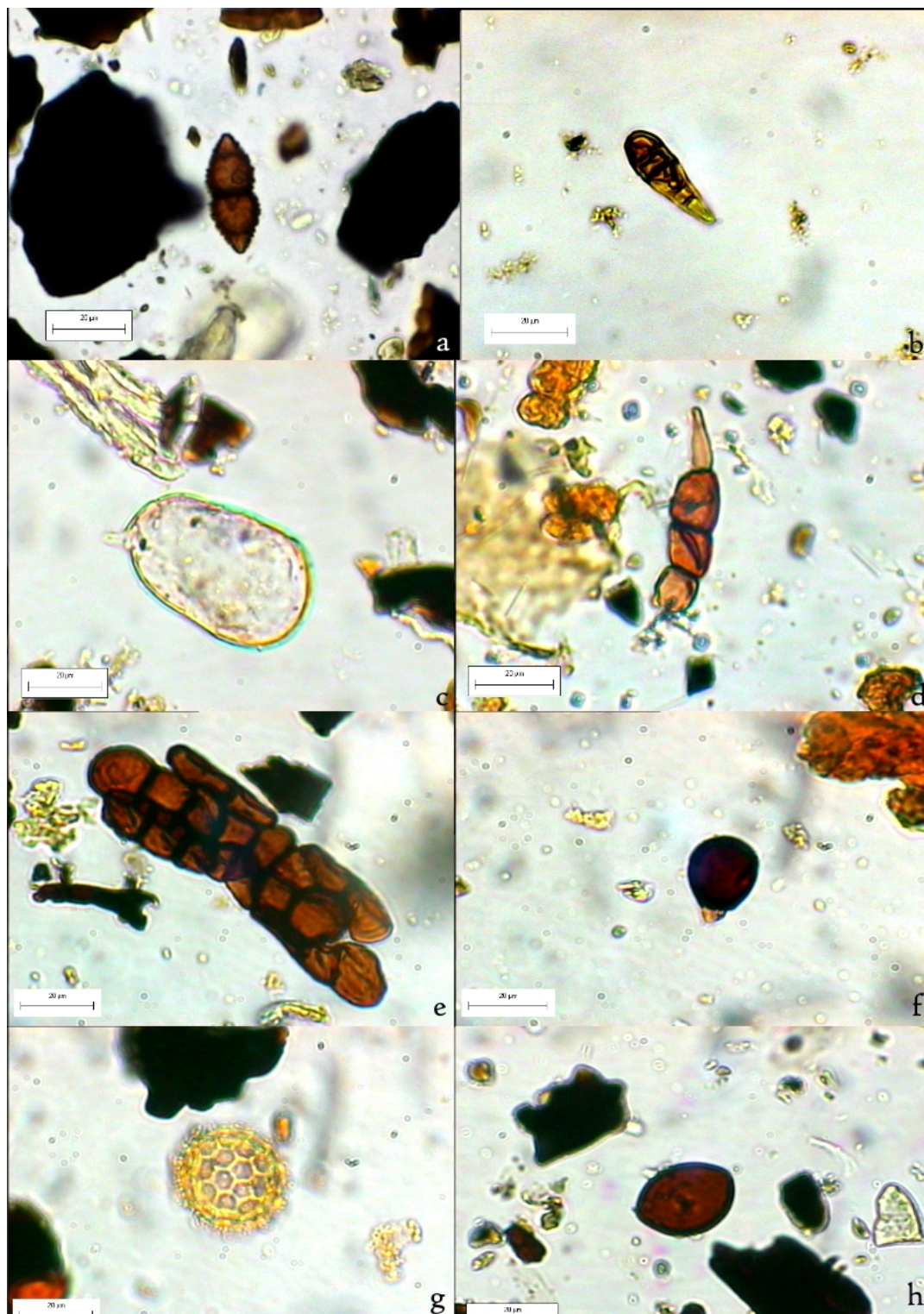


Figura 5.1. Algunos ejemplos de palinomorfos fúngicos. a) Hdv 16; b) *Alternaria*-tipo; c) *Glomus* sp.; d) *Pluricellaesporites*; e) *Dictyosporites*; f) Hdv 90; g) *Tilletia*; h) *Chaetomium*.

tipo de planta o de sus desechos, así como de la existencia de contextos específicos generados por los procesos de sedimentación o la actividad antrópica. Precisamente la

dependencia de los hongos del medio y su limitada dispersión de sus ascosporas y clamidosporas, resultan especialmente valiosas para acometer la caracterización de

estratos, niveles arqueológicos o zonas de actividad concretas.

Uno de los grupos más importante es el de los hongos **saprófitos** que proliferan en la materia orgánica en descomposición, a veces en combinación con ciertas plantas anfitrionas o sus restos. De hecho, en ocasiones, la distinción entre hongos parásitos y saprófitos es algo compleja ya que pueden desempeñar ambas funciones. Este es el caso del ascomiceta *Pleospora* (HdV 3B) o del tipo *Alternaria* (HdV 1034), ligado con uno de los principales géneros fúngicos patógenos de plantas (van Geel, 1978; Kuhry, 1985; van Geel *et al.*, 2011). En cualquier caso, la principal función de los hongos saprófitos consiste en desproveer de contenido orgánico a los restos vegetales para que estos, una vez “mineralizados” puedan formar parte del humus.

Dentro de los hongos saprófitos se encuentra el grupo integrado por aquellas especies que proliferan en sustratos conformados por excrementos, denominadas **coprófilas** (van Geel, 1978, 2001; van Geel *et al.*, 1981; Wicklow, 1988). Este grupo se considera el mejor indicador antropogénico, sobre todo en depósitos Holocenos, en los que las prácticas ganaderas se documentan frecuentemente. En este grupo se incluyen erróneamente en algunos trabajos algunas especies fúngicas saprotroficas (como *Cercophora*, *Chaetomium*, etc.) que proliferan también en otros sustratos como la madera muerta o los restos vegetales. Solo unos pocos géneros colonizan heces obligatoriamente. Este es el caso del género *Sordaria*, *Sporormiella*, *Delitschia* y *Podospira* (van Geel *et al.*, 1981, 1983, 2003; Kuhry, 1985; Davis, 1987; Buurman *et al.*, 1994; Burney *et al.*, 2003; Davis *et al.*, 2006). El ciclo vital de este

tipo de hongos implica que las esporas son diseminadas por el aire y se depositan en una hoja de planta herbácea, que es ingerida por un herbívoro. Cuando las esporas son excretadas germinan y el micelio resultante crece entre las heces. Es allí donde se produce la producción de nuevas esporas y la esporulación (Wicklow, 1992; Jennings y Lysek, 1996; Krug *et al.*, 2004).

Los microfósiles fúngicos de hábitat coprófilo pueden ser indicadores, además, de la presencia de diversas especies de mamíferos herbívoros, así como de la existencia de domesticación, al contribuir a caracterizar los niveles de habitación propios de las cabañas ganaderas (van Geel, 1978; van Geel *et al.*, 1983; Buurman *et al.*, 1994).

Otro de los grupos especialmente significativos en cuanto a la información de la que puede proveernos, es el conformado por los hongos **carbonícolas**, que viven en sustratos eminentemente formados por elementos carbonizados. Este es el caso del género *Chaetomium* (HdV 7A), que además de contribuir a la descomposición de la celulosa contenida en excrementos, paja, restos vegetales, etc. (van Geel, 1978; Jarzen y Elsik, 1986; van Geel *et al.*, 2011), aparece claramente vinculado con acumulaciones de madera muerta o quemada y se ha localizado en sedimentos antropizados, ricos en carbón (López Sáez *et al.*, 1998, 2000; Martín Sánchez y López Sáez, 2002). En este mismo sentido, Innes y Blacford (2003), lo relacionan con depósitos en los que se acumularon excrementos o madera muerta. En el caso de que estas ascosporas vayan asociadas a otros marcadores antrópicos, podremos entonces hipotetizar sobre el origen antropogénico de ese fuego, aunque no sea más que de forma

indirecta, posiblemente en relación con pequeños fuegos locales y/o hogueras, tumbas de incineración o al aclarado previo a la instalación de cultivos de cereal. También *Neurospora* (HdV 55C) es un claro indicador de fuegos de carácter local, aunque aparece menos frecuentemente que *Chaetomium* (van Geel, 1978; Bakker y van Smeerdijk, 1982).

Un último aspecto que trataremos es el relacionado con fenómenos de tipo **erosivo**, donde las clamidosporas del hongo *Glomus* cf. *fasciculatum* (HdV 207) tienen un papel diagnóstico muy evidente de tales procesos (van Geel *et al.*, 1989, 2003, 2011). A nivel paleoecológico, este microfósil no polínico ha sido identificado en numerosos yacimientos arqueológicos (Anderson *et al.*, 1984; López Sáez *et al.*, 2000), donde parece estar relacionado con procesos erosivos, de origen natural o antrópico, apareciendo con relativa frecuencia en momentos de desecación de un área determinada, así como en períodos de removilización de suelos a causa de la instalación de vegetación.

5.4.2 Algas, Tecamebas y Cianobacterias

Uno de los aspectos más interesantes con respecto a la posible aportación de los NPPs, guarda relación con las condiciones tróficas en las que se depositaron los sedimentos. En términos generales, el medio puede estar formado por sedimentos de carácter eutrófico o ricos en materia orgánica, mesotróficos u oligotróficos o pobres en materia orgánica. Los rizópodos, fundamentalmente “tecamebas”, las algas verdes y las cianobacterias (antes conocidas como algas azules) son especialmente relevantes en lo que a la determinación de las características y

evolución de la trofia del medio se refiere (van Geel, 1976a; Jankovska y Komarek, 2000).

En cuanto a los rizópodos, estos corresponden a quistes de protozoos del grupo de las amebas. Existen diversos tipos con significación paleoecológica, como *Amphitrema flavum* (HdV 31A), *Assulina seminulum* (HdV 32B) o *Arcella* sp. (HdV 352), que nos aportan datos acerca de la existencia de fases húmedas o de transición a fases secas y de medios ácidos oligotróficos donde hay escasa o nula presión antrópica (van Geel, 1978; van Geel *et al.*, 1981; López Sáez *et al.*, 1988; Kuhry, 1997).

Las algas de la familia de las Zignematáceas, especialmente resolutivas en este aspecto, están relacionadas con medios de meso a eutróficos (ricos en material orgánica), propios de cursos de agua lenta o de bajos niveles lacustres, generalmente relacionados con cierta presión antrópica en cronologías recientes. Entre las Zignematáceas las más comunes en contextos arqueológicos corresponden a los géneros *Spirogyra* (HdV 315), *Mougeotia* (HdV 313) *Zygnema* (HdV 314) y *Debarya* (HdV 214) (van Geel, 1976a, 1976b; van Geel y van der Hammen, 1978; Pals *et al.*, 1980). Su significación paleoecológica es justo la contraria de las tecamebas, ya que no aparecen en medios acidificados. En cualquier caso, *Mougeotia* sp. es menos rígida en sus requerimientos, ya que puede vivir en medios algo más limpios o mesotróficos que *Spirogyra*, que solo prolifera en medios eutróficos. Cabe señalar que se han localizado esporas de Zignematáceas en los períodos más secos de diversas secuencias palinológicas, lo que implica la pervivencia de éstas fuera de medios totalmente acuáticos. De hecho, las esporas de Zignematáceas, que pueden desecarse y germinar cuando las condiciones

de humedad lo permiten, aparecen en secuencias arqueológicas de diversa cronología y procedencia, probablemente como resultado de su esporulación en acumulaciones de agua de pequeño tamaño (López Sáez *et al.*, 1998). En resumen, la presencia de Zignematáceas implica la intensificación de la presión antrópica, que produce un incremento del fósforo en el agua, causado por el aumento de la presencia de fitoplancton que, a su vez, consume el nitrógeno disponible (van Geel *et al.*, 1996) (Fig. 5.2).

Pediastrum, a falta de estudios acerca de las particularidades de sus diferentes especies, se ha identificado en lagos eutróficos o ricos en materia orgánica (Crisman, 1978; Jankovska y Komarek, 2000). *Botryococcus*, por su parte, es un género asociado a contextos climáticos templados, aunque con una cierta tolerancia a fases frías de carácter estacional (Jankovska y Komarek, 2000).

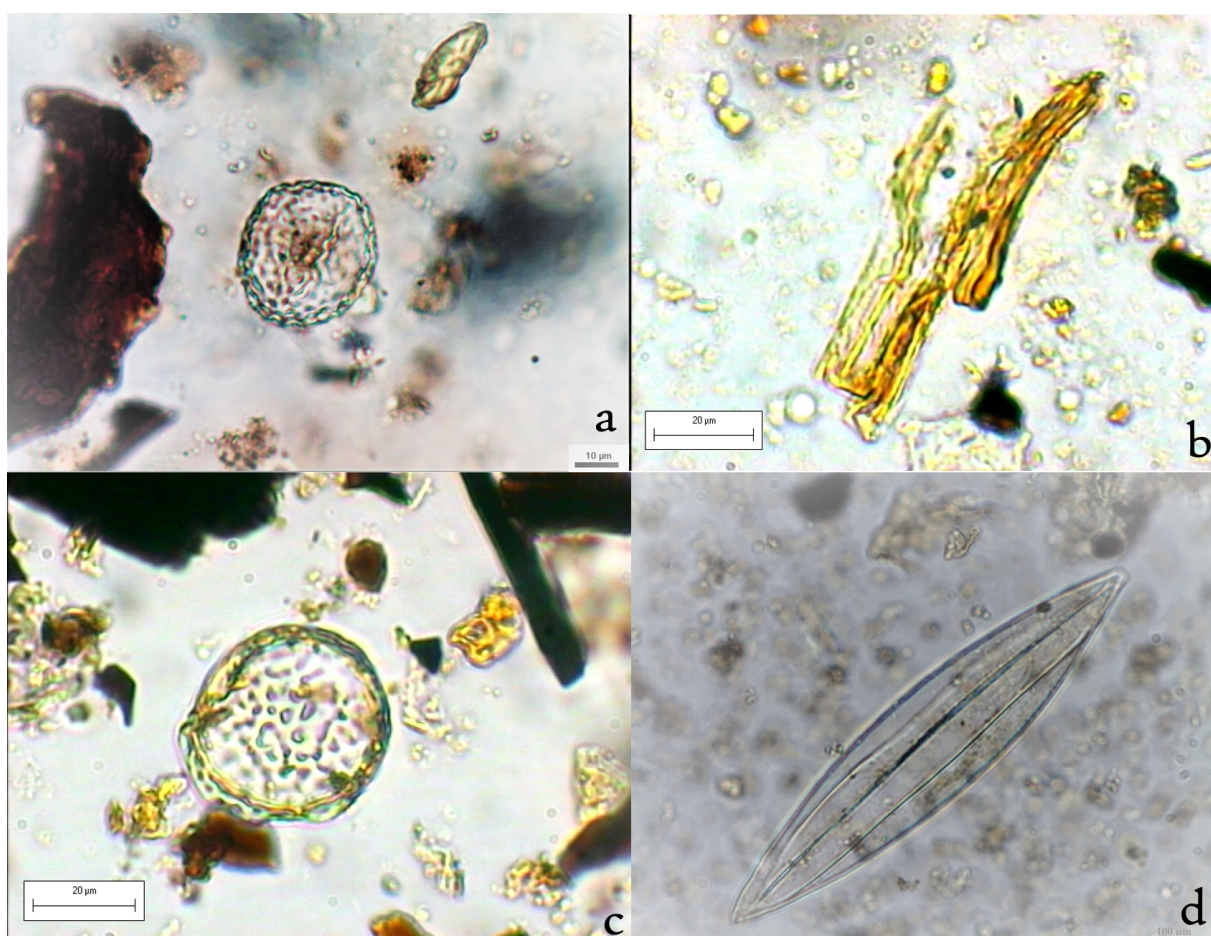


Figura 5.2: Palinomorfos algales y cianobacteria. a) *Zygema*; b) *Gloeotrichia*; c) *Debarya*; d) *Spirogyra*.

Otros géneros algales, como *Pediastrum* (HdV 900) o *Botryococcus* (HdV 901), aunque menos resolutivos en lo que a las condiciones ecológicas se refiere, también resultan informativos en términos de trofía del medio.

Algunas cianobacterias, como los géneros *Rivularia* (HdV 170), *Gloeotrichia* (HdV 146) o *Anabaena* (HdV 601), entre otras, viven en ambientes con pH comprendido entre 7.0 y 8.5, y son pioneras en la colonización de

suelos, turberas y lagos muy pobres en componentes nitrogenados y humus (van Geel *et al.*, 1989, 1996). En estas situaciones, ciertas cianobacterias son capaces de fijar el nitrógeno, enriqueciendo así el medio y permitiendo la proliferación de otros organismos. Por regla general, la presencia de dichas cianobacterias en el registro arqueopalinológico se relaciona con aguas limpias oligotróficas, con pocos nutrientes, niveles freáticos elevados y escasa o nula presión antrópica. Como en el caso de las Zignematáceas, también han sido localizadas en secuencias arqueológicas, no vinculadas con medios acuáticos (López Sáez

et al., 1998).

5.4.3 Zoorrestos

Los restos de origen animal son habituales en los sedimentos, y su cuantificación se incluye en los diagramas palinológicos de forma habitual, aunque resulta especialmente difícil establecer qué grado de fiabilidad tiene la información ecológica aportada. Estos zoorrestos son principalmente fragmentos de quitina o entomolina asociados con elementos anatómicos de insectos, ácaros o artrópodos.

Aunque en algunos casos, la presencia de alguno de estos palinomorfos, como *Trichuris*, puede aportarnos información acerca de la

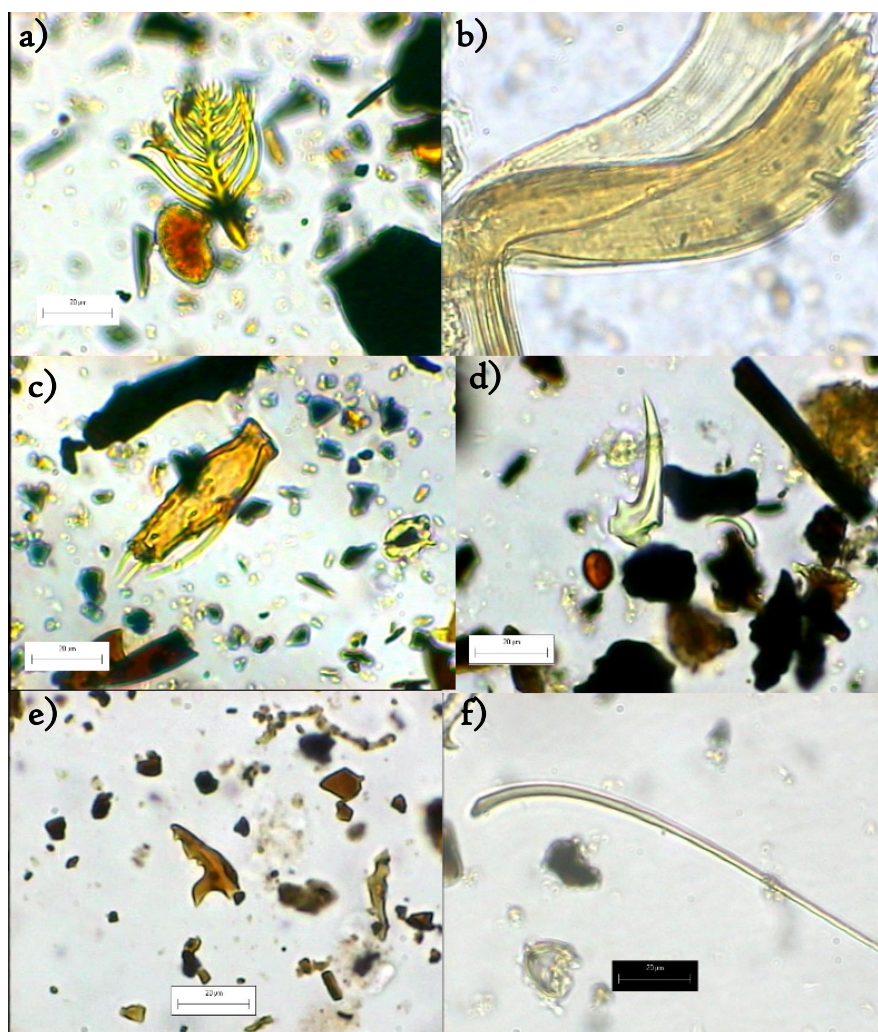


Figura 5.3: Algunos ejemplos de restos quitinosos pertenecientes a insectos. a) HdV 52; b) Zoorresto; c) HdV 36; d) HdV 36c; e) Scolecodonte; f) HdV 52.

presencia de heces y, en consecuencia, la de un determinado organismo productor, generalmente lo único que puede inferirse de la presencia de zooreostos en un determinado horizonte sedimentario es la posible presencia de materia orgánica en descomposición, que favorecería la deambulación de insectos, ácaros, etc. Aun así, y cuando se trata de restos esqueléticos quitinosos, no podemos asegurar completamente que éstos sean coetáneos al contexto sedimentario en el que se encuentran, ya que este tipo de organismos puede circular libremente en los sedimentos atravesando umbrales estratigráficos sin dificultad (Fig. 5.3).

5.4.4 Otros palinomorfos

También es habitual cuantificar la presencia de una serie de palinomorfos indeterminados.

En la mayoría de estos casos, su filiación ecológica es desconocida, aunque a partir del establecimiento de paralelismos con otros palinomorfos o con la presencia de determinados taxones polínicos, restos carpológicos, etc. ha podido inferirse su significación. Así, alguno de ellos como los tipos HdV 128A, HdV 128B (Pals *et al.*, 1980; van Geel *et al.*, 1983, 1989), solo aparecen en medios acuáticos de meso a eutróficos, lo que parece indicar que son producidos por organismos acuáticos, probablemente de origen algal. Lo mismo ocurre con el tipo HdV 119, asociado tradicionalmente a *Spirogyra* (Pals *et al.*, 1980; López Sáez *et al.*, 1998), con el HdV-303 o con *Pseudoschizaea*, un palinomorfo claramente vinculado con procesos erosivos derivados de las transgresiones sedimentarias producidas por las corrientes de agua (Christopher, 1976; van



Figura 5.4: Palinomorfos de filiación ecológica indeterminada. a) *Pseudoschizaea*; b) HdV 128; c) Protista; d) Grupo de protistas.

Geel *et al.*, 1981; Pantaleón-Cano *et al.*, 1996; Miola *et al.*, 2006) (Fig. 5.4).

5.5 Aplicación

El registro palinológico en cuevas y abrigos es, como ya hemos comentado, en ocasiones fragmentario y falto de resolución, sobre todo en lo que atañe a los horizontes cronológicos de sedimentos rojizos vinculados con el Pleistoceno. Por esta razón, añadir los resultados de NPPs a los datos incompletos de las disciplinas paleobotánicas tradicionales puede contribuir a esclarecer el retrato del período investigado, al menos en lo referente a las condiciones ambientales locales de los depósitos en cueva.

La presencia de determinados tipos de NPPs, su vinculación a determinados horizontes estratigráficos o la coincidencia con algunos indicadores paleoecológicos conocidos, puede ayudarnos a inferir cuestiones referentes a la presión antrópica, la humedad local, la presencia de materia orgánica en descomposición, la existencia de niveles de cremación, etc. (Blackford *et al.*, 2006) (Tabla 5.1).

Estos estudios deberían ser incorporados de manera sistemática a los análisis polínicos ya que constituyen un proxy fundamental en lo que a las reconstrucciones paleoecológicas se refiere. De hecho, el carácter mayoritariamente local de la esporulación y distribución de palinomorfos fúngicos y algales hace que estén presentes cuando la producción, deposición o preservación de polen es pobre o inexistente.

Un buen ejemplo de la aportación de los NPPs es la aplicación de este tipo de análisis a los sedimentos de los depósitos de la Trinchera de

Ferrocarril (Sierra de Atapuerca, Burgos). Desgraciadamente, y a pesar del esfuerzo puesto en el procesamiento y análisis de muestras procedentes de los depósitos de la Trinchera, los resultados polínicos siempre han sido extremadamente pobres (García-Antón y Sainz-Ollero, 1991; Rodríguez *et al.*, 2011). En la mayoría de ocasiones, exceptuando tramos concretos de algunas de las secuencias, hemos aportado exclusivamente datos de presencia / ausencia que han contribuido de forma limitada a completar el mosaico trazado por el resto de disciplinas involucradas en la reconstrucción paleoecológica del entorno vegetal y climático de la Sierra de Atapuerca durante el Pleistoceno.

Precisamente, con la intención de implementar los insuficientes datos aportados por el análisis polínico y antracológico de las secuencias sedimentarias de los depósitos pleistocenos de la Trinchera de Ferrocarril (Atapuerca, Burgos), se aborda el artículo que completa este capítulo. El principal objetivo de la publicación ha sido evaluar la diversidad taxonómica de los palinomorfos no polínicos en los depósitos de la Trinchera, así como extrapolar su potencialidad como indicadores paleoecológicos en secuencias procedentes de contextos pleistocenos en cueva.

Los datos obtenidos del análisis de los NPPs se han comparado con la reconstrucción paleoambiental y climática derivada de los resultados previos de otras disciplinas. Así, se comparan los datos aportados por los microfósiles no polínicos y las curvas de microcarbones obtenidas con los datos polínicos y antracológicos existentes y con los conjuntos de macro y microvertebrados identificados en cada una de las secuencias.

Significación ecológica	Acronimo	Identificación taxonómica	Referencias bibliográficas
Restos vegetales	HdV 114	Estructuras vasculares de la madera	Pals <i>et al.</i> , 1980
	HdV 510	stomata	van Geel <i>et al.</i> , 1986
	HdV 780, 781, 782	Hoja de dicotiledonia	Bakker y van Smeerdijk, 1981
Restos faunísticos	HdV 36		van Geel, 1978
	HdV 36c		van Geel, 1978
	HdV 52		van Geel, 1978; van Geel <i>et al.</i> , 1989
	HdV 88A	Scolecodonte	van Geel, 1978
	HdV 396	Acari	Schelvis y van Geel, 1989
Hongos saprófitos	HdV 3B	<i>Pleospora</i>	van Geel, 1978
	HdV 18		van Geel, 1978
	HdV 20		van Geel, 1978
	HdV 27	<i>Tilletia</i>	van Geel, 1978
	HdV 96A		van Geel, 1978
	HdV 143	<i>Diporotheca</i>	van der Wiel, 1982
	HdV 1034	<i>Altenaria</i> - tipo	van Geel <i>et al.</i> , 2011
Hongos coprófilos	HdV 7	<i>Chaetomium</i> sp.	van Geel, 1978; van Geel <i>et al.</i> , 2011
	HdV 55A-55B-205	Sordariaceae	van Geel, 1978; van Geel <i>et al.</i> , 1989
	HdV 112	<i>Cercophora</i> sp.	van Geel, 1978; van Geel <i>et al.</i> , 1981; van Geel <i>et al.</i> , 1983; van Geel <i>et al.</i> , 2011
	HdV 113	<i>Sporormiella</i> -tipo	van Geel <i>et al.</i> 2003
Hongos lignícolas	HdV 117		van Geel y Andersen, 1988; van Geel <i>et al.</i> , 1981; Pals <i>et al.</i> , 1980
	HdV 411	<i>Dictyosporites</i>	van Hofwegen, 1983
	HdV 1038	<i>Arecophila</i> sp.	van Geel <i>et al.</i> , 2011
Indicadores de erosión		<i>Pseudoschizaea</i>	Christopher, 1976; van Geel <i>et al.</i> , 1989; Pantaleón-Cano <i>et al.</i> , 1996; Scott, 1992; López-Sáez y López-García, 2003
	HdV 165	<i>Riccia</i>	van Geel <i>et al.</i> , 1983
	HdV 207	<i>Glomus</i> sp.	van Geel <i>et al.</i> , 1989
Algas oligotróficas	HdV 146	<i>Gloeotrichia</i>	van der Wiel, 1982
	HdV 170	<i>Rivularia</i>	van Geel <i>et al.</i> , 1983
	HdV 766, 901	<i>Botryococcus</i>	Kuhry, 1997
Algas meso-eutróficas	HdV 130, 210, 342	<i>Spirogyra</i>	Pals <i>et al.</i> , 1980; van Geel <i>et al.</i> , 1981; van Geel <i>et al.</i> , 1989
	HdV 58, 213	<i>Zygnema</i>	van Geel, 1978; van Geel <i>et al.</i> , 1989

Tabla 5.1: Listado de los NPPs más frecuentemente identificados y de las connotaciones ecológicas asociadas a cada uno de ellos.

Uno de las principales aportaciones de este trabajo ha sido la caracterización del ambiente local de los diversos niveles arqueopaleontológicos identificados en las tres secuencias estudiadas en base al espectro de palinomorfos no polínicos identificado. La localización de la transición Matuyama-

Brunhes en los tres depósitos analizados, así como la gran cantidad de dataciones absolutas disponible ha permitido la correlación de las condiciones microambientales de las secuencias de Sima del Elefante, Gran Dolina y Galería (Cuenca-Bescós y García, 2007; Cuenca-Bescós *et al.*, 2010).

Expósito, I., Burjachs, F., Allué, E. (2017). Filling in the gaps: The contribution of non-pollen palynomorphs to knowledge about the local environment of the Sierra de Atapuerca caves during the Pleistocene. Quaternary International 433, 224–242.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE
ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea



Contents lists available at ScienceDirect

Quaternary International

journal homepage: www.elsevier.com/locate/quaint

Filling in the gaps: The contribution of non-pollen palynomorphs to knowledge about the local environment of the Sierra de Atapuerca caves during the Pleistocene

I. Expósito ^{a, b, *}, F. Burjachs ^{a, b, c}, E. Allué ^{a, b}^a IPHES, Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social, Campus Sescelades URV (Edifici W3), 43007 Tarragona, Spain^b Àrea de Prehistòria, Universitat Rovira i Virgili (URV), Av. Catalunya 35, 43002 Tarragona, Spain^c ICREA, Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats, Barcelona, Catalonia, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Available online 17 October 2015

Keywords:

Palynology
NPP
Palaeoecology
Local environment
Pleistocene
Iberian Peninsula

ABSTRACT

For several decades, conventional pollen analyses have been supplemented with information provided by Non-Pollen Palynomorphs (NPP). Generally, the taxa included in this group are microalgae, fungi, insects and arachnid's chitinous remains, as well as plant debris and other organic palynomorphs of undetermined origin, that are valuable tools with which to characterise the original strata as well as the local environmental features that influence deposit formation processes. In this work, we present the results of the NPP analysis of the archaeological and palaeontological deposits of Sima del Elefante, Gran Dolina and Galería, all of which are located in the Trinchera area (Sierra de Atapuerca, Burgos), spanning a period from 200 ka to almost 1.5 million years ago. The NPP analysis of the three deposits has provided information about the presence of decayed organic matter accumulations, erosion processes and moisture conditions. Knowledge of palynomorphs contributes to the understanding of the biological, physical and chemical dynamics that resulted in different sedimentary sequences. In almost all cases, there is a clear connection between the major stratigraphic trends established for the three deposits and the NPP assemblages identified. However, the eminently local character of the dispersion of most of the palynomorphs identified has prevented the interrelation between the three sequences analysed.

© 2015 Elsevier Ltd and INQUA. All rights reserved.

1. Introduction

The Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain), located on the north–central Iberian Peninsula, contains several archaeological and palaeontological sites that provide cultural and environmental evidence from 0.2 to 1.2 Ma. Trinchera del Ferrocarril is a subarea of this complex that includes three karst deposits: Sima del Elefante, Gran Dolina and Galería. The pollen data of the Trinchera sites have not always been typically statistically representative. The various attempts have revealed substantial taphonomic biases related to the poor preservation of the pollen record (Rodríguez et al., 2011). Other palaeobotanical evidence, such as charcoal and seeds, is also scarce. These data provide information on the occasional presence of taxa, but do not represent a continuous vegetal record (Rodríguez et al., 2011; Allué et al., 2015).

The first systematic investigation of fossil non-pollen palynomorphs (NPPs) was introduced, after a pioneering study on modern palynomorphs of Muller (1959). Van Geel and van der Hammen analysed the non-pollen microfossils found in pollen preparations from Holocene peat-bog sections in Germany and the Netherlands (van Geel, 1978) and the Zygnemataceae present in Colombian Quaternary sediments (van Geel et al., 1978). van Geel (1978) created a numerical classification system based on morphological characteristics and provided descriptions, identifications and, when available, ecological information about the taxa concerned. In recent years, many newly described NPPs have been added to the morphotype list, which now contains at least 1000 types.

After these early works, the use of NPPs as palaeoecological indicators became a supplementary tool to palynology in European deposits (Kuhry, 1985; van Smeerdijk, 1989; Ralska-Jasiewiczowa and van Geel, 1992; López-Sáez et al., 1998; Carrion and Navarro, 2002). This kind of analysis has also recently begun developing in North America (Graf and Chmura, 2006; van Geel et al., 2007),

* Corresponding author.

E-mail address: ixposito@iphes.cat (I. Expósito).

tropical South America (Berrio et al., 2006; Ledru et al., 2006; Rull et al., 2008; Montoya et al., 2010), Asia (Limaye et al., 2007; Zong et al., 2007; van Geel et al., 2008), Africa (Carrion et al., 2000; Burney et al., 2003; Leju et al., 2005; Mumbi et al., 2008; Gelorini et al., 2011, 2012) and Australia (Hawksworth and Yip, 1981; Cook et al., 2011). Although the primary analyses were carried out in natural sequences from palaeolakes or peat-bogs, these analyses are already becoming standard in archaeological contexts (van Geel et al., 2003; Zong et al., 2007; Cugny et al., 2010; Gauthier et al., 2010; McAndrews and Turton, 2010).

The most commonly identified non-pollen palynomorphs are fungal spores (van Geel, 1978, 2006), many of them found in peat deposits, especially in peat layers which were formed under relatively dry conditions. From the various studies of fossil fungal spores, the recorded spores in most cases were of strictly local occurrence. They fossilise at, or near, the place where they were produced or the spores were deposited only a short distance from the place where sporulation took place (van Geel, 2001; van Geel and Aptroot, 2006). The significant groups of analysed fossil fungi include saprophytes (found on decaying organic material, sometimes in combination with certain host plants or on their remains), lignicolous taxa (wood decomposers) carbonicolous taxa, linked with burned horizons, and coprophilous (grown on herbivore dung).

In soil, fungi interact with plant material at different stages of decomposition, living roots, exudates, microorganisms and small invertebrates. It is for this reason that both plant and animal remains must be considered.

In addition, microalgae or microscopic algae grow in either marine or freshwater systems. Green algae and cyanobacteria (formerly known as blue-green algae) can act as a palaeoenvironmental indicators of the trophic conditions of the deposits studied. This is the case for Zygnemataceae, *Botryococcus*, *Gloeo-trichia*, etc. (Jankovska and Komarek, 2000).

We have also considered a number of undetermined palynomorphs. In most cases, their ecological affiliation is unknown, although some such as HdV-303 or *Pseudoschizaea* appear to be linked with the algal group. Although these palynomorphs are

frequently identified, they do not provide too much information because of their low ecological significance (Christopher, 1976; van Geel et al., 1981; Pantaleón-Cano et al., 1996; Miola et al., 2006).

Finally, current palynological studies typically take into account the quantification of the charcoal particles because of their importance as an indicator of aridity phases. Microcharcoal concentrations, usually associated with palaeofires, may show a clear correlation between climate and vegetation dynamics (Pausas, 2004).

For all these reasons, adding NPPs results to the incomplete data of traditional palaeobotanical disciplines can contribute to a clearer overall picture of the period under investigation, at least with regard to the local environmental conditions in the area of the caves. Our primary objectives are to assess the overall taxonomic diversity of the Trincheras deposits, and to use the stratigraphic turnover of NPPs taxa during the major climate and environmental changes documented in previous studies to determine their potential as ecological indicators. We compared the NPPs and microcharcoal record with pollen curves and the microvertebrate and macrofaunal assemblages.

2. The sites

The Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain) is in the foothills of the Iberian range and is composed of Upper Cretaceous limestone and dolomites (Cenomanian and Turonian) (Fig. 1). It is a complex three level groundwater-source karst system that originated during the Neogene/Early Pleistocene in the late Cretaceous (Zazo et al., 1983; Ortega et al., 2013) and developed during the Quaternary. The sequences included in this study belong to the second endokarst level, which dates to the Early Pleistocene. During the Middle Pleistocene, the multilevel cave system became isolated from the Arlanzón River network. At that time, the cave dried out and the roof began to collapse, opening new entrances to the passages, and the number of archaeological sites increases (Ortega et al., 2013).

The identification of the Matuyama-Bruhnes boundary in the three sites and the abundant numerical dates available allow us

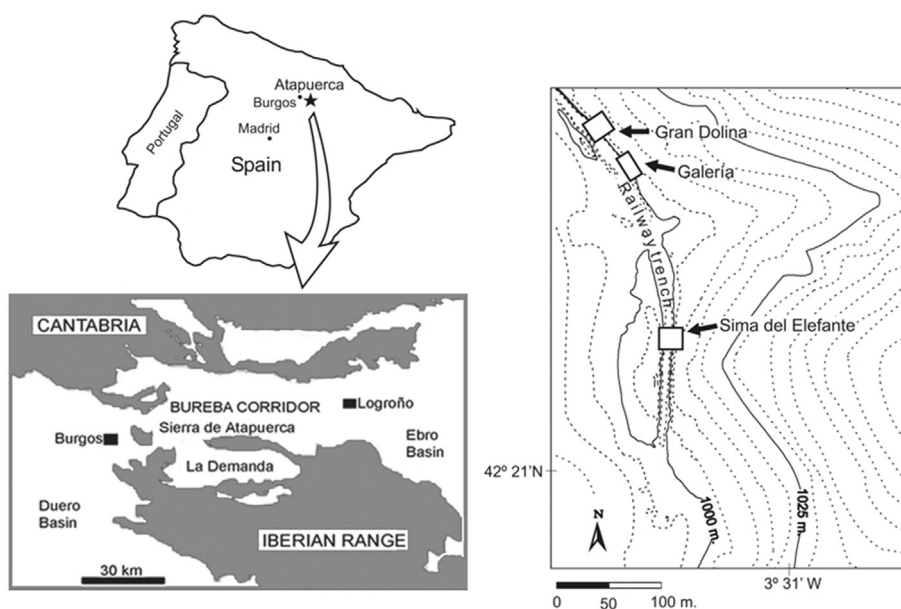


Fig. 1. Location of the Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain) and the sequences included in this work: Sima del Elefante, Galería and Gran Dolina (modified from López-García et al., 2011).

to correlate the NPPs results of the three sequences (Fig. 2). Moreover, based on the distribution of vertebrate faunal assemblages, six faunal units (FU1 to FU6) have been established in order to rank the biochronological and palaeoenvironmental framework for the Sima del Elefante, Gran Dolina and Galería sequences (Cuenca-Bescós and García, 2007; Cuenca-Bescós et al., 2010).

2.1. Sima del Elefante (TE)

Sima del Elefante has been systematically excavated since 1996 (Rosas et al., 2006). This is a cave infill with a stratigraphic succession 16 m thick divided into 16 stratigraphic units, named TE7 to TE21 from bottom to top (Rosas et al., 2006). Units TE7 to TE16 are dated as Early Pleistocene on the basis of their faunal content,

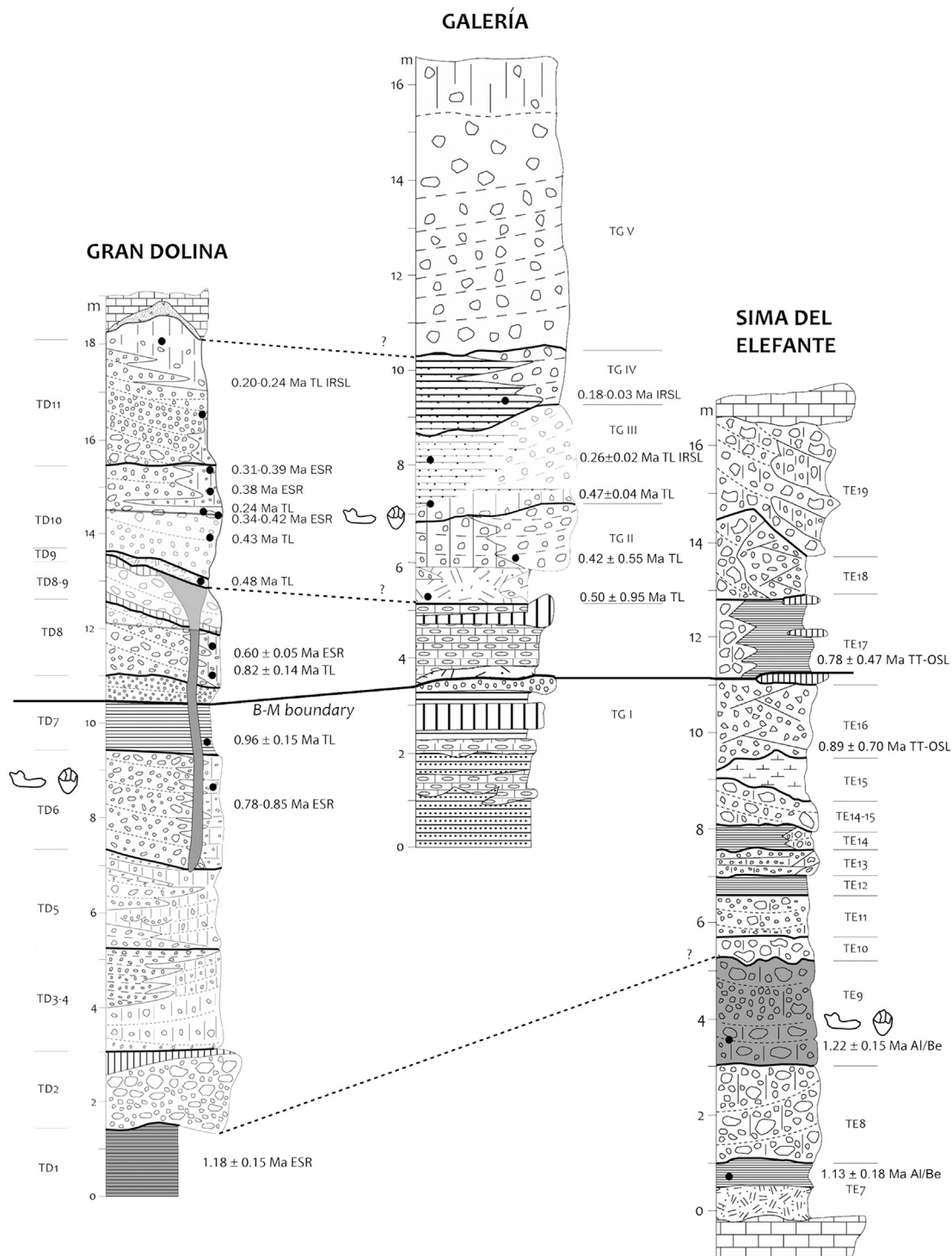


Fig. 2. Chronostratigraphic correlation between the Gran Dolina, Galería and Sima del Elefante sequences modified from Falguères et al., 2013 according to Parés and Pérez-González, 1995, Pérez-González et al., 1999, Parés et al., 2006, Carbonell et al., 2008, Berger et al., 2008, Falguères et al., 1999 and Arnold and Demuro, 2015. Black dots mark the location of the samples.

reversed polarity and two dates based on the radioactive decay of cosmogenic ^{26}Al and ^{10}Be (Rosas et al., 2006; Carbonell et al., 2008; López-García et al., 2011). Units TE17 to TE21 date to the Middle and Late Pleistocene (Fig. 2).

One of the oldest human remains in Europe, attributed to *Homo* sp. (Bermúdez de Castro et al., 2011) have been recovered in sub-unit TE9c, associated with lithic artefacts (Carbonell et al., 2008). The chronological context of this unit has been dated between ca. 1.5–1.2 Ma in accordance with the rodent and insectivore assemblage (Cuenca-Bescós and García, 2007; Cuenca-Bescós et al., 2010; Cuenca-Bescós et al., 2013).

2.2. Gran Dolina (TD)

This deposit is located approximately 200 m from Sima del Elefante and has a stratigraphic succession 18 m thick divided into 11 units named TD1 to TD11 from bottom to top (Gil and Hoyos, 1987; Parés and Pérez-González, 1995, 1999 and Pérez-González et al., 2001) (Fig. 2). The Matuyama–Brunhes polarity reversal has been detected between TD7 and TD8 (Parés and Pérez-González, 1999). This makes it possible to divide the sequence into an Early Pleistocene section (TD1–2 to TD7) and a Middle Pleistocene section (TD8–TD11). This division coincides with a gap in the fauna at TD7–TD8 as observed by Cuenca-Bescós et al. (2001). Several dates

(Fig. 2) obtained by luminescence and combined electronic spin resonance and uranium series (ESR/U–Th) techniques confirm this interpretation (Falguères et al., 2001; Berger et al., 2008; Parés et al., 2013; Arnold and Demuro, 2015). In subunit TD6-2 (called the *Aurora stratum*) *Homo antecessor* remains were found in association with lithic and faunal remains (Bermúdez de Castro, 1997; Bermúdez de Castro, 2008; Carbonell et al., 1995, 2005; Falguères et al., 1999).

2.3. Galería (TG)

This 13 m thick cave deposit is located less than 50 m southeast of Gran Dolina and is divided into five infilling phases (GI to GV) and one palaeosol (GVI) (Ollé and Huguet, 1999; Pérez-González et al., 1999, 2001; Vallverdú, 2002). The Matuyama–Brunhes boundary polarity reversal has been identified inside the lowest unit (G I), which is sterile in faunal and archaeological items (Grün and Aguirre, 1987; Pérez-González et al., 1999) (Fig. 2). Units GII and GIII are subdivided into four subunits: GIIa, GIIb, GIIIa and GIIIb from bottom to top. GIIa, separated from GIIb by a continuous organic layer, contains evidence of the cave's first exposure to the outside and correlates with OIS11 (Aguirre, 2001). The final infilling event corresponds to the edaphic relict formation that sealed the cave (units GIV to GVI). This deposit has provided a large set of

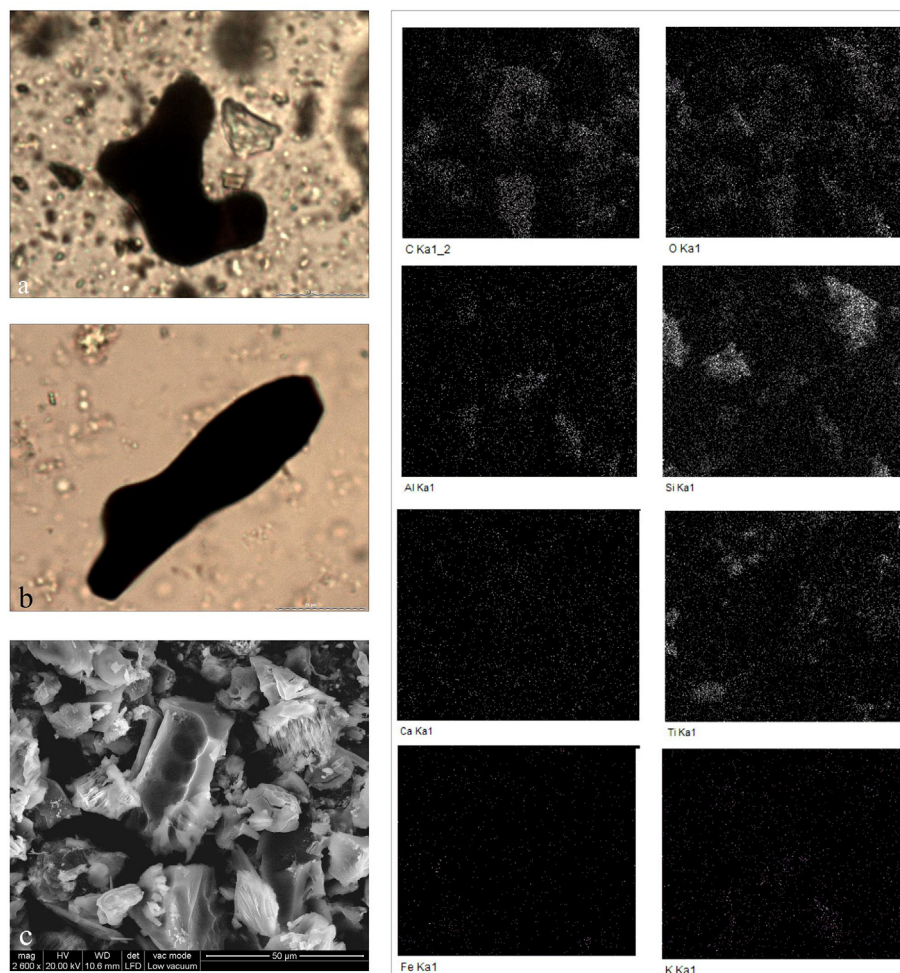


Fig. 3. (Left) Images of the microcharcoal particles with an evident rounded surface: a, b) optical microscope images (OLYMPUS CX41, and image processing DpxView Pro, magnification x400) and c) ESEM (QUANTA-600, magnification x2600). (Right) Map of the chemical components of the particle showed in figure c. The main component of the chemical spectre is Carbon. This allowed us to identify the indeterminate particles as microcharcoal and rule them out as any other type of amorphous organic material.

macro and microvertebrate fossils and a rich collection of lithics dating to the 500 ka to 250 ka time interval by ESR/U–Th and luminescence (Berger et al., 2008; Falguères et al., 2013; Demuro et al., 2014). Two human remains attributed to *Homo heidelbergensis* were found in unit GIII (Arsuaga et al., 1999).

3. Methodology

Sampling was conducted at different times during fieldwork carried out on the three deposits studied. Sima del Elefante has provided a set of 69 samples that were taken from the north section of the excavation area during the 2001, 2003, 2008 and 2009 field seasons. The palynological sequence of Gran Dolina is more complex and comprises 120 samples from four consecutive sections from top to bottom located in the north and south sections of the excavation area and in the north and west section of the test pit excavated during 1990s (Carbonell et al., 1999). The 29 samples from the Galería site come from the TN section located on the shaft that served as one of the original entrances to the cave, on the right side of the complex.

Samples were treated with an HCl KOH concentration with heavy liquid (Thoulet's solution) and a final step with HF (Goeyur and de Beaulieu, 1979; Burjachs et al., 2003). Non-pollen palynomorphs (NPPs) were identified using published keys (Jarzen and Elsik, 1986; van Geel et al., 1986; Hawksworth, 1991; Miola, 2012; Davis and Shafer, 2006) and a reference collection, and

were counted at 400 × magnification. NPP and microcharcoal values were expressed in concentrations (particles-grains/g of dry sediment) calculated using the volumetric method (particles/g of dry sediment) described in Loublier, 1978 and Burjachs et al., 2003. The minimum statistically meaningful values of NPPs and microcharcoals were counted until maximum pollen counts had been reached (minimum of 100–150 pollens counted). Charcoal selection was restricted to fragments between 5 and 20 µm that were black, completely opaque and angular (Swain, 1973; Clark, 1988).

Data processing and graphic representation was performed with the help of the software program Tilia (Grimm, 1991–2011). Palynological zones were established based on NPP data by means of a cluster analysis using CONISS (Grimm, 1987).

The microcharcoals recovered were modified throughout the sequence, exhibiting various degrees of rounding. These altered particles were counted as well, and are shown with a grey silhouette overlay in the graphs (Figs. 4–9). ESEM (QUANTA-600) was used to identify the indeterminate microcharcoal particles and rule them out as any other type of amorphous organic material. To facilitate the reading of the data, we created a synthetic diagram for each sequence in which the NPP taxa are grouped according to their ecological affinities (Birks and Birks, 1990; López-Sáez et al., 1998; Galop and López-Sáez, 2002; van Geel et al., 2003; Carrión et al., 2010; Haas and Hadorn, 2010; Hillbrand et al., 2012) (Figs. 7–9) (Table 1).

Table 1
Allocation of pollen and non-pollen palynomorphs to groups with ecological affinities (HdV Hugo de Vries Laboratory, University of Amsterdam–The Netherlands).

Taxonomic identification	Acronym	Bibliographic references
Vegetative remains		
Wood vessels	HdV 114	Pals et al., 1980
stomata	HdV 510	van Geel et al., 1986
	HdV 775	Bakker and van Smeerdijk, 1981
dicotyledonous leaf	HdV 780, 781, 782	Bakker and van Smeerdijk, 1981
Zoological remains		
	HdV 36	van Geel, 1978
	HdV 36c	van Geel, 1978
	HdV 52	van Geel, 1978; van Geel et al., 1989
Scolecodonts	HdV 88A	van Geel, 1978
	HdV 194	van Geel et al., 1983
Acari	HdV 396	Schelvis and van Geel, 1989
	HdV 906	Garneau, 1993
Coprophilous fungi		
<i>Chaetomium</i> sp.	HdV 7	van Geel, 1978; van Geel et al., 2011
<i>Sordaria</i> -types	HdV 55A-55B-205	van Geel, 1978; van Geel et al., 1989
<i>Cercophora</i> sp.	HdV 112	van Geel, 1978; van Geel et al., 1981; van Geel et al., 1983; van Geel et al., 2011
<i>Sporormiella</i> -type	HdV 113	van Geel et al., 2003
Saprophytic fungi		
<i>Pleospora</i>	HdV 3B	van Geel, 1978
	HdV 18	van Geel, 1978
	HdV 20	van Geel, 1978
	HdV 96A	van Geel, 1978
<i>Diporotheca</i>	HdV 143	van der Wiel, 1982
	HdV 173B	van Geel et al., 1989
	HdV 920	Garneau, 1993
<i>Altenaria</i> type	HdV 1034	van Geel et al., 2011
Lignicolous fungi		
<i>Kretzschmaria deusta</i>	HdV 117	van Geel and Andersen, 1988; van Geel et al., 1981; Pals et al., 1980; van Geel et al., 2013
<i>Glomus</i> sp.	HdV 207	van Geel et al., 1989
<i>Dictyosporites</i>	HdV 411	van Hofwegen, 1983
<i>Arecophila</i> sp.	HdV 1038	van Geel et al., 2011
Oligotrophic algae		
<i>Gloeotrichia</i>	HdV 146	van der Wiel, 1982
<i>Rivularia</i>	HdV 170	van Geel et al., 1983
<i>Botryococcus</i>	HdV 766, 901	Kuhry, 1997
Meso-eutrophic algae		
<i>Spirogyra</i>	HdV 130, 210, 342	Pals et al., 1980; van Geel et al., 1981; van Geel et al., 1989
<i>Zygnema</i>	HdV 58, 213	van Geel, 1978; van Geel et al., 1989;

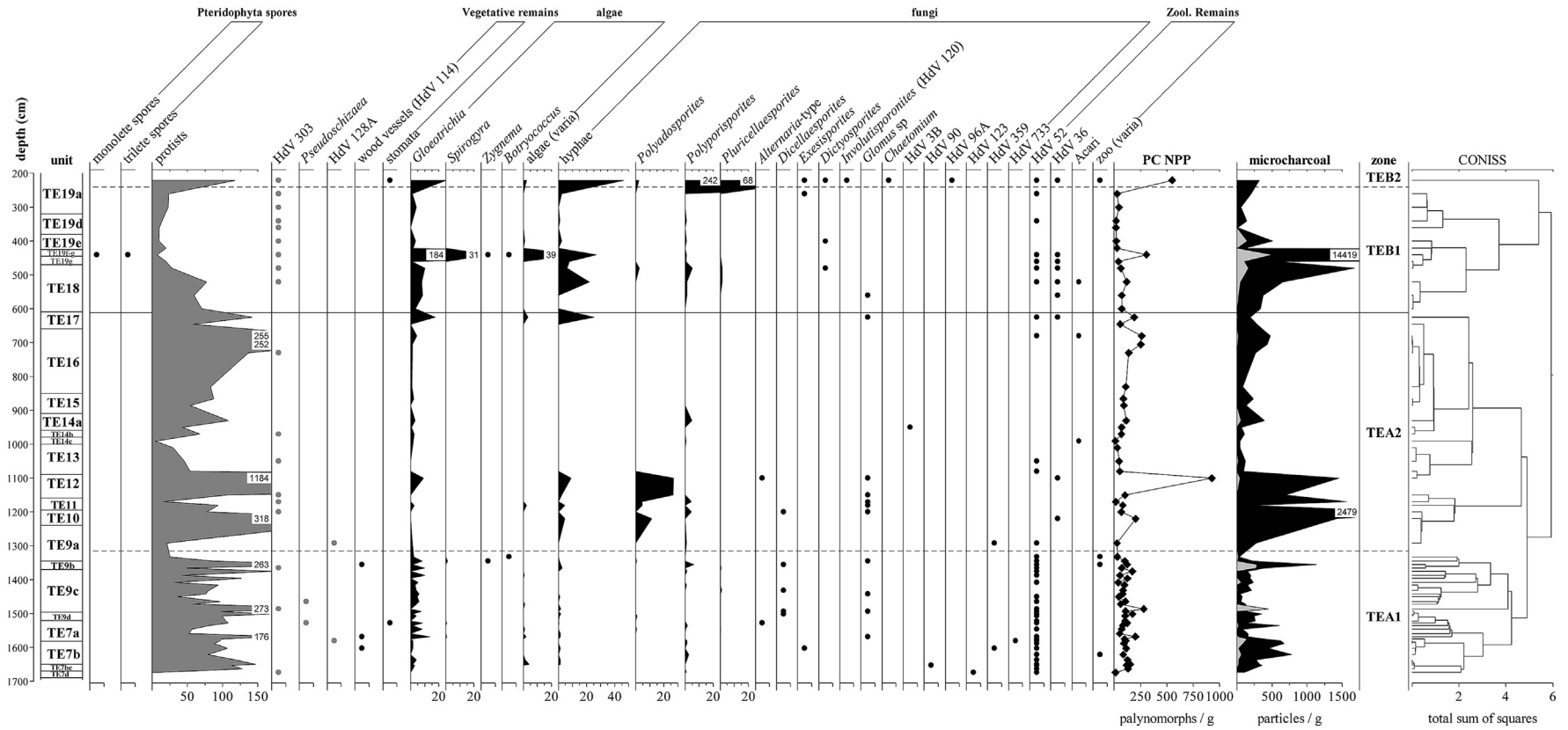


Fig. 4. Palynological results of the Sima del Elefante deposit. The graph shows the concentration values (particles or palynomorphs per gram of dry sediment) of the NPP taxa and microcharcoals. The grey overlay silhouette marks the rounded microcharcoal values.

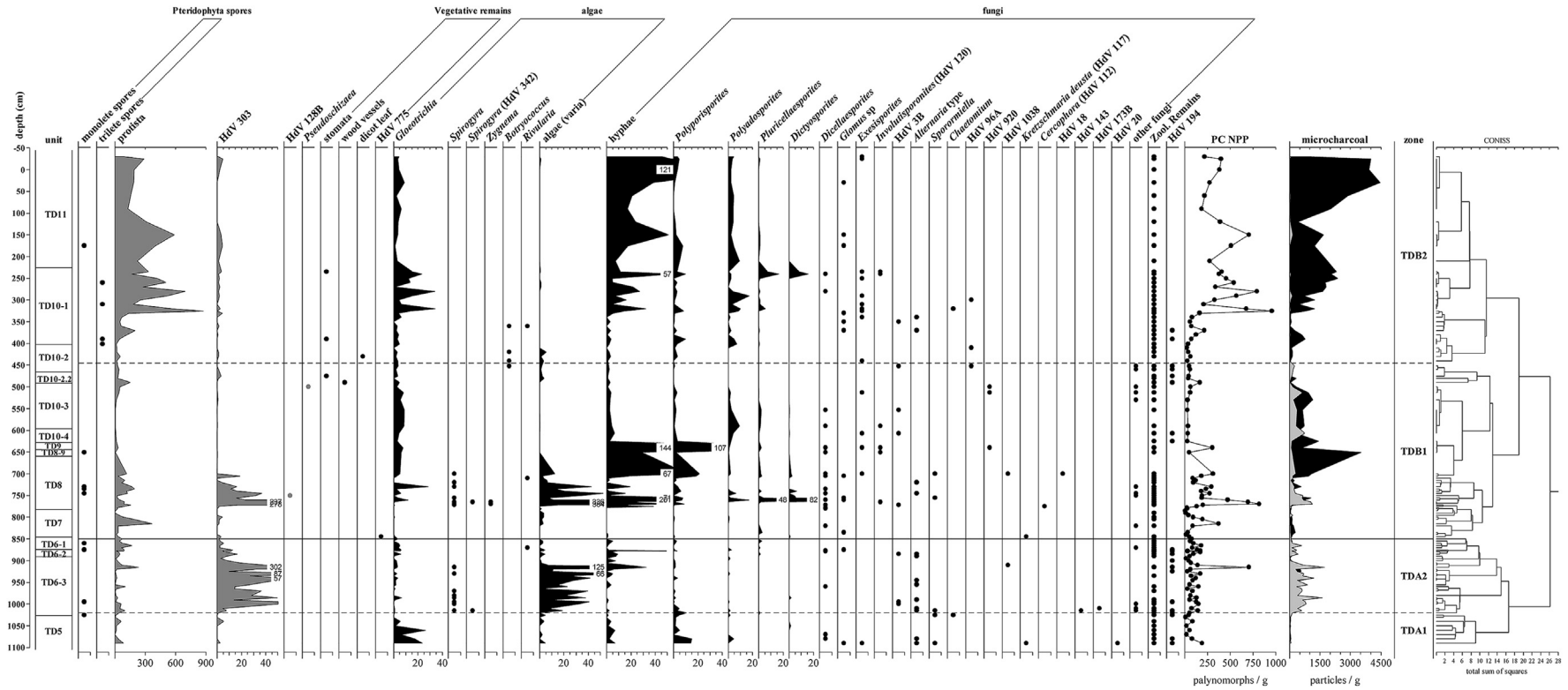


Fig. 5. Palynological results from the Gran Dolina deposit. The graph shows the concentration values (particles or palynomorphs per gram of dry sediment) of the NPP taxa and microcharcoals. The grey overlay silhouette marks the rounded microcharcoal values.

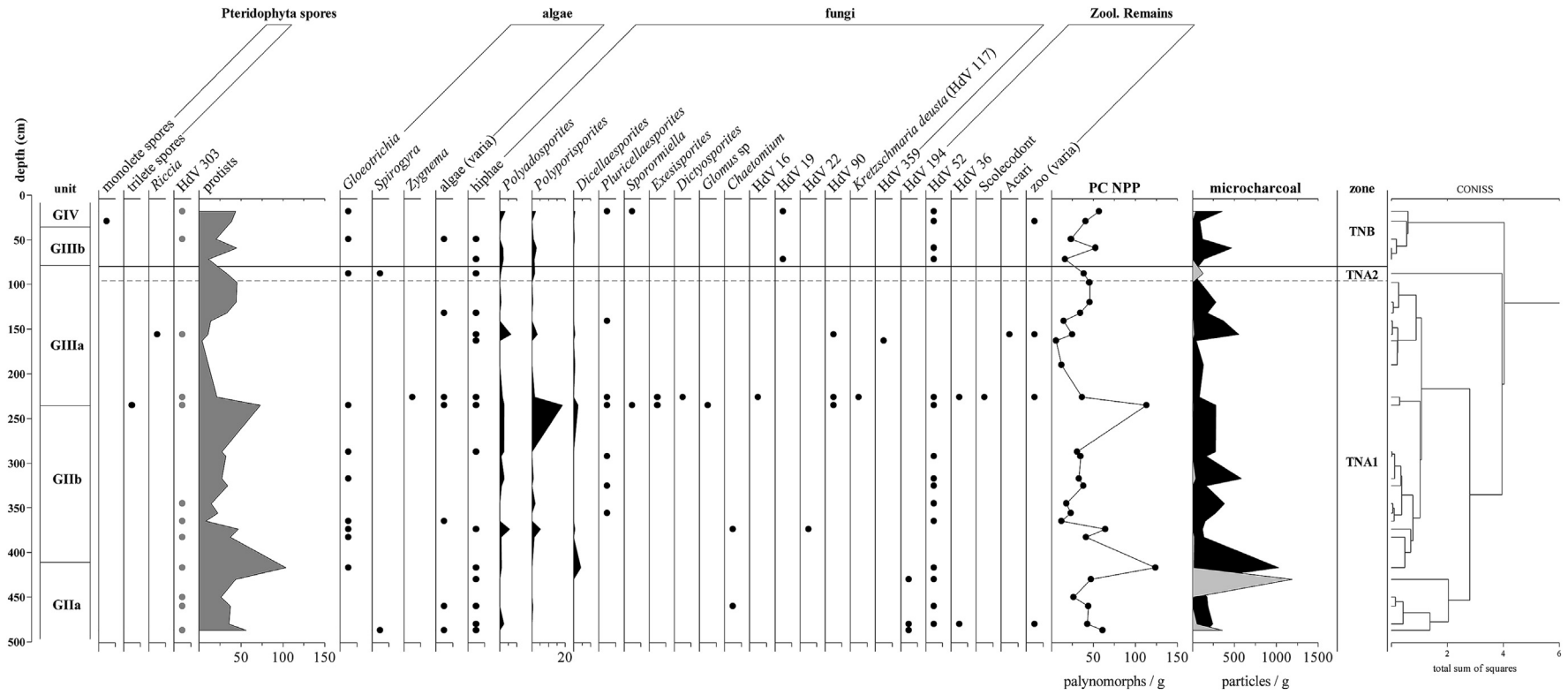


Fig. 6. Palynological results of the Galería deposit. The graph shows the concentration values (particles or palynomorphs per gram of dry sediment) of the NPP taxa and microcharcoals. The grey overlay silhouette marks the rounded microcharcoal values.

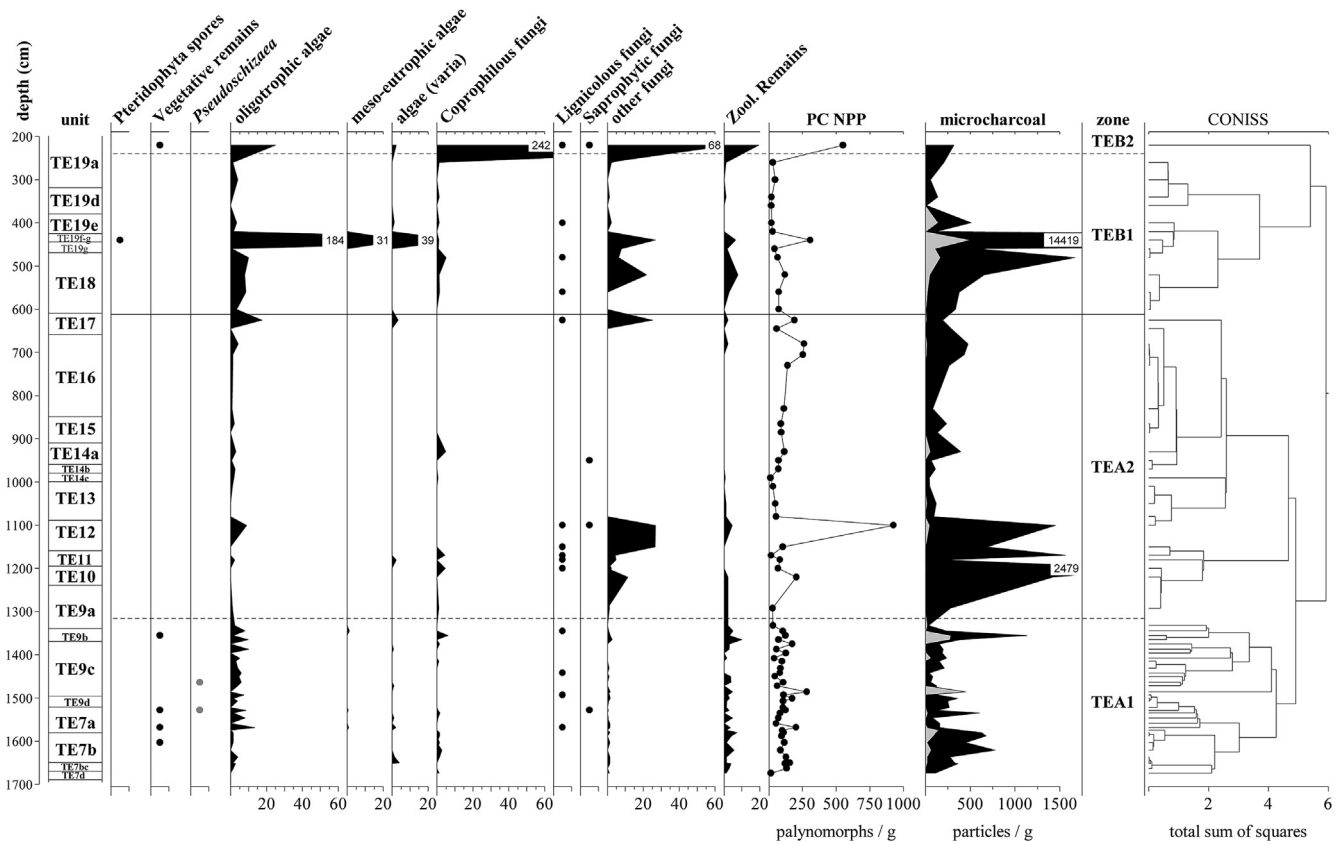


Fig. 7. Synthetic palynological diagram of Sima del Elefante. NPP taxa are grouped according to their ecological affinities.

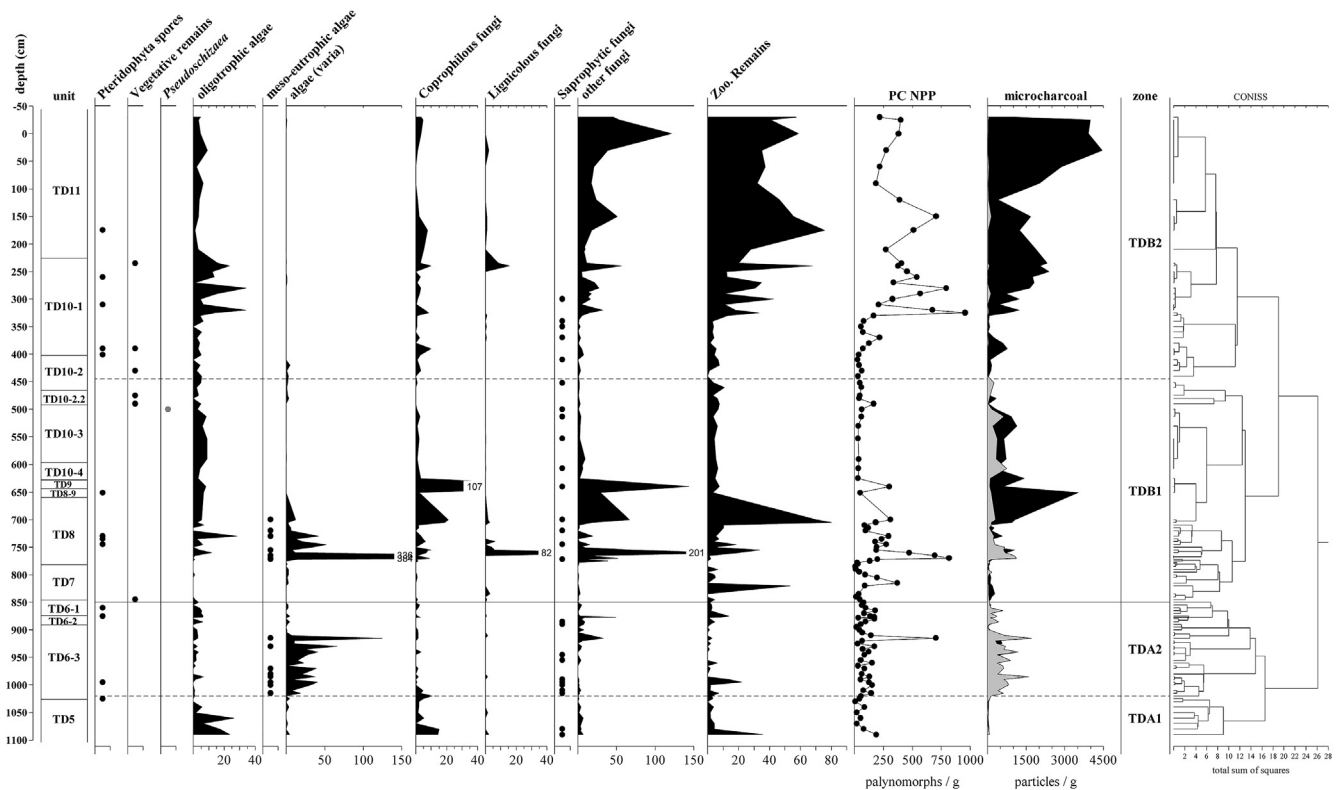


Fig. 8. Synthetic palynological diagram of Gran Dolina. NPP taxa are grouped according to their ecological affinities.

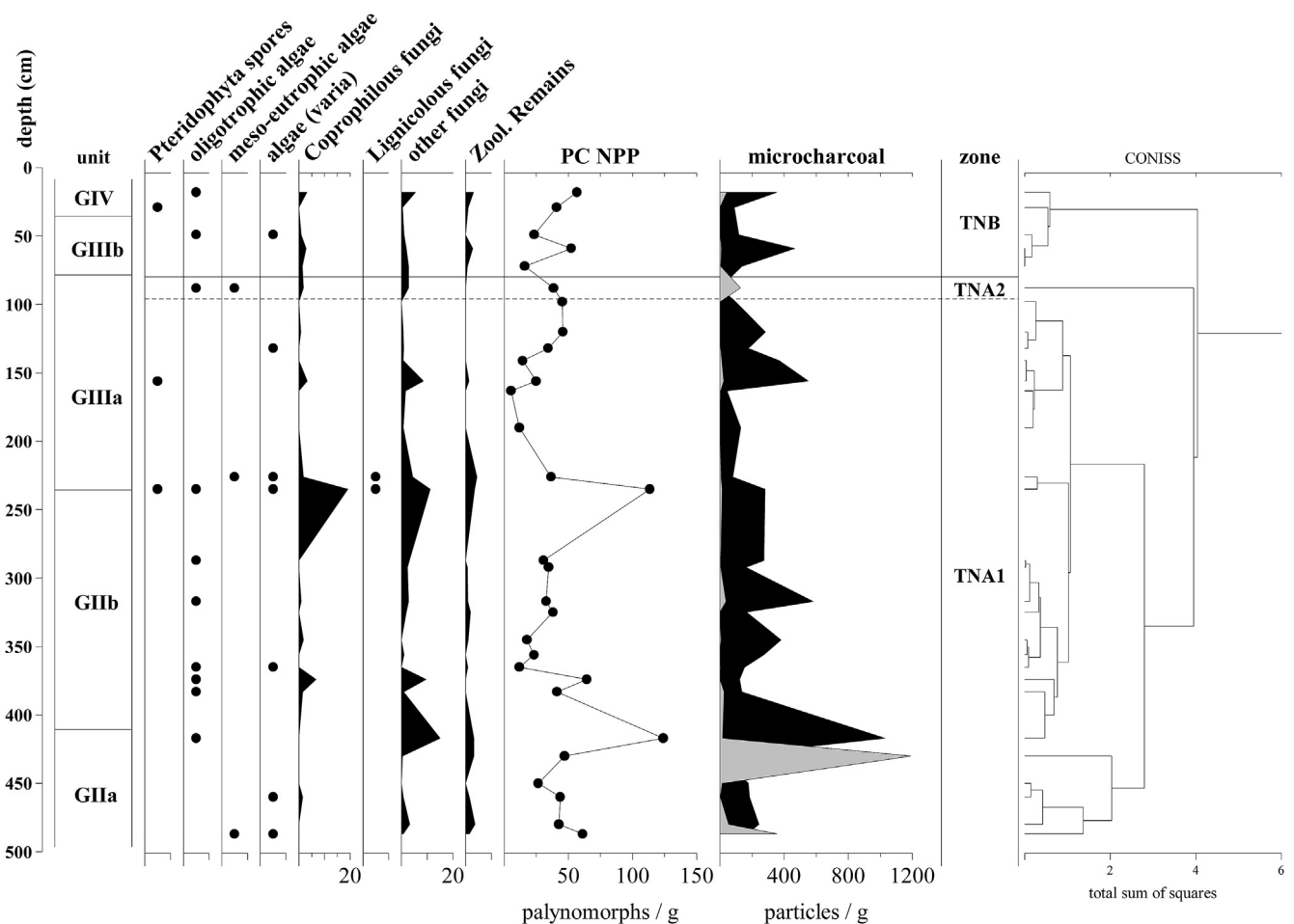


Fig. 9. Synthetic palynological diagram of Galería. NPP taxa are grouped according to their ecological affinities.

4. Results

Five major taxonomic groups were identified: spores and other remains of fungi (36 morphotypes), spores of ferns and mosses (3 morphotypes), microscopic zoological remains (8 morphotypes), algae (6 morphotypes) and microscopic plant remains (4 morphotypes).

We also considered microcharcoal particles though we restricted inclusion to fragments that were black, completely opaque and angular (Swain, 1973; Clark, 1988). The presence of high values of microscopic charcoal in palynological slides is interpreted in this timeframe in archaeological sites without fire evidence documented as an increase in the natural occurrence of fire and may suggest a dry season or periods of drought. However, some of these charcoal particles have lost their angular appearance and have rounded and polished margins. Examination of the rounded opaque particles by means of SEM allowed us to identify them as microcharcoal particles based on the features of wood anatomy observed and their surface rounding alteration (Fig. 3). This trait has been observed in all of the studied sequences although it is most prevalent at the bottom of the Gran Dolina sequence.

4.1. Sima del Elefante (TE)

The CONISS stratigraphic zonation of the NPP assemblages in the Sima del Elefante samples defines two major assemblage zones, each subdivided into two distinct sub-zones (Fig. 4). This division

nearly coincides with the Matuyama-Brunhes boundary and therefore with the transition from the Early Pleistocene to the Middle Pleistocene units located between units TE16-TE17 (Parés et al., 2006; Rosas et al., 2006; Carbonell et al., 2008; Rodríguez et al., 2011).

The palynological sequence analysed includes almost all of the archaeological levels and sublevels documented (from TE7 to TE19). A total of 33 NPP morphological types were recorded, including 17 types of fungi spores, 4 types of algal remains and 4 types of zoological remains, among other palynomorphs.

Fungal types are predominant and were represented by *Polyporisporites*, *Polyadosporites*, *Dicellaesporites*, *Pluricellaesporites*, *Exesisporites*, *Dyctiosporites*, *Involutisporonites*, *Chaetomium*, *Alternaria*-type, *Glomus* sp. (van Geel, 1978; van Geel et al., 1989), hyphae as well as several numbered types such as HdV-3B, HdV-90, HdV-96A, HdV-123, HdV-359 and HdV-733 (van Geel, 1978; Pals et al., 1980; van Geel et al., 1981; Bakker and van Smeerdijk, 1982). Algal palynomorphs are less diverse and consisted of the cyanophyta *Gloeotrichia* and freshwater microalgae of *Zygnema*, *Spirogyra* and *Botryococcus*. Faunal remains include Acari (van Geel, 1978; Schelvis and van Geel, 1989), among other chitinous animal remains.

4.1.1. Zone TEA1

Zone TEA1 includes 34 samples and consists of sublevel TE7 to the bottom of sublevel TE9a. Algal palynomorphs are present, although with some oscillations. *Pseudoschizaea* (Pantaleón-Cano

et al., 1996; López Sáez and López García, 2003) has been identified at the top of level TE7a and at the bottom of subunit TE9c. This is the only zone containing plant remains such as woodvessels (HdV-114) and stomata (HdV-510) (Pals et al., 1980; van Geel et al., 1986).

4.1.2. Zone TEA2

Zone TEA2 consists of the 22 samples from the upper part of sublevel TE9a to level TE17. Here, algae palynomorphs are lesser extent than in the Zone TEA1 although there is an increase in the presence of some fungal palynomorphs (*Polyadosporites* and hyphae). The microcharcoal concentrations are especially important at the bottom of this zone, specifically in levels TE10, TE 11 and TE12.

4.1.3. Zone TEB1

This zone includes 12 samples from level TE18 to the lower samples of TE19a. The most remarkable feature in this zone is the increase in the values and variability of algal palynomorphs. Microcharcoal values reach the maximum (TE19f-g) in this zone as well as the phenomenon of rounded charcoal, coinciding with the prominent presence of the algal group.

4.1.4. Zone TEB2

Zone B2 includes only one sample belonging to the top of sublevel TE19a. In this sample the values of both *Gloeotrichia* and fungal remains increase sharply. The taxonomic variability of fungal remains is also high.

4.2. Gran Dolina (TG)

The samples analysed come from level TD5 to the last level at the top TD11. In this case, 55 NPP morphological types were recorded, including 33 fungal palynomorphs, 6 algal types and 6 forms of chitinous remains, among others.

The cluster distribution shows the division of the sequence into two main groups (zone TDA and zone TDB): one consisting of units TD5 and TD6 and another from TD7 to TD11 (Fig. 5). This break appears, as in TE, slightly above of the Matuyama-Brunhes boundary (Parés and Pérez-González, 1999).

Fungal spores are represented by informal genera of *Polyporisporites*, *Polyadosporites*, *Dicellaesporites*, *Pluricellaesporites*, *Exesisporites*, *Involutisporonites*, *Chaetomium*, *Cercophora*, *Sporormiella*, *Alternaria*-type, *Dictyosporites*, *Kretzschmaria deusta* (HdV-117), *Glomus* sp. (van Geel, 1978; Pals et al., 1980; van Geel et al., 1981; van Geel and Andersen, 1988; van Geel et al., 1989; van Geel et al., 2013), and hyphae. The main numerical types represented are HdV-3B, HdV-18, HdV-20, HdV-96A, HdV-143, HdV-173B, HdV-920 and HdV-1038 (van Geel, 1978; van der Wiel, 1982; van Geel et al., 1989; Garneau, 1993; van Geel et al., 2011). Algal palynomorphs are sporadic and consist of the cyanophyta *Gloeotrichia* and the freshwater microalgae *Zygnema*, *Spirogyra*, *Botryococcus* and *Rivularia*. The chitinous remains include Scolecodonts (Combaz, 1964; Diot, 1991), among other chitinous remains.

4.2.1. Zone TDA1

This zone includes only the 8 samples related to unit TD5. This interval is characterised by the continued high values of the cyanophyceae *Gloeotrichia* which is the only algal palynomorph identified. Microcharcoal particles are absent in this zone.

4.2.2. Zone TDA2

The 34 samples of TD6 (and sublevels) form an isolated group because of the abundant algae group at the bottom of the zone, although the size of the fungi group gradually but significantly increases towards the top. There is an increased presence of

rounded charcoal, reaching the maximum values in the sequence, combined with a profusion of algal palynomorphs.

4.2.3. Zone TDB1

This zone includes 42 samples. The high CONISS split between subzones TDA and TDB reflects the distinction between the bottom of the sequence, characterised by the high representation of algal palynomorphs, and the upper levels, essentially distinguished by the prominence of fungal taxa. The algal group practically disappears in unit TD7 and increases dramatically in TD8. In the course of this period the assemblage of fungal types begins to grow, reaching its highest point in TD9, and comprising a large number of fungal taxa which had not been documented previously.

The last section of this zone includes TD10-4, TD10-3, TD10-2 and the base of TD10-2 and is characterised by slightly fewer palynomorphs than in other zones although the vegetative remains are present. Most of the algal taxa identified previously disappear in the upper half of this zone and do not appear again. Another notable feature of this section is the presence of *Pseudoschizaea* at the top of subunit TD10-3.

The microcharcoal values are especially important in transition unit TD8-9 and there is little evidence of rounding. Although this charcoal alteration was found in this zone, its presence is variable. The most affected segments are the samples at the base of TD8, again coinciding with high values of algae palynomorphs.

4.2.4. Zone TDB2

This interval of 33 samples consists of the upper part of the sequence. The main reason for this separation is the relatively high NPP and microcharcoal concentration values and the erratic appearance of vegetal remains (stomata and woodvessels). Fungal remains are the largest group and, in general, their presence increases progressively moving towards the top of the sequence.

4.3. Galería (TN)

The set of samples includes level GII to GIV with their respective sublevels. Two main palynomorph zones have been established (zone TNA and zone TNB). Zone TNA is subdivided into two subzones (TNA1 and TNA2) (Fig. 6). The palynological analysis has identified 29 NPP morphological types, including 16 fungal palynomorphs, 3 algal types and 5 types of faunal remains.

The taxonomic variety of the fungi group this time includes *Polyporisporites*, *Polyadosporites*, *Dicellaesporites*, *Pluricellaesporites*, *Exesisporites*, *Chaetomium*, *Sporormiella*, *Dictyosporites*, *K. deusta* (HdV-117), *Glomus* sp. (van Geel, 1978; Pals et al., 1980; van Geel et al., 1981; van Geel and Andersen, 1988; van Geel et al., 1989; van Geel et al., 2013) hyphae and types HdV-16, HdV-19, HdV-22, HdV-90, and HdV-359 (van Geel, 1978; van Geel et al., 1981). Algal palynomorphs consisted of *Gloeotrichia*, *Zygnema* and *Spirogyra*. The faunal remains include Scolecodonts (Combaz, 1964; Diot, 1991), Acari and other chitinous remains.

4.3.1. Zone TNA1

The zone TNA1 assembly includes the 6 samples from GIIa and GIIb and most of the samples from GIIIA and is characterised by the higher values of charcoal concentration, although its presence is irregular. The highest microcharcoal values are found at the top of level GIIa. Rounded charcoal has also been identified in Galería and this alteration is very abundant in level GIIa. In this case, there is no correlation between these high values of rounded charcoal and the abundance of the algae group. Another important tendency in this group of samples is the high concentrations and taxonomical variability observed at the base of subunit GIIIA.

4.3.2. Zone TNA2

Zone TNA2 consists only of the sample from the top of unit GIIa and exhibits scant taxonomic variability and very few microcharcoal particles. All of the microcharcoal fragments observed are rounded with greater or lesser intensity.

parameters in the caves to contribute to multi-proxy reconstructions of past environmental change. The habitats identified include water accumulation areas, organic matter decaying levels and coprophilous fungi proliferation (Figs. 7–9; Table 2).

Table 2

Synthetic correlation between the main palaeoecological characteristics identified in the different units of the three sequences analysed.

unit		unit		unit		
TE19	Humid environmental context, especially in TE19F-g subunit. High charcoal values that could be linked to anthropogenic fires. Organic horizons on the top with a high presence of vegetative remains and faeces.	GIV	Poor soils and absence of organic substratum indicators.	TD11	Relative dryness and organic horizon on the top with a high presence of decaying organic matter.	
		GIIb		TD10-1	Oscillations in the moisture conditions and faeces signal at the bottom.	
		GIIa	Presence of decaying organic material and faeces at the base of the unit.	TD10-2	Improvement of the moisture conditions despite the presence of typical Mediterranean summer drought indicators.	
TE18	Presence of decaying vegetative residues and faeces.	GIIb	Aridity maximum in the transition GIIa-GIIb units.	TD10-3	Dryness and erosion processes on the top of TD10-3.	
		GIIa	Maximum of rounding charcoal alteration despite the absence of evidences of local humidity conditions.	TD10-4		
TE17	Relative increase of humidity conditions and rise of decaying organic matter.			TD9	Presence of faeces and other decaying organic material.	
TE16	Drier local conditions according with charcoal peaks and a bigger fungal forms proliferation.			TD8-9	Early traces of later aridity phase showed in peaks of microcharcoal values.	
TE15-TE14-TE13				TD8	High humidity and presence of decaying wood or vegetative remains.	
				TD7	Poverty, except in zoological remains.	
TE12-TE11				TD6-1	Decrease in local humidity.	
				TD6-2		
				TD6-3	Humidity conditions in enriched soils and a high degree of charcoal rounding alteration.	
TE7-TE10				Erosion processes and moisture conditions.	TD5	High humidity degree in poor organic soils. Presence of herbivorous faeces.

4.3.3. Zone TNB

This zone includes the 5 samples from layers GIIb and GIV, in which the only monoete spores in the sequence were identified. The taxonomical variability of the NPPs and the charcoal concentrations are higher than in the previous zone.

5.1. Sima del Elefante (TE)

The archaeological work revealed the division of the sequence in two sedimentary phases (Rosas et al., 2001, 2006). Phase I corresponds to the FU1 faunal zone and includes the Lower Pleistocene units TE7 to TE14, characterised by the gravitational accumulation of clay and clasts from the surroundings and by clay and laminated sandy silts at the top of the sedimentary package (TE10-TE14).

5. Discussion

The variation in the diversity of algal, fungal and other palynomorphs and how they interrelate may be an important parameter for understanding the palaeoenvironmental and palaeoclimatic changes of the past. The comparison of the NPP data from the Trinchera deposits with pollen curves and the information from microvertebrate and macrofaunal assemblages together with the geochronological contextualisation has allowed us to confirm the main stratigraphical divisions established for these sequences. The palaeoecological indicator value of individual NPP morphotypes and their stratigraphic association with the other palaeoecological indicators have made possible to propose different scenarios with regard to specific local environmental conditions and occupation

The lower levels of Sima del Elefante have yielded evidence of low intensity occupations (Rodríguez et al., 2011). Temperate open woodlands seem to have dominated the landscape at that time. This was probably one of the wettest periods at Atapuerca, as several proxies point towards the significant presence of meadows and/or lagoons. The climatic reconstruction based on the TD9 microvertebrates, herpetofauna and avian assemblages implies that the climate was slightly warmer and rainier than today (Sánchez-Marco, 1999; Cuenca-Bescós et al., 2013, Cuenca-Bescós et al., 2015). Similarly, the amphibians and reptiles suggest an environment with open habitats and a predominance of wet meadows and open woodlands (Blain et al., 2010). The sedimentological

characteristics also indicate the presence of pond water in phase I of the sequence. The palaeobotanical data include the presence of evergreen *Quercus*, *Pinus* spp., and Cupressaceae, which is consistent with a typical Mediterranean climatic context, perhaps a little wetter than expected, as evidenced by the presence of mesic and riparian trees such as *Acer*, *Corylus* and *Alnus* in the palynological results and *Acer* sp. and deciduous *Quercus* sp. in the anthracological record.

The NPP results from levels TE7, TE9d and TE9c are consistent with the existence of humidity inside or around the cave in the lower part of the sequence (Fig. 7). This local moisture could have stimulated the growth of some microalgae taxa like *Gloeotrichia* and *Botryococcus*. These types of microorganisms are related to oligotrophic environments, and *Gloeotrichia* contribute to nitrogen fixation, and help in the process of soil enrichment.

On the other hand and in line with the wet conditions, the identification of *Pseudoschizaea*, which was included in the not identified group, indicates the existence of erosive processes, always linked to the massive influx of sediment related to floods or streams activity (Pantaleón-Cano et al., 1996; López Sáez and López García, 2003). This palynomorph is likely of algal origin although the phylogenetic relationship has not yet been confirmed (Christopher, 1976; Scott, 1992; Milanese et al., 2006).

The mycorrhizal fungus *Glomus*, also common in zones TEA1 and TEA2, indicates soil remobilisation and is usually related to the recovery or establishment of tree and brushland cover after critical episodes of aridity (van Geel et al., 1989). In any case, the presence of *Pseudoschizaea* together with *Glomus* sp. could mark the existence of active erosion processes at the base of the sequence (van Geel et al., 1989; Pantaleón-Cano et al., 1996; López Sáez and López García, 2003). Related to this, the microvertebrate record of the lower sedimentary phase (TE7-TE14) suggests that the formation time span of these units is very short. Therefore, this may support the hypothesis of rapid and discontinuous sedimentation at the site (Cuenca-Bescós et al., 2015).

Despite the moist conditions inferred, microcharcoal concentrations are especially significant in levels TE10, TE 11 and TE12. The presence of high values of charcoal is related in this context out of anthropic fire evidence, with the proliferation of wildfires during periods of aridity. Therefore, we might speculate that a drier phase began at this point or that arid episodes possibly occurred embedded in a generally wet context. Algal palynomorphs were extremely scarce, with some exceptions, in the segment comprising subunits TE9a to TE17, indicating a reduction in the water table as a possible result of decreased rainfall. The increase in some fungal palynomorphs in this zone is likely connected to drier climatic conditions as well.

Phase II corresponds to different episodes related to the massive entry of sediments from the immediate surroundings. The lower units of this phase (TE15-TE17) correspond mainly to water-flow facies and water-laid deposits, related to sediments deposited in the nearby Propiedad Valley (Benito, 2004; Rosas et al., 2006). These archaeological units lack archaeopalaeontological remains. This is concomitant with the descent of microcharcoal particles and the very low NPP taxonomic variability (Fig. 4).

The palynomorph analysis shows a change in the environmental conditions of the cave at the transition between levels TE17 to TE18 detected by means of the increase in microcharcoal particles, algal palynomorphs and some types of fungi. At the threshold between level TE18 and layer TE19 a significant change in the faunal assemblages has been detected, resulting in the transition from FU5 to FU6. At this time, the Early Pleistocene species disappear, giving way to typical Middle Pleistocene assemblages (Rodríguez et al., 2011).

The pollen record of these upper units yielded very poor results and the floristic composition of these samples is similar to the rest

of the sequence, with conifers, evergreen *Quercus* and *Typha/Sparganium*.

In terms of the local palaeoenvironmental conditions, the general increase in algae values in these upper layers (zone TEB, Fig. 4) and their higher degree of variability are probably related to more intense precipitation, which influenced the hydrodynamic conditions of sedimentation. Unit TE18 consists of layers of stratified detrital sediment and erosion layers indicating the presence of significant water currents (Rosas et al., 2006). However, the clearest evidence of puddles or points of water accumulation occur in unit TE19f-g. The high values of meso-eutrophic algae in this unit suggest the existence of relatively enriched organic soils (Fig. 7).

The richness of the TE19f-g pollen results are an exception compared to the rest of the sequence. The presence of deciduous and evergreen *Quercus* in the pollen record and the identification of *Pinus sylvestris*-type macrocharcoal clearly indicate the existence of woodland areas. In addition, the presence of *Salix*, hygrophytes as Cyperaceae and *Typha/Sparganium* and pteridophyte spores in the pollen record are consistent with a moist landscape. Similarly, the small mammal and herpetofaunal assemblage of TE19 indicates the presence of open wet and woodland areas (Rodríguez et al., 2011).

Contrary to what one might expect, microcharcoals related to natural forest fires during the dry season reach the maximum values in this zone. This contradictory fact may be linked to the presence of anthropogenic fires or, more likely, it may be the result of the mainly local incidence of humidity conditions. It should be noted that the phenomenon of rounded charcoal is more common here, coinciding with the prominent presence of the algae group. This overlap also occurs in Gran Dolina sequence.

Pteridophyte spores appear in the context of the (at least) local humidity of TE9f-g, implying that there was sufficient light and moisture for the proliferation of ferns and mosses (Fig. 7). The proximity to the entrance of the cave promoted the further development of organic soils with the proliferation of microcharcoal particles and various fungal palynomorphs, especially coprophilous taxa, in this and the following levels described as detrital deposits with laminated silts (Rosas et al., 2006).

Spores of coprophilous fungi (*Sordaria*) strictly rely on terrestrial warm-blooded vertebrates and larger birds to complete their life cycle. These spores are ingested by herbivores feeding on plants, survive digestion and then germinate in the dung where they are deposited (Jennings and Lysek, 1996; Krug et al., 2004). So, the presence of these remains of coprophilous fungi in Quaternary sediments suggests the presence of herbivores near the cave (Davis, 1987; van Geel et al., 2003; Davis and Shafer, 2006; Baker et al., 2013).

5.2. Gran Dolina

The Gran Dolina sedimentary deposit is dominated by allochthonous facies (Ortega et al., 2013). The split of the sequence into the two main palynological zones occurs at the Matuyama-Brunhes boundary (Parés and Pérez-González, 1999) and also coincides with the transition of the vertebrate faunal zones FU4 and FU5 (Cuenca-Bescós and García, 2007; Cuenca-Bescós et al., 2010). The microvertebrate assemblage indicates that the sedimentation of the lower units of the Gran Dolina sequence developed over a longer time span (Cuenca-Bescós et al., 2013). This strongly suggests the existence of chronological gaps between each unit, which would explain the variability of the NPP representation from one unit to another.

The NPP results of the samples analysed show that the lower units (TD5 to TD6) are different from the rest of the sequence due to the predominance of algal palynomorphs. The pollen data show that the presence of Mediterranean taxa is continuous throughout

the Gran Dolina stratigraphic successions except in TD5, where conifers and Poaceae dominate the spectrum. Similarly, the herpetofaunal assemblage describes these layers as colder than the upper units, but excludes any extreme conditions (Blain et al., 2008, 2013). In terms of the NPP results, TD5 presents high values of oligotrophic algae related to poor soils (Fig. 8). Another distinctive trait of the TD5 assemblage is a peak of coprophilous fungi and chitinous remains involving, at least, the presence of an accumulation of organic matter, probably faecal material, at the bottom of the layer.

A moderate increase in the presence of open-dry pollen taxa occurs in several samples from TD6-3 to TD6-1 (Burjachs, 2001; Rodríguez et al., 2011), which coincides with the decline in oligotrophic algae in favour of mesotrophic and other algae forms (Table 1, Fig. 8). The relative dryness outside, identified based on the pollen record, implies a more acute change towards a Mediterranean landscape than in the previous levels. However, the NPP data seem to point to a phase of local humidity inside the cave at least until the top of TD6-3, with the existence of multiple patches in which these kinds of organisms could have proliferated. Also noteworthy is the fact that the amount of rounded charcoal exceeds that of angular microcharcoal in subzone TDA2 (entire level TD6) (Fig. 5). As mentioned earlier, this could be linked to the presence of puddles or some kind of standing water evidenced by the high values of algal remains, and one of the causes of the alteration processes observed.

There are different interpretations regarding the data used for the palaeoclimatic reconstruction of sublevel TD6-2. This unit, considered the earliest base camp known at Atapuerca based on the archaeological remains (Rodríguez et al., 2011), presents a high abundance of *Celtis* seeds, probably consumed by the inhabitants of the cave, and related unequivocally to a Mediterranean climatic context (Blain et al., 2008; Allué et al., 2015). These relatively arid external conditions described by the pollen and microvertebrate data seem to be reflected inside the cave only within TD6-2. It is possible, therefore, that the decrease in the algal palynomorphs was linked to an improvement in the living conditions of the cave, which may have contributed to the stable settlement depicted in this archaeological layer. Even so, herpetofaunal and avian fauna evidence supports the existence of a Mediterranean climate, but with a high proportion of humid and riparian vegetation (Sánchez-Marco, 1999; Blain et al., 2013). Blain and other authors (2013) suggest that this would not be reflected in the vegetation because TD6-2 was formed during a transition phase from cold to warm.

The moist local conditions evidenced by the abundance of microalgae increases again at the bottom of unit TD8, coinciding with the pollen results for this unit, which are characterised by the dominance of mesic trees over Mediterranean taxa. This context suggests a period of increased humidity, which is also reflected in the micro and macrovertebrate fossils (Rodríguez et al., 2011; Cuenca-Bescós et al., 2015). At the threshold from level TD8 to layer TD8-9 a significant change in the faunal assemblages has been detected, which results in the transition from FU5 to FU6 (corresponding to MIS 15 or MIS 16; Moreno-García, 2011). At that time, the Early Pleistocene species disappear, giving way to typical Middle Pleistocene assemblages. In the local microenvironment, the rounded charcoal curve again exceeds the quantity of angular microcharcoal, probably because of aquatic erosion processes associated with a marked abundance of algal remains.

It should be noted that in unit TD8 a peak was documented in the lignicolous fungi concentration, which may be related to the presence of wood decay or root remains inside the cave (Fig. 8). This could be interpreted as evidence of a marked impact on the production of biomass resulting from a considerable change in

vegetation spectrum due to modification of moisture conditions. This would have entailed the proliferation of fungi which play a decisive role in the decomposition of decaying plant remains.

The top of layer TD8 and all of unit TD9 contain a great abundance of coprophilous fungi. By and large, the identification of ascospores of the obligatory dung fungus *Sporormiella*, together with the less stenotopic dung fungi *Cercophora* and *Sordaria*, represents a promising additional proxy for assessing the past presence of large herbivore populations (Davis, 1987; van Geel et al., 2003; Davis and Shafer, 2006; Baker et al., 2013). In the case of unit TD9, the abundance of coprophilous fungi seems to be related to the possible guano accumulation that forms this archaeologically sterile layer (Rodríguez et al., 2011).

The palynological data related to the lower sublevels of unit TD10 (TD10-3 and TD10-4) exhibit a significant increase in grasslands at the expense of Mediterranean species and mesic trees, suggesting more open landscapes. Several erosive sedimentary processes probably occurred in relation to these new drier conditions. This could explain the presence of *Pseudoschizaea* at the top of subunit TD10-3 and *Glomus* sp at TD10-1 (Fig. 8) (van Geel et al., 1989; Pantaleón-Cano et al., 1996; López Sáez and López García, 2003).

Just before these sedimentary changes associated with a drier climate, the microcharcoal particle values of the previous units TD8, TD8-9, TD9 and the base of sublevel TD10-4 exhibit several high peaks that could indicate that fires were frequent, which would also have contributed to the diminishing woodland documented in the pollen analysis (Rodríguez et al., 2011). The palaeoherpetological assemblage documents an increase in dry-terrain small mammals in the post Mid-Bruhnes event units (after 450 ka). This implies less rainfall than in the units below, resulting in the increasing development of open dry environments on the Iberian Peninsula (Blain et al., 2012).

Following this trend towards climate improvement characterised by the recovery of typical Mediterranean elements, which becomes dominant in TD10-1, the pollen results from TD10-2 contain a higher proportion of mesic trees (Rodríguez et al., 2010). In this context, *Botryococcus* was identified (TD10-2, base TD10-1), which indicates the existence of oligotrophic environmental conditions and dry episodes (Guy-Ohlson, 1992), probably related to the Mediterranean summer drought. From TD10-1 to the top, the most notable feature is the increasing concentrations of zoological remains, coprophilous fungi, and other fungal taxa related to organic horizons probably derived from the high degree of anthropic occupation episodes (Rodríguez et al., 2011).

Two relevant occupation events in unit TD10 should also be mentioned. Subunit TD10-2 yielded a large association of faunal remains of a small species of *Bison* sp., and the bottom of subunit TD10-1 (corresponding to GIIIb in Galería) represents a base-camp with an intense anthropic occupation. Nevertheless, it has not been possible to identify any special abundance of NPPs except for a small peak in coprophilous fungi and microcharcoal curves in the samples from TD10-1 (Fig. 8). This poverty of NPP representation is probably related to rapid burial of both assemblages.

5.3. Galería

The Galería macrofaunal and lithic assemblage reflects a sporadic and non-intensive occupation dynamic (Díez and Moreno, 1994; Huguet et al., 2001; Cáceres, 2002; Ollé et al., 2005). The small mammal spectrum from unit GIIa is dominated by open habitat species. Units GIIb and GIII (correlating to TD10-3 and TD10-2) also indicate open landscapes but contain a greater abundance of open-dry habitat species.

Pollen data are scarce and limited to the upper portion of the sequence (García-Antón and Sainz-Ollero, 1991; Rodríguez et al., 2011). The palynological record for GIIIb and the bottom of GIV is dominated by open moist and mesic taxa. The middle zone of unit GIV exhibits alternating steppe and Mediterranean taxa, containing the only evidence of a cold and arid environment in the three sequences studied (García-Antón and Sainz-Ollero, 1991). At the top of unit GIV, Mediterranean species again dominate. The NPP assemblage at these times shows only the presence spores of Pteridophyta, oligotrophic algae and a few coprophilous and other fungal forms (Fig. 9).

The sample from the base of level GIIIa contained the highest taxonomical variability of NPPs identified and the maximum values

of coprophilous and saprophytic fungi. This should be considered as an indication of the existence of accumulations of organic matter due to, among other factors, the presence of hominins or animals inside the cave.

With regard to the relative aridity observed in these units, the highest microcharcoal values were found in the samples related to the transition between level GIIIa and GIIIb (Fig. 8).

Rounded charcoal was also identified in Galería samples. This alteration is essentially restricted to level GIIIa. On this occasion, unlike in Gran Dolina, there is no coincidence between the rounding of microcharcoal particles and the high values of algal palynomorphs. However, the faunal taphonomic data suggests conditions of waterlogged ground and semi-darkness (Cáceres

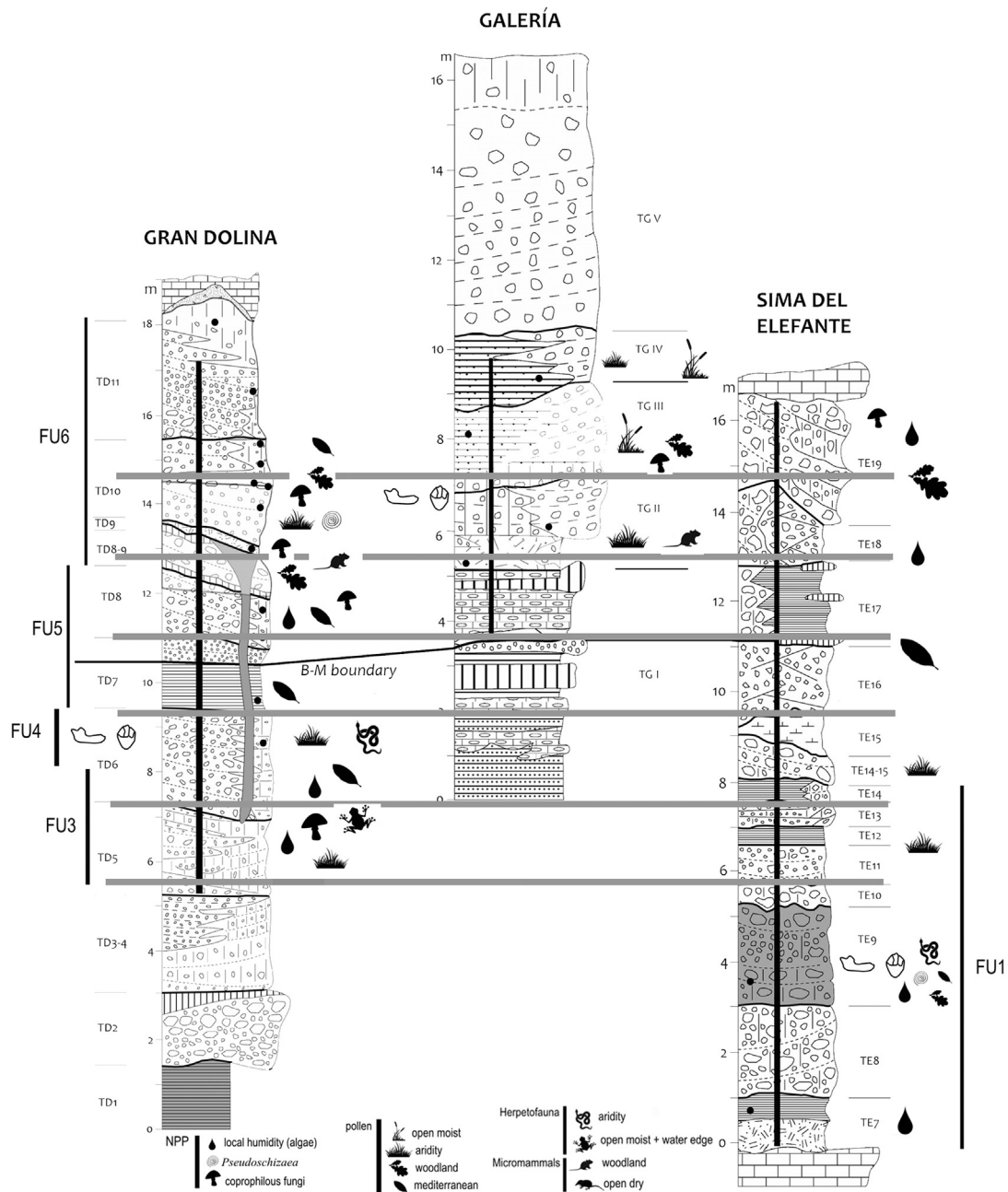


Fig. 10. Synthetic correlation of the chronostratigraphy, micromammals, herpetofauna, pollen and NPP's dates from Gran Dolina, Galería and Sima del Elefante sequences (modified from Falguères et al., 2013 according to Parés and Pérez-González, 1995; Pérez-González et al., 1999; Falguères et al., 1999; Parés et al., 2006; Carbonell et al., 2008; Berger et al., 2008; Arnold and Demuro, 2015). The black lines above the stratigraphy mark the location of the palynological sampling in each of the sequences. The horizontal grey lines represent the correlation between the three sequences according to the main palynological zones identified.

et al., 2010). This would explain not only the charcoal alteration but also the poor preservation of the palynomorphs (above all the upper units GIIIb and GIV) in addition to the infrequent anthropic presence characterised by occasional-planned visits.

6. Conclusions

The study of Non-Pollen Palynomorphs from the three deposits of the Trinchera area revealed diverse pteridophyte spores, algal, fungal and zoological palynomorphs, accompanied by different organic debris (charcoal particles and vegetal remains) occurring in different quantities.

The analysis of NPPs has provided a valuable method for reconstructing the local palaeo-environment. The strength of the correlations between the stratigraphic units and the palynological zones indicates the great environmental potential of these types of microfossils as ecological indicators (Fig. 10).

However, perhaps the most striking result of our work is the lack of clear similarities between the palaeoenvironmental trends identified in the three sequences analysed, which can be explained by the chronological gaps between them (Cuenca-Bescós et al., 2015) and by the mainly local significance of most of the palynomorphs identified. The only clear agreement between the studied sequences is the wet conditions observed in the lower levels of Gran Dolina and Sima del Elefante (zone TEA and zone TDA, respectively) and in TD8 and in units TE17-TE18.

Another important feature that we observed is the overlap of a highly abundant algae assemblage and the microcharcoal rounding alteration. This phenomenon, observed primarily in Sima del Elefante and Gran Dolina, has led us to establish the likely influence of water currents as the decisive factor for the occurrence of the charcoal alteration.

The study of NPPs is just getting started and more research is clearly needed, including experimental studies with modern samples, to obtain an accurate proxy representation and more reliable palaeoecological reconstructions. An approach which studies the association between modern-day NPP assemblages and current environmental conditions and/or taphonomic processes has only recently begun to be explored (Prager et al., 2006; Blackford and Innes, 2006; Medeanic, 2006; Cugny et al., 2010).

Acknowledgments

We are deeply grateful to the Atapuerca research team and the fieldwork participants. This research was supported by two Spanish MICINN projects (CGL2012-38434-C03-03; HAR2013-41197-P) and by the Catalan Government (SGR 2014-899). We are very grateful to Isabel Cáceres for their help with the figures and for her comments that have certainly helped to improve the manuscript. Thanks to Andreu Ollé for the help with the ESEM photographic session. We would like to thank also Jesus Rodríguez, guest editor from this volume and the two anonymous reviewers for their valuable comments that helped improving this manuscript.

References

Aguirre, E., 2001. Dépôts fossilifères du karst de Atapuerca, premiers 20 anys. *L'Anthropologie* 105 (1), 13–26.

Allué, E., Cáceres, I., Expósito, I., Canals, A., Rodríguez, A., Rosell, J., Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E., 2015. *Celtis* remains from the Lower Pleistocene of Gran Dolina, Atapuerca (Burgos, Spain). *Journal of Archaeological Science* 53, 570–577.

Arnold, L.J., Demuro, M., 2015. Insights into TT-OSL signal stability from single-grain analyses of known-age deposits at Atapuerca, Spain. *Quaternary Geochronology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quageo.2015.02.005> (in press), Accepted Manuscript.

Arsuaga, J.L., Gracia, A., Lorenzo, C., Martínez, I., Pérez, P.J., 1999. Resto craneal humano de Galería/Cueva de los Zarpazos (Sierra de Atapuerca). Junta de Castilla y León. In: Carbonell, E., Rosas, A., Díez, J.C. (Eds.), *Atapuerca: Ocupaciones Humanas y Paleoeología del Yacimiento de Galería*. Memorias 7. Consejería de Educación y Cultura, Zamora, pp. 233–236.

Baker, A.G., Bhagwat, S.A., Willis, K.J., 2013. Do dung fungal spores make a good proxy for past distribution of large herbivores? *Quaternary Science Reviews* 62, 21–31.

Bakker, R., van Smeerdijk, D.G., 1981. Een palaeoecologische studie van het Ilperveld over de laatste 5000 jaar. *Interne Rapporten van het Hugo de Vries Laboratorium*. Universiteit Amsterdam, p. 100.

Bakker, R., van Smeerdijk, D.G., 1982. A palaeoecological study of a Late Holocene section from 'Het Ilperveld', W. Netherlands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 36, 95–163.

Benito, A., 2004. Análisis geomorfológico y reconstrucción de paleopaisajes neógenos y cuaternarios en la Sierra de Atapuerca y el valledmedio del río Arlanzón. TPh.D. Thesis. Complutense Univ. Madrid, Spain.

Berger, G.W., Pérez-González, A., Carbonell, E., Arsuaga, J.L., Bermúdez de Castro, J.M., Ku, T.-L., 2008. Luminescence chronology of cave sediments at the Atapuerca paleoanthropological site, Spain. *Journal of Human Evolution* 55, 300–311.

Bermúdez de Castro, J.M., Arsuaga, J.L., Carbonell, E., Rosas, A., Martínez, I., Mosquera, M., 1997. A hominid from the Lower Pleistocene of Atapuerca, Spain: possible ancestor to Neanderthals and modern humans. *Science* 276, 1392–1395.

Bermúdez de Castro, J.M., Pérez-González, A., Martínón-Torres, M., Gómez-Robles, A., Rosell, J., Prado, L., Sarmiento, S., Carbonell, E., 2008. A new early Pleistocene hominin mandible from Atapuerca-TD6, Spain. *Journal of Human Evolution* 55, 729–735.

Bermúdez de Castro, J.M., Martínón-Torres, M., Gómez-Robles, A., Prado-Simón, L., Martín-Francés, L., Lapresa, M., Olejniczak, A., Carbonell, E., 2011. Early Pleistocene human mandible from Sima del Elefante (TE) cave site in Sierra de Atapuerca (Spain): a comparative morphological study. *Journal of Human Evolution* 61, 1–11.

Berrio, J.C., Hooghiemstra, H., van Geel, B., Ludlow-Wiegers, B., 2006. Environmental history of the dry forest biome of Guerrero, Mexico, and human impact during the last c. 2700 years. *The Holocene* 16, 63–80.

Birks, H.J.B., Birks, H.H., 1990. *Quaternary Palaeoecology*. Edward Arnold, London.

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.

Blain, H.-A., Bailon, S., Cuenca-Bescós, G., 2008. The Early-Middle Pleistocene palaeoenvironmental change based on the squamate reptile and amphibian proxies at the Gran Dolina site, Atapuerca, Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 261, 177–192.

Blain, H.-A., Bailon, S., Cuenca-Bescós, G., Bennàsar, M., Rofes, J., López-García, J.M., Huguet, R., Arsuaga, J.L., Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E., 2010. Climate and environment of the earliest West European hominins inferred from the amphibian and squamate reptile assemblages: sima del Elefante Lower Red Unit, Atapuerca, Spain. *Quaternary Science Reviews* 29, 3034–3044.

Blain, H.-A., Cuenca-Bescós, G., Lozano-Fernández, I., López-García, J.M., Ollé, A., Rosell, J., Rodríguez, J., 2012. Investigating the Mid-Brunhes Event in the Spanish terrestrial sequence. *Geology* 40, 1051–1054.

Blain, H.-A., Cuenca-Bescós, G., Burjachs, F., López-García, J.M., Lozano-Fernández, I., Rosell, J., 2013. Early Pleistocene palaeoenvironments at the time of the *Homo antecessor* settlement in the Gran Dolina cave (Atapuerca, Spain). *Journal of Quaternary Science* 28, 311–319.

Burjachs, F., 2001. Paleoeología del *Homo antecessor*: Palinología de las unidades TD5, 6 y 7 de la 'Gran Dolina' de Atapuerca (Burgos, Spain). XIII Simposio de la Asociación de Palinólogos en Lengua Española. (APLE). Libro de textos completos. In: Moreno Grau, S., Elvira Rendueles, B., Moreno Angosto, J.M. (Eds.), Cartagena, Universidad Politécnica de Cartagena. Servicio de Publicaciones, pp. 365–372.

Burjachs, F., López Sáez, J.A., Iriarte, M.J., 2003. Metodología arqueopalinoológica. In: Buxó, R., Piqué, R. (Eds.), *La recogida de muestras en arqueobotánica: objetivos y propuestas metodológicas*. Museu d'Arqueologia de Catalunya, Barcelona, pp. 11–18.

Burney, D.A., Robinson, G.S., Pigott Burney, L., 2003. *Sporormiella* and the late Holocene extinctions in Madagascar. *Proceedings of the National Academies of Sciences* 100, 10800–10805.

Cáceres, I., 2002. Tafonomía de yacimientos antrópicos en karst. Complejo Galería (Sierra de Atapuerca, Burgos), Vanguard Cave (Gibraltar) y Abric Romaní (Capellades) (Doctoral Thesis. Universitat Rovira i Virgili. Departament de Història i Geografia).

Cáceres, I., Huguet, R., Rosell, J., Esteban Nadal, M., Saladié, P., Díez, J.C., Ollé, A., Vallverdú, J., García, P., Carbonell, E., 2010. El yacimiento de Galería (Sierra de Atapuerca, Burgos, España): un enclave para la obtención de recursos cárnicos en el Pleistoceno Medio. 1ª Reunión de científicos sobre cubiles de hiena (y otros grandes carnívoros) en los yacimientos arqueológicos de la Península Ibérica. Zona Arqueológica. Alcalá de Henares 157–165.

Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J.M., Arsuaga, J.L., Díez, J.C., Rosas, A., Cuenca-Bescós, G., Sala, R., Mosquera, M., Rodríguez, X.P., 1995. Lower Pleistocene hominids and artifacts from Atapuerca TD6 (Spain). *Science* 269, 826–830.

Carbonell, E., Esteban, M., Martín Nájera, A., Mosquera, M., Rodríguez, X.P., Ollé, A., Sala, R., Vergés, J.M., Bermúdez de Castro, J.M., Ortega Martínez, A.I., 1999b. The

- Pleistocene site of Gran Dolina, Sierra de Atapuerca, Spain: a history of the archaeological investigations. *Journal of Human Evolution* 37, 313–324.
- Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J.M., Arsuaga, J.L., Allue, E., Bastir, M., Benito, A., Cáceres, I., Canals, T., Díez, J.C., Van der Made, J., Mosquera, M., Ollé, A., Pérez-González, A., Rodríguez, J., Rodríguez, X.P., Rosas, A., Rosell, J., Sala, R., Vallverdú, J., Vergés, J.M., 2005. An Early Pleistocene hominin mandible from Atapuerca-TD6, Spain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102, 5674–5678.
- Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J.M., Parés, J.M., Pérez-González, A., Cuenca-Bescós, G., Olle, A., Mosquera, M., Huguet, R., van der Made, J., Rosas, A., Sala, R., Vallverdú, J., García, N., Granger, D.E., Martínón-Torres, M., Rodríguez, X.P., Stock, G.M., Vergés, J.M., Allué, E., Burjachs, F., Cáceres, I., Canals, A., Benito, A., Díez, C., Lozano, M., Mateos, A., Navazo, M., Rodríguez, J., Rosell, J., Arsuaga, J.L., 2008. The first hominin of Europe. *Nature* 452, 465–470.
- Carrion, J.S., Navarro, C., 2002. Cryptogam spores and other non-pollen microfossils as sources of palaeoecological information: case-studies from Spain. *Annales Botanici Fennici* 39, 1–14.
- Carrion, J.S., Scott, L., Huffman, T., Dreyer, C., 2000. Pollen analysis of Iron Age cow dung in southern Africa. *Vegetation History and Archaeobotany* 9, 239–249.
- Carrion, J.S., Fernández, S., González-Sampériz, P., Gil-Romera, G., Badal, E., Carrión-Marco, Y., López-Merino, L., López-Sáez, J.A., Fierro, E., 2010. Expected trends and surprises in the Lateglacial and Holocene vegetation history of the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 458–475.
- Christopher, R.A., 1976. Morphology and taxonomic status of *Pseudoschizaea* Thiergart and Frantz ex R. Potonie emend. *Micropaleontology* 22 (2), 143–150.
- Clark, J.S., 1988. Particles motion and the theory of charcoal analysis: source area, transport, deposition, and sampling. *Quaternary Research* 30, 67–80.
- Combaz, A., 1964. Les palynofaciès. *Revue de Micropaléontologie* 7 (3), 205–218.
- Cook, E.J., van Geel, B., van der Kaars, S., van Arkel, J., 2011. A review of the use of non-pollen palynomorphs in palaeoecology with examples from Australia. *Palynology* 2, 155–178.
- Cuenca Bescós, G., García, N., 2007. Biostratigraphic succession of the Early and Middle Pleistocene mammal faunas of the Atapuerca cave sites (Burgos, Spain). *Courier Forschungsinstitut Senckenberg* 259, 99–110.
- Cuenca-Bescós, G., Canudo, J.I., Laplana, C., 2001. La séquence des rongeurs (Mammalia) des sites du Pléistocène inférieur et moyen d'Atapuerca (Burgos, Espagne). *L'Anthropologie* 105, 115–130.
- Cuenca-Bescós, G., Rofes, J., López-García, J.M., Blain, H.-A., De Marfà, R., Galindo-Pellicena, M.A., Bennàsar-Serra, M.L.I., Melero-Rubio, M., Arsuaga, J.L., Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E., 2010. Biochronology of Spanish Quaternary small vertebrate faunas. *Quaternary International* 121, 109–119.
- Cuenca-Bescós, G., Rofes, J., López-García, J.M., Blain, H.A., Rabal-Garcés, R., Sauqué, V., Arsuaga, J.L., Bermúdez de Castro, M., Carbonell, E., 2013. The small mammals of Sima del Elefante (Atapuerca, Spain) and the first entrance of Homo in Western Europe. *Quaternary International* 295, 28–35.
- Cuenca-Bescós, G., Blain, H.A., Rofes, J., Lozano-Fernández, I., López-García, J.M., Duval, M., Galán, J., Núñez-Lahuerta, C., 2015. Comparing two different Early Pleistocene microfauna sequences from the caves of Atapuerca, Sierra del Elefante and Gran Dolina (Spain): biochronological implications and significance of the Jaramillo subchron. *Quaternary International*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.12.059>.
- Cugny, C., Mazier, F., Galop, D., 2010. Modern and fossil non-pollen palynomorphs from the Basque mountains (western Pyrenees, France): the use of coprophilous fungi to reconstruct pastoral activity. *Vegetation History and Archaeobotany* 19, 391–408.
- Davis, O.-K., 1987. Spores of the dung fungus *Sporormiella*: increased abundance in historic sediments and before Pleistocene megafaunal extinction. *Quaternary Research* 28, 290–294.
- Davis, O.-K., Shafer, D.S., 2006. *Sporormiella* fungal spores, a palynological means of detecting herbivore density. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 237, 40–50.
- Demuro, M., Arnold, L.J., Parés, J.M., Pérez-González, A., Ortega, A.I., Arsuaga, J.L., Carbonell, E., 2014. New Luminescence Ages for the Galería Complex Archaeological Site: Resolving Chronological Uncertainties on the Acheulean Record of the Sierra de Atapuerca, Northern Spain. *Plos One* 9 (10), 1–24.
- Díez, C., Moreno, V., 1994. El yacimiento Galería (Atapuerca, 768 Burgos): evolución de un 769 espacio en el Pleistoceno Medio. *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y 770 Arqueología* 60, 9–24.
- Diot, M.F., 1991. Le Palynofaciès en Archéologie: Intérêt de son étude. *Revue d'Archéométrie* 15, 54–62.
- Falguères, C., Bahain, J.J., Yokoyama, Y., Arsuaga, J.L., Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E., Bischoff, J.L., Dolo, J.M., 1999. Earliest humans in Europe: the age of TD6 Gran Dolina, Atapuerca, Spain. *Journal of Human Evolution* 33, 343–352.
- Falguères, C., Bahain, J.J., Yokoyama, Y., Bischoff, J.L., Arsuaga, J.L., Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E., Dolo, J.M., 2001. Datations par RPE et U-Th des sites Pleistocènes d'Atapuerca: Sima de los Huesos, Trinchera Dolina et Trinchera Galería. *Bilan géochronologique. L'Anthropologie* 105, 71–81.
- Falguères, C., Bahain, J.J., Bischoff, J.L., Pérez-González, A., Ortega, A.I., Ollé, A., Quiles, A., Ghaleb, B., Moreno, D., Dolo, J.M., Shao, Q.S., Vallverdú, J., Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J.M., Arsuaga, J.L., 2013. Combined ESR/U-series chronology of Acheulean hominid-bearing layers at Trinchera Galería site, Atapuerca, Spain. *Journal of Human Evolution* 65 (2), 168–184.
- Galop, D., López-Sáez, J.A., 2002. Histoire agraire et paléoenvironnement: les apports de la palynologie et des microfossiles non-polliniques. *Trabalhos de Antropologia e Etnologia* 42 (1–2), 161–164.
- García-Antón, M., Sainz-Ollero, H., 1991. Pollen record for the middle Pleistocene Atapuerca site (Burgos, Spain). *Palaeoclimatology, Palaeogeography, Palaeoecology* 85, 199–206.
- Garneau, M.J.M., 1993. Reconstruction paléocéologique d'une tourbière en position littorale sur la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent, Isle-Verte, Québec, Canada. *Academical Thesis. University of Amsterdam*.
- Gauthier, E., Bichet, V., Massa, C., Petit, C., Vanniere, B., Richard, H., 2010. Pollen and non-pollen palynomorph evidence of medieval farming activities in south-western Greenland. *Vegetation History and Archaeobotany* 19, 427–438.
- Gelorini, V., Verbeke, A., van Geel, B., Cocquyt, C., Verschuren, D., 2011. Modern non-pollen palynomorphs from East African lake sediments. *Review of Palaeobotany and Palynology* 164, 143–173.
- Gelorini, V., Semmenda, I., Verschuren, D., 2012. Validation of non-pollen palynomorphs as paleoenvironmental indicators in tropical Africa: Contrasting ~200-year paleolimnological records of climate change and human impact. *Review of Palaeobotany and Palynology* 186, 90–101.
- Gil, E., Hoyos, M., 1987. In: Aguirre, E., Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J.M. (Eds.), *El hombre fósil de Ibeas y el Pleistoceno de la Sierra de Atapuerca. Junta de Castilla y León. Consejería de Cultura y Bienestar Social, Valladolid*, pp. 47–55. Contexto estratigráfico.
- Goeury, C., de Beaulieu, J.L., 1979. À propos de la concentration du pollen à l'aide de la liqueur de Thoulet dans les sédiments minéraux. *Pollen et Spores* 21, 239–251.
- Graf, M.-T., Chmura, G., 2006. Development of modern analogues for natural, mowed and grazed grasslands using pollen assemblages and coprophilous fungi. *Review of Palaeobotany and Palynology* 141, 139–149.
- 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, 13–35.
- Grimm, E.C., 1991–2011. Tilia, Tilia-graph and TGView. Illinois State Museum, Springfield. <http://museum.state.il.us/pub/grimm/tilia/>.
- Grün, R., Aguirre, E., 1987. Datación por ESR y por la serie del U, en los depósitos cársticos de Atapuerca. In: Aguirre, E., Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J.M. (Eds.), *El hombre fósil de Ibeas y el Pleistoceno de la Sierra de Atapuerca. Junta de Castilla y León, Valladolid*, pp. 201–204.
- Guy-Ohlson, D., 1992. *Botryococcus* as an aid to the interpretation of palaeo-environment and depositional processes. *Review of Palaeobotany and Palynology* 71, 1–15.
- Haas, J.N., Hadorn, P., 2010. Fresh insights into the palaeoecological and palaeoclimatological value of Quaternary non-pollen palynomorphs. *Vegetation History and Archaeobotany* 19, 5–6.
- Hawthornth, D.L., 1991. The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation. *Mycological Research* 95, 641–655.
- Hawthornth, D.L., Yip, H.Y., 1981. *Coniochaeta angustispora* sp. nov. from roots in Australia, with a key to the species known in culture. *Australian Journal of Botany* 29, 377–384.
- Hillbrand, M., Hadorn, P., Cugny, C., Hasenfratz, A., Galop, D., Haas, J.N., 2012. The palaeoecological value of Diporotheca rhizophila ascospores (Diporothecaceae, Ascomycota) found in Holocene sediments from Lake Nussbaumersee, Switzerland. *Review of Palaeobotany and Palynology* 186, 62–68.
- Huguet, R., Díez, C., Rosell, J., Cáceres, I., Moreno, M.V., Ibáñez, N., Saladié, P., 2001. Le gisement de Galería (Sierra de Atapuerca, Burgos, Espagne): un modèle archéozoologique de gestion du territoire au Pléistocène. *L'Anthropologie* 105, 237–257.
- Jankovska, V., Komarek, J., 2000. Indicative value of *Pediastrum* and other coccal green algae in palaeoecology. *Folia Geobotanica* 35, 59–82.
- Jarzen, D.M., Elsik, W.C., 1986. Fungal palynomorphs recovered from recent river deposits, Luangwa valley, Zambia. *Palynology* 10, 35–60.
- Jennings, D.H., Lysek, G., 1996. *Fungal Biology: Understanding the Fungal Lifestyle*. Biddles Ltd, Guildford.
- Krug, J.C., Benny, G.L., Keller, H.W., 2004. Coprophilous fungi. In: Mueller, G.M., Bills, G.F., Foster, M.S. (Eds.), *Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods*. Elsevier Academic Press, USA, pp. 467–499.
- Kuhry, P., 1985. Transgression of a raised bog across a coversand ridge originally covered with an oak-lime forest. *Paleoecological study of a Middle Holocene local vegetational succession in the Amtsven (northwest Germany)*. *Review of Palaeobotany and Palynology* 44, 303–353.
- Kuhry, P., 1997. The papaeoecology of a tree bog in western boreal Canada: a study based on microfossils, macrofossils and physico-chemical properties. *Review of Palaeobotany and Palynology* 96, 183–224.
- Ledru, M.P., Ceccantini, G., Gouveia, S.E.M., López-Sáez, J.A., Pessenda, L.C.R., Ribeiro, A.S., 2006. Millennial-scale climatic and vegetation changes in a northern Cerrado (Northeast Brazil) since the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews* 25, 1110–1126.
- Lejju, B.J., Taylor, D., Robertshaw, P., 2005. Late-Holocene environmental variability at Munsu archaeological site, Uganda: a multicore, multiproxy approach. *The Holocene* 15, 1044–1061.
- Limaye, R.B., Kumaran, K.P.N., Nair, K.M., Padmalal, D., 2007. Non-pollen palynomorphs as potential palaeoenvironmental indicators in the Late Quaternary sediments of the west coast of India. *Current Science* 92, 1370–1382.
- López-García, J.M., Blain, H.A., Marfà, R., De García, A., Bennàsar, M., Cuenca-Bescós, G., 2011. Small mammals from the middle Pleistocene layers of the Sima del Elefante (Sierra de Atapuerca Burgos northwestern Spain). *Geologica Acta* 9 (1), 29–43.
- López Sáez, J.A., López García, P., 2003. Pollen Analysis from Early and Middle Holocene Archaeological Sites in the Blue Nile Area, Central Sudan. *Complutum*, 14.

- López-Sáez, J.A., van Geel, B., Farbos-Texier, S., Diot, M.F., 1998. Remarques paléocologiques à propos de quelques palynomorphes non-polliniques provenant de sédiments quaternaires en France. *Revue de Paléobiologie*, Genève 17, 445–459.
- Loublier, I., 1978. Application de l'analyse pollinique à l'étude du paléoenvironnement du remplissage Würmien de la grotte de L'Arbreda (Espagne) (Unpublished Thèse 3^{ème} cycle). Académie de Montpellier. U.S.T.Ls, Montpellier.
- McAndrews, J.H., Turton, C.L., 2010. Fungal spores record Iroquoian and Canadian agriculture in 2nd millennium A.D. sediment of Cawford Lake, Ontario, Canada. *Vegetation History and Archaeobotany* 19, 495–501.
- Medeanic, S., 2006. Freshwater algal palynomorph records from Holocene deposits in the coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology* 141, 83–101.
- Milanesi, C., Vignani, R., Ciampolini, F., Faleri, C., Cattani, L., Moroni, A., Arrighi, S., Scali, M., Tiberi, P., Sensi, E., Wang, W., Cresti, M., 2006. Ultrastructure and DNA sequence analysis of single *Concentricystis* cells from Alta Val Tiberina Holocene sediment. *Journal of Archaeological Science* 33, 1081–1087.
- Miola, A., 2012. Tools for Non-Pollen Palynomorphs (NPPs) analysis: a list of Quaternary NPP types and reference literature in English language (1972–2011). *Review of Palaeobotany and Palynology* 186, 142–161.
- Miola, A., Bondesan, A., Corain, L., Favaretto, S., Mozzi, P., Piovani, S., Sostizzo, I., 2006. Wetlands in the Venetian Po Plain (northeastern Italy) during the Last Glacial Maximum: Interplay between vegetation, hydrology and sedimentary environment. *Review of Palaeobotany and Palynology (Quaternary non-pollen palynomorphs)* 141 (1–2), 53–81.
- Montoya, E., Rull, V., van Geel, B., 2010. Non-pollen palynomorphs from surface sediments along an altitudinal transect of the Venezuelan Andes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 297, 169–183.
- Moreno-García, D., 2011. Datation par ESR de quartz optiquement blanchis (ESR-OB) de la région de Atapuerca (Burgos, Espagne). Application au site préhistorique de Gran Dolina (contexte karstique) et aux systèmes fluviaux quaternaires de l'Arlanzón et de l'Arlanzua (Unpublished Ph.D. Thesis). Universitat Rovira i Virgili and Paris, Muséum National d'Histoire Naturelle, Tarragona.
- Muller, J., 1959. Palynology of recent Orinoco delta and shelf sediments. *Micropaleontology* 5, 1–32.
- Mumbi, C.T., Marchant, R., Hooghiemstra, H., Wooller, M.J., 2008. Late quaternary vegetation reconstruction from the eastern Arc Mountains, Tanzania. *Quaternary Research* 69, 326–341.
- Ollé, A., Huguet, R., 1999. Secuencia arqueostratigráfica del yacimiento de Galería, Atapuerca. In: Carbonell, E., Rosas, A., Díez, C. (Eds.), *Atapuerca: Ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*. Junta de Castilla y León, pp. 55–62.
- Ollé, A., Cáceres, I., Vergés, J.M., 2005. Human occupations at Galeria site (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain) after the technological and taphonomical data. In: Molines, N., Moncel, M.-H., Monnier, J.-L. (Eds.), *Les premiers peuplements en Europe*. Colloque international: Données récentes sur les modalités de peuplement et sur le cadre chronostratigraphique, géologique et paléogéographiques industriels du Paléolithique ancien et moyen en Europe, British Archaeological Series, International Series, S1364. John and Erika Hedges Ltd, Oxford, pp. 269–280.
- Ortega, A.I., Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Martín-Merino, M.A., Pérez-Martínez, R., Parés, J.M., Aramburu, A., Arsuaga, J.L., Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E., 2013. Evolution of multilevel caves in the Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain) and its relation to human occupation. *Geomorphology* 196, 122–137.
- Pals, J.P., van Geel, B., Delfos, A., 1980. Paleocological studies in the Klokkewael bog near Hoogkarspel (Prov. of Noord-Holland). *Review of Palaeobotany and Palynology* 30, 371–418.
- Pantaleón-Cano, J., Pérez-Obiol, R., Yll, E.I., Roure, J.M., 1996. Significado de *Pseudoschizaea* en las secuencias sedimentarias de la vertiente mediterránea de la Península Ibérica e Islas Baleares. In: Ruiz Zapata, B. (Ed.), *Estudios Paleontológicos*. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, pp. 101–105.
- Parés, J.M., Pérez-González, A., 1995. Paleomagnetic age for hominid fossils at Atapuerca Archaeological site, Spain. *Science* 269, 830–832.
- Parés, J.M., Pérez-González, A., 1999. Magnetochronology and stratigraphy at Gran Dolina section, Atapuerca (Burgos, Spain). *Journal of Human Evolution* 37, 325–342.
- Parés, J.M., Pérez-González, A., Rosas, A., Benito, A., Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E., Huguet, R., 2006. Matuyama-age lithic tools in the "Sima del Elefante" site, Atapuerca (N Spain). *Journal of Human Evolution* 50, 163–169.
- Parés, J.M., Arnold, L.J., Duval, M., Demuro, M., Pérez-González, A., Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E., Arsuaga, J.L., 2013. Reassessing the age of Atapuerca-TD6 (Spain): new paleomagnetic results. *Journal of Archaeological Science* 40, 4586–4595.
- Pausas, J.G., 2004. Changes in Fire and Climate in the Eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin). *Climatic Change* 63 (3), 337–350.
- Pérez-González, A., Parés, J.M., Aleixandre, T., Ortega, A.I., Pinilla, A., 1999. Geología y estratigrafía del relleno de Galería de la Sierra de Atapuerca (Burgos). In: Carbonell, E., Rosas, A., Díez, J.C. (Eds.), *Atapuerca: Ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*. Junta de Castilla y León, vol. 7. Consejería de Educación y Cultura, pp. 31–42 (Zamora).
- Pérez-González, A., Parés, J.M., Carbonell, E., Aleixandre, T., Ortega, A.I., Benito, A., Martín Merino, M.A., 2001. Géologie de la Sierra de Atapuerca et stratigraphie des remplissages karstiques de Galería et Dolina (Burgos, Espagne). *L'Anthropologie* 105, 27–43.
- Prager, A., Barthelmes, A., Theuerkauf, M., Joosten, H., 2006. Non-pollen palynomorphs from modern Alder carrs and their potential for interpreting microfossil data from peat. *Review of Palaeobotany and Palynology* 14, 7–31.
- Ralska-Jasiewiczowa, M., van Geel, B., 1992. Early human disturbance of the natural environment recorded in annually laminated sediments of Lake Gościąg, central Poland. *Vegetation History and Archaeobotany* 1, 33–42.
- Rodríguez, J., Burjachs, F., Cuenca Bescós, G., García, N., van der Made, J., Pérez González, A., Blain, H.A., Expósito, I., López García, J.M., García Antón, M., Allué, E., Cáceres, I., Huguet, R., Mosquera, M., Ollé, A., Rosell, J., Parés, J.M., Rodríguez, X.P., Díez, C., Rofes, J., Sala, R., Saladié, P., Vallverdú, J., Bennisar, M., Blasco, R., Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E., 2011. One million years of cultural evolution in a stable environment at Atapuerca. *Quaternary Science Reviews* 30, 1396–1492.
- Rosas, A., Pérez González, A., Carbonell, E., van der Made, J., Sánchez, A., Laplana, C., Cuenca-Bescós, G., Parés, J.M., Huguet, R., 2001. Le gisement pléistocène de la "Sima del Elefante" (Sierra de Atapuerca, Espagne). *L'Anthropologie* 105, 301–312.
- Rosas, A., Huguet, R., Pérez-González, A., Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J.M., Vallverdú, J., van der Made, J., Allué, E., García, N., Martínez-Pérez, R., Sala, R., Saladié, P., Benito, A., Martínez-Maza, C., Bastir, M., Sánchez, A., Parés, J.M., 2006. The "sima del Elefante" cave site at Atapuerca (Spain). *Estudios Geológicos* 62, 327–348.
- Rull, V., Lopez-Saez, J.A., Vegas-Vilarrubia, T., 2008. Contribution of non-pollen palynomorphs to the paleolimnological study of a high-altitude Andean lake (Laguna Verde Alta, Venezuela). *Journal of Paleolimnology* 40, 399–411.
- Sánchez-Marco, A., 1999. Implications of the avifauna for palaeoecology in the early Pleistocene of the Iberian Peninsula. *Journal of Human Evolution* 37, 375–388.
- Schelvis, J., van Geel, B., 1989. A palaeoecological study of the mites (*Acari*) from a Lateglacial deposit at Usselo (The Netherlands). *Boreas* 18, 237–243.
- Scott, L., 1992. Environmental implications and origin of microscopic *Pseudoschizaea* Thiegart and Franz ex R. Potonié emend. in sediments. *Journal of Biogeography* 19, 349–354.
- Swain, A.M., 1973. A history of fire and vegetation in northeastern Minnesota as recorded in lake sediments. *Quaternary Research* 3 (3), 383–390.
- Vallverdú, J., 2002. Micromorfología de las facies sedimentarias de la Sierra de Atapuerca y del nivel J del Abric Romaní. Universitat Rovira i Virgili. Ph.D. Thesis. Rovira i Virgili Univ., Tarragona, Spain.
- van der Wiel, A.M., 1982. A palaeoecological study of a section from the foot of Hazendonk (Zuid-Holland), based on the analysis of pollen, spores and macroscopic remains. *Review of Palaeobotany and Palynology* 38, 35–90.
- van Geel, B., 1978. A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and The Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macroscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. *Review of Palaeobotany and Palynology* 25, 1–120.
- van Geel, B., 2001. Non-pollen palynomorphs. In: 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, Dordrecht, pp. 99–119.
- van Geel, B., 2006. Quaternary non-pollen palynomorphs. *Review of Palaeobotany and Palynology* 141 (1–2).
- van Geel, B., Andersen, S.Th., 1988. Fossil ascospores of the parasitic fungus *Ustilina deusta* in Eemian deposits in Denmark. *Review of Palaeobotany and Palynology* 56, 89–93.
- van Geel, B., Aptroot, A., 2006. Fossil ascomycetes in Quaternary deposits. *Nova Hedwigia* 82, 313–329.
- van Geel, B., Bohncke, S.J.P., Dee, H., 1981. A palaeoecological study of an upper late Glacial and holocene sequence from "De Borchert", The Netherlands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 31, 367–448.
- van Geel, B., Hallewas, D.P., Pals, J.P., 1983. A Late Holocene deposit under the Westfriese Zeedijk near Enkhuizen (Prov. of N-Holland, The Netherlands): palaeoecological and archaeological aspects. *Review of Palaeobotany and Palynology* 38, 269–335.
- van Geel, B., Klink, A.G., Pals, J.P., Wieggers, J., 1986. An Upper Eemian lake deposit from Twente, eastern Netherlands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 47, 31–61.
- van Geel, B., Coope, G.R., van der Hammen, T., 1989. Palaeoecology and stratigraphy of the Lateglacial type section at Usselo (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology* 60, 25–129.
- van Geel, B., Buurman, J., Brinkkemper, O., Schelvis, J., Aptroot, A., van Reenen, G., Hakhijl, T., 2003. Environmental reconstruction of a Roman Period settlement site in Uitgeest (The Netherlands), with special reference to coprophilous fungi. *Journal of Archaeological Science* 30, 873–883.
- van Geel, B., Zazula, G.D., Schweger, C.E., 2007. Spores of coprophilous fungi from under the Dawson tephra (25,300 14C years BP), Yukon Territory, northwestern Canada. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 252, 481–485.
- van Geel, B., Aptroot, A., Baittinger, C., Birks, H.H., Bull, I.D., Cross, H.B., Evershed, R.P., Gravendeel, B., Kompanje, E.J.O., Kuperus, P., Mol, D., Nierop, K.G.J., Pals, J.P., Tikhonov, A.N., van Reenen, G., van Tienederen, P.H., 2008. The ecological implications of a Yakutian mammoth's last meal. *Quaternary Research* 69, 361–376.

- van Geel, B., Gelorini, V., Lyaruu, A., Aptroot, A., Rucina, S., Marchant, R., Sinninghe Damsté, J.S., Verschuren, D., 2011. Diversity and ecology of tropical African fungal spores from a 25,000-year palaeoenvironmental record in southeastern Kenya. *Review of Palaeobotany and Palynology* 164, 174–190.
- van Geel, B., Engels, S., Martín-Puertas, C., Brauer, A., 2013. Ascospores of the parasitic fungus *Kretzschmaria deusta* as rainstorm indicators during a late Holocene beech-forest phase around lake Meerfelder Maar, Germany. *Journal of Paleolimnology* 50 (1), 33–40.
- van Hofwegen, G., 1983. De laat glaciële sectie "lattroperstraat I" Denekamp; een palynologisch onderzoek. *Interne rapporten van het Hugo de Vries Laboratorium. Universiteit Amsterdam* 158.
- van Smeerdijk, D., 1989. A paleoecological and a chemical study of a peat profile from the Assendelver polder (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology* 58, 231–288.
- Zazo, C., Goy, J.L., Hoyos, M., 1983. Estudio geomorfológico de los alrededores de la Sierra de Atapuerca. *Estudios Geológicos* 39, 179–185.
- Zong, Y., Chen, Z., Innes, J.B., Chen, C., Wang, Z., Wang, H., 2007. Fire and flood management of coastal swamp enabled first rice paddy cultivation in east China. *Nature* 449, 459–462.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE
ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea

6 PARTÍCULAS MICROSCÓPICAS de CARBÓN

Donde hubo fuego

6.1 Introducción

La importancia del fuego en la formación de suelos, la configuración del paisaje y la conservación de la biodiversidad en el ámbito mediterráneo es indudable. Esta área geográfica, localizada en la transición entre la zona climática templada y la tropical seca, está dominada por el clima mediterráneo, caracterizado por veranos secos y cálidos, que provocan un estrés hídrico muy importante y que afectan significativamente a las especies y ecosistemas propios del lugar. Además de las sequías estivales y la fuerza del viento, el clima mediterráneo se caracteriza por la sucesión de eventos impredecibles que se

traducen en variaciones anuales muy significativas en lo referente a la pluviometría o a los eventos de altas temperaturas. Así, la incidencia del fuego en la región mediterránea ha estado siempre ligada a las peculiaridades climáticas que influyen de manera drástica en la frecuencia e intensidad de los incendios (Guglietta *et al.*, 2011).

Todas estas peculiaridades inciden del mismo modo en las características de la vegetación de esta área, que se desarrolla bajo los condicionamientos del clima y la topografía, pero también modelada por la acción

antrópica. De hecho, los grupos humanos han propiciado la alteración sistemática del paisaje mediterráneo ya desde el inicio del Holoceno medio, a causa del desarrollo de la ganadería y la agricultura intensivas, y han usado el fuego tradicionalmente para despejar y ocupar grandes extensiones de bosque.

La influencia del fuego en el cambio del medio vegetal en los ecosistemas mediterráneos, como en otros biomas, deben entenderse de manera global considerando los diferentes factores que configurarán el comportamiento del fuego, como el tipo de combustible disponible, la recurrencia, la estacionalidad de los incendios, la intensidad de los episodios, la severidad, el tipo de incendio y el tamaño del área afectada (Keeley, 2009; Karavani *et al.*, 2018) (Fig. 6.1).

alta intensidad. Los taxones típicos de este bioma han desarrollado estrategias que han permitido sobrevivir a la acción del fuego a especies y poblaciones vegetales (Keeley *et al.*, 2012). De hecho, una de las características fundamentales del ecosistema mediterráneo es la tendencia a la regeneración de las comunidades vegetales tras la acción del fuego en un período de tiempo relativamente corto (Trabaud, 2002). En estas fases, aunque la reconstitución del paisaje no es total, la recuperación escalonada de la vegetación conduce al restablecimiento de la estructura original del ecosistema en el transcurso de unos pocos años. Sin embargo, el alto grado de antropización del paisaje mediterráneo, hace que considerar estas tendencias como un retorno a un paisaje originario sea una entelequia (Hanes, 1971). De hecho, la

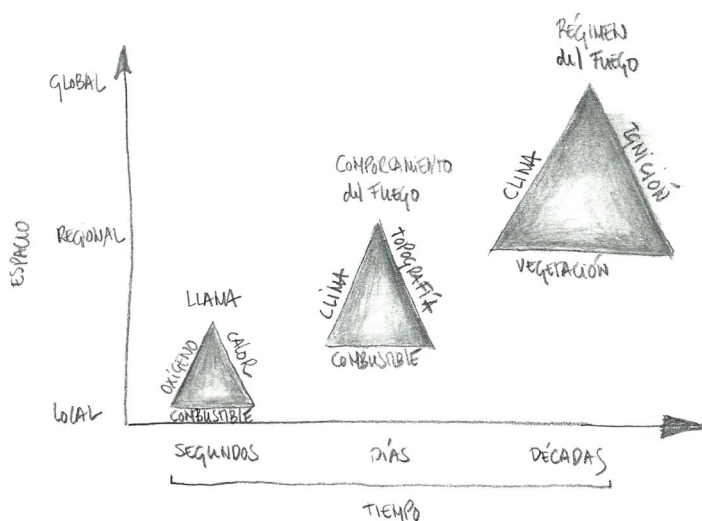


Figura 6.1. Esquema de los principales factores condicionantes del régimen de incendios en diferentes escalas de envergadura y tiempo (Dibujo: I.E.B. Adaptado de Moritz *et al.*, 2005).

En el entorno mediterráneo, los incendios son superficiales, de baja intensidad o afectan únicamente a la parte superior de la vegetación de porte arbóreo en los fuegos de

complejidad de este tipo de ecosistemas, potenciada por la incidencia del fuego y la intensificación de la actividad antrópica, se nutre de lo que se han denominado

perturbaciones intermedias (Connell, 1978), que contribuyen al mantenimiento del ecosistema y favorecen el incremento de su diversidad. Estas perturbaciones surgen en un contexto de *ecotonía*, que implica el contacto e interacción de ecosistemas distintos que se han creado a partir de las oscilaciones estacionales (Díaz Pineda *et al.*, 2002).

De todos modos, la reiteración de los episodios de incendio, favorecida por la omnipresente sequía estival, implica la eliminación progresiva de los elementos menos resistentes a estas perturbaciones cíclicas. La vegetación típica del ámbito mediterráneo es, pues, en gran parte el resultado de la selección impuesta por los incendios periódicos y contiene los elementos más resistentes y adaptados a la incidencia del fuego y a la variabilidad climática intrínseca de este contexto climático.

6.2 La aproximación arqueobotánica

Como ya hemos dicho, los incendios han sido esenciales en lo referente a la conformación del paisaje mediterráneo. En ese largo proceso de modelado, la interacción entre el origen cultural o natural de los incendios ha estado siempre presente en la relación del fuego con el medio natural (Pausas, 2004; Bowman *et al.*, 2011).

En una extremadamente prolongada historia de ocupación humana, las primeras evidencias de fuego de origen antrópico en la cuenca mediterránea se han identificado hace, aproximadamente, no más de unos 800-600 ka en Cueva Negra del Estrecho del Río Quípar (Murcia, España) (Walker *et al.*, 2016) y Gesher Benot Ya'aqov (Israel) (Goren-Inbar

et al., 2004; Alpers-Afil y Goren-Inbar, 2010).

Mucho más adelante, en torno a los 8000 BP, se documenta el inicio de las prácticas agrícolas, que se habrán extendido por todo el territorio ya hacia 6000 BP (Marinova *et al.*, 2012; Bocquet-Appel *et al.*, 2009). A partir de este momento, con la intensificación de la interacción de los grupos humanos en el paisaje, se hace extremadamente difícil aislar la dinámica de los incendios forestales de origen natural de la historia del fuego de origen antropogénico.

Junto con otras técnicas analíticas, como la pedoantracología o el estudio de los isótopos de plomo y metales pesados presentes en turberas, el estudio de los carbones sedimentarios tiene como objetivo conocer la incidencia de los incendios forestales naturales a lo largo del tiempo, así como el papel desempeñado por el fuego en la formación de la cubierta vegetal de cada uno de los segmentos temporales estudiados.

De manera indirecta, los datos derivados del análisis polínico tradicional han contribuido a dilucidar la existencia de incendios de origen natural o antrópico. De hecho, la identificación del descenso del polen arbóreo, además del establecimiento de formaciones arbustivas de carácter pirófilo (Cistaceae, *Asphodelus*, Ericaceae, etc.), se han señalado como signos evidentes de la existencia de niveles de incendio (Riera, 1995; van der Knaap y van Leeuwen, 1995; Galop, 1998; Davis *et al.*, 2003). A pesar de esto, las conclusiones derivadas del cambio en el espectro polínico no dejan de ser deductivas. Sin embargo, la presencia de micropartículas carbonosas en las láminas palinológicas y su cuantificación suponen una aproximación más

directa al origen, dinámica y evolución de los episodios de incendio natural o antrópico, detectados en las secuencias estudiadas.

Y es aquí donde la palinología cruza su camino con la disciplina antracológica. En antracología existen dos subcampos: la arqueoantracología, donde las muestras estudiadas responden a la selección de especies vinculadas a usos humanos, y la pedoantracología, basada en el estudio, cuantificación y datación de elementos vegetales carbonizados recuperados de paleosuelos o depósitos de origen sedimentario natural, no antrópico (Thinon, 1978; Di Pasquale *et al.*, 2008). La identificación de las especies en combinación con los datos polínicos permite, a partir del análisis del carbón presente en paleosuelos, discriminar las perturbaciones locales de la estructura de la vegetación causadas por la incidencia del fuego, de las de carácter regional.

Precisamente dentro de la pedoantracología se enmarcaría el estudio de las partículas microscópicas de carbón. Como ya hemos remarcado, el estudio de los microcarbones que aparecen en las láminas palinológicas ofrece una información complementaria a la reconstrucción paleoambiental de la vegetación basada únicamente en los registros de polen (Thinon, 1978; Di Pasquale *et al.*, 2008). Además, la cuantificación de microcarbones en secuencias pertenecientes a contextos arqueológicos permite evaluar la posible presencia de fuego cuando los hogares no han podido ser localizados o los macrocarbones no se han preservado (Lebreton *et al.*, 2018).

Cabe señalar que este tipo de análisis debe contemplar diversas cuestiones que pueden resultar decisivas en lo referente a la

interpretación de los resultados obtenidos. Entre ellas debemos considerar las características de la combustión, la distinta producción de carbón de los diferentes taxones, los procesos tafonómicos que podrían afectar al material, así como la dispersión, depósito o preservación de los microcarbones (Patterson *et al.*, 1987).

6.3 Antecedentes

La cuantificación de partículas carbonosas ha sido habitual en los estudios palinológicos desde que Iversen (1941) reconociera su utilidad como indicador de procesos de combustión de naturaleza natural o antrópica en los registros fósiles. Se ha empleado fundamentalmente para el estudio de los regímenes de fuegos pretéritos, aunque los picos en la representación de micropartículas de carbón también son unos buenos indicadores de la existencia de la aridez ambiental que favorece la proliferación de incendios forestales naturales (Daniau *et al.*, 2007; Vannièrè *et al.*, 2008; Vannièrè *et al.*, 2011).

Las concentraciones de microcarbón, usualmente asociadas a los paleofuegos, pueden, por tanto, mostrar también la correlación entre el clima y las dinámicas de vegetación en sedimentos cuaternarios de diferentes rangos cronológicos (Fig. 6.2) (Pausas, 2004; Power *et al.*, 2008; Marlon *et al.*, 2008; Vannièrè *et al.*, 2008; Brubaker *et al.*, 2009).

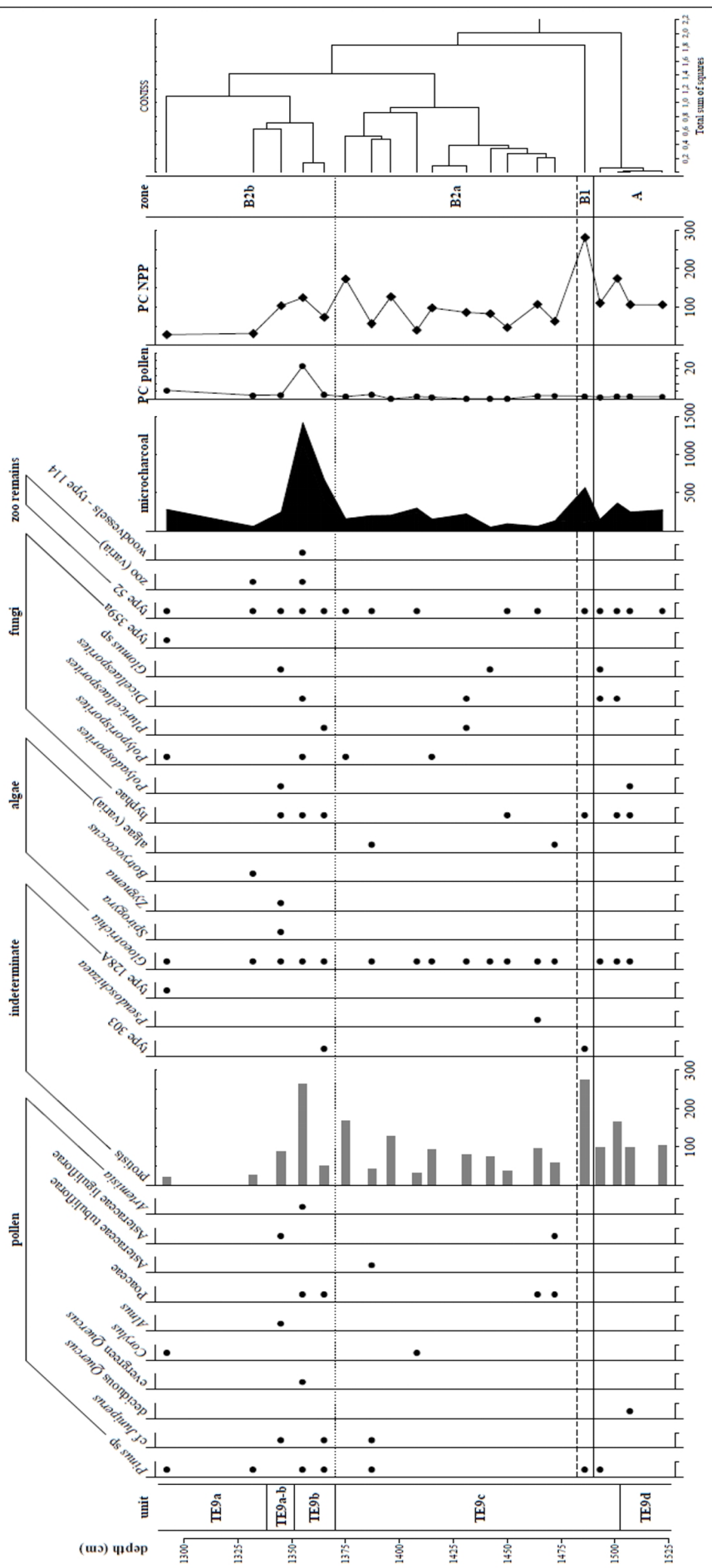


Figura 6.2. Diagrama palinológico de la secuencia del depósito arqueológico de la Sima del Elefante (Sierra de Atapuerca, Burgos) que incluye la curva de representación de la concentración de partículas de microcarbón presentes en las láminas palinológicas.

6.4 Origen, dispersión y conservación

El carbón es el resultado de la combustión incompleta de los restos vegetales. Los microcarbones pueden ser el resultado directo de la combustión u originarse a partir de la fragmentación del carbón durante su transporte o deposición (Patterson *et al.*, 1987). Aunque no pueden usarse para acometer identificaciones taxonómicas debido a su tamaño, su presencia habitual en las láminas palinológicas convierte a las micropartículas de carbón en un buen indicador en lo que hace referencia a la proliferación de incendios forestales en el ámbito local, regional y extrarregional (Asselin y Payette, 2005; Finsinger y Tinner, 2005; Tinner *et al.*, 1998).

Los microcarbones producidos en incendios forestales naturales pueden ser transportados por el aire o las nubes de humo (Patterson *et al.*, 1987; Clark, 1988a; Peters e Higuera, 2007). Los factores condicionantes de la dispersión de las partículas de carbón son el tamaño de la partícula, la velocidad o dirección del viento y la altura de inyección, que está relacionada con la altura sobre el suelo desde la cual una partícula cae gracias a la fuerza de gravedad y el viento (Clark, 1988a; Peters e Higuera, 2007).

Así, las acumulaciones de microcarbones pueden responder tanto a fuegos que se han producido en el ámbito estrictamente local, como reflejar la biomasa quemada a decenas de kilómetros de distancia de los lugares muestreados (Marlon *et al.*, 2006; Higuera *et al.*, 2007) (Fig. 6.3). Cabe señalar, de todos modos, que este *proxy* está sujeto a variaciones regionales y que su preservación, como ya hemos dicho, se ve influenciada por las condiciones del suelo y otros factores.

El hecho de que el carbón sea relativamente inerte facilita su conservación en el registro fósil (Scott, 2010) aunque en su conservación influyen factores físicos o químicos (Scott, 2010; Scott y Damblon, 2010; Braadbaart *et al.*, 2009; Ascough *et al.*, 2010). Así, los carbones formados en temperaturas bajas son más frágiles, desintegrándose más fácilmente, y el pH del suelo es decisivo en términos de conservación (Braadbaart *et al.*, 2009), que también se ve condicionada por la oxidación química (Ascough *et al.*, 2010).

Las partículas carbonosas pueden dividirse según su tamaño en microcarbones (<180 μm), mesocarbones (entre 180 μm - 1 mm) y macrocarbones (>1 mm) (Lindskoug, 2014). Tanto los macrocarbones como los mesocarbones sí pueden usarse para acometer la identificación taxonómica antracológica.

La interpretación de la presencia de microcarbones está basada en los procesos de producción, dispersión y deposición de este tipo de partículas. El tamaño de las partículas de carbón se considera un rasgo diagnóstico en lo referente a determinar la proximidad del foco de incendio.

De hecho, Clark (1988a) estableció los criterios para la discriminación en el transporte y sedimentación de partículas carbonosas en depósitos lacustres en base al comportamiento aerodinámico de los microcarbones de diferente tamaño.

- Las partículas de 5 a 10 μm de diámetro responden a una distribución regional, subcontinental y global, incluso cuando están suspendidas a pocos metros de altitud.
- Las partículas de unas 20 μm se dispersan entre 15 y 20 km en

corrientes convectivas típicas (de 1 a 5 km de altitud) de fuegos de considerable tamaño.

- Las partículas de unos 200 μm pueden llegar a estar suspendidas en el aire, pero su dispersión es muy reducida. Se estima que en corrientes convectivas de 1.000 m se produciría una dispersión menor a 10 km.

menor intensidad con corrientes convectivas de menor altitud (10-100 m), la dispersión de estos microcarbones cubriría distancias más reducidas, con distancias máximas en torno a 1 km en el caso de las partículas de $\geq 20 \mu\text{m}$.

La reconstrucción de las dinámicas del fuego necesita del conocimiento acerca de los procesos que afectan a los incendios forestales, la ignición, su propagación y la consecuente

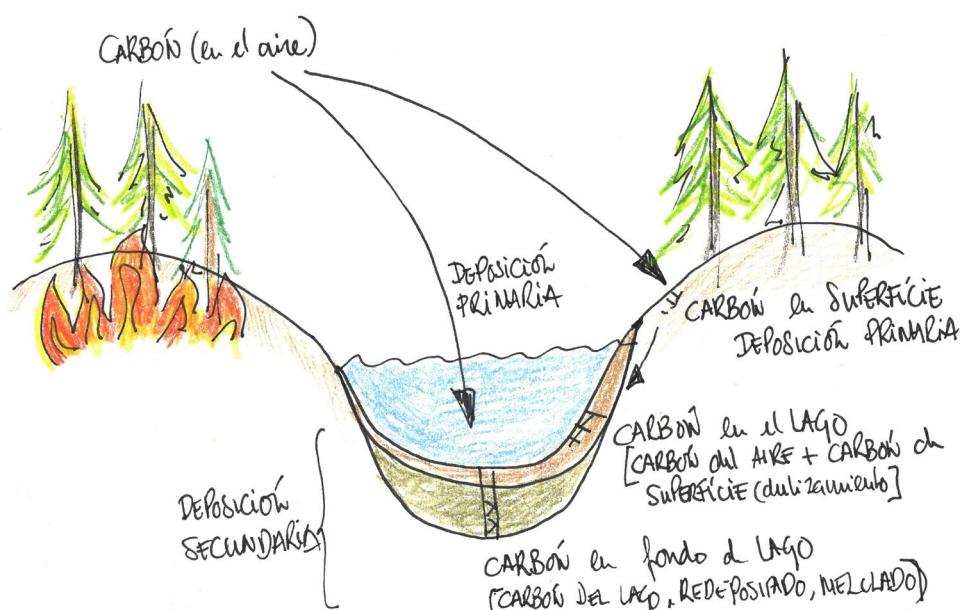


Figura 6.3. Dinámica de la dispersión y la deposición primaria y secundaria de las partículas de carbón producidas por un incendio forestal.

En resumen, se considera que los carbones de mayor tamaño responden a fuegos locales e indican la proximidad del fuego. Los de menor tamaño se asocian a fuegos regionales, en los que el foco de incendio está más alejado del punto de muestreo (Patterson *et al.*, 1987; Clark 1988a, 1988b).

Por tanto, y siguiendo estos criterios, el carbón presente en las láminas palinológicas (menor de $<180 \mu\text{m}$) tendría un carácter regional (8-30 km) en fuegos de elevada intensidad, aunque si se produjesen fuegos de

acumulación de carbón producida. Recientemente se han llevado a cabo diversos trabajos encaminados a la identificación de las claves de la dispersión del carbón en la atmósfera, así como de los procesos tafonómicos que intervienen en su deposición y conservación (Carcaillet *et al.*, 2001; Lynch *et al.*, 2004; Higuera *et al.*, 2007).

La interpretación del registro de carbón sedimentario parte de tres presupuestos básicos:

-El carbón macroscópico se deposita en las proximidades del fuego de origen. Por tanto, los valores asociados a la presencia de carbones de mayor tamaño indica la existencia de fuegos de tipo local, entendiendo “local” como una escala espacial de hasta unos cientos de metros (Clark, 1989; Lynch *et al.*, 2004; Higuera *et al.*, 2007).

- La deposición secundaria de carbón en fondos de lago, por ejemplo, no se antepone a los patrones de deposición primarios, que son los que definen la señal dominante en las características de los conjuntos de carbón analizados (Higuera *et al.*, 2007).

- Se asume que la deposición sedimentaria de carbón, así como el muestreo proporcionan una resolución temporal adecuada para detectar la ocurrencia de incendios locales (Whitlock y Larsen, 2002).

Aunque, como ya hemos dicho, son muchos los aspectos a considerar cuando se trata de conocer las dinámicas de incendio de una determinada área, el estudio de microcarbones en paleosecuencias permite la cuantificación de algunos de los condicionantes del régimen de los incendios acontecidos en el pasado. Así, es posible determinar la presencia/ausencia de episodios de incendio, el área posiblemente quemada por unidad de tiempo, la frecuencia de incendios por año y el intervalo en el que se produjeron dichos incendios, ya sea en base a su rotación o ciclicidad (Higuera *et al.*, 2009).

6.5 Metodología de análisis

Normalmente los estudios de micropartículas de carbón se llevan a cabo en sedimentos lacustres o turbosos, debido a su mayor resolución a causa de la deposición cíclica de

sus sedimentos. Aun así, la aplicación a otro tipo de contextos se acomete con frecuencia.

Existe una gran diversidad de **técnicas de extracción y análisis**: Láminas petrográficas (Clark, 1988b), el *Oregon Sieving Technique* (Millsbaugh y Whitlock, 1995), el procesamiento de blanqueo y filtrado (Rhodes, 1998; Talon *et al.*, 1998), la separación por densidad (Clark, 1984), la separación por densidad y blanqueo (Turner, 2007; Turner *et al.*, 2008), la flotación en sondeos destinados a la datación AMS (Carcaillet y Thion, 1996), otras técnicas de flotación y filtrado (Lindskoug, 2010, 2014; Lindskoug y Marconetto, 2014) y los preparados palinológicos (Whitlock y Millsbaugh, 1996). Esta última es la técnica más comúnmente usada e implica el análisis de palinológicos y el conteo de microcarbones simultáneo. Las limitaciones de este método están relacionadas con la eliminación de los fragmentos mayores de 180 μm y con la posible fragmentación por causas mecánicas o químicas de los microcarbones, derivada de la alteración producida por el proceso de extracción (Clark, 1984).

Los criterios de **identificación microscópica** comúnmente establecidos implican que deben observarse al menos dos de los siguientes rasgos (Fig. 6.4) (Turner *et al.*, 2008):

- Color negro.
- Bordes angulares y rectos.
- Bordes rectos, difusos.
- Tonalidad azulada.
- Presencia de estructura celular carbonizada.

La **cuantificación** también puede realizarse en base a diversas metodologías de medición:

-Medición de Abundancia Absoluta. Esta aproximación metodológica implica el conteo del total de las partículas de carbón presentes en la preparación microscópica (Lindsoug, 2014; Lindsoug y Marconetto, 2014).

-Conteo de Puntos. Se emplea una gradilla aplicada al microscopio y se cuentan unos 11 puntos estandarizados. Este método fue desarrollado por Clark (1982).

-Medición de Área. Cálculo del porcentaje del área que ocupan las partículas en el preparado. Tiene la ventaja de incorporar la discriminación de carbones de diferente tamaño (Waddington, 1969).

-Análisis mediante software de imagen (Image Analysis Software). Aplicado por Macdonald (Macdonald *et al.*, 1991) y Horn (Horn *et al.*, 1992), entre otros autores, la limitación más evidente de este tipo de análisis, es que el software analiza conteos en base al color, no discrimina el material. Esto puede contribuir a que se incluyan por error partículas de *debris* vegetal o materia orgánica diversa en el conteo (Fig. 6.5).

Existen numerosos métodos para identificar los episodios de incendio a partir de la cuantificación de micropartículas de carbón

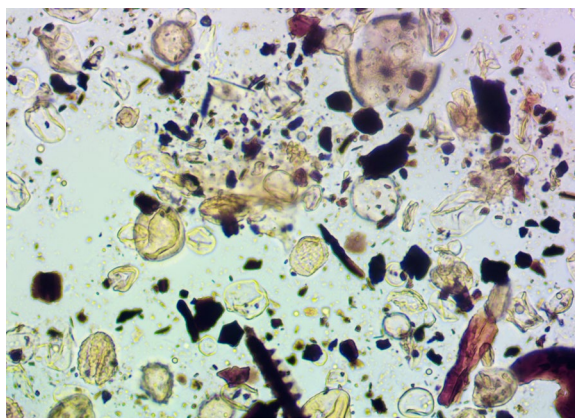


Figura 6.4. Imagen que muestra el aspecto de las partículas de microcarbón en una lámina palinológica convencional.

(Clark, 1990; Tinner *et al.*, 1998; Whitlock y Larsen, 2002). En los últimos años se han ido imponiendo las aproximaciones estadísticas como la que se aplica en la publicación que completa este apartado. El objetivo fundamental de estas modelizaciones es la validación estadística de los datos que provienen del conteo tradicional de microcarbones para la identificación específica de picos de incendio y la obtención de un registro de micropartículas de carbón de alta resolución. En el caso de la publicación que presentamos al final de este capítulo, la normalización de los valores de carbón se ha realizado a partir de la aplicación del programa CharAnalysis (versión 1.1, Higuera *et al.*, 2009).

Esta aproximación metodológica implica que, para identificar episodios de incendio de carácter local, los valores obtenidos del conteo de micropartículas de carbón se interpolan a partir de las curvas de edad disponibles y se descomponen para eliminar las tendencias de baja frecuencia (*background*), con el objetivo de aislar las señales de alta frecuencia (*peak*). El *background* es el componente del registro de partículas de microcarbón que procede de fuegos de larga distancia o de partículas de

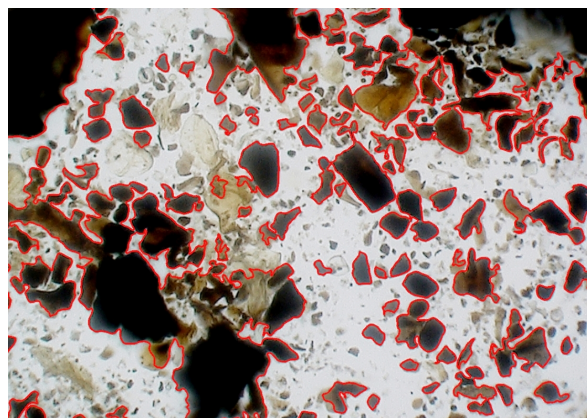


Figura 6.5. Imagen obtenida a partir de la selección de color de las partículas de microcarbón en un microscopio digital (HIROX-8700).

carbón re sedimentadas, con lo que no guarda relación con los eventos de incendio de tipo local. El *peak component* es el resultado de eliminar el *background* del total de carbón extrapolado y refleja las señales de la proliferación de incendios locales (Fig. 6.6) (Higuera *et al.*, 2010; Higuera *et al.*, 2011; Kelly *et al.*, 2011).

6.6 Aplicación

El objetivo principal del análisis de las ocho secuencias naturales incluidas en este trabajo es ahondar en el conocimiento acerca de la interacción entre el régimen de incendios holoceno, las condiciones climáticas, las dinámicas de la vegetación y la influencia de la acción antrópica. También se ha intentado, en la medida de lo posible, deducir ciclicidades en los episodios de incendio identificados en cada uno de los testigos sedimentarios analizados.

Como ya hemos comentado, todos los depósitos incluidos en este trabajo proceden de lo que denominamos secuencias naturales. La razón por la cual se han escogido depósitos de marismas litorales y secuencias paleolacustres para este análisis, es que se perseguía aislar la señal aportada por el carbón microscópico directamente vinculado con el aporte antrópico, precisamente con la intención de validar el método de conteo y su posible aplicación a depósitos antropogénicos, ya contengan o no evidencias de fuego de origen antrópico.

Por otro lado, las curvas obtenidas a partir de la cuantificación de microcarbones se han confrontado, en cada una de las secuencias, con la evolución en la representación del polen arbóreo y del grupo de taxones pirófilos, asociados con la colonización vegetal de las áreas deforestadas por los incendios forestales. Esto ha permitido describir la dinámica de la incidencia del fuego, la característica

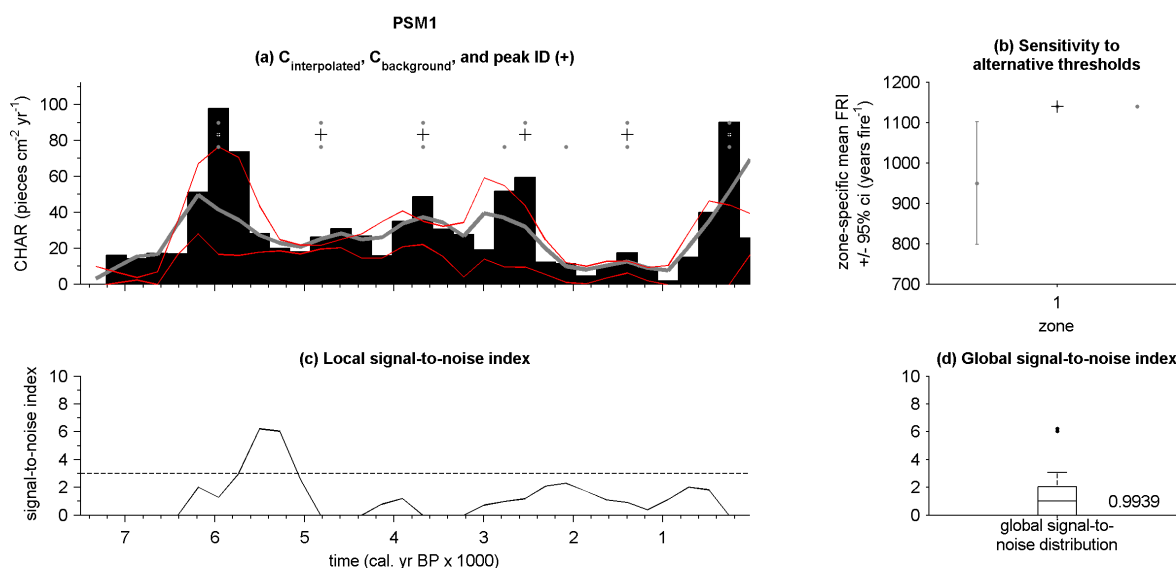


Figura 6.6. Gráfico generado a partir del programa informático CharAnalysis en el que se muestra la correlación de los valores de partículas de carbón interpolado (*C_{interpolated}*) y *background* (*C_{background}*), los umbrales de ruido (*C_{noise}*), y los picos de incendio identificados (*C_{peak}*).

resiliencia del paisaje mediterráneo, así como su capacidad de regeneración.

Del mismo modo, la evolución de los incendios, su ciclicidad y la sucesión de las etapas de recuperación de la vegetación se han confrontado con las curvas climáticas existentes para este período, con la intención de comprobar la correlación con los *Bond events* (Bond *et al.*, 1997), así como para dilucidar la posible influencia antrópica en algunos de estos fenómenos. De hecho, se ha documentado que la capacidad del medio vegetal de superar las crisis, provocadas en parte por la proliferación de incendios, se ve mermada después del evento *Bond 4.2*, a causa del aumento de la aridez y la presión antrópica.

Aunque es evidente que la cuantificación de carbón en las preparaciones de tipo polínico no permite, en muchas ocasiones, afinar en

este tipo de extrapolaciones estadísticas, fundamentalmente a causa de la falta de resolución en el muestreo, queríamos comparar los resultados del estudio palinológico convencional con la extrapolación estadística aplicada en base a CharAnalysis. Este planteamiento ha aportado resultados interesantes que, en general, establecen que las curvas obtenidas por una y otra metodología de análisis son similares, esencialmente en lo referente a la detección de los episodios de incendio locales y al registro de partículas de carbón asociado con episodios de alta frecuencia. Los resultados obtenidos también han contribuido a ratificar que los períodos de mayor intensidad en los incendios forestales naturales documentados son prácticamente los mismos que los observados en el resto de las secuencias palinológicas ya estudiadas para el Noreste de la Península Ibérica.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE
ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea

Burjachs, F. y Expósito, I. (2015). Charcoal and pollen analysis: Examples of Holocene fire dynamics in Mediterranean Iberian Peninsula. Catena 135, 340-349.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE
ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea



Contents lists available at ScienceDirect

Catena

journal homepage: www.elsevier.com/locate/catena



Charcoal and pollen analysis: Examples of Holocene fire dynamics in Mediterranean Iberian Peninsula



Francesc Burjachs^{a,b,c,*}, Isabel Expósito^{b,c,*}

^a ICREA, Barcelona, Catalonia, Spain

^b IPHES, Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social, C/ Marçel·lí Domingo, W3, E-43007 Tarragona, Catalonia, Spain

^c URV, Universitat Rovira i Virgili, Facultat de Lletres, Avinguda Catalunya, 35, E-43002 Tarragona, Catalonia, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 18 May 2014

Received in revised form 7 October 2014

Accepted 10 October 2014

Available online 23 October 2014

Keywords:

Microscopic charcoal

Pollen analysis

Fire ecology

Drought

Holocene

Mediterranean Iberia

ABSTRACT

The present study focuses on charcoal particles (a component of vegetal ashes, Bodí et al., 2014) counted during palynological analysis. The absolute frequencies of this microcharcoal have been correlated with pollen percentages of resprouts, mesic trees, *Pinus* or AP (arboreal pollen), in order to observe patterns in the spread of wildfires, dynamic changes in plant succession, and possible cyclicities in Holocene microclimatic changes. The sites selected for this work are located within the Mediterranean area of the Iberian Peninsula and in the Eivissa Balearic Islands, between 42°16' N and 36°47' N. Results show two brief changes in vegetation dynamics during the Holocene. The first coincides with the 8.2 cal kyr event and marks both the beginning of Holocene dynamic changes in plant succession and the Climatic Optimum. During this first phase, charcoal peaks coincide with minimum percentages of mesic taxa (low rainfall) and occur just before an increase of resprout taxa (taxa which grow after fires). The second change happens at the ~4.2 cal BP kyr event, when fires are most frequent and resprout taxa increase their values compared to mesic taxa and forest cover (AP). We have also observed some differences in vegetal dynamics studied at different latitudes, which appear to be punctuated by climate or insularity. In short, (i) actual succession of Mediterranean vegetation can be recognized in the past; (ii) resilience in vegetation is more common during the first half of the Holocene than in the recent Holocene: A trend to aridity, reduced biomass and anthropization has caused vegetation resilience to decline; (iii) synchronicity between fire peaks of different sequences studied is very rare; and (iv) coincidence of many peaks of charcoal with Bond events inclines us to think that fires are more conditioned by the climate than by anthropogenic impact.

© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

The interactions between the evolution of landscapes and fire dynamics are only partially understood because of the complexity of burning processes. Recently some studies from North and South America, Australia, and Europe have contributed to the knowledge about complex interactions of fire, climate, vegetation and human disturbance during the Holocene (Bodí et al., 2014; Higuera et al., 2010; Hu et al., 2006; Peters and Higuera, 2007; Tinner et al., 2005). In addition, there are data sets available for the Mediterranean basin for microcharcoals and vegetation (Carcaillet et al., 1997; Caroli and Caldara, 2006; Carrión, 2002; Carrión et al., 2003, 2007; Magny et al., 2006; Sadori and Giardini, 2007; Sadori et al., 2004), but most of these have a low temporal resolution. In fact, most studies are based on long-term trends in the absence of a higher resolution. Even so, these data sets have contributed in establishing patterns of fire activity throughout the Holocene, which have been explained in terms of

large-scale trends (Marlon et al., 2009; Power et al., 2008) of climate and atmospheric circulation patterns (Trouet et al., 2006; Veblen and Kitzberger, 2002).

The Mediterranean region is characterized by strong patterns of seasonal precipitation leading to floods and droughts (Lionello et al., 2006). Therefore the driest periods are linked to extreme fire occurrence (Moriondo et al., 2006) depending on the duration and intensity of the dry season (Pausas, 2004). Consequently, fire is one of the most relevant factors in shaping Mediterranean biome distributions (Carrión, 2002; Colombaroli et al., 2009).

At the beginning of the Holocene high climate seasonality favored fire expansion in this region. During the mid- to late Holocene, the transition from thermal maximum to Neoglacial occurs (Calvo et al., 2002; Matthews and Dresser, 2008). During these phases, orbital changes modified the summer insolation throughout the Northern Hemisphere (Berger and Loutre, 1991). This produced great ecological changes in the Mediterranean region, in which evergreen-broadleaf forests reached their maximum expansion (Colombaroli et al., 2008; Gil-Romera et al., 2010). However, there are contradictory interpretations about the Holocene aridification trend and the establishment of the present-day Mediterranean climate (de Beaulieu et al., 2005; Jalut

* Corresponding authors. Tel.: +34 607981734.

E-mail addresses: francesc.burjachs@icrea.cat (F. Burjachs), iexpósito@iphes.cat (I. Expósito).

et al., 2009; Magny et al., 2002; Sadori et al., 2008; Tinner et al., 2009; Tzedakis, 2007). Nevertheless most authors suggest that the heterogeneity in the Mediterranean climate reconstructions is linked to seasonality changes and geographical gradients (Davis and Brewer, 2009; Magny et al., 2003, 2007, 2009; Roberts et al., 2008; Tzedakis, 2007).

The Mediterranean region also has a long and complex history of human use since the introduction of Neolithic farming and land-use practices in the eastern Mediterranean at 10000–8000 cal yr BP (Bocquet-Appel et al., 2009). The use of fire as a tool intensified during the Bronze Age. Previous studies on past vegetation, together with charcoal particle concentrations related to paleofires, have shown a clear correlation between climate, vegetation dynamics, fire, fuel load and anthropogenic land use during this period (Carrión et al., 2007; Pausas, 2004; Turner et al., 2008, 2010). Thus, some authors argue that anthropogenically enhanced fire disturbance is the main factor that promoted the establishment of shrublands and maquis in the Mediterranean area, particularly at the expense of the previously widespread *Quercus ilex* forests (Vannièrè et al., 2008).

In this review, we present a synthesis of palynological and microscopic charcoal results of eight radiocarbon-dated sequences of the Mediterranean region on the East Iberian Peninsula. The aim of this work is to improve our knowledge about the linkages between Holocene fire regime, climatic conditions, vegetation, and land-use history.

2. Material and methods

The sequences studied in this paper come from several lacustrine, peaty and littoral marsh deposits located between 42° and 38° N latitude (Fig. 1), except Burg located at the Pyrenean Range.

The counting of pollen and charcoal particles was performed at 400× magnification to a minimum pollen sum of 300 terrestrial pollen grains. Microcharcoal particles were also counted and used as

concentrations values (particles/g of dry sediment, volumetric method described in Loublrier, 1978).

We are aware that the chemical processing could cause a fragmentation of the charcoal particles and an under-representation of the local fires. Another limitation of our study is the sampling interval used which does not assure identification of all fire events. Since our charcoal record is based on pollen-slide charcoal counting, in widely spaced core samples, we cannot accurately reconstruct fire frequencies. However, changes in charcoal abundance provide valuable information for comparisons of fire activity between periods. It is clear that the presence of charcoal in the palynological samples is usually constant throughout the sequences studied, however only the major peaks are significant as indicators of forest fires, since small peaks represent background noise.

Several charcoal counting methods (Clark, 1988; Finsinger and Tinner, 2005; Tinner et al., 1998; Whitlock and Larsen, 2001) were proposed to estimate fires. In this work we chose a light microscope counting method, where charcoal particles were counted until maximum pollen counts had been reached. Charcoal selection was restricted to fragments that were black, completely opaque and angular (Clark, 1988; Swain, 1973). The normalization of charcoal values from the interpolation to equal intervals, smoothing the interpolated charcoal series, calculation of the charcoal accumulation rate, defining the thresholds and generate the peaks ($\text{CHAR}, \text{mm}^2 \text{cm}^{-3} \text{yr}^{-1}$) have been performed with the help of CharAnalysis program (version 1.1, Higuera et al., 2010) and according to the literature (Bradbury, 1996; Clark et al., 1996; Kelly et al., 2011; Long et al., 1998; Lynch et al., 2003; Peters and Higuera, 2007).

For the purpose of this paper, the pollen taxa have been lumped into different groups based on their ecological characteristics and their response to fire dynamics (see figure legends). We understand by “resprouts” those taxa that are able to sprout after fire, and those reborn from fire-resistant seeds.



Fig. 1. Location map of the sequences used and referenced.

Chronologies are based on radiocarbon-dated samples following the conventional and AMS methods. Dates were calibrated using CalPal2007_HULU (<http://www.calpal-online.de/>). Age depth models were based on linear interpolation between adjacent pairs of dates (Grimm, 1991–2011).

3. The selected sites: results and discussions

The results are discussed based on four parameters: (i) fire dynamics, (ii) vegetation dynamics, (iii) human disturbance and (iv) coincidence or not with climatic events. We will also give examples from different time windows, ranging from the Late Glacial to the historical period.

3.1. Late Glacial–Early Holocene

The vegetation dynamics during the Late Glacial are conditioned by climatic fluctuations typical of this period, although we cannot completely exclude disturbances promoted by the last hunter-gatherers. Some authors consider that the human communities of the Epipaleolithic or the Mesolithic could have favored fires, perhaps as a hunting technique or as part of the pre-pastoral activities (Riera and Turu, 2011; Ryan and Blackford, 2010).

As an example of this period we have used the results from Lake Burg (Morales et al., 2012; Pèlachs et al., 2011, 2012) (Fig. 2, Table 1). Charcoal peaks recorded in the Late Glacial correlate with thermal maximums (GS-2b, GI-1e, GI-1c and the beginning of the Holocene; Walker et al., 1999) and AP maximums. Thus, we consider that this increase of fire is as a consequence of increased arboreal mass (AP). Consequently, after these fires increase resprouts.

In this particular case, it is clear from our results (Fig. 2) that the vegetational dynamics and fire recurrence from Lake Burg are strongly conditioned by the increase of temperatures and rains (climate), which facilitates the expansion of forests. The cyclicity of the significant episodes of fire from Lake Burg is ~1.6–1.8 kyr.

3.2. Holocene

3.2.1. Empordà area

In this area the sequence of Castelló d'Empúries S-6 (Alt Empordà), covering the last 10 kyr (Burjachs et al., 2005; Carrión, 2012), has been selected (Fig. 3, Table 1). This site is in the coastal region of the Pre-Pyrenees, which is currently characterized by low rainfall due to the strong northerly winds (tramuntana). The coastal Mediterranean vegetation includes a significant component of *Quercus suber* especially

resistant to wildfires. Most fire events at S-6 show the characteristic dynamics of vegetational succession (charcoal–resprouts), with the exception of three events (marked with light gray bars in Fig. 3).

As for the fire behavior model we observed four different sub-models of vegetation dynamics: (i) prior to the period of the 8.2 cal kyr event, (ii) between the 8.2 and 4.2 events, (iii) between 4.2 and 1 kyr, and (iv) from 1 kyr until today. The succession-fire, resprouts increase and AP increase were observed regularly.

(i) The high charcoal values at 9.56 cal kyr BP coincide with the increase of woodland in the early Boreal period. This episode correlates with the fires identified on the Ebro Valley (Davis and Stevenson, 2007), in the SE of the Iberian Peninsula (Carrión, 2002; Carrión et al., 2001a, 2001b), with periods of aridity (e.g. phase 19 Magny et al., 2012) and with the 6 Bond event at 9.4 kyr cal BP (Bond et al., 1997).

(ii) Between 8.2 and 4.2 cal kyr BP fire coincides with a trend of increasing or stable values of the forest cover, which is interrupted at the 4.2 event. After 8000 cal yr BP south Iberia experienced a period of low fire activity (Siles Lake, Cañada de la Cruz and Villaverde; Carrión et al., 2001a, 2001b; Vannièrè et al., 2011). Low-elevation and/or northern Iberia records suggest potentially opposite patterns (Navarrés, Ojos del Tremedal, Hoya del Castillo and El Carrizal; Carrión and van Geel, 1999; Davis and Stevenson, 2007; Franco-Múgica et al., 2005; Stevenson, 2000). These studies describe high charcoal influx values during the period 7000–6000 cal years BP, which is coherent with increased aridity in the Ebro basin during the mid-Holocene (González-Sampérez et al., 2009). After 5.0 cal kyr BP records from the south of the Peninsula including Siles Lake, Cañada de la Cruz, Villaverde and Navarrés indicate a significant increase in fire activity, whereas fire activity is absent in northern sites.

Approximately 5.5 cal kyr BP a rapid contraction of the woodlands occurred on the Iberian Peninsula, probably linked with anthropic forest clearance, recurrent wildfires, a climatic trend to drier conditions or a combination of several of these factors (Morales-Molino et al., 2013). In other sequences from western Iberia, this has been associated with human activities because increases in anthropogenic pollen indicators have been detected (Fletcher et al., 2007; van der Knaap and van Leeuwen, 1995).

The cyclicity of charcoal peaks between 8.2 and 4.2 cal kyr BP is irregular, varying between ~0.5 and ~1.3 kyr (Fig. 3). Moreover, regarding the role of *Pinus* in these fires, during this phase the pyrophytic pines do not have a major role indicated by their low pollen percentages (9.2–2.3%), leading to the conclusion that these pines are not local. In addition, a charcoal maximum often coincides with low percentages of mesic taxa, which suggests that these fires were more frequent during the drier phases. On the other hand, in this study no good correlation was observed between Bond events and charcoal peaks. The correlation is only observed twice at 9.4 and 1.4 cal kyr BP.

(iii) In this stage, between 4.2 and 1 cal kyr BP, the main factor contributing to the proliferation of fires is the accumulation of shrubland woody mass, increasing from 5.0 cal kyr BP, at the start of the Subboreal climatic period (Fig. 3). The beginning of this phase is characterized by an abrupt decline in forests and mesic taxa. During this phase high charcoal values coincide with periods of aridity (low percentages of mesic arboreal taxa). Two of the three maximum values of charcoal match 2, 1 Bond events (2.8 and 1.4 cal kyr BP).

(iv) The last phase, from 1000 cal yr BP until the present, is characterized by a strong anthropization. We think that the sharp increase in pollen from *Pinus* spp. is related to the new medieval planning implemented by the Christian society (Burjachs, 2003, 2012; Durand, 1998). Reforestation of and/or optimization of conditions for pines leads to rapid growth of forest cover, although at the same time causes fire to become more frequent and extensive (high charcoal at 510 cal yr BP). From this period shrubs and arboreal taxa (minus *Pinus*) tend to become depleted by the clearing of new areas dedicated to agriculture and livestock.

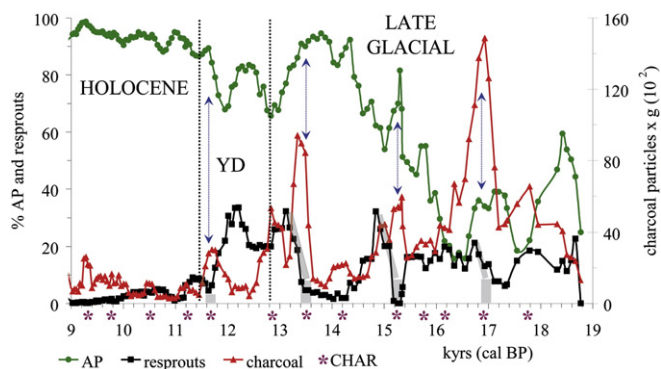


Fig. 2. Palynological results of Burg sequence (CMB-8), example of pre-Neolithic fires. The arrows indicate Peaks of charcoal (particles × g) matching with high values of AP. The gray bars mark the response of resprouts to fire. The resprouts are *Erica* spp., *Calluna* cf. *vulgaris*, *Cistaceae*, *Helianthemum*, *Ephedra*, *Rhamnus*, *Buxus* and *Thymelaea*.

Table 1

Deposits studied. Main geographical and chronological traits of the studied deposits, including latitude, altitude, temperatures, precipitation (P = annual average), temperature (T = annual average), vegetation units and dates available.

Site	Location	Altitude (masl)	T (°C)	P (mm)	Present-day climate	Significant present day vegetation	¹⁴ C dates used (cal BP)
Burg (CMB-8)	42°30'18" N 01°18'22" E	1821	10.1	673	Mediterranean mountain	<i>Pinus sylvestris</i> , <i>Pinus uncinata</i> , <i>Betula pendula</i> , <i>Abies alba</i> , <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Quercus humilis</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Genista balansae</i>	8075 ± 64 (beta-252598) 9831 ± 82 (beta-246365) 10888 ± 147 (NOSAMS-59784) 11585 ± 165 (NOSAMS-59785) 12883 ± 94 (NOSAMS-59786) 14655 ± 336 (beta-246366) 16286 ± 419 (NOSAMS-59787) 16907 ± 174 (NOSAMS-59788)
Castelló d'Empúries (S-6)	42°16'53" N 03°07'13" E	1	14.7	607	Thermo-Mediterranean	<i>Quercus suber</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Pinus halepensis</i> , <i>Pinus pinea</i> , <i>Populus</i> , <i>Alnus glutinosa</i> , <i>Salix</i>	2695 ± 35 (Poz-20592) 5690 ± 40 (beta-190906) 8480 ± 40 (Poz-20050)
Besòs	41°24'58" N 02°13'41" E	7	16.5	611	Thermo-Mediterranean	<i>Pinus pinea</i> , <i>Pinus halepensis</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus suber</i> , <i>Quercus cerrioides</i> , <i>Erica</i> , <i>Alnus glutinosa</i>	1236 ± 42 (UBAR-211) 3485 ± 63 (UBAR-231) 7730 ± 95 (UBAR-212)
Cubelles	41°12'01" N 01°40'30" E	1	16.7	576	Thermo-Mediterranean	<i>Quercus coccifera</i> , <i>Pinus halepensis</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Viburnum tinus</i> , <i>Chamaerops humilis</i> , <i>Ampelodesmos mauritanicus</i>	861 ± 55 (Gd-5918) 2477 ± 181 (Gd-6597) 4027 ± 110 (Gd-7041) 5789 ± 88 (Gd-5919)
Creixell	41°09'20" N 01°26'02" E	1	16.4	559	Thermo-Mediterranean	<i>Pinus halepensis</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Myrtus communis</i> , <i>Chamaerops humilis</i> , <i>Nerium oleander</i>	3313 ± 45 (beta-148772) 6092 ± 71 (beta-145576)
Eivissa (TP-1)	38°54'57" N 01°26'06" E	1	17.9	439	Thermo-Mediterranean	<i>Pinus halepensis</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Cneorum tricoccon</i> , <i>Erica multiflora</i>	2238 ± 61 (Poz-23489) 3668 ± 41 (Poz-23372) 3731 ± 70 (Poz-23490)
Elx	38°10'28" N 00°45'10" W	1	17.8	318	Thermo-Mediterranean	<i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Rhamnus lycioides</i> , <i>Ephedra</i> , <i>Nerium oleander</i> , <i>Tamarix</i> , <i>Myrtus communis</i> , <i>Ammophila arenaria</i>	4007 ± 82 (beta-74943) 4438 ± 85 (beta-72193) 5830 ± 70 (beta-74944) 9582 ± 52 (beta-74945)
Cabo de Gata	36°46'17" N 02°13'43" W	1	20	178	Thermo-Mediterranean semi-arid	<i>Maytenus senegalensis</i> , <i>Periploca laevigata</i> , <i>Rhamnus lycioides</i> , <i>Stipa tenacissima</i> , <i>Quercus rotundifolia</i>	3825 ± 83 (beta-80379) 6759 ± 73 (beta-80376)

3.2.2. Garraf area

The Cubelles sequence (Carrión, 2012; Jalut et al., 2000; Riera, 1994; Riera and Esteban, 1994) in this area of the Mediterranean coast has been selected (Fig. 4, Table 1). It is noteworthy in the current vegetation the presence of the single European palm, *Chamaerops humilis*, in its northernmost position, a species highly resistant to fire.

Fig. 4 shows how the pattern of vegetation recovery after fire is reiterative over the past 6500 years. The succession after fire comprises a first phase of shrubs and resprouting trees, and a second in which the total forest cover (AP) increases. This model holds between 6.5–4.2 cal kyr and 2.5–0.5 cal kyr BP. Only after the 4.2 event two abnormal events (3.7 and 2.5 kyr cal BP) coincide with a maximum of shrub taxa while the recovery of trees or shrubs was limited. We think that this anomaly may be due to low rainfall during this period (Di Rita and Magri, 2009), that did not allow normal recovery of Mediterranean vegetation.

In this sense, a clear aridification trend was described for the Iberian Peninsula for the phase between 5.5 and 5.0 cal kyr BP (Anderson et al., 2011; Carrión, 2002; Morellón et al., 2008; Reed et al., 2001). The microcharcoal record suggests the existence of high regional fire activity from ca. 4.7 to 3.2 cal kyr BP, probably associated with the expansion of highly flammable vegetation (shrubs and grasslands) and the drier climate (Vannièr et al., 2011). Looking for paleoclimatic parallels, Bond events coincide with rising curves of microcharcoal.

3.2.3. Baix Penedès area

The Creixell sequence reflects the evolution of vegetation from an area located just a few kilometers south of the Cubelles sequence (Burjachs and Schulte, 2003; Burjachs, 2003; Carrión, 2012, Table 1).

In this case, despite the proximity to the above sequence, the pattern of plant succession presents an uneven behavior (Fig. 5). Only in two cases does the succession (microcharcoal–resprouts–increased AP) follow the regular pattern. However, although resprouts do not generally show an increase after fire, recovery of forests (AP) is observed. Despite this irregularity compared to the general pattern, the recovery of forest

might still be explained by the marked importance of resprout vegetation (up to 40% of resprouts, Fig. 5) in this area. We are therefore presented with evidence for plant communities highly and widely resilient to periodic fires. Increased fire recurrence has been observed up until present day, in which the most intense fire event occurred immediately after the 4.2 event at a time of maximum insolation (Magny et al., 2011).

3.2.4. Baix Vinalopó area

Part of the sequence of Elx (Burjachs et al., 1997; Carrión, 2012) serves as an example of a temporally high-resolution chronology, to understand the dynamics of the Mediterranean vegetation in response to fire between ~4590 and ~4180 cal yr BP (Fig. 6, Table 1).

On the one hand, plant succession shows the usual pattern (charcoal–resprouts–increased AP; Fig. 6). On the other hand, vegetation systems tend to be exhausted after at least three successive fires (4540, 4440, 4380 cal yr BP), during/following dry periods (decrease of mesic trees), which eventually leads to a decline of forest cover (AP). Forest cover then does not recover until precipitation is regular (peak of mesic trees at 4280 cal yr BP). This is a paleoexample of resilient Mediterranean vegetation, as it demonstrates vegetation systems have the ability to recover, on the condition that the irregular rainfall of the Mediterranean arrives in a timely manner. Finally, the recurrence of fires oscillates around about every 70 years, which is the number of years, calculated as 40–80 yr, that it takes for the Mediterranean forest to recover to its climax phase (Enger and Smith, 2013).

3.2.5. Cabo de Gata area

The Cabo de Gata is one of the driest areas of the Iberian Peninsula (Table 1), but in the mountains near to the coast some pockets of evergreen oak forest persist.

The sequence of Gata (Almería) provides an example of paleodynamic vegetation in response to fire in an arid area (Burjachs and Riera, 1996; Jalut et al., 2000), where in the past the forests did not exceed 40% (Fig. 7). In this case, the pattern of succession holds true as long as

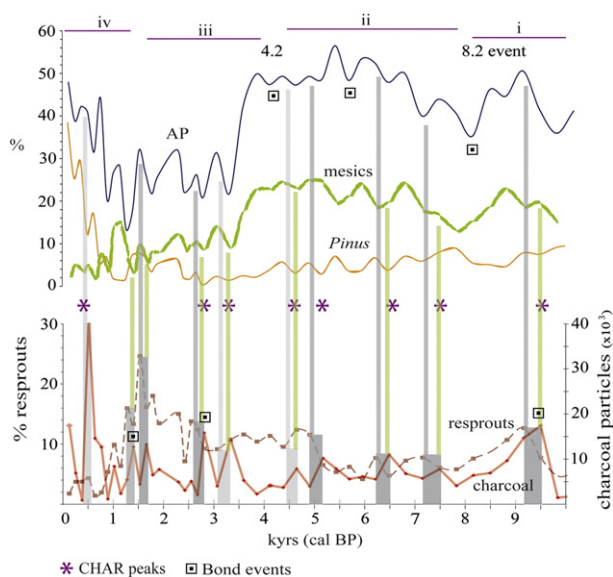


Fig. 3. Palynological results of Castelló d'Empúries deposit. The graphic shows the correlation between charcoal (particles \times g), resprouts (*Erica* spp., *Calluna* cf. *vulgaris*, *Cistus* type Mediterranean, *Jasminum*, *Pistacia* cf. *lentiscus*, *Buxus* cf. *sempervirens*, *Coriaria* cf. *myrtifolia*, *Cornus* sp., *Myrtus* cf. *communis*, *Phillyrea* spp., *Rhamnus* cf. *alaternus*, Thymelaeaceae, *Rosmarinus* cf. *officinalis*), AP total, mesic taxa (*Acer*, *Carpinus*, *Fagus*, *Ilex*, *Juglans*, *Tilia*, *Castanea*-type, deciduous *Quercus*, *Quercus suber*-type) and *Pinus*. The dark gray bars mark the vegetation recovery dynamic with respect to fire (charcoal-resprouts-AP increase), and the light gray bars mark when the usual pattern is not observed. Green thin bars mark coincidence of fire with mesic trees.

sufficient woody mass allows it. Thus, until 3.5 kyr cal BP fires are recurrent and in descending order of magnitude. During this period, when the woody component of the landscape practically disappears, fire activity is at a minimum. Coincidences of increased charcoal values with the timing of Bond events demonstrate their climatic origin.

Although the climate in the north of the Iberian Peninsula during the initial phase of the mid-Holocene (ca. 7.5–5.3 cal kyr BP) has been reconstructed as drier than during the early Holocene (González-Sampériz et al., 2008; Morales-Molino et al., 2011), an increase in rainfall has been detected from ca. 7.5 to 7.0 cal kyr BP in southern Iberia and from other southern Mediterranean areas (Carrión, 2002; Reed et al., 2001; Tinner et al., 2009). In SE Iberia this moisture phase was responsible for the expansion of mesophilous trees (Gil-Romera et al., 2010). This situation of opposite climatic influences in north and south of 40° N was

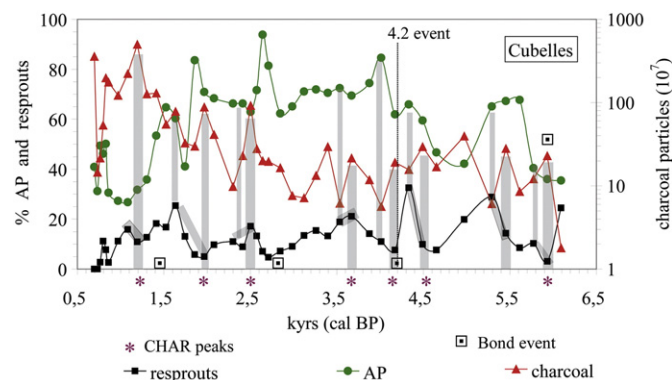


Fig. 4. Palynological results of Cubelles sequence. The graphic shows the correlation between charcoal (particles \times mm²/cm³), resprouts (*Thymelaeaceae*, *Tamarix*, *Ephedra* spp., *Chamaerops* cf. *humilis*, *Pistacia* sp. *lentiscus*, *Buxus* cf. *sempervirens*, *Erica arborea*, *Calluna* cf. *vulgaris*, *Arbutus* cf. *unedo*, *Erica* spp., *Rhamnus* cf. *alaternus*, *Cistus* type Mediterranean, *Helianthemum* spp.) and AP total. The dark gray bars mark the vegetation recovery dynamic with respect to fire (charcoal-resprouts-AP increase), and the light gray bars mark when the usual pattern is not observed.

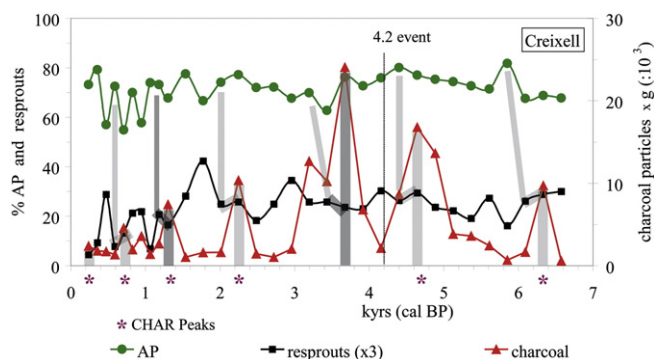


Fig. 5. Palynological results of Creixell sequence. The graphic shows the correlation between charcoal (particles \times g), resprouts (*Erica* spp., Cistaceae, *Pistacia* cf. *lentiscus*, *Chamaerops* cf. *humilis*, *Buxus* cf. *sempervirens*, *Coriaria* cf. *myrtifolia*, *Myrtus* cf. *communis*, *Rhamnus* cf. *alaternus*, Thymelaeaceae) and arboreal pollen (AP). The dark gray bars mark the vegetation recovery dynamic with respect to fire (charcoal-resprouts-AP increase), and the light gray bars mark when the usual pattern is not observed.

described as a characteristic trend of the Mediterranean climatic mechanism (Vannièr et al., 2011).

3.2.6. Eivissa island

The TP1 sequence of the Balearic island of Eivissa (Carrión, 2012; Yll et al., 2009) serves as example to understand if the dynamics of vegetation in response to fire operates similarly in a small southern island of the western Mediterranean compared to that on the near Iberian peninsula (Fig. 8, Table 1).

Here the recovery pattern of vegetal succession shows the same pattern of charcoal-resprouts-increase AP (Fig. 8), similar to the patterns shown close to the SE Iberian Peninsula. Values of charcoal are higher during the Early Holocene, when the forests are more prominent, with a recurrence of ~2.0 kyr. After 3.5 kyr cal BP tree cover (AP) tends to decrease, increasing the recurrence of fires and often producing synchronous charcoal, resprouts and AP. We consider that this is due to the high fire recurrence, a fact that prevents full recovery of forest. Again, Bond events match with charcoal peaks.

3.3. Late Holocene

The Besòs sequence (Riera, 1993; Riera, 1994; Riera and Esteban, 1994; Palet and Riera, 1994; Jalut et al., 2000; Riera and Palet, 2005) serves as an example to map the high-resolution fires and anthropogenic impacts on the territory of the plain of Barcelona (Table 1).

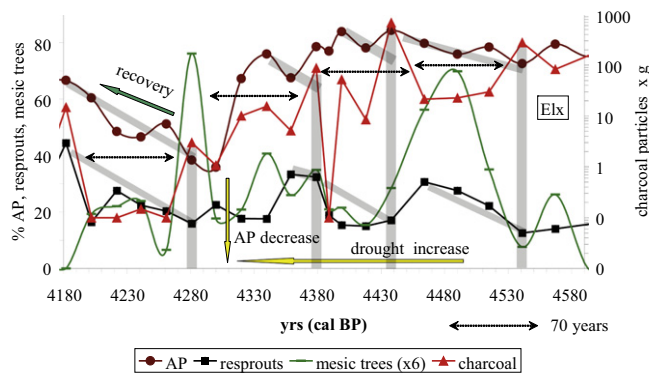


Fig. 6. High-resolution example of paleovegetation dynamics in SE of the Iberian Peninsula, palynological results of Elx sequence. The graphic shows the correlation between charcoal (particles \times g), resprouts (*Quercus ilex-coccifera* type, *Olea-Phillyrea*, *Erica* spp., Cistaceae, Thymelaeaceae, *Pistacia* spp.), mesic trees (*Quercus* deciduous type, *Tilia* sp., *Fraxinus* spp., *Corylus* cf. *avellana*, *Alnus* cf. *glutinosa*, *Sambucus* cf. *nigra*, *Salix* spp.) and AP total. The gray bars mark the vegetation recovery dynamic with respect to fire (charcoal-resprouts-AP increase).

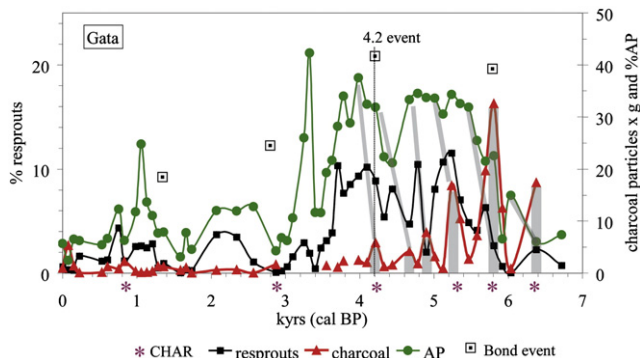


Fig. 7. Palynological results of Gata sequence. The graphic shows the correlation between charcoal (particles x g), resprouts (*Pistacia cf. lentiscus*, *Chamaerops cf. humilis*, Thymelaeaceae, *Tamarix*, *Erica* spp., *Arbutus cf. unedo*, Cistaceae, *Myrtus cf. communis*) and arboreal pollen (AP). The gray bars mark the vegetation recovery dynamic with respect to fire (charcoal–resprouts–AP increase).

Within the chronological window between the Bronze Age (2000 cal yr BC) and the end of the Western Roman Empire (~500 AD; Fig. 9), during which the dynamics of paleovegetation can be observed, the same pattern occurs as in the previous sequences. Thus, until the end of the Iberian period tree cover tends to recover after every anthropic and/or climate impact. Therefore, we can assert that the human disturbance (agriculture, grazing, etc.) of the Bronze Age and the Iberian communities were sustainable. It is from the Second Punic War and the re-founded Roman city of *Barcino* when tree cover decreases, reducing it to a minimum.

The most recent phase (740–1240 AD; Fig. 10) of this sequence shows the evolution of the vegetation during Early Middle Ages. At that time, although the environment was already very anthropized, resilience of vegetation is observed, with three phases of succession: charcoal–resprouts–increased total tree cover. However, these natural dynamics may have been disrupted during major historical events, such as the raid of al-Mansur. Moreover, the recurrence of fire (30–50 years) in this period is greater than in the previous phase (Fig. 9), so the woodland may never have been able to reach its full maturity phase.

3.4. Final discussion

We have found that there is a general pattern, in which the current succession after fire in the Mediterranean woodland also happened in

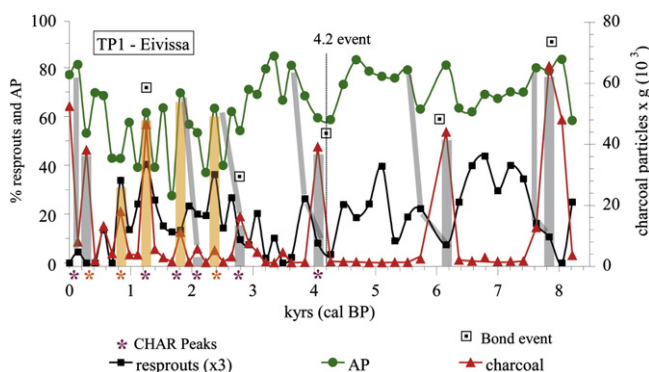


Fig. 8. Palynological results of TP1 – Eivissa sequence. The graphic shows the correlation between charcoal (particles x g), resprouts (*Erica* spp., Cistaceae, *Pistacia cf. lentiscus*, *Buxus cf. sempervirens*, Thymelaeaceae) and arboreal pollen (AP). The gray bars mark the vegetation recovery dynamic with respect to fire (charcoal–resprouts–AP increase), and orange bars note the synchronic moments between charcoal, sprouts and AP.

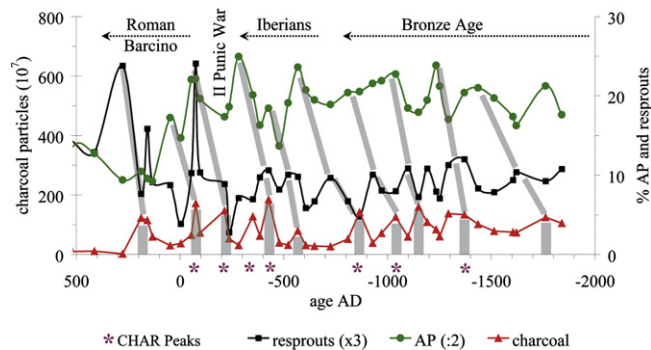


Fig. 9. Palynological results of Besòs deposit between 2000 yrs BC and 500 AD. The graphic shows the correlation between charcoal (particles x mm²/cm³), resprouts (Thymelaeaceae, *Ephedra* spp., *Phillyrea* spp., *Pistacia cf. lentiscus*, *Buxus cf. sempervirens*, *Erica* spp., *Calluna cf. vulgaris*, *Arbutus cf. unedo*, *Rhamnus* spp., *Cistus* spp.) and arboreal pollen (AP). The gray bars mark the vegetation recovery dynamic with respect to fire (charcoal–resprouts–AP increase). Resprout percentages appear multiplied by 3 and AP percentage divided by 2 for easy viewing.

the past. In this pattern, the palynological microcharcoal, resprouts, and woodland decline (AP) respond to charcoal (wildfire) events, with the subsequent recovery of Mediterranean forest/maquis.

However, sometimes this pattern breaks down. Irregularities observed in our partial plots include high values of charcoal without a clear response of emerging sprouts, or the matching of charcoal abundance with a clear shrub phase. To try clarifying some of these inconsistent points we have used CharAnalysis software. Fig. 11 shows the synthetic information provided for this statistical approach. In most cases, the high values of charcoal without vegetal response have been validated and identified as Peaks (* in Figs. 2 to 10 and 12). This has also been done for the fires that happen in a shrubland context. The results confirm that the fire dynamics in the Mediterranean area are conditioned by the progressive decrease of available tree mass. Thus, the resilience observed during the first half of the Holocene, is usually truncated from the 4.2 event, when the Mediterranean woodland/maquis becomes shrubland, and cannot recover to its climax phase.

The CharAnalysis program has also allowed the identification of cyclicities in some cases (0.5 and 1.3 kyr in the second phase of the sequence of Castelló d'Empúries, 3.5 kyr in Gata sequence or 70 yr in the case of Elx) and has corroborated the coincidence of many of these fire episodes (Peaks) with the Bond events. The different cyclicities identified could be explained by ¹⁴C dating problems, and by the different resolution of the sequences studied.

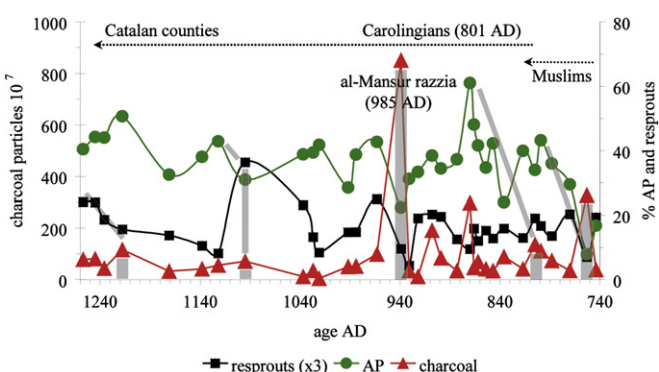


Fig. 10. Palynological results of Besòs sequence between 740 AD and 1240 AD. Graphic shows the correlation between charcoal (particles x mm²/cm³), resprouts (Thymelaeaceae, *Ephedra* spp., *Phillyrea* spp., *Pistacia cf. lentiscus*, *Buxus cf. sempervirens*, *Erica* spp., *Calluna cf. vulgaris*, *Arbutus cf. unedo*, *Rhamnus* spp., *Cistus* spp.) and arboreal pollen (AP). The resprout percents appear multiplied per 3 for easy viewing.

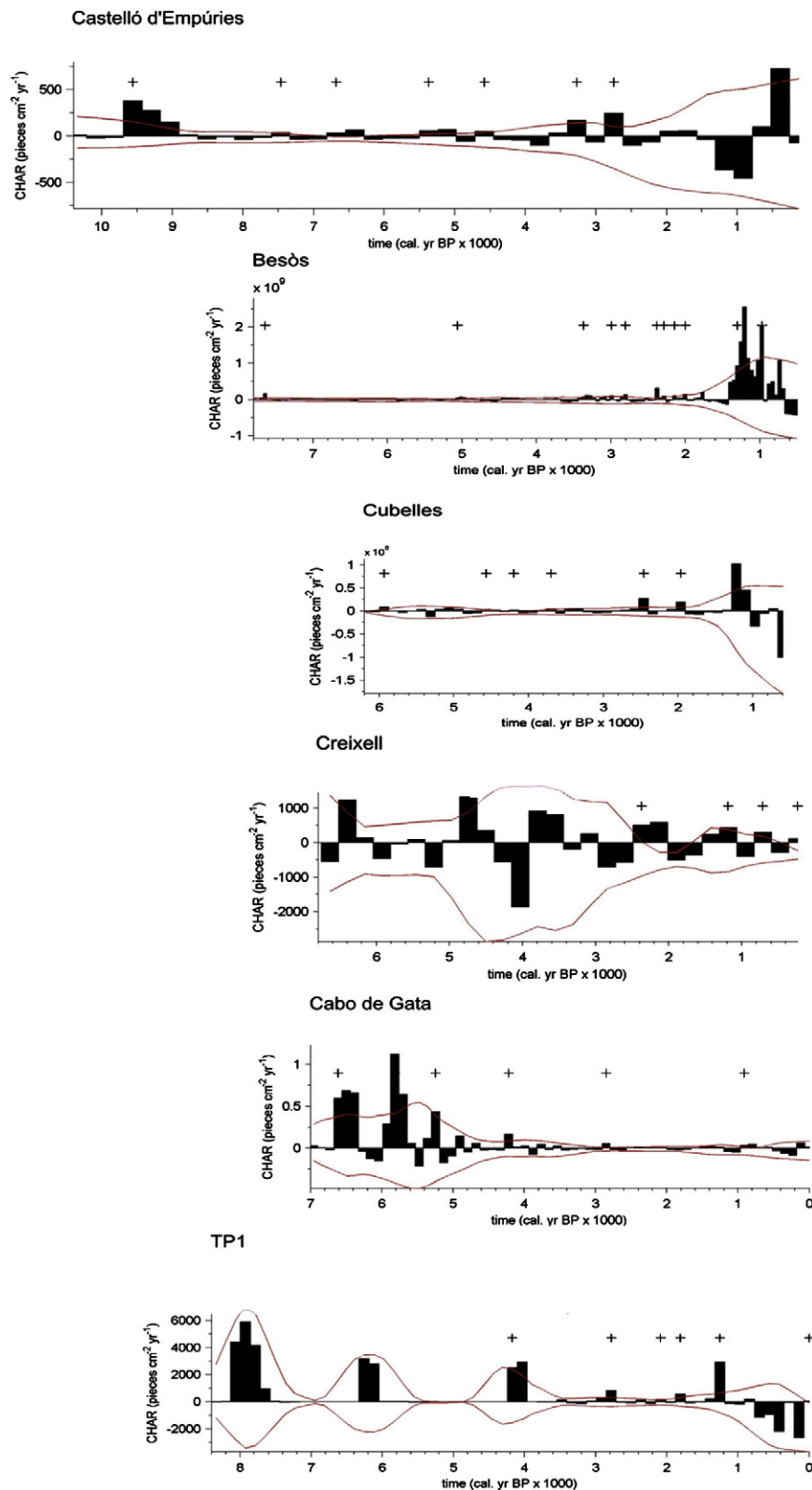


Fig. 11. Correlation of Cpeak (Cinterpolated-Background), thresholds defining Choise, and Peaks identified between all of the analyzed sequences.

Regarding the evolution of the vegetation there is a trend of decreasing arboreal (AP) and shrub mass (resprouts) over the last 10 kyr (Fig. 12). Moreover, the tendency of fire is different depending on the locality. Thus, above 41° N and on the island of Eivissa (38° 55' N) the

trend from the 4.2 event is of increasing fires, a sign that there was still enough woody biomass to burn. The cases of Cabo de Gata and Creixell show how the depletion of wood-shrubland mass tends to lead to a decrease in fires.

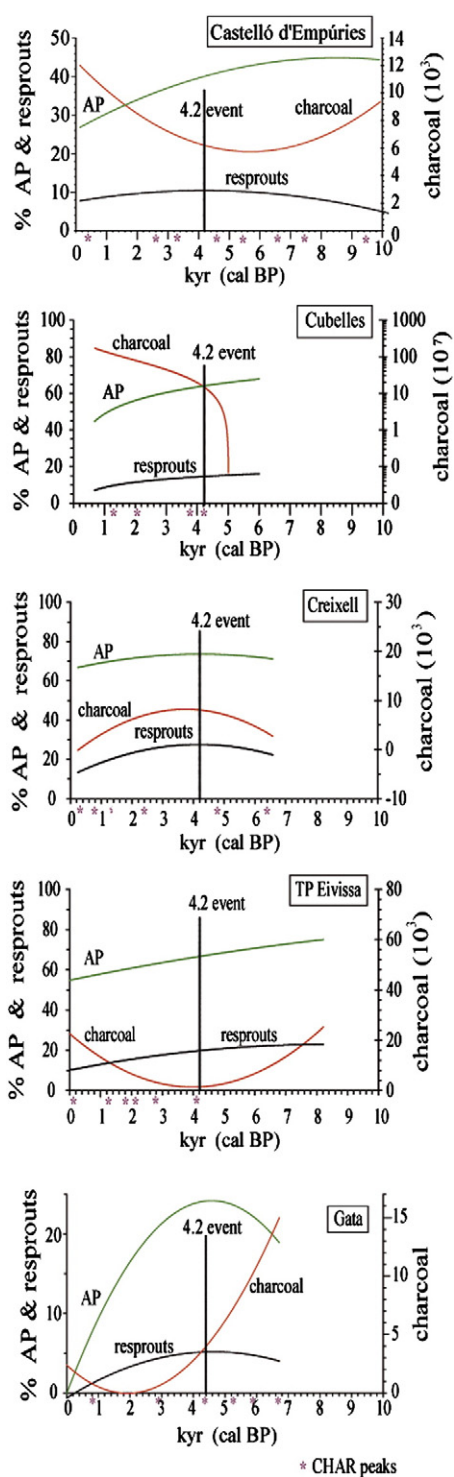


Fig. 12. Arboreal pollen (AP), resprouts and palynological charcoal trends (polynomial curve of order 2) over the past 10 kyr cal BP on the Mediterranean seafront of the Iberian Peninsula. The five deposits are arranged in a latitudinal transect between 42° 16' N (Castelló d'Empúries) and 36° 47' N (Cabo de Gata).

4. Conclusions

It is not a new question that throughout the Holocene wildfire episodes have been recurrent on the Mediterranean coast of the Iberian Peninsula. However, with the present work, we can deduce that:

- (i) Vegetal succession (Mediterranean meadow and/or steppe, scrubland, shrubland, conifers, mixed Holm oak forest), which

we can observe in the present day Mediterranean vegetation, was similar throughout the Holocene.

- (ii) Resilience of paleovegetation is common during the first half of the Holocene, although resilience declines after the 4.2 event because of the exhaustion of tree and shrub mass, the aridity trend and the increase of the degree of anthropization. All of these factors make difficult the full recovery of vegetation.
- (iii) Synchronization between the fire events of different sequences studied is very rare, so the causes of the wild fire should be considered from different points of view both local and regional, cultural or climatic.
- (iv) The correlation between Bond events and charcoal peaks is common, especially in the insular Eivissa sequence, which is also the least anthropized. Therefore, it is evident that the climate is one of the determinant factors of fire dynamics, despite the influence of human activity on the territory.

Acknowledgments

This publication has been partially supported by Projects of Spanish MICINN (HAR2008-01984/HIST), MINECO (HAR2013-41197-P) and Catalan Government (2009 SGR 813, 2014 SGR 900). We thank Samantha Jones PhD and anonymous reviewers for reviewing this manuscript, for their comments and for correcting the English language.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data associated with this article can be found in the online version, at <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.006>. These data include Google map of the most important areas described in this article.

References

Anderson, R.S., Jiménez-Moreno, G., Carrión, J.S., Pérez-Martínez, C., 2011. Postglacial history of alpine vegetation, fire, and climate from Laguna de Río Seco, Sierra Nevada, southern Spain. *Quat. Sci. Rev.* 30, 1615–1629.

Berger, A., Loutre, M.F., 1991. Insolation values for the climate of the last 10 million years. *Quat. Sci. Rev.* 10, 297–317.

Bocquet-Appel, J.-P., Naji, S., Linden, M.V., Kozłowski, J.K., 2009. Detection of diffusion and contact zones of early farming in Europe from the space–time distribution of ¹⁴C dates. *J. Archaeol. Sci.* 36 (3), 807–820.

Bodí, M.B., Martín, D.A., Balfour, V.N., Santín, C., Doerr, S.H., Pereira, P., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., 2014. Wildland fire ash: production, composition and eco-hydrogeomorphic effects. *Earth Sci. Rev.* 130, 103–127.

Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., deMenocal, P.B., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I., Bonani, G., 1997. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and Glacial climates. *Science* 278, 1257–1265.

Bradbury, J.P., 1996. Charcoal deposition and redeposition in Elk Lake, Minnesota, USA. *The Holocene* 6 (3), 339–344.

Burjachs, F., 2003. Paisatges i climes medievals de la façana ibèrica nord-occidental. In: Rueda, J.M., Tura, J. (Eds.), *Els castells medievals a la Mediterrània Nord-Occidental*. Museu Etnològic del Montseny, Arbúcies, pp. 231–246.

Burjachs, F., 2012. Paleoeología botánica de las llanuras litorales del NE de la Península Ibérica: de la Edad del Bronce Final hasta finales de la Edad Media. Reinterpretando los datos. In: Ropiot, V., Puig, C., Mazière, F. (Eds.), *Les plaines littorales en Méditerranée nord-occidentale. Regards croisés d'histoire, d'archéologie et de géographie de la Protohistoire au Moyen Âge*. Éditions Monique Mergoil, Montagnac, pp. 283–296.

Burjachs, F., Riera, S., 1996. Canvis vegetals i climàtics durant el neolític a la façana mediterrània ibèrica. *Rubricatum* 1 (1), 21–27.

Burjachs, F., Schulte, L., 2003. El paisatge vegetal del Penedès entre la Prehistòria i el Món Antic. In: Guitart, J., Palet, J.M., Prevosti, M. (Eds.), *Territoris antics a la Mediterrània i a la Cossetània oriental*. Departament de Cultura, Generalitat de Catalunya, Barcelona, pp. 249–254.

Burjachs, F., Giralt, S., Roca, J.R., Seret, G., Julià, R., 1997. Palinología holocénica y desertización en el Mediterráneo Occidental. In: Ibáñez, J.J., Valero, B.L., Machado, C. (Eds.), *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación*. Geoforma, Logroño, pp. 379–394.

Burjachs, F., Bach, J., Buxó, R., Llàcer, P., McGlade, J., Picazo, M., Piqué, R., Ros, M.T., 2005. El territori d'Emporion i les seves dades paleoambientals. *Empúries* 54, 21–28.

Calvo, E., Grimalt, J., Jansen, E., 2002. High-resolution U_{37}^T sea temperature reconstruction in the Norwegian Sea during the Holocene. *Quat. Sci. Rev.* 21, 1385–1394.

Carcaillet, C., Barakat, H.N., Panaiotis, C., Loisel, R., 1997. Fire and late-Holocene expansion of *Quercus ilex* and *Pinus pinaster* on Corsica. *J. Veg. Sci.* 8, 85–94.

Caroli, I., Caldara, M., 2006. Vegetation history of Lago Battaglia (eastern Gargano coast, Apulia, Italy) during the middle-late Holocene. *Veg. Hist. Archaeobot.* 16 (4), 317–327.

- Carrión, J.S., 2002. Patterns and processes of Late Quaternary environmental change in a montane region of southwestern Europe. *Quat. Sci. Rev.* 21, 2047–2066.
- (Coord.) Carrión, J.S., 2012. Paleoflora y paleovegetación de la Península Ibérica e Islas Baleares: Plioceno-Cuaternario. Ministerio de Economía y Competitividad, Universidad de Murcia, (972 pp. <http://www.paleodiversitas.org/web/INICIO.html>).
- Carrión, J.S., van Geel, B., 1999. Fine-resolution Upper Weichselian and Holocene palynological record from Navarrés (Valencia, Spain) and a discussion about factors of Mediterranean forest succession. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 106, 209–236.
- Carrión, J.S., Munuera, M., Dupré, M., Andrade, A., 2001a. Abrupt vegetation changes in the Segura Mountains of southern Spain throughout the Holocene. *J. Ecol.* 89, 783–797.
- Carrión, J.S., Andrade, A., Bennett, K.D., Navarro, C., Munuera, M., 2001b. Crossing forest thresholds: inertia and collapse in a Holocene sequence from south-central Spain. *The Holocene* 11, 635–653.
- Carrión, J.S., Sánchez-Gómez, P., Mota, J., Chaín, C., 2003. Fire and grazing are contingent on the Holocene vegetation dynamics of Sierra de Gádor, southern Spain. *The Holocene* 13, 839–849.
- Carrión, J.S., Fuentes, N., González-Sampériz, P., Sánchez-Quirante, L., Finlayson, J.C., Fernández, S., Andrade, A., 2007. Holocene environmental change in a montane region of southern Europe with a long history of human settlement. *Quat. Sci. Rev.* 26, 1455–1475.
- Clark, J.S., 1988. Particles motion and the theory of charcoal analysis: source area, transport, deposition, and sampling. *Quat. Res.* 30, 67–80.
- Clark, J.S., Royall, P.D., Chumbley, C., 1996. The role of fire during climate change in an eastern deciduous forest at Devil's Bathtub, New York. *Ecology* 77, 2148–2166.
- Colombarelli, D., Vannièrè, B., Chapron, E., Magny, M., Tinner, W., 2008. Fire–vegetation interactions during the Mesolithic–Neolithic transition at Lago dell'Accesa, Tuscany, Italy. *The Holocene* 18 (5), 679–692.
- Colombarelli, D., Tinner, W., van Leeuwen, J., Noti, R., Vescovi, E., Vannièrè, B., Magny, M., Schmidt, R., Bugmann, H., 2009. Response of broad-leaved evergreen Mediterranean forest vegetation to fire disturbance during the Holocene: insights from the peri-Adriatic region. *J. Biogeogr.* 36 (2), 314–326.
- Davis, B.A.S., Brewer, S., 2009. Orbital forcing and role of the latitudinal insolation/temperature gradient. *Clim. Dyn.* 32, 143–165.
- Davis, B.A.S., Stevenson, A.C., 2007. The 8.2 ka event and early–mid Holocene forests, fires and flooding in the Central Ebro Desert, NE Spain. *Quat. Sci. Rev.* 26, 1695–1712.
- De Beaulieu, J.-L., Miras, Y., Andrieu, V., Guiter, F., 2005. Vegetation dynamics in north-western Mediterranean regions: instability of the Mediterranean bioclimate. *Plant Biosyst.* 139, 114–126.
- Di Rita, F., Magri, D., 2009. Holocene drought, deforestation and evergreen vegetation development in the central Mediterranean: a 5500 year record from Lago Alimini Piccolo, Apulia, southeast Italy. *The Holocene* 19 (2), 295–306.
- Durand, A., 1998. *Les paysages médiévaux du Languedoc (Xe–XIIe siècles)*. Presses Universitaires du Mirail, Toulouse (491 pp.).
- Enger, E., Smith, B.F., 2013. *Environmental Science*. McGraw-Hill, New York (512 pp.).
- Finsinger, W., Tinner, W., 2005. Minimum count sums for charcoal-concentration estimates in pollen slides: accuracy and potential errors. *The Holocene* 15 (2), 293–297.
- Fletcher, W.J., Boski, T., Moura, D., 2007. Palynological evidence for environmental and climatic change in the lower Guadiana valley, Portugal, during the last 13000 years. *The Holocene* 17 (4), 481–494.
- Franco-Múgica, F., García-Antón, M., Maldonado, J., Morla, C., Sainz, H., 2005. Ancient pine forest on inland dunes in the Spanish northern meseta. *Quat. Res.* 63, 1–14.
- Gil-Romera, G., Carrión, J.S., Pausas, J.G., Sevilla-Callejo, M., Lamb, H.F., Fernández, S., Burjachs, F., 2010. Holocene fire activity and vegetation response in South-Eastern Iberia. *Quat. Sci. Rev.* 29, 1082–1092.
- González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Morellón, M., Navas, A., Machín, J., Delgado-Huertas, A., 2008. Vegetation changes and hydrological fluctuations in the Central Ebro Basin (NE Spain) since the Late Glacial period: saline lake records. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 259, 157–181.
- González-Sampériz, P., Utrilla, P., Mazo, C., Valero-Garcés, B., Sopena, M.C., Morellón, M., Sebastián, M., Moreno, A., Martínez-Bea, M., 2009. Patterns of human occupation during the early Holocene in the Central Ebro Basin (NE Spain) in response to the 8.2 ka climatic event. *Quat. Res.* 71, 121–132.
- Grimm, E.C., 1991–2011. TILIA. Illinois State Museum, Springfield.
- Higuera, P.E., Gavin, D.G., Bartlein, P.J., Hallett, D.J., 2010. Peak detection in sediment-charcoal records: impacts of alternative data analysis methods on fire-history interpretations. *Int. J. Wildland Fire* 19 (8), 996–1014.
- Hu, F.S., Brubaker, L.B., Gavin, D.G., Higuera, P.E., Lynch, J.A., Rupp, T.S., Tinner, W., 2006. How climate and vegetation influence the fire regime of the Alaskan boreal biome: the Holocene perspective. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* 11, 829–846.
- Jalut, G., Esteban, A., Bonnet, L., Gauquelin, T., Fontugne, M., 2000. Holocene climatic changes in the Western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 160, 255–290.
- Jalut, G., Dedoubat, J.-J., Fontugne, M., Otto, T., 2009. Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: climate forcing and human impact. *Quat. Int.* 2000, 4–18.
- Kelly, R.F., Higuera, P.E., Barrett, C.M., Hu, F.S., 2011. A signal-to-noise index to quantify the potential for peak detection in sediment-charcoal records. *Quat. Res.* 75, 11–17.
- Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R., Alpert, P., Artale, V., Li, L., Luterbacher, J., May, W., Trigo, R., Tsimplis, M., Ulbrich, U., Xoplaki, E., 2006. The Mediterranean climate: an overview of the main characteristics and issues. In: Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R. (Eds.), *Mediterranean Climate Variability, Developments in Earth and Environmental Sciences* 4. Elsevier, pp. 1–26.
- Long, C.J., Whitlock, C., Bartlein, P.J., Millsapp, S.H., 1998. A 9000-year fire history from the Oregon Coast Range, based on a high-resolution charcoal study. *Can. J. For. Res.* 28, 774–787.
- Loublier, Y., 1978. *Application de l'analyse pollinique à l'étude du paléoenvironnement du remplissage Würmien de la grotte de L'Arbreda (Espagne)*. Thèse troisième cycle, Académie de Montpellier (USTL), Montpellier, France.
- Lynch, J.A., Clark, J.S., Bigelow, N.H., Edwards, M.E., Finney, B.P., 2003. Geographic and temporal variations in fire history in boreal ecosystems of Alaska. *J. Geophys. Res.* 108, 1–17.
- Magny, M., Miramont, C., Sivan, O., 2002. Assessment of the impact of climate and anthropogenic factors on Holocene Mediterranean vegetation in Europe on the basis of palaeohydrological records. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 186, 47–59.
- Magny, M., Bégeot, C., Guiot, J., Peyron, O., 2003. Contrasting patterns of hydrological changes in Europe in response to Holocene climate cooling phases. *Quat. Sci. Rev.* 22, 1589–1596.
- Magny, M., De Beaulieu, J.-L., Drescher-Schneider, R., Vannièrè, B., Walter-Simonnet, A.V., Millet, L., Bossuet, G., Peyron, O., 2006. Climatic oscillations in central Italy during the Last Glacial–Holocene transition: the record from Lake Accesa. *J. Quat. Sci.* 21, 311–320.
- Magny, M., Vannièrè, B., de Beaulieu, J.-L., Bégeot, C., Heiri, O., Millet, L., Peyron, O., Walter-Simonnet, A.-V., 2007. Early-Holocene climatic oscillations recorded by lake-level fluctuations in west-central Europe and in central Italy. *Quat. Sci. Rev.* 26, 1951–1964.
- Magny, M., Vannièrè, B., Zanchetta, G., Fouache, E., Touchais, G., Petrika, L., Coussot, C., Walter-Simonnet, A.-V., Arnaud, F., 2009. Possible complexity of the climatic event around 4300–3800 cal. BP in the central and western Mediterranean. *The Holocene* 19 (6), 823–833.
- Magny, M., Vannièrè, B., Calo, C., Millet, L., Leroux, A., Peyron, O., Zanchetta, G., La Mantia, T., Tinner, W., 2011. Holocene hydrological changes in south-western Mediterranean as recorded by lake-level fluctuations at Lago Preola, a coastal lake in southern Sicily, Italy. *Quat. Sci. Rev.* 30 (19–20), 2459–2475.
- Magny, M., Peyron, O., Sadori, L., Ortu, E., Zanchetta, G., Vannièrè, B., Tinner, W., 2012. Contrasting patterns of precipitation seasonality during the Holocene in the south- and north-central Mediterranean. *J. Quat. Sci.* 27 (3), 290–296.
- Marlon, J.R., Bartlein, P.J., Walsh, M.K., Harrison, S.P., Brown, K.J., Edwards, M.E., et al., 2009. Wildfire responses to abrupt climate change in North America. *PNAS* 106 (8), 2519–2524.
- Matthews, J.A., Dresser, P.Q., 2008. Holocene glacier variation chronology of the Smørstabbtindan massif, Jotunheimen, southern Norway, and the recognition of Century- to millennial-scale European Neoglaciation Events. *The Holocene* 18 (1), 181–201.
- Morales, J.I., Burjachs, F., Allué, E., Fontanals, M., Soto, M.L., Expósito, I., Gassiot, E., Pélachs, A., Pérez-Obiol, R., Soriano, J.M., Vergès, J.M., Yll, R., 2012. Paleogeografía humana durante el Tardiglacial y el Holoceno inicial del NE ibérico. *Quat. Geomorph.* 26 (3–4), 11–28.
- Morales-Molino, C., García-Antón, M., Morla, C., 2011. Late Holocene vegetation dynamics on an Atlantic-Mediterranean mountain in NW Iberia. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 302, 323–337.
- Morales-Molino, C., García-Antón, M., Postigo-Mijarra, J.M., Morla, C., 2013. Holocene vegetation, fire and climate interactions on the western most fringe of the Mediterranean Basin. *Quat. Sci. Rev.* 59, 5–17.
- 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). *Quat. Int.* 181, 15–31.
- Moriondo, M., Good, P., Durao, R., Bindi, M., Giannakopoulos, C., Corte Real, J., 2006. Potential impact of climate change on forest fire risk in Mediterranean area. *Clim. Res.* 31, 85–95.
- Palet, J.M., Riera, S., 1994. Landscape dynamics from Iberian-Roman (2nd–1st centuries BC) to early medieval times (12th century) in the Montjuïc-El Port sector (Plain of Barcelona, NE Iberian Peninsula). *Mediev. Archaeol.* XXI, 517–540.
- Pausas, J.G., 2004. Changes in fire and climate in the Eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin). *Clim. Chang.* 63 (3), 337–350.
- Pélachs, A., Julià, R., Pérez-Obiol, R., Soriano, J.M., Bal, M.-C., Cunill, R., Catalán, 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.
- Pélachs, A., Rodríguez, J.M., Pérez-Obiol, R., Julià, R., Burjachs, F., Expósito, I., Cunill, R., Soriano, J.M., Yll, R., 2012. Dinámica climática y paisajística del Pirineo leridano durante la transición Tardiglacial–Holoceno. *Quat. Geomorph.* 26 (3–4), 79–96.
- Peters, M.E., Higuera, P.E., 2007. Quantifying the source area of macroscopic charcoal with a particle dispersal model. *Quat. Res.* 67 (2), 304–310.
- (84 authors) Power, M.J., et al., 2008. Changes in fire regime since the Last Glacial Maximum: an assessment based on a global synthesis and analysis of charcoal data. *Clim. Dyn.* 30 (7–8), 887–907.
- Reed, J.M., Stevenson, A.C., Juggins, S., 2001. A multi-proxy record of Holocene climatic change in southwest Spain: the Laguna de Medina, Cádiz. *The Holocene* 11, 707–719.
- Riera, S., 1993. Changements de la composition forestière dans la Plaine de Barcelone pendant l'Holocène (Littoral méditerranéen de la Péninsule Ibérique). *Palynosciences* 2, 133–146.
- Riera, S., 1994. Evolució del paisatge vegetal holocè al Pla de Barcelona, a partir de les dades pol·líniques. *Facultat de Geografia i Història, Universitat de Barcelona, Catalonia, Spain* (<http://www.tesisenred.net/handle/10803/2608>).
- Riera, S., Esteban, A., 1994. Vegetation history and human activity during the last 6000 years on the central Catalan coast (northeastern Iberian Peninsula). *Veg. Hist. Archaeobot.* 3, 7–23.
- Riera, S., Palet, J.M., 2005. Aportaciones de la Palinología a la historia del paisaje mediterráneo: estudio de los sistemas de terrazas en las Sierras Litorales Catalanas desde la perspectiva de la Arqueología Ambiental y del Paisaje. In: Riera, S., Julià, R. (Eds.), *Transdisciplinary Approach to a 8,000-yr History of Land Uses, Monografies del SERP 5*. Universitat de Barcelona, Barcelona, pp. 55–74.

- Riera, S., Turu, V., 2011. Cambios en el paisaje del valle de Ordino al inicio del Holoceno: Evolución geomorfológica, paleovegetal e incendios de época mesolítica (NW del Principado de Andorra, Pirineos Orientales). In: Turu, V., Constante, A. (Eds.), *El Cuaternario en España y áreas afines, avances en 2011. XIII Reunión Nacional de Cuaternario, Andorra La Vella*, pp. 201–204 (<http://www.igeotest.ad/igeofundacio/Activitats/Docs/PDF/ACTAS%20ANDORRA%202011.pdf>).
- Roberts, N., Jones, M.D., Benkaddour, A., Eastwood, W.J., Filippi, M.L., Frogley, M.R., Lamb, H.F., Leng, M.J., Reed, J.M., Stein, M., Stevens, L., Valero-Garcés, B., Zanchetta, G., 2008. Stable isotope records of Late Quaternary climate and hydrology from Mediterranean lakes: the ISOMED synthesis. *Quat. Sci. Rev.* 27, 2426–2441.
- Ryan, P.A., Blackford, J.J., 2010. Late Mesolithic environmental change at Black Heath, south Pennines, UK: a test of Mesolithic woodland management models using pollen, charcoal and non-pollen palynomorph data. *Veg. Hist. Archaeobot.* 19 (5–6), 545–558.
- Sadori, L., Giardini, M., 2007. Charcoal analysis, a method to study vegetation and climate of the Holocene: the case of Lago di Pergusa (Sicily, Italy). *Geobios* 40 (2), 173–180.
- Sadori, L., Giraudi, C., Petitti, P., Ramrath, A., 2004. Human impact at Lago di Mezzano (central Italy) during the Bronze Age: a multidisciplinary approach. *Quat. Int.* 113, 5–17.
- Sadori, L., Zanchetta, G., Giardini, M., 2008. Last Glacial to Holocene palaeoenvironmental evolution at Lago di Pergusa (Sicily, Southern Italy) as inferred by pollen, microcharcoal, and stable isotopes. *Quat. Int.* 181, 4–14.
- Stevenson, A.C., 2000. The Holocene forest history of the Montes Universales, Teruel, Spain. *The Holocene* 10, 603–610.
- Swain, A.M., 1973. A history of fire and vegetation in northeastern Minnesota as recorded in lake sediments. *Quat. Res.* 3 (3), 383–390.
- Tinner, W., Conedera, M., Ammann, B., Gäggeler, H.W., Gedye, S., Jones, R., Säggesser, B., 1998. Pollen and charcoal in lake sediments compared with historically documented forest fires in southern Switzerland since ad 1920. *The Holocene* 8, 31–42.
- 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.
- Tinner, W., van Leeuwen, J.F.N., Colombaroli, D., Vescovi, E., van der Knaap, W.O., Henne, P.D., Pasta, S., D'Angelo, S., La Mantia, T., 2009. Holocene environmental and climatic changes at Gorgo Basso, a coastal lake in southern Sicily, Italy. *Quat. Sci. Rev.* 28, 1498–1510.
- Trouet, V., Taylor, A.H., Carleton, A.M., Skinner, C.N., 2006. Fire-climate interactions in forests of the American Pacific coast. *Geophys. Res. Lett.* 33 (18) (L18704).
- Turner, R., Roberts, N., Jones, M.D., 2008. Climatic pacing of Mediterranean fire histories from lake sedimentary microcharcoal. *Glob. Planet. Chang.* 63, 317–324.
- Turner, R., Roberts, N., Eastwood, W.J., Jenkins, E., Rosen, A., 2010. Fire, climate and the origins of agriculture: micro-charcoal records of biomass burning during the Last Glacial Interglacial Transition in Southwest Asia. *J. Quat. Sci.* 25 (3), 371–386.
- Tzedakis, P.C., 2007. Seven ambiguities in the Mediterranean palaeoenvironmental narrative. *Quat. Sci. Rev.* 26, 2042–2066.
- van der Knaap, W.O., van Leeuwen, J.F.N., 1995. Holocene vegetation succession and degradation as responses to climatic change and human activity in the Serra da Estrela, Portugal. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 89, 153–211.
- Vannièrè, B., Colombaroli, D., Chapron, E., Leroux, A., Tinner, W., Magny, M., 2008. Climate versus human-driven fire regimes in Mediterranean landscapes: the Holocene record of Lago dell'Accesa (Tuscany, Italy). *Quat. Sci. Rev.* 27, 1181–1196.
- Vannièrè, B., Power, M.J., Roberts, N., Tinner, W., Carrión, J., Magny, M., Bartlein, P., Colombaroli, D., Daniau, A.L., Finsinger, W., Gil-Romera, G., Kaltenrieder, P., Pini, R., Sadori, L., Turner, R., Valsecchi, V., Vescovi, E., 2011. Circum-Mediterranean fire activity and climate changes during the mid-Holocene environmental transition (8500–2500 cal. BP). *The Holocene* 21, 53–73.
- Veblen, T., Kitzberger, T., 2002. Inter-hemispheric comparison of fire history: the Colorado Front Range, U.S.A., and the Northern Patagonian Andes, Argentina. *Plant Ecol.* 163 (2), 187–207.
- Walker, M.J.C., Björck, S., Lowe, J.J., Cwynar, L.C., Johnsen, S., Knudsen, K.L., Wohlfarth, B., INTIMATE group, 1999. Isotopic 'events' in the GRIP ice core: a stratotype for the Late Pleistocene. *Quat. Sci. Rev.* 18, 1143–1150.
- Whitlock, C., Larsen, C., 2001. Charcoal as a fire proxy. In: Smol, J.P., Birks, H.J.B., Last, W.M. (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Kluwer, Dordrecht, pp. 75–97.
- Yll, R., Burjachs, F., Expósito, I., 2009. Descubrint els paisatges del passat. In: Marí, M. (Ed.), *Vila i Ses Feixes. Els camins de l'aigua*. GEN-GOB Eivissa, Eivissa, pp. 19–40.

7 TAFONOMÍA POLÍNICA

Producido, Conservado, Registrado, Recuperado

7.1 Introducción

El potencial de la palinología arqueológica y su fiabilidad, se fundamenta en la correlación de los registros procedentes de yacimientos arqueológicos con los derivados del análisis de depósitos naturales (turberas, lagos, fondo marino, etc.) por medio de dataciones relativas o fechas radiométricas.

A pesar de esto, la arqueopalinología se enfrenta a algunas limitaciones como las discontinuidades sedimentarias, la conservación diferencial de los polinómorfos, el sesgo introducido por homínidos o animales o el supuesto movimiento vertical de polinómorfos. Todas estas cuestiones obligan

a acometer el estudio del espectro polínico obtenido de la potencia sedimentaria de un contexto arqueológico desde una perspectiva tafonómica.

El objetivo fundamental de la Tafonomía es la explicación de la formación del registro fósil y las modificaciones que ha experimentado, los fósiles, o entidades tafonómicas, y los organismos productores, o entidades paleobiológicas. Éstos tienen distinta naturaleza y deben ser distinguidos en cualquier análisis e interpretación paleoecológica. Para entender como se ha generado una entidad tafonómica, hay que intentar conocer tanto su origen, que puede

explicarse a través de la paleobiología o de las interpretaciones paleobiológicas, como los factores que determinan su composición y estructura, generalmente relacionados con la organización del registro fósil y las alteraciones tafonómicas documentadas.

Existen tres fases principales en la historia de cualquier fósil o conjunto fósil: la muerte o producción del elemento conservado, el enterramiento y el descubrimiento. Todo ello conformaría el objeto de estudio de la disciplina tafonómica tal y como fue definido por Efremov (1940), el paso de la biosfera a la litosfera. En general, el estudio de los procesos de fosilización implica la consideración de dos procesos diferenciados; los bioestratinómicos (Weigelt, 1927), que acontecen desde la producción al enterramiento, y los fosildiagenéticos (Müller, 1963), relacionados con los procesos que afectan a la entidad tafonómica después del enterramiento (Fernández-López, 1988). Los límites entre estas dos etapas fundamentales de la fosilización no son estrictos y pueden ser transgredidos en varias ocasiones a lo largo de la historia tafonómica de la entidad

(Fernández-López y Fernández-Jalvo, 2002).

En el caso de la tafonomía vegetal, Gastaldo (1988) delimitó las tres fases acuñadas por Efremov de acuerdo con el trasfondo genético implícito (producción, interacción sedimentaria y procesos litosféricos). Así, este autor entendió la muerte o necrobiosis como el estudio de la producción de un determinado resto vegetal, ya sea en forma de elemento corporal, como una hoja, o como elemento derivado de la actividad orgánica, como en el caso del polen, hasta que este resto interactúa con los procesos sedimentarios (agua, aire, etc.). La bioestratinomía comprendería los procesos de transporte y sedimentación hasta que el resto vegetal se entierra temporal o definitivamente. Finalmente, la fosildiagénesis estudiaría los procesos fundamentalmente litosféricos que ocurren durante el enterramiento (Fernández-López, 1995) (Fig. 7.1).

En cualquier elemento o fósil registrado es posible distinguir el conjunto de caracteres primarios u originales, heredados de las correspondientes entidades paleobiológicas

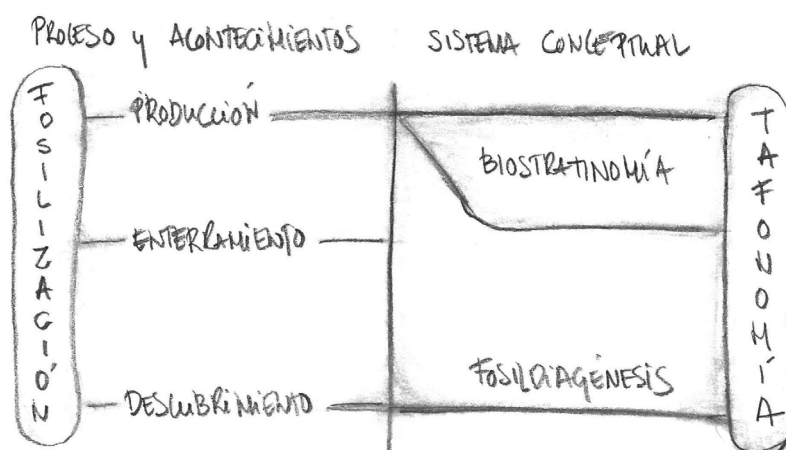


Figura 7.1. Esquema de los subsistemas conceptuales de la Paleontología referentes a los procesos de fosilización (Dibujo I.E.B. Adaptado de Fernández López, 1988).

productoras, del conjunto de caracteres secundarios que han sido adquiridos durante la alteración tafonómica. La información taxonómica del registro fósil está contenida en los conjuntos de **caracteres primarios** individuales que poseen los elementos conservados, que solo representan una pequeña fracción de los caracteres anatómicos derivados de los organismos que los produjeron (Fernández-López, 2001) (Fig. 7.2).

Desde el punto de vista **individualista / globalista y transformista** de la fosilización, en la línea de lo descrito para la “tafonomía negativa” en Martín-Closas y Gómez (2004), la formación de cada yacimiento implica la destrucción de los restos de origen orgánico menos resistentes, debido a la intervención de diferentes factores que han actuado a modo de filtros sucesivos. La composición taxonómica del conjunto conservado viene determinada por los procesos selectivos que han ocurrido



Figura 7.2. Diagrama de flujo de la relación entre las entidades paleobiológicas y las entidades tafonómicas (Dibujo I.E.B. Adaptado de Fernández López, 2000).

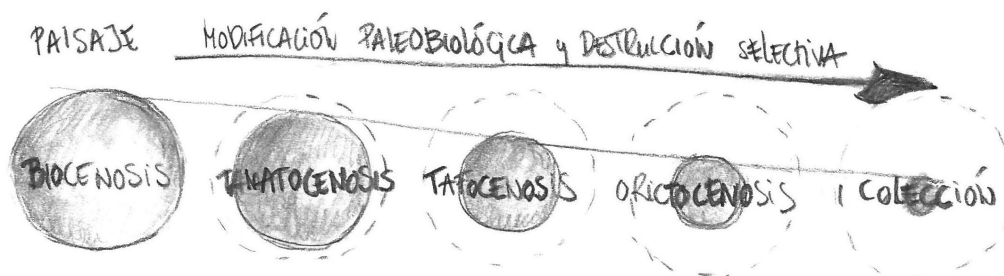


Figura 7.3. Modelo de fosilización entendida desde un planteamiento individualista o globalista y transformista (Dibujo I.E.B. Adaptado de Fernández López, 2000).

Para explicar las modificaciones experimentadas por los fósiles, se utilizan dos modelos alternativos de la fosilización, según se utilice un planteamiento transformista o evolucionista.

durante su formación. Desde esta perspectiva, la fosilización implica necesariamente pérdida y disminución de información paleoecológica, persistiendo en el registro fósil solo los restos y las señales paleobiológicas más resistentes que no han sido destruidas durante el proceso (Fig. 7.3).

Este trasfondo teórico es el que impera en la aproximación tafonómica tradicional al análisis del espectro polínico conservado. En términos generales, se considera que el conjunto polínico conservado es el que ha sobrevivido al proceso de fosilización, gracias a la abundancia en que ha sido producido o la resistencia de su exina, entre otros factores. El principal objetivo de este enfoque individualista / globalista es la evaluación del sesgo, que condicionaría la viabilidad del espectro polínico obtenido para la reconstrucción paleoecológica.

En cambio, desde el punto de vista del **modelo sistemista y evolucionista**, la diversidad y el orden alcanzado por el registro fósil durante la fosilización es el resultado de procesos no-paleobiológicos, con modificaciones sucesivas, en los cuales, algunos grupos tafonómicos han derivado de otros preexistentes, lo que da lugar a una dinámica mucho más compleja que la descrita tradicionalmente para la formación del registro fósil. El modelo sistemista, que concuerda con lo descrito en Martín-Closas y Gómez (2004) para la “tafonomía positiva”, parte de los postulados de producción, emergencia y modificación (Fig. 7.4).

La **producción** hace referencia al proceso por el que se ha generado nuestro conjunto de restos o señales, que llamamos fósiles, y no implica necesariamente la muerte del organismo productor. Los organismos paleobiológicos o los restos de ellos derivados, pueden dar lugar a evidencias múltiples no solamente al morir sino también al realizar alguna actividad o a partir de otros restos o señales preexistentes. La fosilización es un mecanismo en el que intervienen dos componentes interrelacionados, la **producción biogénica** (original) y la **producción tafogénica** (secundaria), según si los fósiles han sido generados por entidades biológicas del pasado o por entidades tafonómicas persistentes (Fernández-López, 2001).

El postulado tafonómico de **emergencia** implica que los sistemas tafonómicos están constituidos por entidades tafonómicas elementales (elementos conservados) o supraelementales (como son las poblaciones tafónicas y las asociaciones conservadas). Desde un punto de vista sistemista, cada entidad tafonómica y su ambiente externo interaccionan entre sí y constituyen un sistema tafonómico particular, denominado **tafosistema** (Fernández-López, 2000, 2001;

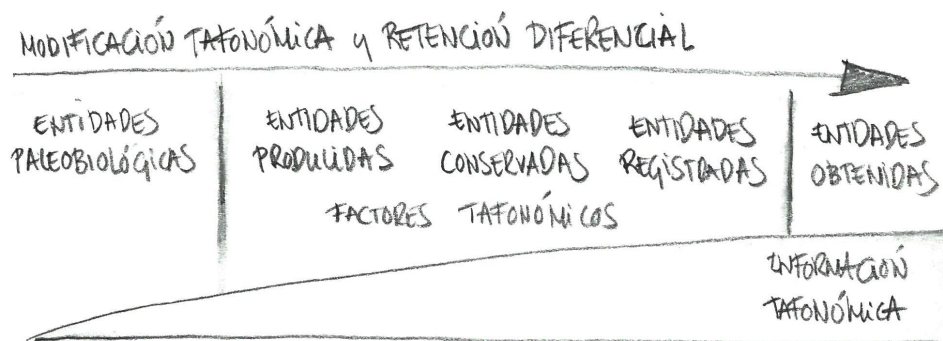


Figura 7.4. Modelo de fosilización entendido desde un planteamiento sistemista y evolucionista (Dibujo I.E.B. adaptado de Fernández López, 2000).

Fernández-López y Fernández-Jalvo, 2002). Las unidades de información tafonómica no son, por tanto, **caracteres secundarios** de los fósiles sino grupos discretos de varios caracteres tafonómicos (primarios y secundarios).

Un elemento conservado es cualquier resto o señal de una entidad biológica del pasado. El estar fósil o fosilizado no es el resultado de la pérdida de propiedades originales a causa del proceso de fosilización, sino una propiedad nueva de los elementos conservados con respecto de sus componentes iniciales. Por tanto, lo que determina el destino de una entidad producida y conservada no es solo el ambiente externo a la que ha estado sometida, sino también las propiedades que presentaba dicha entidad en cada etapa del proceso.

En este punto, el postulado de **modificación** implica que las entidades tafonómicas no son inertes o pasivas, ya que cualquier entidad tafonómica está involucrada en algún proceso. La conservación tafonómica no es una propiedad estática, sino el resultado de las sucesivas modificaciones ocurridas por alteración tafonómica. Los sistemas tafonómicos han experimentado modificaciones durante la fosilización y cuanto más reciente es el estadio considerado, más diferenciadas están las entidades tafogénicas respecto a las entidades tafonómicas inicialmente producidas.

Este enfoque filosófico, consideraría el espectro polínico conservado como una entidad independiente del espectro original y que plantea el análisis de la asociación registrada. Por tanto, el conjunto polínico identificado, si no consideráramos el sesgo como fundamental, implica necesariamente la aceptación de que los factores tafonómicos no

son intrínsecamente destructivos. Al contrario, el estudio de la fosilización desde la perspectiva sistemista implica recabar la información presente en el conjunto polínico fósil a partir de sus rasgos secundarios, esto es, a partir de las modificaciones que ha experimentado.

Como en el caso de cualquier otra entidad biológica producida, el polen conservado experimenta modificaciones en su composición, estructura y/o ubicación, que puede implicar su destrucción. Entre los distintos mecanismos de alteración tafonómica (Fernández-López, 2001) por los cuales cualquier elemento o asociación ha podido experimentar modificaciones destacan la biodegradación, carbonificación, encostramiento, relleno sedimentario, mineralización (cementación, neomorfismo, reemplazamiento), abrasión, bioerosión, disolución, maceración, distorsión, necrocinesis y desplazamientos fosildiagnéticos (reorientación, desarticulación, dispersión, reagrupamiento, remoción).

7.2 Mecanismos generales de alteración tafonómica

A continuación, se desglosan los principales mecanismos de alteración descritos por Fernández López (2000, 2001), que son susceptibles de entrar a formar parte de la historia tafonómica de los espectros polínicos conservados.

7.2.1 Biodegradación

Comprende los procesos de descomposición de las sustancias orgánicas por la acción de organismos vivos. Los organismos

necrófagos, los detritívoros o los descomponedores son agentes muy importantes durante las primeras fases de alteración tafonómica. Los principales microorganismos descomponedores son bacterias, hongos, algas protozoos y nematodos. También los insectos y plantas saprófitas actúan como alteradores de restos orgánicos. La descomposición de las sustancias orgánicas es denominada fermentación en el caso de ser anaerobia, o putrefacción en el caso de que se produzca con presencia de oxígeno. Ambos procesos pueden producirse simultánea o alternativamente durante el proceso de biodegradación. La descomposición suele ser anaerobia después del enterramiento, aunque haya sido aerobia en las etapas anteriores de biodegradación tafonómica (Fernández-López, 2000).

Además de estos factores que actúan desde el exterior, en los procesos de biodegradación influyen la composición química, la estructura y la distribución de la materia orgánica de los restos. Entre los compuestos orgánicos de mayor estabilidad se encuentran algunos glúcidos, concretamente algunos polisacáridos complejos como la **quitina o entomolina**, que es un componente característico de alas y tegumentos de los insectos, de los exoesqueletos y mudas de los artrópodos, y también se encuentra en los tejidos esqueléticos de algas, hongos, foraminíferos, etc. Otros elementos orgánicos especialmente resistentes a la biodegradación son la **lignina**, que es polímero, componente fundamental en los tejidos de soporte de las plantas superiores o la **esporopolenina**, que, como ya hemos descrito con anterioridad, es un politerpeno emparentado con la celulosa que conforma la capa externa de la pared polínica.

Además de la composición química de los restos conservados, el menor tamaño de las partículas que los constituyen y el mayor grado de porosidad también favorecen la descomposición. Por ello la fragmentación de los restos o la disolución de sus componentes minerales, que respectivamente disminuyen su tamaño y aumentan su porosidad, puede incrementar la tasa de descomposición. Los productos resultantes de la biodegradación tafonómica condicionan el pH del ambiente externo e intervienen como agentes alterativos de otros restos de origen orgánico. Además de los cambios químicos en el sedimento, la biodegradación puede suponer la modificación de la textura original del sedimento, al formarse cavidades y conductos de desgasificación.

7.2.2 Abrasión

El desgaste mecánico de los elementos conservados suele deberse al impacto que ejercen sobre ellos las partículas transportadas por el agua o por el viento o bien al rozamiento de los propios elementos cuando son movidos. Como resultado de la abrasión la superficie externa del polen y esporas podría aparecer pulida y sus relieves positivos desgastados o borrados. En muchas asociaciones conservadas es posible establecer diferentes categorías de desgaste entre sus elementos, teniendo en cuenta el grado de esfericidad o pulido que han adquirido. Los elementos conservados pueden presentar, aunque resulta difícil de determinar, pulidos o desgaste solo en una porción de su superficie y adquirir una faceta de desgaste (Fernández-López, 2000; Müller, 1979).

Los efectos de la abrasión observables en los elementos conservados son indicativos de la

energía mecánica del ambiente en que han sido desgastados, aunque es difícilmente detectable en el caso del polen y las esporas, si se excluyen los casos debidos a la intervención de agentes biológicos. La durabilidad de los elementos conservados, su capacidad de persistir, suele disminuir al aumentar el tamaño y/o disminuir el grado de clasificación de las partículas sedimentarias que actúan como abrasivo. Respecto al pulido, este afecta más a los elementos más finos y angulosos que a los gruesos y redondeados.

Además de los factores extrínsecos, en los procesos de abrasión también influyen las propiedades estructurales y composición de los elementos conservados. En general, los elementos más esferoidales, con microestructura de grano más fino, más compacta, y con menor cantidad de materia orgánica, son más resistentes que los discoidales, con microestructura de grano grueso y alta porosidad. En algunos casos, el grado de abrasión es directamente proporcional al tamaño de los fósiles.

7.2.3 Bioerosión

La bioerosión implica la degradación centrípeta del elemento fosilizado, por medios mecánicos y/o por la actuación de ácidos orgánicos, anhídrido carbónico, enzimas u otros productos de su metabolismo. Las algas, hongos y bacterias microendolíticas son importantes agentes tafonómicos en ambiente marinos, mientras los insectos juegan un papel bioerosivo muy significativo en ambientes subaéreos. Las plantas superiores intervienen también como agentes bioerosivos en el caso de los elementos conservados ubicados en los horizontes superiores de los suelos. Los herbívoros y carnívoros pueden contribuir,

aunque de manera indirecta a algunos procesos de desgaste y disolución de la cubierta polínica del espectro conservado en los restos regurgitados o excretados, que pueden presentar evidencias de corrosión química (Fernández-López, 2000).

La identificación de los organismos bioerosivos posibilita la interpretación de las condiciones paleoambientales en que tuvo lugar dicha fase de alteración tafonómica. Estos procesos de bioerosión son ralentizados e incluso inhibidos en los ambientes de alta tasa de sedimentación por enterramiento rápido. Hay que destacar que estos procesos no son necesariamente destructivos, sino que puede favorecer otros procesos como el de mineralización y relleno, de manera que se incrementa la conservabilidad.

7.2.4 Distorsión

La distorsión tafonómica comprende cualquier cambio de tamaño, forma, estructura y/o textura de un elemento conservado, debido a la actuación de algún esfuerzo mecánico (Fernández-López, 2000). Los efectos de la distorsión, que también se observan en el polen y esporas fósiles, pueden ser continuos o discontinuos. Por ejemplo, las grietas, fisuras o fracturas son efectos discontinuos de la distorsión tafonómica, en tanto que las arrugas o pliegues son deformaciones continuas.

Los agentes biológicos de la distorsión suelen producir deformaciones bioestratinómicas discontinuas en los elementos conservados. Por ejemplo, los gases liberados durante la descomposición de la materia orgánica, tienden a hinchar los tejidos produciendo

cavidades o fisuras, lo que ocurre frecuentemente en los coprolitos.

La acción meteórica, en especial las variaciones de temperatura o la acción del hielo, también puede producir, en ambientes subaéreos, distorsiones bioestratinómicas en forma de agrietamientos o fracturación. El patrón de agrietamiento y el tipo de fractura depende del porcentaje de materia orgánica que persiste en los restos. La resistencia mecánica de los restos suele depender más de la textura y estructura que de la composición mineralógica.

En los primeros estadios fosildiagenéticos, los procesos de reemplazamiento y neomorfismo suelen ocasionar fenómenos locales de expansión, compresión, plegamiento, agrietamiento y cambio de porosidad. Al aumentar la profundidad del enterramiento y la carga litostática, durante la diagénesis, los materiales experimentan presiones cada vez mayores y el esfuerzo mecánico pasa a ser unidireccional. Los elementos conservados experimentan, durante la compactación diagenética, diversos grados de compresión. El grado o tipo de distorsión alcanzado durante la fosildiagénesis depende tanto de las características del sedimento como de las propiedades de las entidades conservadas. En términos generales, los elementos más grandes, esféricos, delgados y ornamentados, serán más susceptibles a la distorsión. Por otra parte, la deformación será menor cuanto más clasificados sean los materiales en los que se encuentran.

7.2.5 Necrocinesis y desplazamientos fosildiagenéticos

Inmediatamente después de su producción (biogénica o tafogénica) los elementos conservados tienden a desplazarse hasta adquirir una posición mecánicamente más estable (Fernández-López, 2000). Estos desplazamientos no están causados por el movimiento activo de los elementos, sino por la energía del ambiente externo. Por necrocinesis se entiende cualquier desplazamiento ascendente, descendente y/o lateral de un elemento conservado antes de su enterramiento (bioestratinómico).

Los desplazamientos verticales, que en otras entidades fósiles se asocian a dinámicas subacuáticas, en el caso del residuo polínico, están relacionados a dinámicas gravitacionales favorecidas por el tamaño de las partículas sedimentarias y la estructura más o menos disgregada del depósito. Así, los desplazamientos laterales se producen por deslizamiento, rodamiento, saltación o suspensión, generalmente antes del enterramiento debido a la acción gravitatoria o bien a la actuación de un medio de carga (viento, corrientes hidráulicas, las tormentas, etc.). Los efectos de la necrocinesis no están sólo correlacionados con la energía mecánica del ambiente sedimentario, ya que el desplazamiento puede deberse también y exclusivamente a la actuación de agentes biológicos (pisoteo de animales, bioturbación, etc.).

Después del enterramiento, los elementos conservados pueden ser desplazados debido a la acción de los elementos bioturbadores, a la carga litostática debida a la compactación del sedimento, o por el desplazamiento de los materiales en que se encuentran. El

desplazamiento no solo afecta a su ubicación espacial, sino también a su posición mecánica, distribución, patrón de agrupamiento y estado de conservación. Es por ello que estos desplazamientos pueden cambiar la composición y estructura de las asociaciones conservadas.

En este contexto, los efectos de la desarticulación o dispersión, que aparecen antes, durante o después del enterramiento, no son estrictamente observables en el caso del polen y las esporas, aunque podríamos considerar el desplazamiento tras la producción polínica como un proceso necrocínésico. Aun así, parece algo extremo describir la pérdida de sacos aeríferos del pino como una desarticulación, aunque algunos autores sí consideran una información esencial en lo que respecta a la fase bioestratinómica del proceso de fosilización la presencia de taxones démicos o tafofloras autóctonas (fósiles conservados en áreas donde vivieron) y adémicos o tafofloras alóctonas (fósiles registrados en áreas en las que no vivieron) en función de la dispersión y la procedencia de las especies productoras del polen o espора conservado (Gastaldo, 1988; Behrensmeyer y Hook, 1992).

7.2.6 Reagrupamiento

Durante la fosilización, la mayoría de los elementos conservados han sido agrupados de nuevo o de forma diferente a como se encontraban tras ser producidos por las entidades biológicas (Fernández-López, 2000). Una serie de conceptos descriptivos que sirven para expresar de qué manera están ordenados o distribuidos los fósiles son: la abundancia, la densidad, la concentración, la proximidad y la densidad de empaquetamiento. La abundancia

es el número de elementos conservados por unidad de superficie o volumen del área de estudio (ocupada o no por los fósiles). La densidad corresponde al número de elementos conservados por unidad de superficie o volumen en el área ocupada por los fósiles. Concentración es el valor del volumen de los elementos conservados por unidad de superficie o de volumen. La proximidad de empaquetamiento corresponde al número de elementos conservados que están en contacto con otros por unidad de superficie o volumen. Densidad de empaquetamiento es el volumen ocupado por los elementos conservados respecto al volumen total del cuerpo rocoso.

Durante la compactación del sedimento aumenta el grado de empaquetamiento de los elementos conservados, e incluso llegan a reunirse elementos que estaban en posiciones topográficamente sucesivas. Entre los posibles efectos de los fenómenos de reagrupamiento tafonómico destaca la formación de asociaciones mezcladas, formadas por elementos que corresponden a entidades biológicas diferentes, y asociaciones condensadas, constituidas por elementos que corresponden a entidades biológicas cronológicamente sucesivas que incluyen asociaciones mezcladas.

Después de ser acumulados, algunos elementos conservados han podido ser desplazados sobre el sustrato, lo que se denomina remoción o removilización tafonómica. La remoción comprende los procesos de resedimentación (bioestratinómico) o desplazamiento sobre el sustrato previo enterramiento y reelaboración (fosildiagenético), que consiste en el desenterramiento y desplazamiento de los restos de entidades biológicas pretéritas. Por

tanto, los estados en los que se puede encontrar un elemento o asociación conservada son: acumulado, resedimentado o reelaborado. Estos procesos, a excepción de la acumulación, pueden ser reiterativos y, aunque suelen ir acompañados de otras modificaciones tafonómicas, no son necesariamente destructivos. Los elementos reelaborados pueden ser desgastados durante los desplazamientos, sin embargo, los procesos de desenterramiento suelen ir asociados a cambios en el pH del ambiente externo, que favorece la transformación de los restos, por sustitución o adición de elementos minerales más estables y de mayor resistencia mecánica.

7.3 Análisis tafonómico del registro polínico

Partiendo de lo expuesto anteriormente, la aplicación del análisis tafonómico al registro polínico recuperado se lleva a cabo generalmente desde una perspectiva individualista cuyo objetivo principal es la evaluación del sesgo

Uno de los principales elementos a considerar desde esta perspectiva es el efecto condicionante subyacente a la producción diferencial de polen y/o esporas. La producción polínica es un fenómeno estacional que implica la dispersión de granos en la atmósfera en mayor o menor medida en función de la planta de origen. La dispersión de los granos de polen y las esporas se produce por el aire, a través del transporte llevado a cabo por diferentes animales o gracias a las corrientes hídricas. La baja gravedad específica de los granos permite que se eleven a altos niveles de la atmósfera, por lo que la distribución de dichos granos puede alcanzar muchos kilómetros, cuando las condiciones meteorológicas lo favorecen. Así, la lluvia

polínica registrada en un determinado lugar procede de las plantas que viven en las inmediaciones, pero también puede tener una procedencia regional y extra regional. La dispersión de esporas fúngicas o algales es mucho más modesta y no suele alcanzar grandes distancias, excepto en algún caso excepcional en el que las esporas de ciertas especies fúngicas colonizan partes aéreas de las plantas.

A pesar de la desigualdad en la producción de polen y esporas de las diferentes especies vegetales y de los avatares derivados de su tipo de dispersión, los estudios realizados en bosques actuales demuestran que la lluvia polínica refleja, de manera bastante aproximada, las especies presentes en el entorno, así como las características de la comunidad vegetal existente. Aun así, el estudio del registro polínico presenta algunas limitaciones. De hecho, el tamaño del polen, similar al del limo (de 0,0039 mm a 0,0625 mm), hace que sea poco frecuente en arcillas y areniscas. Además, los granos de polen son sensibles a la oxidación y a la alta alcalinidad, así como a la alta temperatura y la presión. Todas estas limitaciones hacen que sean raros en determinados tipos de depósitos, como los formados por calizas puras o depósitos evaporíticos, o que aparezcan muy degradados o convertidos en materia orgánica amorfa en rocas de grado de metamorfismo medio o alto.

Como ya se ha dicho con anterioridad, la conservación de los granos polínicos está frecuentemente condicionada por la cantidad de esporopolenina en la exina, así como por el tipo de sedimento en el que se encuentra. La anoxia es la condición ideal para la conservación polínica, aunque también se

conservan pólenes y esporas en suelos oxigenados. En términos generales, la conservación es mejor en ambientes ácidos, reductores, con bajo índice de humedad y pH, altos niveles de componentes orgánicos y baja actividad bacteriana (Dimbleby, 1957; Sangster y Dale, 1961; Elsik, 1966; Havinga, 1971; Holloway, 1989; Campbell y Campbell, 1994).

Así, la conservabilidad, el estado de conservación de polen y esporas, la abundancia en la que aparecen y su distribución están condicionados por factores diversos que actúan a lo largo del proceso de fosilización (Fernández-López, 2000). De hecho, la susceptibilidad de alteración del polen y las esporas, así como los mecanismos de degradación que pueden afectarles son muy complejos y dependen, además de la composición de su cubierta o de las características del depósito, de los microorganismos presentes en el sustrato o del tiempo que los palinomorfos han pasado en el interior de la matriz sedimentaria, entre otros (Cushing, 1967; Havinga, 1984; Campbell, 1999) (Fig.7.5).



Figura 7.5 Factores que influyen en el estado de conservación, la abundancia y la distribución de los fósiles (Dibujo I.E.B. Adaptado de Fernández López, 2000).

En cualquier caso, cabe resaltar que las particularidades relacionadas con las deficiencias en la conservación del residuo polínico o de la variabilidad taxonómica, así como las irregularidades en forma de sobre o infrarrepresentaciones de determinados taxones, están bien estudiadas y descritas en la literatura existente (Faegri y Iversen, 1989; Havinga, 1967). En la mayoría de los casos, el sesgo está relacionado con factores de producción dispersión o desplazamientos (necrocinesis) eminentemente ligados a la fase biostratinómica del proceso de creación del conjunto tafonómico conservado. De todos modos, existe también la posibilidad de que procesos como el reagrupamiento incidan en la ordenación o dispersión del conjunto de polen y esporas, facilitando la pérdida de alguno de los elementos constitutivos de la asociación inicial. También procesos como la abrasión, la biodegradación o la distorsión en grados extremos puede incidir en la durabilidad tafonómica el espectro polínico, entendido, desde un punto de vista sistemista como el conjunto de fósiles que nos permitirán llevar a cabo la reconstrucción paleoambiental.

7.3.1 Mecanismos y procesos de alteración del polen y las esporas

El grado de conservación del residuo polínico en contexto arqueológico es uno de los aspectos tradicionalmente considerados de cara a emprender la interpretación paleoecológica del registro (King *et al.*, 1975; Bryant, 1988; Bryant y Holloway, 1996; Richard, 1999). Los estudios realizados referentes a los factores que determinan la conservación de pólenes y esporas en su matriz sedimentaria, apuntan a que estos son

múltiples, aunque los que se han podido ser identificados se han agrupado generalmente en factores **mecánicos**, **físico-químicos** y **biológicos** (Bryant, 1978; Bryant y Holloway, 1983; Lentfer y Boyd, 2000).

7.3.1.1 Degradación mecánica

Uno de los principales agentes que contribuyen a la alteración o destrucción de polen y esporas, antes y después de su deposición, es la **degradación mecánica** que puede producirse por **abrasión**, **bioerosión** o **distorsión**. De hecho, la alteración de origen mecánico puede producirse durante el tránsito de la producción a la sedimentación del polen, o ser de tipo fosildiagenético, es decir, actuar después de la sedimentación por el efecto de factores físicos como la temperatura o la oscilación de humedad a la aridez. El paso de húmedo a árido es uno de los procesos más altamente degradantes y destructivos de la pared polínica. (Davidson, 1976; Holloway, 1981; Bryant y Holloway, 1983).

7.3.1.2 Factores químicos

La degradación de los palinomorfos por **factores químicos** que podría enmarcarse dentro de los mecanismos de **bioerosión** puede llegar a ser importante en la mayoría de los depósitos arqueológicos (Bryant, 1988). Dimpleby (1957), Martin (1963) y Bryant (1969), entre otros, han estudiado el efecto del pH en la preservación de los granos de polen. Lo que se deduce de los trabajos experimentales antes citados es que los pH básicos suelen influir negativamente en la conservación de los palinomorfos. Así, ciertos compuestos químicos, sobre todo aquéllos de naturaleza básica como el magnesio, potasio,

sodio y los carbonatos, pueden actuar degradando la pared polínica (Havinga, 1967, 1971).

Como ya hemos dicho anteriormente, la composición química y la estructura de la pared polínica son otros dos factores importantes que determinarán la homeostasis o estabilización tafonómica que favorecerá la conservabilidad de los granos de polen en ciertos tipos de sedimentos arqueológicos (Bryant y Holloway, 1983; Horowitz, 1992). Havinga (1964) ha puesto de manifiesto la evidente relación entre el porcentaje de esporopolenina y el de celulosa en la pared polínica, con la eventual destrucción del grano polínico. Así, un bajo porcentaje de esporopolenina, en la exina o en la pared externa de un grano de polen, aumenta la susceptibilidad a su destrucción por oxidación (Elsik, 1971; Bryant y Holloway, 1983). La estructura de la pared polínica es también un factor que limita potencialmente la preservación de los palinomorfos. De este modo, pólenes con estructuras yuxtapuestas o con elementos salientes tienen tendencia a romperse y erosionarse a causa de la abrasión mecánica o química, lo que dificulta su identificación.

7.3.1.3 Agentes biológicos

Finalmente, ciertos agentes **biológicos** (hongos, bacterias) pueden causar una alteración significativa de los granos de polen depositados en yacimientos arqueológicos coincidente con el mecanismo de **biodegradación**. Éstos son altamente destructivos, pues tienen la capacidad de incluirse en el citoplasma polínico y desde él atacar la pared.

7.3.2 Vestigios de alteración del grano de polen

Es sabido que el grado de preservación de los palinomorfos puede presentar una gran variabilidad tanto en una misma muestra como con respecto a varios conjuntos (Sangster y Dale, 1961, 1964; Cushing, 1967; Birks, 1970; Lowe, 1982). Cushing (1967) definió seis **categorías de preservación** basadas en la apariencia física de los granos de polen: bien preservado, roto, arrugado con exina alterada, arrugado con exina normal corroído y degradado.

- El polen **bien preservado** es aquel que no presenta ningún tipo de alteración en su morfología externa.
- El origen del polen perteneciente a las categorías **fracturado** o **arrugado** es incierto, aunque se han observado altas frecuencias de fracturación en espectros procedentes de depósitos fluviales (Brown *et al.*, 2007; Tipping, 1995). De hecho, estudios experimentales indican que el daño mecánico producido directamente por el transporte fluvial es mínimo (Campbell, 1991), pero que la reiteración de las fases de humedad y desecado pueden provocar tanto las fracturas como la corrosión (Holloway, 1989; Campbell y Campbell, 1994). El paso reiterado de un contexto húmedo a otro seco es esperable cuando el polen pasa por múltiples fases de transporte y deposición antes de ser definitivamente incorporado a un depósito. Hay alguna evidencia acerca de que la compactación sedimentaria puede causar también algún tipo de daño mecánico (Delcourt y Delcourt,

1980) y es probable que el polen que ha sido atacado por la corrosión en una fase inicial sea también más susceptible a la deformación (Lowe, 1982).

- El polen **corroído** muestra zonas localmente desgastadas o un extendido adelgazamiento en la exina (Havinga, 1964, 1984; Tipping, 1987; Holloway, 1989). La corrosión puede ser causada por la oxidación química (Havinga, 1964; Brooks y Elisk, 1974), por la repetición de ciclos de humedad y aridez (Holloway, 1989) o por la acción de bacterias y hongos (Goldstein, 1960; Havinga, 1964, 1984). El polen y las esporas difieren en su susceptibilidad a la corrosión (Sangster y Dale, 1961, 1964), muy probablemente como resultado de las variaciones intraespecíficas de la forma y contenido de su esporopolenina (Brooks y Shaw, 1972). Si la corrosión es severa, el espectro esporo-polínico obtenido puede no ser fiable ya que los tipos más susceptibles pueden perderse o resultar inidentificables y aquellos más resistentes aparecer artificialmente sobrerrepresentados (Hall, 1981; Havinga, 1984).
- El último estadio de los tipos de alteración definidos por Cushing (1967), el polen **degradado** (Lowe, 1982), está basado en la constatación de la modificación de elementos estructurales y esculturales. La identificación de esta alteración es dificultosa dado que los criterios establecidos son algo ambiguos y

subjetivos. Se ha observado la presencia significativa de polen degradado en suelos con baja actividad biológica y en asociación con polen corroído (Cushing, 1967; Birks, 1970; Lowe, 1982; Havinga, 1984).

Estudiar el modo en que el conjunto polínico ha sido preservado puede ayudar a determinar si un cambio en el registro polínico refleja un cambio real en el paisaje, o si es un artefacto de algún tipo relacionado con algún rasgo del ambiente deposicional o preservacional (Tweddle y Edwards, 2010). Aun así, el análisis del grado de conservación del residuo polínico no es frecuente y adolece de datos experimentales y de espectro fósil vinculados con contextos geográficos y sedimentarios distintos (Tipping, 2000).

7.3.3 Alteraciones observadas

La aplicación de las categorías de preservación de Cushing (1967) para cuantificar alteraciones o definir grados de alteración, no siempre es posible en polen fósil procedente de registros arqueológicos. En términos generales, la presencia de polen bien preservado, o sea carente de ningún tipo de alteración, es poco significativa y el polen arrugado aparece de forma generalizada. En cambio, existen cuatro tipos de alteraciones específicas que sí se han observado, en diferentes grados, en las muestras procedentes de El Mirador que constituyen la base de análisis del artículo asociado a este capítulo. Las características fundamentales de las alteraciones cuantificadas en el análisis se describen a continuación.

7.3.3.1 Oxidación

Se ha identificado en pólenes que presentan un oscurecimiento progresivo que va desde el amarillo habitual, al anaranjado, rojizo, marrón y negro (Campbell, 1999). En términos generales, la exina aparece deteriorada, a veces con pequeñas partículas negras en su interior que podrían ser microcarbones. Esta alteración puede, en los casos más extremos, implicar la total deformación de los granos polínicos (Woods, 1955; Sengupta, 1975; Ghosh *et al.*, 2006). En este sentido, la composición química y la estructura de la pared polínica siguen siendo unos condicionantes especialmente relevantes en lo que a la incidencia de esta y otras alteraciones se refiere (Bryant y Holloway, 1983; Horowitz, 1992). Havinga (1964) describió, precisamente, la relación existente entre el bajo porcentaje de esporopolenina y celulosa en la exina polínica, con una mayor probabilidad de destrucción de los granos a causa de la oxidación.

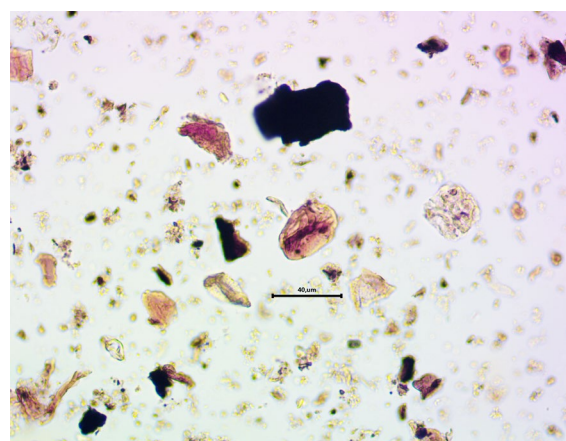


Figura 7.6. Fotografía a 600 aumentos en la que se observa un polen alterado por oxidación (Euromex iScope IS.1153-Pli-Cámara digital CMOS 10 MP EUROMEX DC.10000-Pro).

7.3.3.2 Fracturación

Se ha identificado en granos que presentan algún tipo de rotura. Este tipo de alteración ha sido descrita también por Cushing (1967), Campbell (1999), Campbell y Campbell (1994), Holloway (1989), Twiddle y Bunting (2010) y Lebreton *et al.* (2010). De nuevo, hay que resaltar que la composición y la estructura del grano polínico condiciona la conservación y el estado de preservación del polen (Bryant y Holloway, 1983; Horowitz, 1992). Por otro lado, y aunque parece que las fracturas podrían tener un origen mecánico, que incidiría incluso después del enterramiento, de nuevo los factores físicos como la temperatura o los cambios en la humedad, parecen estar en el origen de la fracturación presente en pólenes y esporas (Davidson, 1976; Holloway, 1981; Bryant y Holloway, 1983). Además, hay algunas evidencias que indican que la compactación sedimentaria podría causar algún tipo de daño mecánico que derivase en la fractura de los granos (Delcourt y Delcourt, 1980) y parece probable que los granos que han sido atacados previamente por la corrosión son más susceptibles de presentar este tipo de alteración (Lowe, 1982).

7.3.3.3 Compactación

Los granos presentan una morfología plana, sin ningún tipo de volumen. Esta alteración, que implica la eliminación del protoplasto del polen por compresión, ha sido descrita por Sangster y Dale (1961). En cualquier caso, establecer la incidencia de este tipo de alteración es difícil, ya que su presencia está muy condicionada por el tamaño y la morfología de pólenes y esporas. Aunque no hay un único mecanismo que puede dar lugar a esta alteración, parece que la reiteración de



Figura 7.7. Fotografía a 600 aumentos en la que se observa un polen fracturado (Euromex iScope IS.1153-Pli-Cámara digital CMOS 10 MP EUROMEX DC.10000-Pro).



Figura 7.8. Fotografía a 600 aumentos en la que se observa un polen compactado (Euromex iScope IS.1153-Pli-Cámara digital CMOS 10 MP EUROMEX DC.10000-Pro).

ciclos de humedad / aridez puede provocar que los pólenes y esporas se expandan y contraigan, lo que conllevaría las fracturas y plegamientos del grano y, en definitiva, la pérdida de su integridad estructural (Holloway, 1989; Campbell, 1991; Campbell y Campbell, 1994).

7.4 Arqueopalinología en cueva

Partiendo del concepto sistemista de **tafosistema**, en el que se profundizó al inicio del capítulo, cada entidad tafonómica y su

ambiente externo interactúan entre sí y constituyen un sistema tafonómico particular (Fernández-López, 2000; Fernández-López, 2001; Fernández-López y Fernández-Jalvo, 2002). Si existe un tipo de depósito especialmente complejo en lo referente a la dinámica de interacción tafonómica de la entidad conservada y el contexto, es el arqueológico. Los depósitos terrestres que caracterizan a la mayoría de depósitos arqueológicos son un reflejo de cuestiones tafonómicas mucho menos conocidas que los característicos sistemas de lagos y turberas (Tweddle y Edwards, 2010). Los sedimentos arqueológicos suelen presentar perturbaciones y son típicamente heterogéneos, combinando una mezcla de materiales de diferentes orígenes (Greig, 1981).

Diversos autores han demostrado la importancia de los fenómenos de corrosión del material espora-polínico en medios secos, que son los que constituyen la mayor parte de los yacimientos (Havinga, 1964, 1967, 1971, 1984; Morzadec-Kerfourn, 1977; Coûteux, 1977; Lowe, 1982). Esto ha llevado a un replanteamiento sobre la fiabilidad de los análisis palinológicos realizados en tales contextos sedimentarios con respecto a la reconstrucción de la paleovegetación (Turner, 1985; Turner y Hannon, 1988).

La procedencia de las muestras de contextos sedimentarios en cueva, hecho que es muy frecuente cuando hablamos de depósitos arqueológicos, añade un nuevo factor a considerar (Coles *et al.*, 1989; Burney y Burney, 1993; Navarro, 2000; Navarro *et al.*, 2001a, 2001c; Hunt y Rushworth, 2005; Hunt *et al.*, 2015; Fiacconi y Hunt, 2015, 2017), que implica la necesidad de acometer una aproximación tafonómica al registro y a la

incidencia de los procesos postdeposicionales (Carrión *et al.*, 2009). Como ya hemos dicho, cuando hablábamos de las limitaciones de la palinología arqueológica, el hándicap fundamental en el análisis polínico de sedimentos procedentes de cuevas y abrigos, es la baja concentración polínica (Horowitz, 1992; Carrión *et al.*, 1995; Pantaleón-Cano *et al.*, 1996).

Diversos trabajos de índole tafonómica han explorado la representatividad de los conjuntos palinológicos procedentes de cuevas (Weinstein-Evron, 1981, 1994; Coles *et al.*, 1989; Diot, 1991b; Carrión *et al.*, 1999a; Genty *et al.*, 2001; Rhode, 2003; Hunt y Rushworth, 2005; Scott *et al.*, 2005; Simpson y Hunt, 2009; Fiacconi y Hunt, 2015, 2017; Hunt y Fiacconi, 2018), así como los procedentes de coprolitos (Scott, 1987; Carrión, 2002; González Sampérez *et al.*, 2003; Gatta *et al.*, 2016), o de otras aportaciones polínicas bióticas al interior de las cuevas como excrementos de animales estabulados, murcielaguina, egagrópilas, etc. (Burjachs, 1988; Fernández-Jalvo, *et al.*, 1996, 1999; Navarro *et al.*, 2001a). La cuestión es dilucidar si los datos aportados por este tipo de rellenos pueden contener señales confusas en la representación de algunos taxones eminentemente locales o una representación anómala de ciertos taxones zoófilos. Estos aspectos, que también ocurren en los depósitos naturales, son fácilmente solucionables con la aplicación de los criterios estadísticos, como la exclusión de determinados taxones del cálculo de la Suma Base polínica.

7.4.1 Particularidades tafonómicas de los contextos de estabulación

Así, la evaluación de la fiabilidad del espectro polínico identificado en un depósito

arqueológico, es fundamental como paso previo a la reconstrucción paleoambiental. De este modo, el estudio de las alteraciones observadas en pólenes y esporas permite, además de concretar el sesgo existente, que afecta a la viabilidad de la reconstrucción del contexto climático y vegetal de las ocupaciones, inferir el grado de alteración del depósito, así como los rasgos fundamentales de la dinámica sedimentaria que han afectado a la conservación polínica.

Con la intención de evaluar todas estas cuestiones se acometió el análisis de distintas muestras sedimentarias procedentes del nivel MIR₄ de la Cueva de El Mirador. Los sedimentos analizados forman parte de un depósito de *fumier* típico, formado por excrementos de ovicaprinos y están vinculados con facies sedimentarias distintas, originadas fundamentalmente en base a diferentes grados de termoalteración.

Los datos obtenidos se han usado para testar la incidencia en la conservación de la riqueza palinológica de los diferentes grados de cremación identificados y para evaluar la proliferación de palinomorfos no polínicos, especialmente hongos carbonícolos y coprófilos, en las muestras con diferente grado de alteración. Los *fumiers* son depósitos singulares que han sido documentados en cuevas y abrigos de la región mediterránea desde el Neolítico a la Edad del Hierro (Angelucci *et al.*, 2009). Este tipo de depósito se caracteriza por presentar una estratigrafía compleja, conformada por la superposición de capas quemadas y no quemadas de los excrementos de herbívoros propios de los depósitos de redil (Brochier *et al.*, 1992; Brochier, 2002; Angelucci *et al.*, 2009).

Los rediles arqueológicos presentan acumulaciones de capas complejas finas y muy finas de excrementos, restos vegetales, sedimentos, restos de talla, fragmentos cerámicos y desechos, que se forman en un período de tiempo relativamente breve. Su espesor está condicionado por el tiempo de funcionamiento de la estructura de estabulación y por el número de cabezas de ganado que ha acogido (Fernández Eraso, 2002).

Generalmente, las capas que conforman el *fumier* se distribuyen de forma horizontal o siguiendo la topografía del suelo que constituye el nivel de sustentación sobre el que se apoya. Dichas capas están organizadas en secuencias que alternan niveles quemados, quemados parcialmente y no quemados formando facies de color y textura particulares, que son fácilmente reconocibles durante la excavación (Fig. 7.9). Estas capas están intercaladas por sedimentos más o menos homogéneos y suelen tener material arqueológico asociado (Brochier *et al.*, 1992; Brochier, 2002; Goldberg y Macphail, 2006; Angelucci *et al.*, 2009).

La presencia de materia orgánica y fosfatos es muy significativa, lo que implica que estos depósitos estén frecuentemente alterados por bioturbación antigua o subactual. Además, la existencia de corrientes hídricas, percolaciones, y la dinámica general de la cueva en la que se localiza el redil, van a condicionar su morfología final y la conservación de los diferentes eventos de cremación que conformaron la secuencia.

Durante el proceso de formación del relleno, hay diferentes eventos deposicionales que pueden afectar la constitución del depósito y una vez formada la secuencia van a producirse



Figura 7.9. Vista de la yuxtaposición de capas con diferente grado de cremación que conforma la estratigráfica típica del *fumier* arqueológico. Detalle de la secuencia estratigráfica de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos).

una serie de alteraciones postdeposicionales que afectarán irremediablemente a su estructura. Entre los eventos deposicionales o biostratinómicos que van a afectar al depósito, una de las dinámicas que acaban siendo una constante en la mayoría de estas acumulaciones, es el amontonamiento de las heces acumuladas para facilitar la posterior cremación. Este hecho se refleja de manera clara en la práctica totalidad de los depósitos arqueológicos documentados (Fernández-Eraso y Polo-Díaz, 2008; Angelucci *et al.*, 2009).

El ciclo de formación de un *fumier* implica la preparación, deposición, amontonamiento y quema. El episodio de quema que culmina este

proceso es equivalente a una unidad de combustión. Por tanto, una sucesión de unidades de combustión, estructuradas o no, conforman un *fumier*. En muchas ocasiones, se han documentado diversos episodios de acumulación y quema, lo que da lugar a un ciclo de estabulación (Polo-Díaz, 2009). Un *fumier* es, precisamente, un conjunto de ciclos de estabulación complejos alterados (Brochier *et al.*, 1992; Brochier, 2002).

Dentro de esta dinámica de formación, el depósito puede verse alterado por múltiples agentes; acción antrópica, bioturbación, raíces, actividad fúngica, etc., que pueden actuar tanto antes como después de la quema e, incluso, después del enterramiento.

Expósito, I., Burjachs, F. (2016). Taphonomic approach to the palynological record of burnt and unburnt samples from El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). Quaternary International 414, 258–271.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE
ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea



Contents lists available at ScienceDirect

Quaternary International

journal homepage: www.elsevier.com/locate/quaint



Taphonomic approach to the palynological record of burnt and unburnt samples from El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain)



I. Expósito ^{a, b, *}, F. Burjachs ^{a, b, c}

^a IPHES, Institut Català de Paleocologia Humana i Evolució Social, Campus Sescelades URV (Edifici W3), 43007 Tarragona, Spain

^b Àrea de Prehistòria, Universitat Rovira i Virgili (URV), Av. Catalunya 35, 43002 Tarragona, Spain

^c ICREA, Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats, Barcelona, Catalonia, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Available online 20 February 2016

Keywords:

Fumier
Sedimentary facies
Pollen analysis
NPP
Taphonomy
Burning

ABSTRACT

An analysis of twelve samples from Bronze Age level MIR4 (3040 ± 40 – 3400 ± 40 BP), burnt to different degrees, has allowed to characterise the palynological content of the sedimentary facies generated by burning practices. The pollen and Non-Pollen Palynomorphs (NPP) remains have contributed to our understanding of the diagenetic factors that accompanied the accumulation dynamics. The taphonomic analysis has led to the detection of biases in the palynological record associated to diagenetic processes, mainly relating to burning activities, which would also have caused the variability in the NPPs. This alternative approach to archaeological samples has revealed the heterogenic nature of the taphonomic modifications found in samples with apparently the same origin.

© 2016 Elsevier Ltd and INQUA. All rights reserved.

1. Introduction

Human occupation has played a decisive role in shaping the present landscape. The palynological analysis of archaeological deposits gives us a clear opportunity to determine the effects of anthropic activities on the environment. Human influence has altered the composition of plant communities through deforestation, the use of fire, and livestock and agricultural practices. The application of pollen analysis to human contexts, which began over a half century ago, has certainly contributed to both archaeological and palaeoecological studies (Iversen, 1941; Faegri, 1944; Behre, 1981, 1986; Birks et al., 1988; Edwards and Macdonald, 1991; López-Sáez et al., 2014).

In archaeological deposits, alteration of the pollen spectra is usual. There is differential conservation of pollen grains due to oxidation, biological agents such bacteria or fungi, and mechanical processes like vertical transport (Bryant et al., 1994; Bryant and Holloway, 1996). Sensitivity to oxidation varies from one taxon to another and could be directly related to the exine structure (Lebreton et al., 2010). Processes such as burning, recycling, and

bioturbation can relocate material within archaeological deposits and soils, significantly altering the pollen record (Edwards et al., 2015). Several taphonomic studies have explored the representativeness and reliability of palynomorph assemblages from caves (Weinstein-Evron, 1981; Coles et al., 1989; Diot, 1991; Weinstein-Evron, 1994; Genty et al., 2001; Simpson and Hunt, 2009).

The identification and quantification of Non-Pollen Palynomorphs (NPP), including microalgae, fungi, insects and the chitinous remains of arachnids, as well as plant debris and other organic palynomorphs of undetermined origin, can help characterise the original strata as well as the local environmental features that influenced deposit formation processes. Although the primary analyses were carried out on natural sequences from European palaeolakes and peat-bogs (Kuhry, 1985; van Smeerdijk, 1989; Ralska-Jasiewiczowa and van Geel, 1992; Carrión and Navarro, 2002), in recent decades they have emerged in archaeological contexts as a source of additional information on the local environment, the formation of deposits, and the intensity of anthropogenic activities (van Geel et al., 1989; López Sáez et al., 1998, 2000; van Geel et al., 2003; Zong et al., 2007; López-Sáez and Lopez-Merino, 2007; Cugny et al., 2010; Gauthier et al., 2010; McAndrews and Turton, 2010). The most commonly identified NPPs are fungal spores (van Geel, 1978, 2006). These fossilise at, or near, the place where sporulation took place (van Geel, 2001; van

* Corresponding author. IPHES, Institut Català de Paleocologia Humana i Evolució Social, Campus Sescelades URV (Edifici W3), 43007 Tarragona, Spain.
E-mail address: ixposito@iphes.cat (I. Expósito).

Geel and Aptroot, 2006). The significant groups of fossil fungi analysed include saprophytes (found on decaying organic material, sometimes in combination with certain host plants or their remains), carbonicolous taxa, linked with burnt horizons, and coprophilous species (seen on herbivore dung).

This work focuses on the palynological analysis of twelve samples from the MIR4 layer from El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos). This archaeological deposit mainly originated from the *in situ* burning of animal and vegetal material, which has resulted in a typical *fumier* (Bergadà, 1997; Badal, 1999). This kind of infill is rich in archaeobotanical material because it comes from the repeated burning of waste generated after these caves had been used as a cattle fold (Brochier et al., 1992; Canti, 1999; Vergès et al., 2008). This phenomenon was common during the Neolithic and Bronze Age in Europe (Charles, 1998; Badal, 1999) and has been identified at many sites, such as Arene Candide in Italy (Maggi, 1997), Caune

de Belesta in France (Brochier et al., 1998), Cova de les Cendres (Badal, 1999), Los Husos (Alday-Ruiz et al., 2003), and El Mirón (Peña-Chocarro et al., 2005) on the Iberian Peninsula.

The stratigraphic succession at El Mirador Cave has a high lateral and vertical variability due to the combined action of accumulation, weathering, alteration by thermal action, and human intervention (Vergès et al., 2002; Angelucci et al., 2009). The El Mirador Cave infill is very well preserved and there has been little impact by erosive processes. The good stratigraphic resolution is complemented by outstanding and coherent dating, which is essential for studying archaeological deposits (Hunt et al., 2015).

2. The studied area

El Mirador Cave is located about 1033 m a.s.l. at 42°20'58" N and 03°30'33" W, on the southern slope of the Sierra de

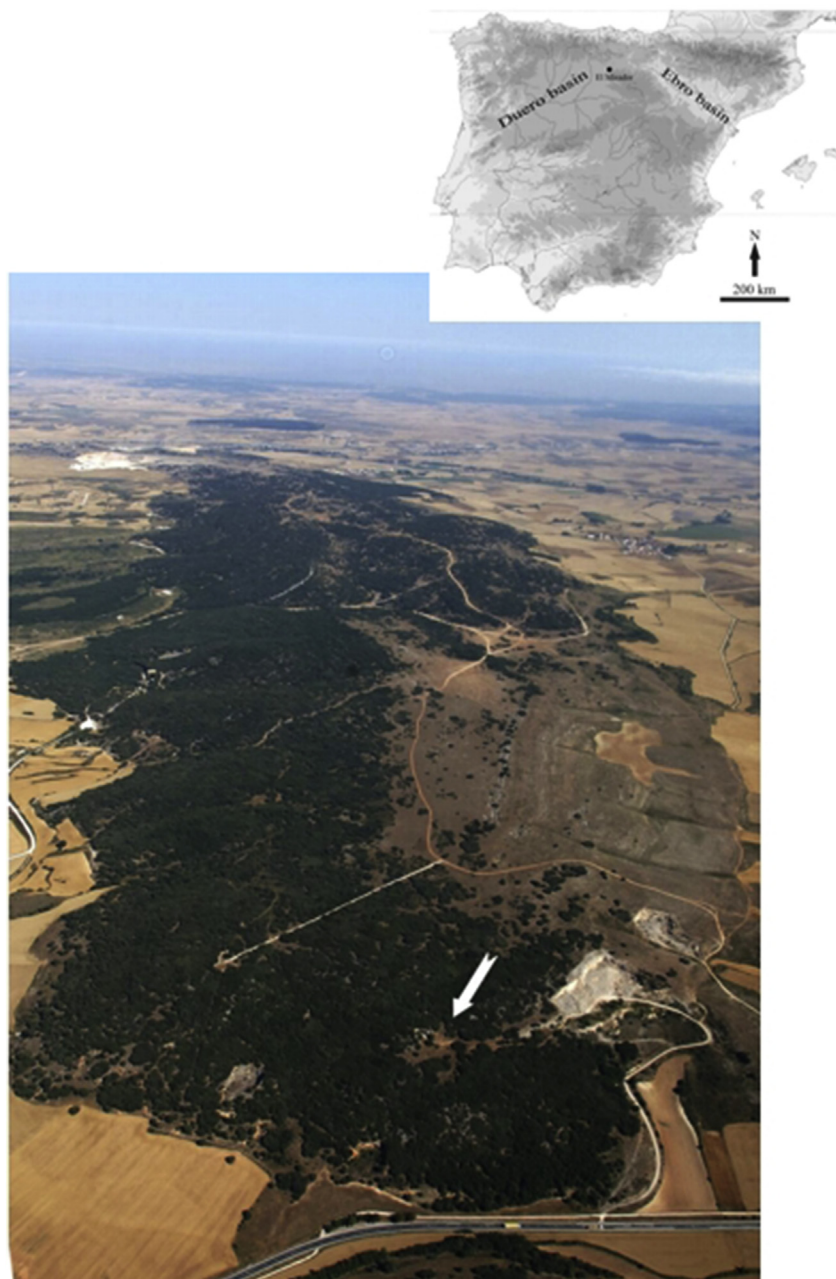


Fig. 1. Location of El Mirador Cave. The arrow in the picture shows the location of El Mirador Cave with respect to the Sierra de Atapuerca.

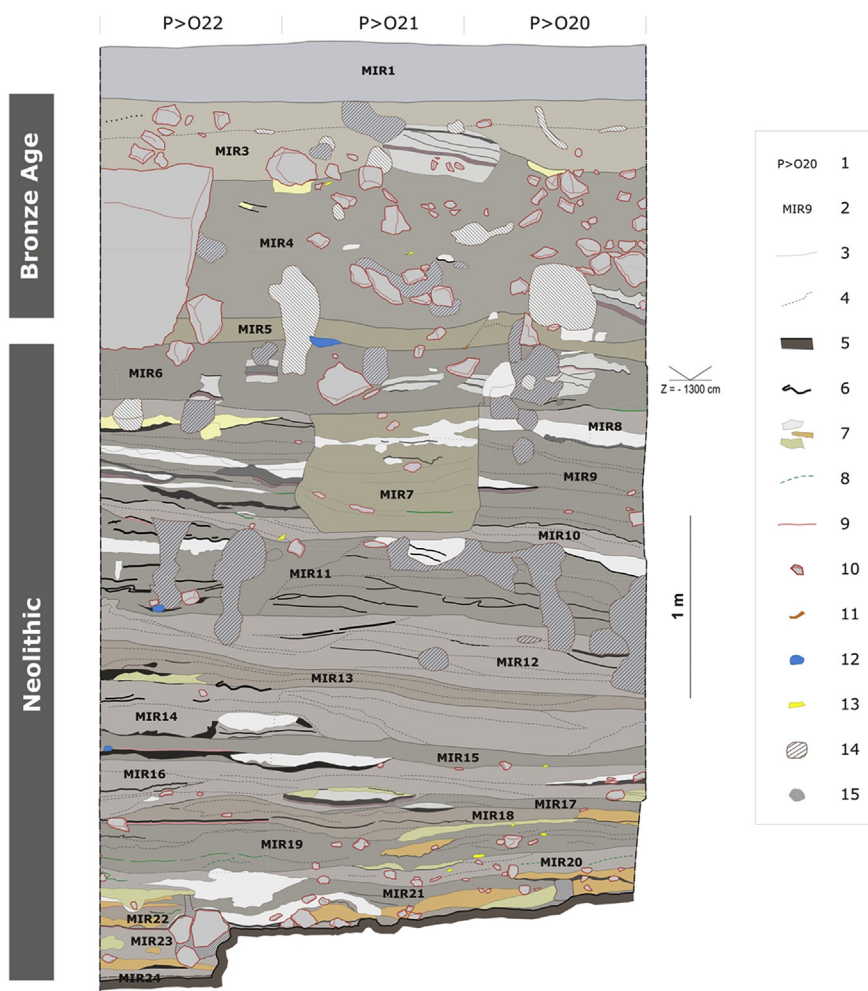


Fig. 2. Stratigraphic sequence of the test trench at El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). 1: squares; 2: unit names; 3: unit boundaries; 4: facies boundaries; 5: top of Pleistocene succession; 6: charcoal accumulations; 7: ash accumulations (distinct facies); 8: ash layers; 9: burnt sediment (rubefaction); 10: limestone fragments; 11: potsherds; 12: lithic artefacts; 13: bones; 14: sub-actual burrows; 15: ancient burrows.

Atapuerca karstic system (Burgos, Spain) (Zazo et al., 1983; Ortega et al., 2013) (Fig. 1). The cave has shelter morphology, thanks to the downfall of the dome, and is about 15 m deep. The first archaeological work was carried out in the 1970s by the Edelweiss speleological group (Osaba and Ruiz de Erenchun, 1978). Excavations of a 6 m² test pit were resumed in 1999 and continue today.

The Holocene sequence includes 24 layers ranging from the late Neolithic to the Bronze Age (Fig. 2). The upper levels, MIR3A and MIR4, are assigned to the Bronze Age, the MIR5 unit represents an unoccupied interval, and from MIR6 to the end of the sequence the deposit is clearly Neolithic (Vergès et al., 2008).

The chronological contextualisation of the MIR4 layer is based on two radiometric dates (Table 1) obtained from charred vegetal remains. The dated elements are wood from the taxa *Quercus* sp. evergreen and *Quercus* sp. deciduous.

The archaeological record of the MIR4 layer includes pottery, faunal remains, lithic artefacts (Moral et al., 2003; Vergès et al., 2008; Martín et al., 2009, 2014), and archaeobotanical remains (charcoal, seeds, phytoliths and pollen), which are the most abundant of the entire sequence (Rodríguez-Cruz, 2004; Allué and Euba, 2008; Cabanes et al., 2009). The data indicates that the human groups visiting El Mirador Cave in the Bronze Age reared livestock and cultivated cereals, as well as making use of the available forest resources. A secondary burial of six individuals with evidence of gastronomic cannibalism has also been recovered from this unit (Cáceres et al., 2007).

3. Material and methods

In a previous study, Cabanes and colleagues characterised the different facies identified in the MIR4 layer at El Mirador Cave by looking at archaeobotanical remains, mainly phytoliths, but also

Table 1
 Chronological dates for layer MIR4 from El Mirador Cave (Vergès et al. 2016).

Layer	Material	Taxa	Lab. code	AMS radiocarbon date BP	Cal year BP (2σ range)	Ratio ¹³ C/ ¹² C
MIR 4 (top)	charcoal	<i>Quercus</i> sp. evergreen	Beta-154894	3040 ± 40	3380–3100	–23.9‰
MIR 4 (bottom)	charcoal	<i>Quercus</i> sp. deciduous	Beta-153366	3400 ± 40	3730–3530	–23.8‰

including pollen, charcoal, seeds and the bulk mineral composition of a sample from each facies identified. In addition, the aim of their investigation was to understand the formation processes and diagenesis at the site and to reconstruct the landscape and human activities in the Sierra de Atapuerca (northern Iberian Peninsula) during the Bronze Age.

In this work, we analysed a total of twelve samples, three from each of the facies a, b, g and m (Table 2), in order to make an accurate comparison. Assuming that a single facies represents similar sedimentation conditions, our objective was to see how similar the palynological content of the samples from the facies were and whether they presented any dissimilarities. To this end we also have included the identification and quantification of the taphonomic alterations present.

Table 2

Description of the lithofacies identified in the Holocene series and used by during the fieldwork. Adapted from Angelucci et al., 2009. The facies analysed in the present work appear highlighted in gray.

Facies	Short description
a	Yellowish brown clayey silt, with few to common unsorted calcareous stones, common organic matter, high porosity; it contains ash and scarce microcharcoal fragments dispersed in the matrix
b	Accumulations of ash, almost pure; sometimes contains charcoal fragments or yellowish small mottles; occasionally shows fine parallel lamination
bg	Ash accumulations with intermediate characteristics between facies b and facies g
c	Accumulations of mm- to cm-sized vegetal charcoal fragments
d	Very dark grey, granular, organic sediment formed of scarcely or moderately decomposed animal excrements, sometimes welded together
f	Fine layers of white to light gray ash with preserved fibres with horizontal, parallel or perpendicular, orientation pattern
g	Light gray silt, massive, with abundant ash dispersed in the matrix
i	Greenish silt, with abundant dispersed ash
m	Light brown, massive (sometimes granular) accumulations of ash, containing mm-sized fragments of charcoal and reddened sediment
o	Accumulation of organic matter, very dark grey to black, with massive structure and absence of recognizable excrements at the naked eye
p	Bioturbated parts
q	Clayey silt, reddish brown burnt sediment, with granular structure
s	Strongly deformed or broken ashy sediment, with heterogeneous characteristics
t	Dark greyish brown clay, with parallel or weakly wavy lamination and pseudomorphs of vegetal fibres preserved in between the laminae
tf	Silt with abundant ash and varied colour, sometimes with platy structure and moderate cementation
v–vl	3- to 5-cm-thick layers of clayey loam, massive (facies v) or with parallel lamination, with intercalations of orange layers with fibrous or granular structure containing recognizable digested bones and coprolites (facies vl)

3.1. Material

Almost the entire deposit is made up of stabling layers originating from the *in situ* burning of animal dung. This resulted in a typical *fumier* with a peculiar appearance arising from the alternation of burnt and unburnt livestock dung (Vergès et al., 2002, 2008; Angelucci et al., 2009). In the case of El Mirador Cave, the great sedimentary variability in texture and colour generated by the systematic burning led to the creation of a reference list of facies related to the sedimentary, edaphic, stratigraphic and archaeological parameters of the infill (Vergès et al., 2008; Angelucci et al., 2009). These variations probably relate to the existence of phosphates in the fresh dung and liquid waste, the different intensity of combustion, or the fact that some sediment and dung have not been burnt (Macphail et al., 1997; Shahack-Gross et al., 2003; Karkanas, 2006).

The sedimentary infill is almost entirely due to anthropic contributions and the average sedimentation rate was about 10 mm/yr (Vergès et al., 2008). The facies reveal recurring rhythmic sequences, with alternations of unburnt and burnt layers throughout (Fig. 3). The burnt facies often have a cyclic arrangement, from bottom to top: ashy layers (m, g or o), accumulations of charcoal (c), thermally altered sediments (–r), and organic layers (o). In other areas of the site, clayey sediments (t or v/vl) alternate with unburnt or incompletely burnt accumulations of excrement (d) (Angelucci et al., 2009). Facies a is the most common and contains the other facies described (Table 2).

3.2. Procedures

The palynological samples were collected from the different facies of layer MIR4, simultaneous to the archaeological work. The samples were treated with HCl, NaOH, HF, and flotation with Thoulet's solution (Goeury and de Beaulieu, 1979; Burjachs et al., 2003). Fossil pollen, spores and NPP were identified using published keys (van Geel, 1978, 1986; Jarzen and Elsik, 1986; Moore et al., 1991; Reille, 1992, 1995; Miola, 2012) and a modern pollen reference collection.

The samples were analysed with an Olympus Cx41 microscope at 600 magnification and the microphotographs included in this work were taken with a Hyrox SP-MXG-5000REZ.

The pollen results were considered individually for each facies, but we have also included an average, summarising the data for the

entire sample set as they are contemporary. For the calculation of AP/NAP percentages has been excluded from the basic sum Asteraceae and Cerealia-type because they have a specific pollination system and/or are favoured by anthropic activity.

Moreover, pollen grains were often undeterminable, amorphous and/or dark brown in silt samples. We have categorised the post-depositional damage observed in pollen grains into three types: thermoalteration, fragmentation, and compaction (Fig. 4). Thermoaltered grains were determined based on the presence of a dark color, the compacted grains were those presenting a flat shape lacking volume, and fragmented pollen had fractures or cracks on the surface (Woods, 1955; Campbell, 1987; Campbell and Campbell, 1994). Finally, the attempt to quantitatively assess the pollen deterioration in order to find out whether there is a possible lack of data has resulted in two graphical representations: the distribution of taphonomic alterations, and the distribution of undeterminable pollen. The values of the alterations identified and the percentages of indeterminate pollen have been calculated from the total pollen identified.

The minimum statistically meaningful values of NPPs were established until maximum pollen counts have been reached (minimum of 100–150 pollen grains counted). Palynomorphs with an unknown ecological origin (*Pseudoschizaea*, HdV 303 and protists) have been excluded from the basic sum of NPPs. For the palynological concentration (PC of pollen and PC of NPP), we used the volumetric method proposed by Loublier (1978). Data processing and graphic representation was performed with the help of the Tilia software (Grimm, 1991–2011). Palynological



Fig. 3. Picture showing the facies variability and palynological sampling in the south profile of El Mirador Cave site. We have located an example of the facies analysed in this paper to illustrate how they appear in the stratigraphy.

zones were established from the pollen and NPP data by means of a cluster analysis based on square root transformation (Edwards and Cavalli-Sforza's chord distance) using CONISS (Grimm, 1987).

Table 3
 Allocation of pollen and NPPs to groups with ecological affinity (Behre, 1986; López-Sáez et al., 1998, 2000; Galop and López Sáez, 2002; Ruiz-Zapata et al., 2006; Carrión et al., 2010; Hilbrand et al., 2012).

	Acronym	Bibliographic references
Taxonomic identification		
Vegetative remains		
Stomata	HdV 510	van Geel et al., 1986
Zoological remains		
	HdV 36	van Geel, 1978
	HdV 36b	van Geel, 1978
	HdV 52	van Geel, 1978; van Geel et al., 1989
	HdV 88A	van Geel, 1978
Scolecodont		
Coprophilous fungi		
Sordaria-types		van Geel, 1978; van Geel et al., 1989
Carbonicolous fungi		
Chaetomium sp.	HdV 7	van Geel, 1978; van Geel et al., 2011
Saprophytic fungi		
Tilletia	HdV 27	van Geel, 1978
Glomus sp.	HdV 207	van Geel et al., 1989
Altenaria type	HdV 1034	van Geel et al., 2011
Erosion		
Pseudoschizaea		Christopher, 1976; van Geel et al., 1989; Pantaleón-Cano et al., 1996; Scott 1992; López-Sáez and López-García, 2003; Milanesi et al., 2006 van Geel et al., 1983
Riccia	HdV 165	
Oligotrophic conditions		
Gloeotrichia	HdV 146	van der Wiel, 1982
Rivularia	HdV 170	van Geel et al., 1983
Botryococcus	HdV 766, 901	Kuhry, 1997
Meso-eutrophic conditions		
Spirogyra	HdV 130, 210	Pals et al., 1980; van Geel et al., 1981; van Geel et al., 1989
Zygnema	HdV 58, 213	van Geel, 1978; van Geel et al., 1989;
	HdV 128A	van der Wiel, 1982

In order to facilitate the reading of data, we developed a synthetic diagram in which some pollen and NPP taxa are grouped according to their ecological affinities (Behre, 1986; Galop and López-Sáez, 2002; Carrión et al., 2010) (Table 3).

Finally, in order to determine the relationship between the samples, we performed Detrended Correspondence Analysis (DCA) and Principal Components Analysis (PCA) with the help of the Past 3.08 software package (Hammer et al., 2001).

4. Results

The palynological concentrations in the twelve samples analysed are very variable. In the case of pollen residue, the values are between 754 and 54,015 grains per gram of dry sediment, with a generally lower NPP concentration, with minimums of 165 granules and maximums of 12,103 per gram. The number of pollen taxa identified per sample ranges from 9 to 31, and there are between 9 and 19 NPP taxa.

The cluster analysis divides the sequence into two main palynological zones (A and B). Zone B is subdivided into two subzones (B1 and B2), and Zone B2 is itself divided into two further subzones (B2a and B2b) (Figs. 5 and 6 and Table 4). These zones group the samples from the same facies. This fact implies that a clear link exists between the samples belonging to the same facies. Here we describe the main characteristics of each of these groups according to the pollen spectrum, the NPP record, and the alterations identified.

4.1. Pollen

From a general point of view, no major environmental differences have been identified in previous analyses (Cabanes et al., 2009). Trees represent an average of 54.9% of the assemblage and include *Pinus* sp., cf. *Juniperus*, *Olea*, deciduous and evergreen *Quercus*, as well as other deciduous species such as *Tilia*, *Ilex*, *Rhamnus* and *Carpinus*. The riparian trees identified were *Corylus*, *Salix*, *Ulmus* and *Alnus*. In addition, *Abies* and *Betula* pollen has also been identified.

Table 4

Synthetic description of palynological zones established by CONISS (Grimm, 1987).

Facies	Zone	Pollen	NPP
a	B2b	<ul style="list-style-type: none"> • Maximum average of pollen concentration (PC). • High taxonomic variability. • Lowest percent of undetermined pollen. • Fragmentation is the most abundant damage documented. • Presence of compacted pollen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Higher representation of Pteridophyta and algal palynomorphs. • Indicators of meso-eutrophic conditions in all the samples. • Lower variability of fungi. • Maximums of saprophytic fungi. • Lower values of NPP concentration
b	B2a	<ul style="list-style-type: none"> • Good taxonomic variability • Decline of Pinus values. • Peaks of Asteraceae Tubuliflorae and <i>Plantago</i> sp. • Fragmentation is the most important alteration documented. • Compaction has not been identified. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presence of Pseudoschizaea. • Higher taxonomic variability of fungal taxa. • Minimums of chitinous remains.
g	B1	<ul style="list-style-type: none"> • Low taxonomic variability. • Maximum of Pinus percent. • High values of Cerealia-type in one of the samples. • Thermoalteration and fragmentation have similar percentages • Compaction has not been documented. 	<ul style="list-style-type: none"> • Discrete representation of fungal types. • Irregular values of NPP concentration.
m	A	<ul style="list-style-type: none"> • Lower taxonomic variability. • Highest percentages of undetermined pollen. • Minimum representation of riparian trees and deciduous Quercus. • Higher values of pollen thermoalterated. • Presence of compacted pollen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Absence of Pteridophyta and lower values of algal palynomorphs. • Presence of Pseudoschizaea. • Maximum of NPP concentration values

The pollen from these taxa probably originated from the nearby mountain ranges. Cistaceae, *Erica* sp. and *Buxus* dominate the shrubby vegetation and the herbaceous plants identified include Poaceae, Cerealia-type, Asteraceae Liguliflorae and Tubuliflorae, *Artemisia*, Chenopodiaceae, *Plantago* sp., Apiaceae, Faboideae, Lamiales, and Caryophyllaceae, among other taxa, as well as the hygrophilous Cyperaceae and *Typha–Sparganium* (Fig. 5).

4.1.1. Facies m (A subzone)

This facies shows the lowest taxonomic variability of all the samples tested. Only *Erica* spp., Cistaceae and *Buxus* are present from the shrub community.

This facies also present the highest percentage of undetermined pollen, particularly sample 4m1 (Fig. 7). Thermoalteration is the most represented taphonomic modification, although compaction has been detected too (Fig. 8).

4.1.2. Facies g (B1 subzone)

There is a low degree of variability in the identified spectra. It should be noted that the AP values are significantly higher in two samples from this facies mainly because of the percentage of *Pinus* (Fig. 5). The shrub community is poorly represented: only *Erica* spp., Cistaceae and Rosaceae have been identified. Despite this, we documented high numbers of Cerealia-type taxa (13.6% in 4g1),

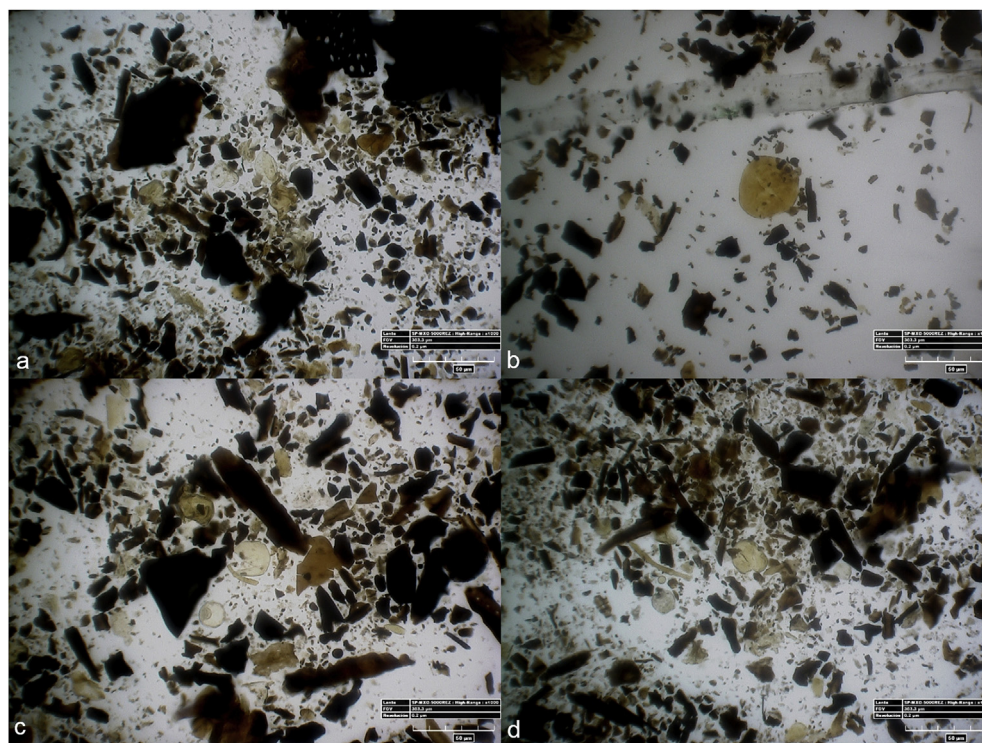


Fig. 4. (Left) Images of pollen with different taphonomic alterations: a) Picture showing altered and unaltered pollen in the same sample, b) thermoaltered *Asphodelus* pollen, c) Fragmented pollen of *Corylus* and d) compacted *Quercus* pollen (HYROX SP-MXG-5000REZ).

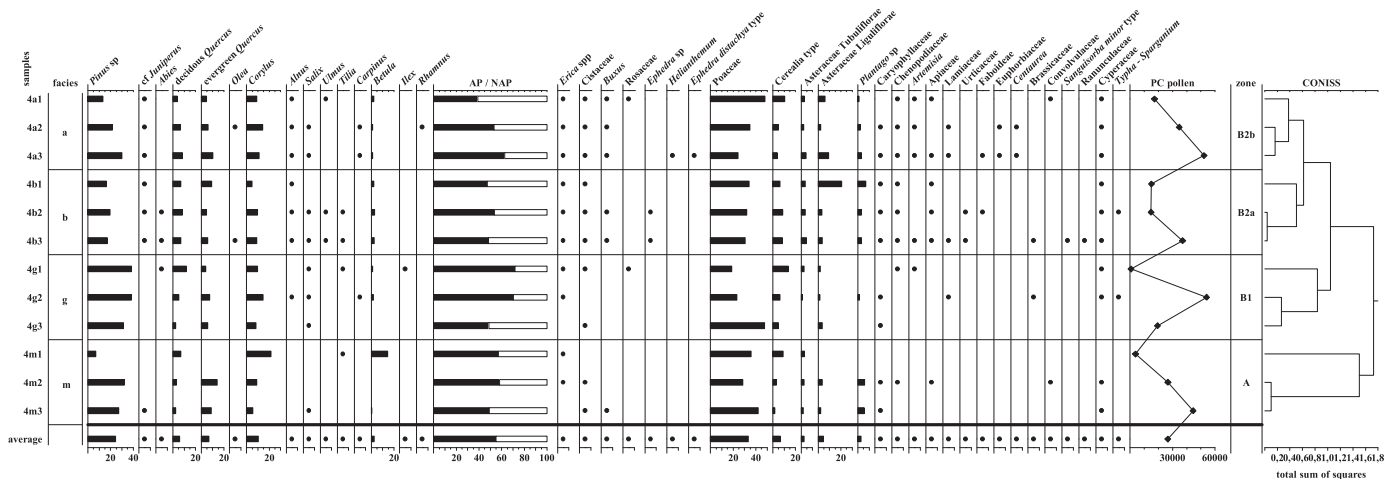


Fig. 5. Diagram of the relative frequencies of pollen in the MIR4 layer (El Mirador Cave). Points indicate frequencies below 2%. The histogram on the bottom shows the average of the results for the MIR4 unit. The line graph depicts the pollen concentration (PC-pollen grains per gram of dry sediment).

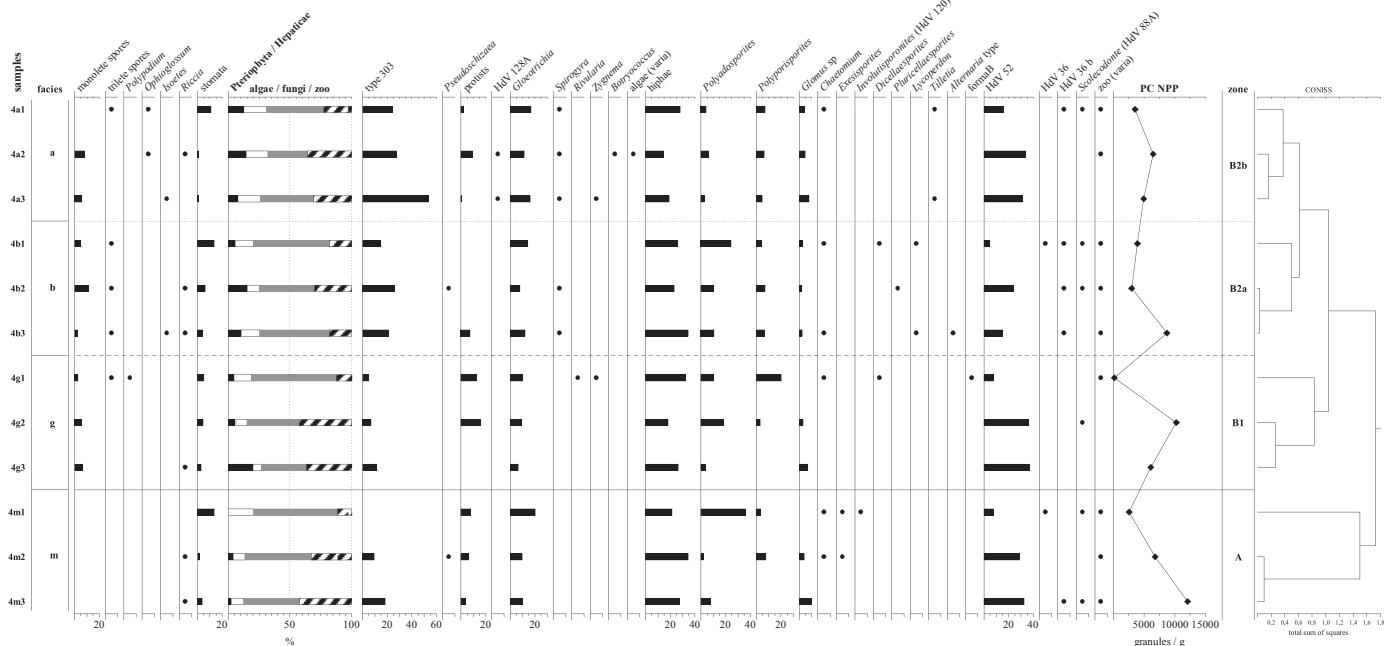


Fig. 6. Diagram of the relative frequencies of NPPs in layer MIR4 (El Mirador Cave). Points indicate frequencies below 2%. The line graph depicts the NPP concentration (PC-palynomorphs per gram of dry sediment).

probably related to anthropic input (Fig. 5). In this sense, when the *Cerealia* percentage exceeds 3%, it may be related to the existence of crop fields near the cave (Diot, 1992; Richard, 1995) and values close to 10% have been attributed to some kind of anthropogenic manipulation or indirect anthropic contribution (Robinson and Hubbard, 1977; Diot, 1992; Bower, 1998).

In this case, thermoalteration and fragmentation are seen in similar percentages, which are lower than the values in the other samples analysed. One of the samples (4g1) shows a high degree of burning and fragmentation, far higher than the other two samples (Fig. 8). No compaction was observed.

4.1.3. Facies b (B2a subzone)

The variability is high, although irregular. The bushes present are *Erica* spp., *Cistaceae*, *Buxus* and *Ephedra* sp. The herbaceous vegetation includes *Urticaceae*, *Sanguisorba minor*-type and *Ranunculaceae*.

In sample 4b1, the taxonomic variability is lower and we have identified certain peaks in the representation of *Asteraceae*,

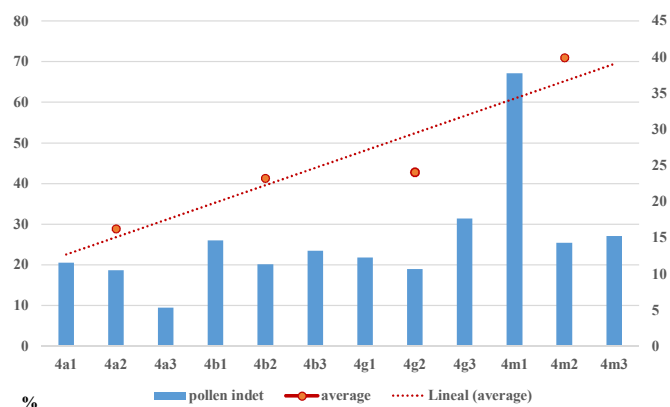


Fig. 7. Distribution of the percentages of indeterminate pollen in the different samples analysed. The points mark the average per facies and the dashed line is the trend (lineal).

Tubuliflorae and *Plantago* sp. Some authors have suggested that high percentages of Asteraceae in the pollen spectra indicate the existence of intense taphonomic processes (Bottema, 1975; Coûteaux, 1977).

In fact, in the samples belonging to this facies the most typical alteration seen is fragmentation, although one sample (4b1) (Fig. 8) presents high rates of thermoalteration. No compaction was observed.

4.1.4. Facies a (B2b subzone)

There is a high degree of taxonomic variability in the samples belonging to facies a (22–28 taxa identified). This is the only subzone to include *Rhamnus*. The shrub community includes all the taxa identified with the exception of *Ephedra* sp.

The facies is characterised by medium rates of thermal modification and fragmentation of pollen grains, although this is not heterogeneous in the three samples studied. Compaction was detected

in one of the samples (4a2) (Fig. 8) and the undetermined pollen present the lowest average of any of the samples analysed (Fig. 7).

4.2. Non-Pollen Palynomorphs (NPP)

The taxonomic variety includes six major taxonomic groups: spores and other fungal remains (13 morphotypes), spores of ferns and mosses (5 morphotypes), microscopic zoological remains (4 morphotypes), colonies of filamentous algae (5 morphotypes), microscopic plant remains (1 morphotype) and ecologically indeterminate taxa (4 morphotypes) (Fig. 6).

4.2.1. Facies m (subzone A)

A total of 17 NPP morphological types were recorded, including 7 forms of fungal spores, 1 algal taxa, and 4 forms of zoological remains and other palynomorphs.

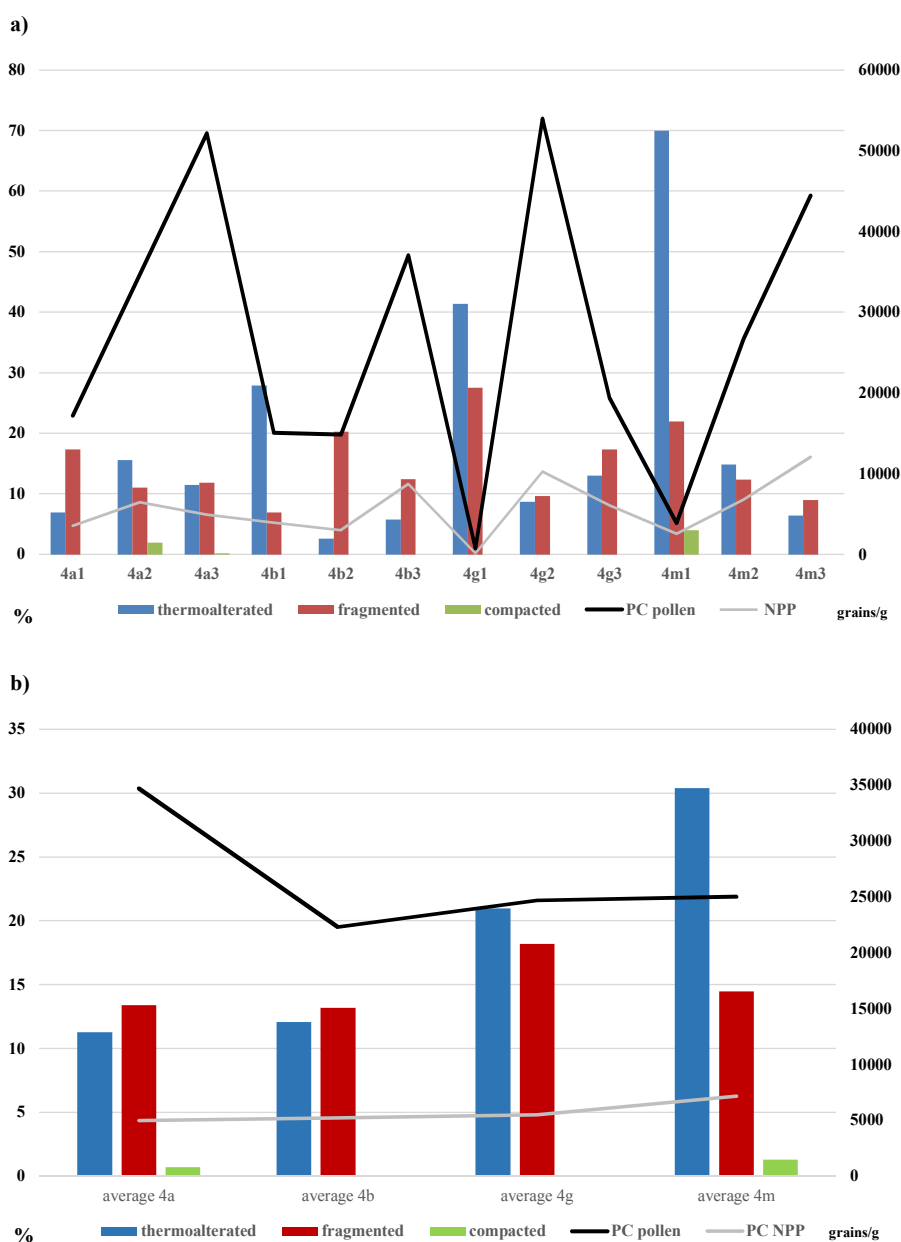


Fig. 8. Distribution of the three taphonomic modifications identified in the pollen record: a) percentages of the alterations identified in the different samples analysed; b) average of the pollen alterations in each facies. The lines mark the concentration values (PC-grains or granules per gram of dry sediment, Loublrier, 1978); black for pollen and spores and grey for NPPs.

The fungal types predominate and are represented by *Polyporisporites*, *Polyadosporites*, *Exesisporites*, *Involutisporonites* (HdV 120), *Chaetomium*, *Glomus* sp., and hyphae (van Geel, 1978; van Geel et al., 1986; van Geel et al., 1989; van Geel et al., 2011). *Gloeotrichia* was the only algae taxa identified (van der Wiel, 1982). In this case, no Pteridophyta spores were seen. The animal remains include Scolecodonte (Combaz, 1964; van Geel, 1978; Diot, 1991), as well as others.

4.2.2. *Facies g* (subzone B1)

In this case, 19 NPP morphological types were recorded, including 7 fungal palynomorphs, 3 algal types, and 3 forms of chitinous remains.

Fungal spores are represented by the informal genera of *Polyporisporites*, *Polyadosporites*, *Dicellaesporites*, *Chaetomium*, *Glomus* sp., hyphae, and form B (van Geel, 1978; van Geel et al., 1986; van Geel et al., 1989; van Geel et al., 2011). The algal palynomorphs comprise the cyanophyte *Gloeotrichia* and the freshwater microalgae *Zygnema* and *Rivularia* (van Geel, 1978; van der Wiel, 1982; van Geel et al., 1983; van Geel et al., 1989). Ferns were also present (monolete and trilete spores, and *Polypodium*). The chitinous remains include Scolecodonte (Combaz, 1964; van Geel, 1978; Diot, 1991), as well as others.

4.2.3. *Facies b* (subzone B2a)

In the palynological analysis 23 NPP morphological types were identified, including 9 fungal palynomorphs, 2 algal types and 4 types of faunal remains.

This time, the taxonomic variety of the fungi included *Polyporisporites*, *Polyadosporites*, *Dicellaesporites*, *Pluricellaesporites*, *Chaetomium*, *Glomus* sp., *Alternaria*-type, hyphae and *Lycoperdon* (van Geel, 1978; van Geel et al., 1986; van Geel et al., 1989; van Geel et al., 2011). The algal palynomorphs comprised *Gloeotrichia*, *Zygnema* and *Spirogyra* (van Geel, 1978; Pals et al., 1980; van Geel et al., 1981; van der Wiel, 1982; van Geel et al., 1989). Fern and mosses are represented by monolete and trilete spores, and *Isoetes*. The faunal remains include Scolecodonte (Combaz, 1964; van Geel, 1978; Diot, 1991) and other chitinous elements.

4.2.4. *Facies a* (B2b subzone)

A total of 22 NPP morphological types were recorded, including 6 forms of fungal spores, 4 types of algal remains, and 4 forms of zoological remains, as well as other palynomorphs.

The fungal types are represented by *Polyporisporites*, *Polyadosporites*, *Dyctiosporites*, *Involutisporonites* (HdV 120), *Chaetomium*, *Glomus* sp., hyphae, and *Tilletia* (van Geel, 1978; van Geel et al., 1986; van Geel et al., 1989; van Geel et al., 2011). Algal palynomorphs are less diverse and include the cyanophyte *Gloeotrichia* and freshwater microalgae from the genera *Zygnema*, *Spirogyra* and *Botryococcus* (van Geel, 1978; Pals et al., 1980; van Geel et al., 1981; van der Wiel, 1982; van Geel et al., 1989; Kuhry, 1997). Ferns and mosses are represented by monolete and trilete spores, *Ophioglossum* and *Isoetes*. The animal remains include Scolecodonte (Combaz, 1964; van Geel, 1978; Diot, 1991), as well as others.

4.3. Statistical analysis

The starting premise was that the pollen spectra identified in each of the samples or facies would not, by itself, produce distinct groups, as the samples are contemporary, and only the conservation of the pollinic residue, due to fire or other similar destructive processes, could produce significant dissimilarities. For this reason, we also considered the NPP elements in order to establish different diagenetic and preservation patterns, due to their local distribution. Naturally, the expected results involved the entailment of samples from facies that we supposed to have had a similar diagenetic history.

Detrended Correspondence Analysis (DCA) was performed considering the pollen and NPP values, while Principal Component Analysis (PCA) analysis was based solely on the NPP record to determine whether we could obtain different correlations using these isolated microremains (Fig. 9).

DCA seems to correlate samples with similar degrees of damage more strongly than samples with similar origins or content. In fact, the samples with the highest degree of thermoalteration appear as a separate group, although taphonomic modifications were not taken into account.

On the other hand, PCA shows clusters of samples based on the ecological preferences of the NPP identified within them. Thus, in the confrontación of 1–3, or 2–3 axis, the samples with coprophilous elements are grouped, as well as those containing fungal palynomorphs associated with decaying organic matter. Finally, less tight clustering is also seen in samples containing indicators related to erosion. This reinforces the initial idea that NPPs contribute more to characterising the samples, given their eminently local character.

The distribution of the pollen taphonomic modifications is not homogeneous and, although there is some differential distribution reflected in the average values, the groups generated for DCA and PCA reflect this heterogeneity.

5. Discussion

5.1. Observed versus expected

The samples belonging to *facies b* are the most heterogeneous in the sample set. On the other hand, the cluster analysis reveals that *facies a* and *facies b* are the most similar, largely due to the well-preserved pollen spectra to the detriment of the other facies associated with burning (g and m). Despite the fact that these are ash-rich facies related to calcination, and mainly comprising ash derived from vegetal material, the pollen grains are present in high concentrations and, in some cases, with a low alteration index (4b3). There are no significant features of thermoalteration with the exception of a single sample (4b1). Our interpretation is that pollen contained this facies burnt completely and the grains we identified in these sediments were deposited later. In fact, the high degree of reversibility identified in thermomagnetic curves suggests that the ashes underwent high heating temperatures (>700 °C) (Carrancho et al., 2013). For this reason, we think the high percentages of thermoalteration observed in the pollen from sample 4b1, cannot be linked to the calcination process, which should completely eliminate pollen, but to an input of exogenous pollen with traces of burning. In future work it would be interesting to assess whether pollen deposited in an area still retaining some of the heat associated with burning would be altered by the residual surface heat.

In fact, the phytolith analysis also identified variability within the samples of *facies b*. The identification of some samples of almost exclusively wood ash, and others with a mixture of ash and coprolites or faecal spherulites, could be linked with trampling or post-depositional modifications (Cabanés et al., 2009). In this sense, *facies g* is an ash-rich facies, like *facies b* but with more phytoliths and spherulites (Cabanés et al., 2009). On a microscopic scale, *facies g* appears to be mainly formed of coprolites, with a variable degree of structural preservation (Angelucci et al., 2009). Animal dung is composed mostly of organic matter and represents an excellent substrate for micromycete fungi, especially coprophilous fungi (López-Sáez and López-Merino, 2007; Shahack-Gross, 2011). The origin of dung fungal spores is often attributed to large herbivores (Ebersohn and Eicker, 1992; Richardson, 2008). However, some authors have considered that they are associated to varying degrees with the dung of other animals as well (Lisiewska, 1992; Wood et al., 2011; Baker et al., 2013). Again, the results are not as

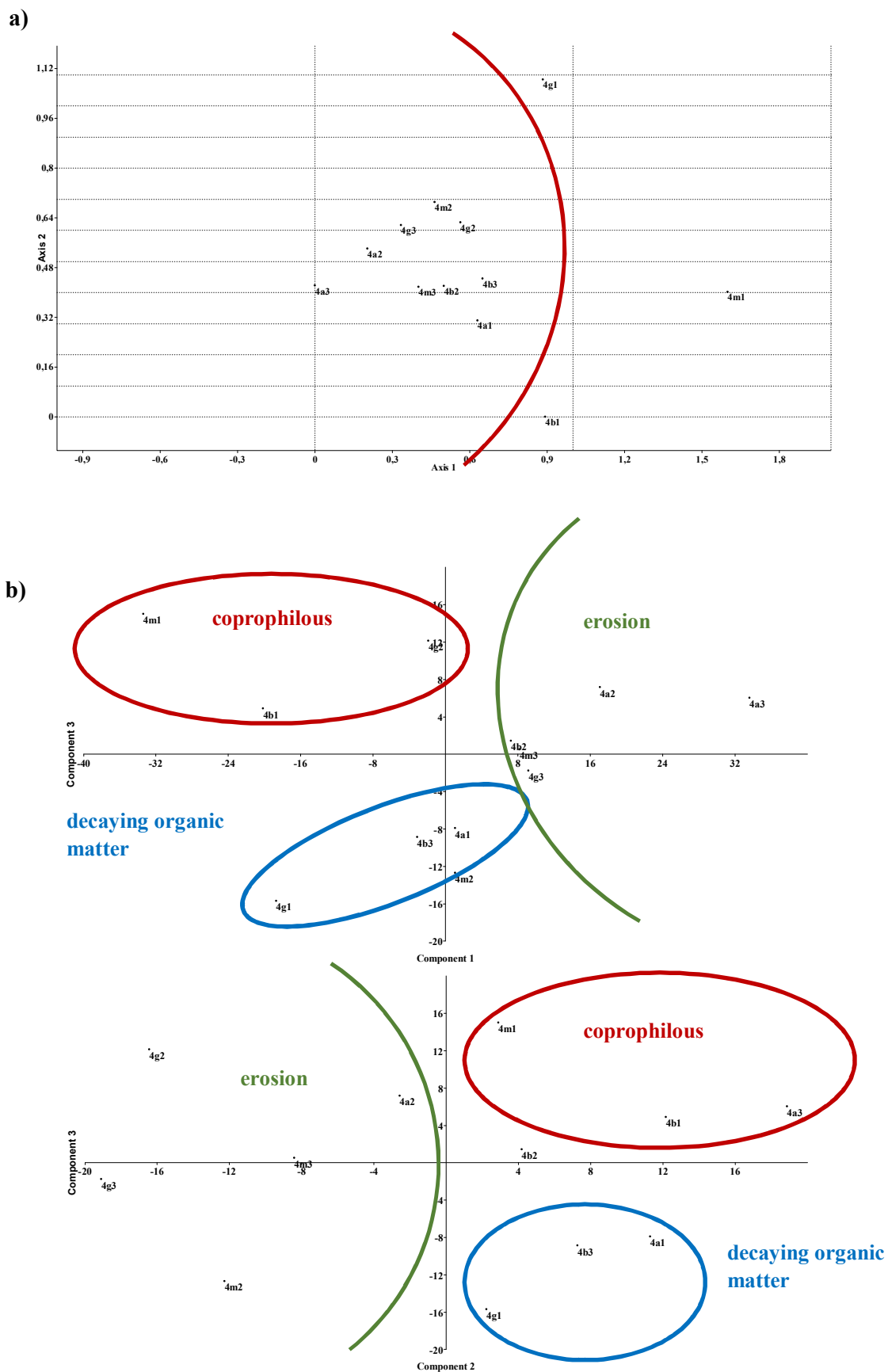


Fig. 9. a) Variable map from DCA of the pollen and NPP results. The curved red line marks the isolation of the 4b1, 4g1 and 4m1 samples, b) PCA of the NPP results, where axis 1 and 3 explain 65% and axis 2 and 3 explain 38% of the variance in the samples. The overlapping circles and lines indicate the groups formed according to the ecological characteristics of the NPP identified.

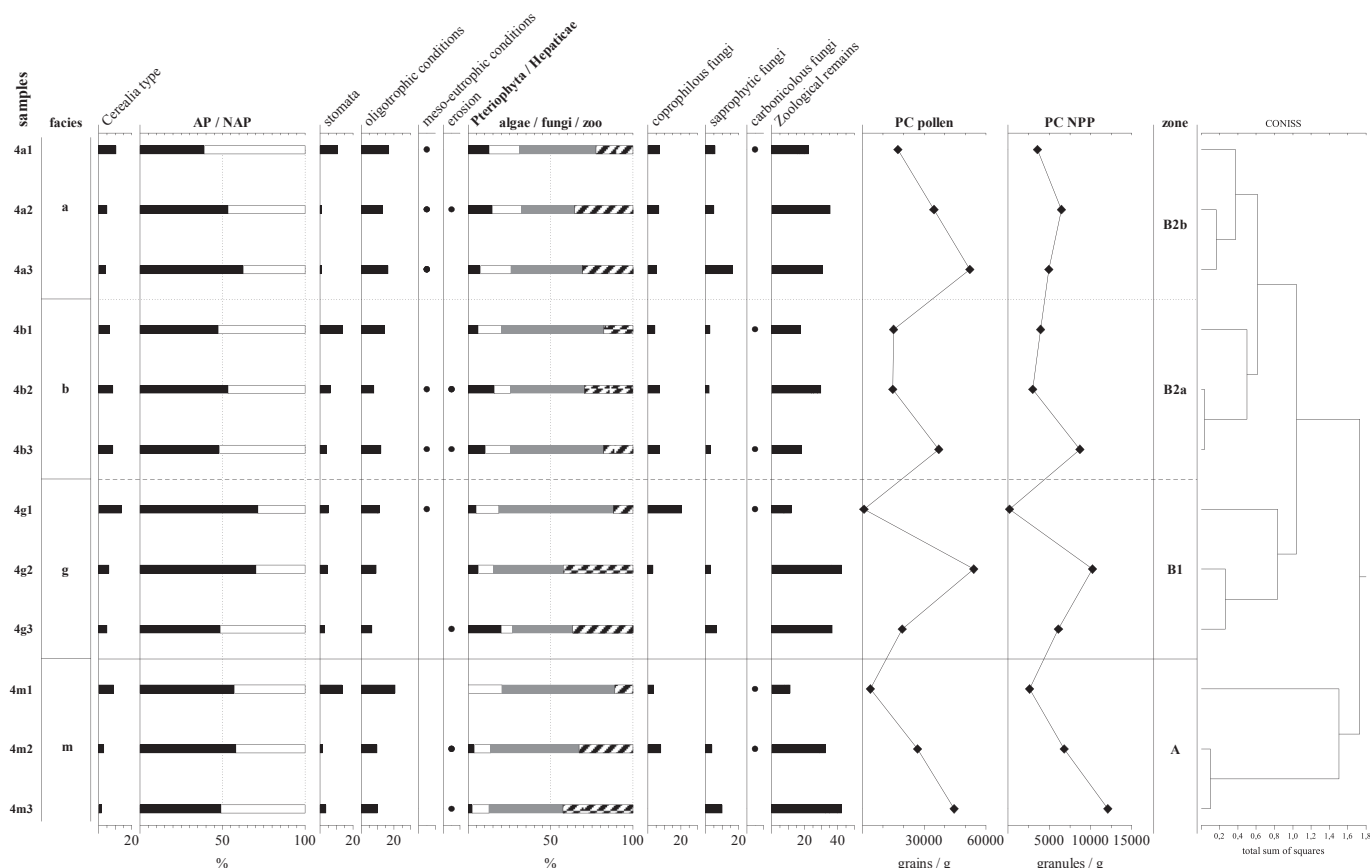


Fig. 10. Synthetic palynological diagram of layer MIR4 (El Mirador Cave). Taxa are grouped according to their ecological affinities (Table 3).

expected: the NPP results show a high numbers of coprophilous fungi, but only in sample 4g1 (Fig. 10).

5.2. Dissonances

All these factors show that samples from the same facies have a more complex taphonomic history with regard to their microremains content. This is especially evident in the samples from facies g, which involves some degree of variation in the sedimentary contributions, but this can be extrapolated to all the facies analysed. In fact, cluster analysis highlights facies m as the most differentiated, because of its pollen and NPP content. In this sense, according to the phytolith data, the low presence of multicellular structures and spherulites is consistent with the mixed sedimentary characteristics described for this facies (Cabanés et al., 2009). This fact justifies the presence of microremains with different origins and modification histories. As we have said before, in future work it will be necessary to evaluate the role of redeposited pollen, but in this facies the different degree of thermoalteration observed correlates with that which is expected in this context. Sample 4m1 is divergent in its composition and alteration as it presents the highest thermoalteration values. The pollen spectra in this sample show low diversity and there are anomalous peaks in the *Betula* and *Corylus* numbers. It should be highlighted that *Corylus* is quite susceptible to oxidation (Lebreton et al., 2010; Twiddle and Bunting, 2010). The increased representation of *Corylus* in sample 4m1 is probably related to an important presence of this taxa in the environment, but also with post-deposition of this pollen, after the fire disturbance ended. The samples of this facies provide the least resolution with regard to

landscape reconstruction as their taxonomic variability is the lowest of all the samples analysed.

5.3. The absence of fire

The high palynological concentration values identified in facies a are related to a low incidence of fire, although it does contain waste products of burning activities (Angelucci et al., 2009). Overall, the palynological results and alteration are more homogeneous. The origin of this facies, formed of more or less homogeneous clayey silt, is not clear, even though in thin section it shows the same components as the other facies (spherulites, ash, phytoliths, charcoal, etc.) (Angelucci et al., 2009). Indicators of meso-eutrophic conditions and the presence of saprophytic fungi in all of the samples from this facies imply a relatively organic-rich context. The most prominent taphonomic feature in this case is the fragmentation of the pollen grains. The abundance of Pteridophyta and algal remains, indicative of higher humidity, could be related to the existence of a dry-wet dynamic that probably favoured the fragmentation processes (Fig. 10).

5.4. Overview

Pollen data from the *fumier* samples of El Mirador Cave is viable for palaeoecological reconstruction because the depositional period was not long enough to allow substantial changes in the environment. Indeed, the pollen spectra identified is not very different from that seen in previous studies (Cabanés et al., 2009). However, caution should be employed when drawing conclusions about anthropogenic activities associated with the presence of an element or plant, as these cannot be

automatically assigned to a particular facies context due the reworking of the sediments.

To this end, it should be noted that erosion indicators (*Pseudoschizaea*, *Glomus* sp., etc., Table 3, Fig. 10) do not appear in the most thermally-affected and species-poor samples. It may be that these indicators are absent because they, like much of the pollen residue, have disappeared as a result of taphonomic processes, particularly burning. However, they may also be absent because of erosion phenomena affecting only the original composition. Even so, the most likely explanation is that most of these indicators are not associated with burning alteration processes but rather the reworking of soil by water or vegetation. Both *Pseudoschizaea* and *Glomus* sp. were found in samples 4b2 and 4m2, possibly revealing the existence of active erosion in these contexts (van Geel et al., 1989; Pantaleón-Cano et al., 1996; López-Sáez and López-García, 2003; Kołaczek et al., 2013).

Pollen concentrations abruptly decrease when taxa are exposed to increasing oxidation intensity. As expected, the pollen concentration was lower in the facies with thermal alteration, and there were lower concentrations of pollen in the facies that in the field were related to ashes (facies b, g and m). The highest concentration, taxonomy diversity, and lowest indeterminate pollen counts were seen in the sediments with milder thermal alteration (facies a) (Figs. 7 and 8).

Thermoalteration understood to be the highest degree of oxidation is the most relevant modification associated with low pollen concentrations. The integrity of pollen samples is affected, as initial pollen rates are modified with regard to the final pollen spectra recovered. However, oxidation does not generate any artificial over-representation of a specific pollen taxon. Oxidation should not be regarded as the only taphonomic process involved in pollen preservation and any resulting over-representation of some of the taxa (Navarro-Camacho et al., 2001).

It should be noted that broken or thermoaltered grains are common and represent more than 20% of the remains identified. The samples belonging to facies g presented the maximum percentages of pollen-fragmented damage (18.2%) and facies m has the highest values with regard to modification by heat (30.4%) (Fig. 8).

Simple chemical reactions are not the only processes involved: biological activity also affects grain preservation. A number of agents, including transport in water, compaction and repeated wetting and drying, can cause mechanical damage (Holloway, 1989; Campbell, 1991; Campbell and Campbell, 1994). Compaction is produced at very high pressures (Sangster and Dale, 1961), but has been identified in only two of the samples analysed. Most of these agents are involved in digestion, but there is very little published on this in the literature and experimental studies are needed to establish the effect of herbivore digestive processes on pollen residue (Scott et al., 2003).

The differences observed are therefore related to the degree of preservation of the sediment matrix and diagenetic processes. Good preservation of a burnt facies should involve that it retains its typical features: a low palynological concentration, presence of oligotrophic indicators, low degree of variability in pollen taxa, and low resolution for landscape reconstruction. We have observed that some of the facies classified as burnt (b and g) received a subsequent input of pollen without the expected burn damage. Consequently, the pollen does not reflect the typical alterations caused by the processes that occurred in the sediment. The distribution of the observed alterations and the concentration values indicate that the pollen records from the same facies did not undergo the same diagenetic evolution.

6. Conclusion

The study of a larger sample from the MIR4 unit has not led to a notable shift in the landscape reconstruction compared with

average data. However, we can affirm that the alterations detected in some of the facies, fundamentally facies m, hinder palaeoenvironmental reconstructions because of the bias detected.

Generally, the cluster analysis indicates a clear link between the samples from the same facies. This link is mainly related to the degree of preservation of the pollen record.

Biases in the presence or variability of some taxa are associated to diagenetic processes, mainly burning-related, which would also cause the variability seen in the NPPs. It has been observed that the taphonomic alterations are not homogeneously distributed and do not affect samples from the same facies in the same way. It is therefore conceivable that the variability is due to the different diagenetic histories of the individual samples, rather than pollen and NPP representation.

The characteristic content of the individual samples derive therefore, from differences in taphonomy and pollen transport and deposition processes. This implies that in a burning facies, pollen not showing the effects of thermoalteration were deposited after the combustion event.

Acknowledgments

We are deeply grateful to the Atapuerca research team and the fieldwork participants. Thanks go to Isabel Cáceres for her help with photography, figures and comments that have certainly improved the manuscript. The Ministerio de Ciencia e Innovación (N_CGL2009-12703-C03-02/BTE, HUM2007-62915/HIST, HAR2008-01984/HIST), the Ministerio de Economía y Competitividad (CGL2012-38434-C03-03), and the Generalitat de Catalunya (2014SGR900, 2014SGR899) supported this research. Funding for the fieldwork came from the Consejería de Cultura y Turismo, the Junta de Castilla y León, and the Fundación Atapuerca.

References

- Alday-Ruiz, A., Fernández-Eraso, J., Yusta, I., 2003. Suelos de habitación, suelos de corrales: los casos de Atxoste y los Husos. *Veleia* 20, 183–225.
- Allué, E., Euba, I., 2008. Los datos antracológicos de la secuencia neolítica del El Mirador (Atapuerca, Burgos): Un estudio sobre el medio vegetal y la explotación de las especies vegetales leñosas. In: Hernández Pérez, M.S., Soler Díaz, J.A., López-Padilla, J.A. (Eds.), IV Congreso del Neolítico Peninsular. Tomo I. MARQ. Museo Arqueológico de Alicante, Diputación de Alicante, pp. 345–352.
- Angelucci, D.E., Boschian, G., Fontanals, M., Pedrotti, A., Vergès, J.M., 2009. Shepherds and karst: the use of caves and rock-shelters in the Mediterranean region during the Neolithic. *World Archaeology* 41 (2), 191–214.
- Badal, E., 1999. El potencial pecuario de la vegetación mediterránea: las cuevas Redil. In: Actes del II Congrés del Neolític a la Península Ibérica. Universitat de València, València, pp. 69–76.
- Baker, A.G., Bhagwat, S.A., Willis, K.J., 2013. Do dung fungal spores make a good proxy for past distribution of large herbivores? *Quaternary Science Reviews* 62, 21–32.
- Behre, K.E., 1981. The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen et Spores* 23 (2), 225–245.
- Behre, K.E., 1986. *Anthropogenic Indicators in Pollen Diagrams*. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Bergadà, M.M., 1997. Actividad antrópica registrada en algunas secuencias arqueológicas en cueva del Neolítico antiguo catalán a través del análisis micromorfológico. *Trabajos de Prehistoria* 54 (2), 151–162.
- Birks, H.H., Birks, H.J.B., Kaland, P.E., Moe, D. (Eds.), 1988. *The Cultural Landscape – Past, Present and Future*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bottema, S., 1975. The interpretation of pollen spectra from prehistoric settlements (with special attention to Cichorioideae). *Palaeohistoria* 17, 17–35.
- Bower, M.A., 1998. *A Critical Path to the Characterisation of Agriculture through the Pollen of Cereals*. University of Cambridge, Cambridge.
- Brochier, J.E., Villa, P., Giacomarra, M., 1992. Shepherds and sediments: geoethnoarchaeology of pastoral sites. *Journal of Anthropological Archaeology* 11, 47–102.
- Brochier, J.E., Claustre, F., Heinz, C., 1998. Environmental impact of Neolithic and Bronze Age farming in the eastern Pyrenees forelands, based on multidisciplinary investigations at La Caune de Bélesta (Bélesta Cave), near Perpignan, France. *Vegetation History and Archaeobotany* 7, 1–9.
- Bryant, V.M., Holloway, R.G., 1996. Archaeological palynology (Chapter 23A). In: Jansonijs, J., McGregor, D.C. (Eds.), *Palynology: Principles and Applications*.

- American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Salt Lake City, pp. 913–917.
- Bryant, V.M., Holloway, R.G., Jones, J.G., Carlson, D.L., 1994. Pollen preservation in alkaline soils of the American Southwest. In: Traverse, A. (Ed.), *Sedimentation of Organic Particles*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 47–58.
- Burjachs, F., López Sáez, J.A., Iriarte, M.J., 2003. Metodología arqueopalinológica. In: Buxó, R., Piqué, R. (Eds.), *La recogida de muestras en arqueobotánica: objetivos y propuestas metodológicas*. Museu d'Arqueologia de Catalunya, Barcelona, pp. 11–18.
- Cabanes, D., Burjachs, F., Expósito, I., Rodríguez, A., Allué, E., Euba, I., Vergès, J.M., 2009. Formation processes through archaeobotanical remains: the case of the Bronze Age levels in El Mirador cave, Sierra de Atapuerca, Spain. *Quaternary International* 193, 160–173. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2007.08.002>.
- Cáceres, I., Lozano, M., Saladié, P., 2007. Evidence for Bronze Age Cannibalism in El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *American Journal of Physical Anthropology* 133, 899–917.
- Campbell, I.D., 1987. Pollen-sedimentary Environment Relations and Late Holocene Palynostratigraphy of the Ruby Range, Yukon Territory, Canada (M.Sc. thesis). Univ. Ottawa, p. 108.
- Campbell, I.D., 1991. Experimental mechanical destruction of pollen grains. *Palynology* 15, 29–33.
- Campbell, I.D., Campbell, S., 1994. Pollen preservation: experimental wet–dry cycles in saline and desalinated sediments. *Palynology* 18, 5–10.
- Canti, M.G., 1999. The production and preservation of faecal spherulites: animals, environment and taphonomy. *Journal of Archaeological Science* 26, 251–258.
- Carrancho, Á., Villalain, J.J., Angelucci, D.E., Dekkers, M.J., Vallverdú, J., Vergès, J.M., 2013. Rock-magnetic analyses as a tool to investigate archaeological fired sediments. A case study of Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Spain). *Geophysical Journal International* 179, 79–96.
- Carrion, J.S., Navarro, C., 2002. Cryptogam spores and other non-pollen microfossils as sources of palaeoecological information: case-studies from Spain. *Annales Botanici Fennici* 39, 1–14.
- Carrión, J.S., Fernández, S., González-Sampériz, P., Gil-Romera, G., Badal, E., Carrión-Marco, Y., López-Merino, L., López-Sáez, J.A., Fierro, E., 2010. Expected trends and surprises in the Lateglacial and Holocene vegetation history of the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 458–475.
- Charles, M., 1998. Fodder from dung: the recognition and interpretation of dung-derived plant material from archaeological sites. *Environmental Archaeology* 1, 111–122.
- Christopher, R.A., 1976. Morphology and taxonomic status of *Pseudoschizaea* Thiergart and Frantz ex R. Potonie emend. *Micropaleontology* 22 (2), 143–150.
- Coles, G.M., Gilbertson, D.D., Hunt, C.O., Jenkinson, R.D.S., 1989. Taphonomy and the palynology of cave deposits. *Cave Science* 16, 83–89.
- Combaz, A., 1964. Les palynofaciès. *Revue de Micropaléontologie* 7 (3), 205–218.
- Coûteaux, M., 1977. A propos de l'interprétation des analyses polliniques de sédiments minéraux, principalement archéologiques. In: Laville, H., Renault-Miskovsky, J. (Eds.), *Approche écologique de l'homme fossile*. Supplément au Bulletin de l'Association Française pour l'étude du Quaternaire, Paris, pp. 259–276.
- Cugny, C., Mazier, F., Galop, D., 2010. Modern and fossil non-pollen palynomorphs from the Basque mountains (western Pyrenees, France): the use of coprophilous fungi to reconstruct pastoral activity. *Vegetation History and Archaeobotany* 19, 391–408.
- Diot, M.F., 1991. Apport et conservation sporo-pollinique dans les grottes: relation avec la fréquentation humaine et animale. In: *Archeologie Experimentale*. La Terre, Tome 2, Editions Errance, Paris, pp. 236–245.
- Diot, M.F., 1992. Études palynologiques de blés sauvages et domestiques issus de cultures expérimentales. *Monographies du CRA* 6, 107–111.
- Ebersohn, C., Eicker, A., 1992. Coprophilous fungal species composition and species diversity on various dung substrates of African game animals. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 33, 85–95.
- Edwards, K.J., MacDonald, G.M., 1991. Holocene palynology: II human influence and vegetation change. *Progress in Physical Geography* 15, 364–391.
- Edwards, K.J., Fyfe, R.M., Hunt, C.O., Schofield, J.E., 2015. Moving forwards? Palynology and the human dimension. *Journal of Archaeological Science* 56, 117–132.
- Fægri, K., 1944. On the introduction of agriculture in Western Norway. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar* 66, 449–462.
- Galop, D., López-Sáez, J.A., 2002. Histoire agraire et paléoenvironnement: les apports de la palynologie et des microfossiles non-polliniques. *Trabalhos de Antropologia e Etnologia* 42 (1–2), 161–164.
- Gauthier, E., Bichet, V., Massa, C., Petit, C., Vanniere, B., Richard, H., 2010. Pollen and non-pollen palynomorph evidence of medieval farming activities in south-western Greenland. *Vegetation History and Archaeobotany* 19, 427–438.
- Genty, D., Diot, M.F., O'Yl, W., 2001. Sources of pollen in stalactite drip eater in two caves in southwest France. *Cave Karst Science* 28, 59–66.
- Goeury, C., de Beaulieu, J.L., 1979. À propos de la concentration du pollen à l'aide de la liqueur de Thoulet dans les sédiments minéraux. *Pollen et Spores XXI* (1–2), 239–251.
- 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, 13–35.
- Grimm, E.C., 1991–2011. *Tilia, Tilia-Graph and TGView*. Illinois State Museum, Springfield. <http://museum.state.il.us/pub/grimm/tilia/>.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. PAST: paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica* 4 (1), 9.
- Hilbrand, M., Hadorn, P., Cugny, C., Hasenrath, A., Galop, D., Haas, J.N., 2012. The palaeoecological value of *Diporotheca rizophila* ascospores (Diporothecaceae, Ascomycota) found in Holocene sediments from Lake Nussbaumersee, Switzerland. *Review of Palaeobotany and Palynology* 186, 62–68.
- Holloway, R.G., 1989. Experimental mechanical pollen degradation and its application to Quaternary age deposits. *Texas Journal of Science* 41, 131–145.
- Hunt, C.O., Gilbertson, D.D., Hill, E.A., Simpson, D., 2015. Sedimentation, re-sedimentation and chronologies in archaeologically-important caves: problems and prospects. *Journal of Archaeological Science* 56, 109–116.
- Iversen, J., 1941. Land Occupation in Denmark's Stone Age. (Landnam in Denmark's Stone Age). In: *Danmarks Geol. Unders.*, vol. 66 (Raekke 2), pp. 1–68.
- Jarzen, D.M., Elisik, W.C., 1986. Fungal palynomorphs recovered from recent river deposits, Luangwa valley, Zambia. *Palynology* 10, 35–60.
- Karkanas, P., 2006. Late Neolithic household activities in marginal areas: the micromorphological evidence from the Kouveleiki caves, Peloponnese, Greece. *Journal of Archaeological Science* 33, 1628–1641.
- Kolaczek, P., Zubek, S., Blaszkowski, J., Mleczko, P., Margielewski, W., 2013. Erosion or plant succession e how to interpret the presence of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) spores in pollen profiles collected from mires. *Review of Palaeobotany and Palynology* 189, 29–37.
- Kuhry, P., 1985. Transgression of a raised bog across a cover sand ridge originally covered with an oak-lime forest. Paleoecological study of a Middle Holocene local vegetational succession in the Amtsven (northwest Germany). *Review of Palaeobotany and Palynology* 44, 303–353.
- Kuhry, P., 1997. The papaeoecology of a tree bog in western boreal Canada: a study based on microfossils, macrofossils and physico-chemical properties. *Review of Palaeobotany and Palynology* 96, 183–224.
- Lebreton, V., Messenger, L., Marquer, L., Renault-Miskovsky, J., 2010. A neotaphonomic experiment in pollen oxidation and its implications for archaeopalynology. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 29–38.
- Lisiewska, M., 1992. Macrofungi on special substrates. In: Winterhoff, W. (Ed.), *Fungi in Vegetation Science*. Kluwer Acad. Publ., The Netherlands, pp. 151–182.
- López-Sáez, J.A., López-García, P., 2003. Pollen analysis from Early and Middle Holocene archaeological sites in the Blue Nile Area, Central Sudan. *Complutum* 14.
- López-Sáez, J.A., López-Merino, L., 2007. Coprophilous fungi as a source of information of anthropic activities during the Prehistory in the Amblés Valley (Ávila, Spain): the archaeopalynological record. *Revista Española de Micro-paleontología* 39, 103–116.
- López-Sáez, J.A., van Geel, B., Farbos-Texier, S., Diot, M.F., 1998. Remarques paléocologiques à propos de quelques palynomorphes non-polliniques provenant de sédiments quaternaires en France. *Revue de Paléobiologie*, Genève 17 (2), 445–459.
- López-Sáez, J.A., van Geel, B., Martín Sánchez, M., 2000. Aplicación de los microfósiles no polínicos en Palinología Arqueológica. *Contributos das Ciências e das Tecnologias para a Arqueologia da Península Ibérica*. In: *Actas 3º Congresso de Arqueologia Peninsular*. V. Oliveira Jorge. Vila-Real, Portugal, setembro de 1999, vol. IX. Adecap, Porto, pp. 11–20.
- López-Sáez, J.A., Abel-Schaad, A., Pérez-Díaz, S., Blanco-González, A., Alba-Sánchez, F., Dorado, M., Ruiz-Zapata, B., Gil-García, M.J., Gómez-González, C., Franco-Múgica, F., 2014. Vegetation history, climate and human impact in Spanish Central System over the last 9000 years. *Quaternary International* 353, 98–122.
- Loublier, I., 1978. Application de l'analyse pollinique à l'étude du paléoenvironnement du remplissage Würmien de la grotte de L'Arbreda (Espagne) (Unpublished Thèse 3^{ème} cycle). Académie de Montpellier, U.S.T.L., Montpellier.
- Macphail, R.I., Courty, M.A., Hather, J., Watzet, J., Ryder, M., Cameron, N., Branch, N.P., 1997. The soil micromorphological evidence of domestic occupation and stabling activities. In: Maggi, R. (Ed.), *Arene Candide: a Functional and Environmental Assessment of the Holocene Sequence (Excavations Bernarbo' Brea-Cardini 1940–50)*. Il Calamo, Roma, pp. 53–88.
- Maggi, R. (Ed.), 1997. *Arene Candide: a functional and environmental assessment of the Holocene sequence*. *Memorie dell'Istituto Italiano di Paleontologia Umana*, N.S. 5, Roma.
- Martín, P., Rosell, J., Vergès, J.M., 2009. La gestión de los recursos faunísticos durante el Neolítico en la Sierra de Atapuerca (Burgos): los niveles 19 y 20 de la Cueva del Mirador. *Trabajos de Prehistoria* 66, 77–92.
- Martín, P., Saladié, P., Nadal, J., Vergès, J.M., 2014. Butchered and consumed: small carnivores from the Holocene levels of El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos). *Quaternary International* 1–17.
- McAndrews, J.H., Turton, C.L., 2010. Fungal spores record Iroquoian and Canadian agriculture in 2nd millennium A.D. sediment of Cawford Lake, Ontario, Canada. *Vegetation History and Archaeobotany* 19, 495–501.
- Milanesi, C., Vignani, R., Ciampolini, F., Faleri, C., Cattani, L., Moroni, A., Arrighi, S., Scali, M., Tiberi, P., Sensi, E., Wang, W., Cresti, M., 2006. Ultrastructure and DNA sequence analysis of single *Concentricystis* cells from Alta Val Tiberina Holocene sediment. *Journal of Archaeological Science* 33, 1081–1087.
- Miola, A., 2012. Tools for Non-Pollen Palynomorphs (NPPs) analysis: a list of Quaternary NPP types and reference literature in English language (1972–2011). *Review of Palaeobotany and Palynology* 186, 142–161.
- Moore, P.D., Webb, J.A., Collinson, M.E., 1991. *Pollen Analysis*, second ed. Blackwell Scientific Publications, London.
- Moral, S., Rodríguez, J.A., Díez, C., 2003. Las cerámicas de la cueva de El Mirador (Ibeas de Juarros, Burgos) en el contexto del Bronce medio de la sub-Meseta

- norte. In: Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología LXIX–LXX, pp. 57–74.
- Navarro-Camacho, C., Carrión, J.S., Munuera, M., Prieto, A.R., 2001. Cave surface pollen and the palynological potential of karstic cave sediments in palaeoecology. *Review of Palaeobotany and Palynology* 117, 245–265.
- Ortega, A.I., Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Martín-Merino, M.A., Pérez-Martínez, R., Parés, J.M., Aramburu, A., Arsuaga, J.L., Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E., 2013. Evolution of multilevel caves in the Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain) and its relation to human occupation. *Geomorphology* 196, 122–137.
- Osaba, B., Ruiz de Erenchun, B., 1978. Las cuevas prehistóricas burgalesas en relación con el Museo Arqueológico. In: Kaite I. Grupo Espeleológico Edelweis. Caja de Ahorros Municipal de Burgos, pp. 71–82.
- Pals, J.P., van Geel, B., Delfos, A., 1980. Paleocological studies in the Klokkeveel bog near Hoogkarspel (Prov. of Noord-Holland). *Review of Palaeobotany and Palynology* 30, 371–418.
- Pantaleón-Cano, J., Pérez-Obiol, R., Yll, E.I., Roure, J.M., 1996. Significado de *Pseudochizaea* en las secuencias sedimentarias de la vertiente mediterránea de la Península Ibérica e Islas Baleares. In: Ruiz Zapata, B. (Ed.), *Estudios palinológicos*. Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, pp. 101–105.
- Peña-Chocarro, L., Zapata-Peña, L., Iriarte, M.J., González-Morales, J., Straus, L.G., 2005. The oldest agriculture in northern Atlantic Spain: new evidence from El Mirón Cave (Ramales de la Victoria, Cantabria). *Journal of Archaeological Science* 32, 579–587.
- Ralska-Jasiewiczowa, M., van Geel, B., 1992. Early human disturbance of the natural environment recorded in annually laminated sediments of Lake Gościąg, central Poland. *Vegetation History and Archaeobotany* 1, 33–42.
- Reille, M., 1992. Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du nord. *Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie*, Marseille.
- Reille, M., 1995. Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du Nord (Supplément 1). *Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie*, CNRS, Marseille.
- Richard, H., 1995. Indices d'anthropisation dans les diagrammes polliniques du massif jurassien. *Palynoscience* 3, 37–49.
- Richardson, M.J., 2008. Records of coprophilous fungi from the lesser Antilles and Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science* 44, 206–214.
- Ruiz-Zapata, M.B., Gómez-González, C., López-Sáez, J.A., Gil-García, M.J., Santiesteban, J.I., Mediavilla, R., Dorado-Valiño, M., Valdeolmillos-Rodríguez, A., 2006. Detección de la actividad antrópica durante el Holoceno reciente, a través de la asociación de palinomorfos polínicos y no polínicos en dos depósitos higroturbosos (El Berruco y Rascafría) en la Sierra de Guadarrama, Madrid. *Revista española de Micropaleontología* 38 (2–3), 355–366.
- Robinson, M., Hubbard, R.N.L.B., 1977. The transport of pollen in the bracts of hulled cereals. *Journal of Archaeological Science* 4, 197–199.
- Rodríguez-Cruz, A., 2004. Análisis carpológico de la cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos): Resultados preliminares. In: Allué, E., Martín, J., Canals, A., Carbonell, E. (Eds.), *Actas del I Congreso Peninsular de Estudiantes de Prehistoria*. URV, Tarragona, pp. 350–355.
- Sangster, A.G., Dale, H.M., 1961. A preliminary study of differential pollen grain preservation. *Canadian Journal of Botany* 39, 35–43.
- Scott, L., 1992. Environmental implications and origin of microscopic *Pseudochizaea* Thiegart and Franz ex R. Potonié emend. in sediments. *Journal of Biogeography* 19, 349–354.
- Scott, L., Fernández-Jalvo, Y., Carrión, J.S., Brink, J., 2003. Preservation and interpretation of pollen in hyaena coprolites: taphonomic observations from Spain and southern Africa. *Paleontologia Africana* 39, 83–91.
- Shahack-Gross, R., Marshall, F., Weiner, S., 2003. Geo-ethnoarchaeology of pastoral sites: the identification of livestock enclosures in abandoned Maasai settlements. *Journal of Archaeological Science* 30, 439–459.
- Shahack-Gross, R., 2011. Herbivorous Livestock Dung: Formation, Taphonomy, Methods For Identification, and Archaeological Significance. *Journal of Archaeological Science* 38, 205–218.
- Simpson, D.J., Hunt, C.O., 2009. Scoping the past human environment: a case study of pollen taphonomy at the Haua Pteah, Cyrenaica, Lybia. *Archaeological Review from Cambridge* 24, 27–46.
- Twiddle, C.L., Bunting, M.J., 2010. Experimental investigations into the preservation of pollen grains: a pilot study of four pollen types. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 621–630.
- van der Wiel, A.M., 1982. A palaeoecological study of a section from the foot of Hazendonk (Zuid-Holland), based on the analysis of pollen, spores and macroscopic remains. *Review of Palaeobotany and Palynology* 38, 35–90.
- van Geel, B., 1978. A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and The Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. *Review of Palaeobotany and Palynology* 25, 1–120.
- van Geel, B., 1986. Application of fungal and algal remains and other microfossils in palynological analyses. In: Berglund, B.E. (Ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, pp. 497–505.
- van Geel, B., 2001. Non-pollen palynomorphs. In: Smol, J.P., Birks, H.J.B., Last, W.M. (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, Terrestrial, Algal and Silicaceous Indicators*, vol. 3. Kluwer, Dordrecht, pp. 99–119.
- van Geel, B., Aptroot, A., 2006. Fossil ascomycetes in Quaternary deposits. *Nova Hedwigia* 82, 313–329.
- van Geel, B., Bohncke, S.J.P., Dee, H., 1981. A palaeoecological study of an upper Late Glacial and Holocene sequence from "De Borchert", The Netherlands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 31, 367–448.
- van Geel, B., Hallewas, D.P., Pals, J.P., 1983. A Late Holocene deposit under the Westfriesee Zeedijk near Enkhuizen (Prov. of N-Holland, The Netherlands): palaeoecological and archaeological aspects. *Review of Palaeobotany and Palynology* 38, 269–335.
- van Geel, B., Klink, A.G., Pals, J.P., Wiegers, J., 1986. An Upper Eemian lake deposit from Twente, eastern Netherlands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 47, 31–61.
- van Geel, B., Coope, G.R., van der Hammen, T., 1989. Palaeoecology and stratigraphy of the Lateglacial type section at Usselo (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology* 60, 25–129.
- van Geel, B., Buurman, J., Brinkkemper, O., Schelvis, J., Aptroot, A., van Reenen, G., Hakbijl, T., 2003. Environmental reconstruction of a Roman Period settlement site in Uitgeest (The Netherlands), with special reference to coprophilous fungi. *Journal of Archaeological Science* 30, 873–883.
- van Geel, B., Gelorini, V., Lyaruu, A., Aptroot, A., Rucina, S., Marchant, R., Sinnighe Damsté, J.S., Verschuren, D., 2011. Diversity and ecology of tropical African fungal spores from a 25,000-year palaeoenvironmental record in southeastern Kenya. *Review of Palaeobotany and Palynology* 164, 174–190.
- van Smeerdijk, D., 1989. A paleoecological and a chemical study of a peat profile from the Assendelver polder (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology* 58, 231–288.
- Vergès, J.M., Allué, E., Angelucci, D., Cebrià, A., Díez, C., Fontanals, M., Manyàns, A., Montero, S., Moral, S., Vaquero, M., Zaragoza, J., 2002. La Sierra de Atapuerca durante el Holoceno: Datos preliminares sobre las ocupaciones de la edad del Bronce en la cueva de El Mirador (Ibeas de Juarros, Burgos). *Trabajos de Prehistoria* 59 (1), 107–126.
- Vergès, J.M., Allué, E., Angelucci, D., Burjachs, F., Carrancho, A., Cebrià, A., Expósito, I., Fontanals, M., Moral, S., Rodríguez, A., 2008. Los niveles Neolíticos de la Cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos): Nuevos datos sobre la implantación y el desarrollo de la economía agropecuaria en la submeseta norte. In: Hernández, M.S., Soler, J.A., López, J.A. (Eds.), *IV Congreso de Neolítico Peninsular*. Museo de Arqueología de Alicante, vol. I. MARQ, Alicante, ISBN 978-84-96979-00-0, pp. 418–427.
- Vergès, J.M., Allué, E., Fontanals, M., Morales, J.I., Martín, P., Carrancho, A., Expósito, I., Guardiola, M., Lozano, M., Marsal, R., Oms, X., Euba, I., Rodríguez, A., 2016. El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain): A whole perspective 414, 236–243.
- Weinstein-Evron, M., 1981. The influence of slope direction on the pollen spectra. *Pollen et Spores* 23 (3), 381–387.
- Weinstein-Evron, M., 1994. Biases in Archaeological Pollen Assemblages. Aspects of Archaeological Palynology: Methodology and Applications. O. K. Davis. In: *American Association of Stratigraphic Palynologists Contributions Series*, vol. 29, pp. 193–205.
- Wood, J.R., Wilmshurst, J.M., Worthy, T.H., Cooper, A., 2011. *Sporormiella* as a Proxy for non-mammalian herbivores in island ecosystems. *Quaternary Science Reviews* 30, 915–920.
- Woods, R.D., 1955. Spores and pollen — a new stratigraphic tool for the oil industry. *Micropaleontology* 1, 368–375.
- Zazo, C., Goy, J.L., Hoyos, M., 1983. Estudio geomorfológico de los alrededores de la Sierra de Atapuerca. *Estudios Geológicos* 39, 179–185.
- Zong, Y., Chen, Z., Innes, J.B., Chen, C., Wang, Z., Wang, H., 2007. Fire and flood management of coastal swamp enabled first rice paddy cultivation in east China. *Nature* 449, 459–462.

8 LA EXPERIMENTACIÓN

Replicar para comprender

8.1 Introducción

Tal y como apuntábamos en el capítulo dedicado a la perspectiva tafonómica, la palinología arqueológica enfrenta algunas dificultades en su cometido de reconstrucción del paisaje como marco de la actividad humana. Estas limitaciones, fundamentalmente relacionadas con las dinámicas sedimentarias, la destrucción o alteración diferencial del espectro polínico y las aportaciones antropogénicas al registro, requieren tanto del análisis tafonómico como de la creación de un corpus de datos experimental que permita la comparación y comprensión de los fenómenos que afectan a

la conservabilidad y representatividad del registro polínico.

Los trabajos experimentales son necesarios, de hecho, porque contribuyen a dotar a la investigación arqueológica de referentes actualistas que van a ayudar a descifrar la información contenida en los fósiles. La carga de información de un fósil deviene, como ya hemos comentado con anterioridad, no sólo de la adscripción taxonómica y las connotaciones ecológicas que conlleva, sino también de las trazas de modificación que acompañan al proceso de fosilización. Éstos vestigios de alteración añaden un input de conocimiento de vital importancia acerca de los procesos que

han afectado a los fósiles y que correlacionan con los condicionantes tafonómicos asociados al proceso de fosilización.

La integración de las prácticas experimentales en la arqueología se remonta a mediados del siglo XX, cuando la Nueva Arqueología y otros enfoques teóricos europeos, como el materialismo histórico, empiezan a emplear el término “Arqueología Experimental” para referirse a los trabajos de índole arqueológica que intentan ir más allá del registro (Asher, 1961a; Coles, 1979; Reynolds, 1988; Mathieu, 2002). A partir de este momento, la experimentación es un método cada vez más recurrente para contrastar la formulación de hipótesis y se ha desarrollado en base a dos enfoques principales: el primero de ellos se basa en la consideración del método experimental como vía de descubrimiento y ha sido ampliamente criticado por la falta de adecuación de los proyectos experimentales a los criterios de científicidad. El segundo enfoque, la vía experimental propiamente dicha, se basa en corroborar ciertas afirmaciones e hipótesis sobre técnicas y modos de vida del pasado, pero también sobre la propia formación del registro arqueológico. Esto implica una aproximación más sistemática en la observación, donde se impone el control de las variables y la adecuación de los datos obtenidos a la formulación de hipótesis a contrastar (Ingersoll *et al.*, 1977).

La experimentación cumple con su función gracias a la vigencia de los principios de actualismo o uniformidad y simulación, que implican que podemos reproducir en el presente los procesos socioculturales pretéritos, así como los procesos de formación de los yacimientos, y que éstos pueden ser

estudiados en la actualidad mediante la simulación de la interacción de las diferentes variables implicadas, en función del tiempo (Lyell, 1830-1830; Whewell, 1832).

En términos generales, las prácticas experimentales pueden agruparse en dos modalidades distintas; las desarrolladas en condiciones de laboratorio con un control absoluto de las variables, lo que implica una simplificación de la realidad arqueológica (Tringham, 1978) o las que proponen la interpretación de los datos arqueológicos mediante la replicación o imitación, sin un control absoluto de las variables implicadas (Asher, 1961b). En este tipo de propuestas se intenta una aproximación a las condiciones materiales, técnicas y productivas del fenómeno con el objetivo de que la información obtenida pueda ser usada mediante la analogía relacional (Ingersoll *et al.*, 1977).

En cuanto a la temática, la experimentación puede ir dirigida a la reconstrucción de la realidad sociocultural del pasado, lo que implica, por ejemplo, el conocimiento de las propiedades y comportamientos físico-químicos de la materia prima de los objetos arqueológicos, la profundización en los procesos tecnológicos y modos de vida, etc. Por otro lado, los programas experimentales pueden ir encaminados, como en el caso del que se describe en este capítulo, hacia el conocimiento de la formación del registro arqueológico y la tafonomía (p. ej. Reynolds, 1979; McBrearty *et al.* 1998; Denys, 2002; Théry Parisot, 2002; Tencariu, 2005).

8.2 El Corral del Mas del Pepet

Los yacimientos arqueológicos en los que se conservan vestigios del desarrollo de actividades ganaderas constituyen una de las primeras fuentes de información para el conocimiento de las sociedades de la prehistoria reciente. Entre estos depósitos



Figura 8.1. Imágenes del Corral del Mas del Pepet, donde se muestran las ruinas de la antigua construcción y la pared de roca a la que se adosa el corral actual.

destacan las cuevas corral, situadas cronológicamente entre el Neolítico y la Edad del Bronce, y que se caracterizan por presentar horizontes estratigráficos en los que se superponen excrementos quemados y no quemados fruto de la quema reiterada del relleno (Brochier *et al.*, 1992; Angelucci *et al.*, 2009). Esta quema intencional, que tiene la función de reducir el volumen de los excrementos acumulados y eliminar parásitos (Angelucci *et al.*, 2009), genera un tipo de depósito característico y complejo, fruto de la interacción durante su formación de múltiples agentes y procesos tafonómicos. Es por esta razón que los estudios de los espacios ganaderos necesitan de referentes

experimentales que contribuyan a resolver algunas de las incógnitas generadas en base a su complejidad (Vergès *et al.*, 2016).

Así, la búsqueda de datos de referencia en contextos ganaderos actuales es básica para acometer la interpretación de los registros arqueológicos documentados en rediles

prehistóricos. Este es el objetivo fundamental del programa experimental desarrollado en el corral del Mas del Pepet, localizado en Rojals, dentro del término municipal de Montblanc. Se trata de un proyecto a largo plazo, promovido por el *Institut Català de Paleocologia Humana i Evolució Social* (IPHES) y dirigido por Josep M^a Vergès, que se inicia el 2014 con el apoyo del organismo gestor del *Paratge Natural d'Interès Nacional* de Poblet (PNIN). El objetivo inicial del programa fue reproducir las características de un depósito tipo *fumier*. Como ya se ha comentado, la complejidad de los depósitos arqueológicos identificados dentro de esta tipología resulta difícil de desentrañar de acuerdo con las

numerosas variables implicadas, entre las que se encuentran la estacionalidad de las ocupaciones o el modo en que se llevó a cabo la gestión de la cabaña ganadera, entre otras cuestiones.

El corral del Mas del Pepet se sitúa en el margen izquierdo del barranco de Mas d'en



Figura 8.2. Imagen en la que se aprecian los dos ámbitos diferenciados del corral.

Llort, a 880 metros s.n.m. Se trata de un antiguo conjunto de edificaciones, actualmente en ruinas, en el que se ha reacondicionado una zona recientemente para



Figura 8.3. Imágenes que ilustran las características del relieve de la zona circundante al corral.

servir de corral al rebaño de Pere Domenech, vecino de Vimbodí, un pueblo cercano. El corral se encuentra al pie de un risco y adosado a él (Fig. 8.1). Dispone de espacios con condiciones diferenciadas que permiten reflejar buena parte de la variabilidad existente en los yacimientos arqueológicos. Entre estos, destacan dos espacios delimitados por muros, que evitan el desplazamiento lateral de los excrementos y hacen que las superficies sean bastante planas y estables. De estos espacios, uno se encuentra cubierto por un techado y el otro queda al descubierto. Esto implica que el primer depósito esté protegido de los fenómenos meteorológicos, especialmente de la lluvia, y el otro quede expuesto (Fig. 8.2). Por otro lado, presenta un espacio amplio alrededor de las construcciones, caracterizado por un área en pendiente, sometida a los fenómenos de erosión por gravedad y otra zona, bastante plana, apoyada en la valla metálica perimetral, donde son frecuentes los fenómenos de acumulación (Fig. 8.3).



La cabaña del corral del Mas del Pepet está compuesta por 320 cabras y unas 30 ovejas y ha sido escogida como objeto de estudio porque su alimentación está totalmente basada en el pasto de áreas del bosque circundante y de antiguos campos de cultivo actualmente en desuso. De hecho, el ganado pasta en el sector oriental del PNIN de Poblet, con el objetivo de controlar el crecimiento del sotobosque, dentro del plan de prevención de incendios forestales. El tipo de pasto es extensivo tradicional y permanecen en el corral unos seis meses, desde abril/mayo a octubre/noviembre. Este rasgo confiere al rebaño características que lo hacen muy similar a las cabañas ganaderas prehistóricas (Fig. 8.4).



Figura 8.4. Aspecto general de las zonas de pasto del ganado.

8.3 El programa experimental

El programa experimental del corral del Mas del Pepet incluye una serie de experimentos destinados a aportar información sobre un amplio espectro de vertientes relativas a la gestión del ganado. A continuación, se exponen las principales líneas de acción que se han planteado hasta el momento.

- Cálculo de la tasa de acumulación de los excrementos

El hecho de que en la actualidad no se disponga de datos fiables que permitan realizar una estimación de la relación existente entre el número de cabezas de ganado y el tiempo de estancia en el corral, ha motivado la realización de un estudio de la tasa de deposición de excrementos en función de la superficie ocupada, la duración de la ocupación y el número de cabezas de ganado. Esto se lleva a cabo comparando modelos 3D del corral antes de la llegada y después de la marcha del rebaño y se aplica también, siguiendo la misma metodología, al cálculo de la reducción de volumen del depósito de excrementos provocada por la combustión. Del mismo modo, los datos 3D permiten elaborar modelos de la distribución de los excrementos en función del relieve de base, con el objetivo de estimar la influencia que tienen las características topográficas del espacio en la acumulación diferencial de heces observada en los yacimientos arqueológicos (Fernández-Eraso y Polo-Díaz, 2008; Angelucci *et al.*, 2009).

- **Quema de los excrementos en montones**

La práctica de quemar los excrementos amontonándolos está ampliamente documentada en los corrales de época prehistórica, siendo uno de los rasgos más característicos de este tipo de depósito sedimentario. Aun así, prácticamente no disponemos de datos experimentales que nos ayuden a interpretar el registro arqueológico, a excepción de alguna quema experimental a la intemperie, lo que no permite evaluar el papel del substrato en el desarrollo de la combustión (Vergès, 2011). Los principales objetivos de este experimento incluyen documentar la curva térmica de la combustión de los excrementos, evaluar la influencia en la cremación de factores como la conservación de las heces o el grado de humedad, caracterizar los momentos de ocupación y abandono, y relacionar las temperaturas alcanzadas con la gama cromática de las cenizas (Vergès, 2011). Precisamente, una de las grandes incógnitas generadas tras el estudio de depósitos arqueológicos en *fumier*, es la conservación de capas de cenizas puras a pesar de la removilización del depósito tras el amontonamiento o el pisoteo de los animales. Finalmente, el estudio en curso del comportamiento de los elementos con propiedades magnéticas presentes en los excrementos y sometidos al incremento térmico provocado por la combustión contribuirán a generar datos de referencia para los residuos de la combustión de las heces de los corrales prehistóricos, encaminados a obtener datos sobre la variación secular del campo magnético terrestre, las alteraciones tafonómicas de los depósitos de cenizas, o la determinación de las temperaturas máximas alcanzadas (Carrancho *et al.*, 2012, 2013).

- **Pulido de superficies**

Las bandas de pulido presentes en las paredes del corral que son generadas por el roce de los animales forman parte del comportamiento habitual de los rebaños y se han observado en numerosos depósitos arqueológicos (Brochier *et al.*, 1992). La superficie pulida presente en los muros presenta diferente distribución en función del tamaño y pelaje del animal y de si se lleva a cabo el vaciado de excrementos, en la medida de que la ubicación de la línea de superficie del depósito condiciona la cota del nivel de circulación del ganado. Su caracterización puede ayudar a identificar en contextos arqueológicos el animal que las ha generado, la gestión de los excrementos y la intensidad de uso del espacio como corral. Con el objetivo de llevar a cabo este estudio, se dejaron testimonios de roca en diferentes puntos del corral, cuyo estudio ya ha proporcionado algunos resultados (Vergès y Morales-Hidalgo, 2016).

- **Análisis micromorfológico**

Después de cada período de uso del corral se recogen muestras encaminadas a la obtención de láminas delgadas para el análisis micromorfológico del depósito, tanto de las zonas quemadas como de las no se han visto afectadas por el amontonamiento y la combustión. Estas muestras forman parte de una colección de referencia que contribuirá a la identificación e interpretación las muestras micromorfológicas procedentes de los corrales arqueológicos. Además, con el estudio de estos testigos se pretende identificar la existencia de costras superficiales derivadas de la exposición subaérea en los períodos de abandono del corral, caracterizar la compactación relacionada con el pisoteo del

ganado durante su estancia y detectar la presencia de residuos de combustión, tanto in situ como descontextualizados.

- **Dispersión de materiales**

Otra de las problemáticas de los corrales arqueológicos es el desplazamiento tanto vertical como horizontal de los materiales a causa de la remoción del substrato. Con el objetivo de documentar estos movimientos se han ido depositado paulatinamente diferentes tipos de material en diferentes zonas del corral. Los objetos se han marcado con fragmentos de plancha de aluminio numeradas, para facilitar la identificación y la localización. Su posición tridimensional se registra con ayuda de una estación total, tanto en el momento de su colocación, como tras los procesos de amontonamiento y quema. Los datos sobre el desplazamiento de los objetos permitirán identificar los contextos más propensos a la movilidad y mezcla de materiales, y los más estables, así como determinar la variabilidad en el grado de desplazamiento de los objetos en función de sus características físicas.

- **Colección de referencia**

Como resultado de la realización de los diferentes experimentos programados se dispondrá de un amplio abanico de materiales (restos faunísticos, botánicos, cerámicos y líticos) de los que se conocerá con detalle su proceso tafonómico. Estos objetos, una vez acabado el programa experimental, pasarán a formar parte de una colección de referencia que contribuirá a la interpretación de las alteraciones observadas en los materiales arqueológicos.

- **Análisis del contenido botánico**

Con el objetivo de conocer el contenido en micro y macrorrestos botánicos del depósito de excrementos del corral y su relación con la vegetación existente en la zona, se ha realizado el inventario botánico del entorno del corral (Fig. 8.5) y de las zonas de pasto del ganado (Fig. 8.6). El programa experimental incluye, además, el muestreo de los excrementos de los ámbitos interior y exterior del corral antes y después de la quema, destinado al estudio de los pólenes, palinomorfos no polínicos (NPP), fitolitos y carbones presentes en el depósito.



Figura 8.5. Identificación taxonómica de especies por parte del Dr. Francesc Burjachs con el objetivo de crear el inventario botánico de la zona.

8.4 Desarrollo del programa experimental: la propuesta palinológica

Como ya se ha dicho con anterioridad, los datos palinológicos obtenidos del estudio de excrementos recuperados en yacimientos arqueológicos son utilizados generalmente para elaborar reconstrucciones paleoambientales, estimar la dieta del ganado o identificar actividades humanas relacionadas con los vegetales, entre otras cuestiones.



Figura 8.6. Fotografías del ganado en las zonas de pasto.

Así, el objetivo del análisis palinológico es llevar a cabo la comparación de las especies vegetales identificadas en el corral con respecto a las presentes en el entorno y en las zonas de pasto para conocer cuál es el reflejo de la vegetación del entorno en el corral, tanto desde el punto de la variabilidad taxonómica, como de su representación porcentual y esclarecer tanto los agentes que los han incorporado al depósito como qué tipo de

procesos tafonómicos han alterado su estado de conservación.

Estos datos serán fundamentales a la hora de determinar el sesgo existente entre la imagen de la comunidad vegetal que nos aporta el estudio botánico del depósito de excrementos y su composición real, así como precisar el papel que juegan los diferentes agentes acumuladores. De esta manera, se podrán llevar a cabo interpretaciones de carácter

paleoambiental mucho más certeras e identificar con más facilidad y fiabilidad hábitos de los pastores como, por ejemplo, la aportación de complementos alimentarios procedentes de la recolección o agricultura.

El estudio de palinomorfos no polínicos (NPP) ayudará a establecer cuáles son las condiciones microambientales existentes en el corral desde un punto de vista fundamentalmente local; existencia de zonas

de acumulación de agua, áreas de materia orgánica en descomposición bien preservada, horizontes carbonosos, episodios erosivos, etc. La presencia de estos microrrestos es generalmente poco significativa en los corrales prehistóricos, al contrario de lo que cabría esperar. La hipótesis principal para esta baja representación es que las quemaduras sistemáticas evidenciadas en el registro arqueológico, cumplen efectivamente con el objetivo de reducir la acumulación de excrementos y sanear los corrales.

De hecho, las hipótesis planteadas a partir de los numerosos interrogantes suscitados por los resultados polínicos del análisis del *fumier* de la Cueva de El Mirador, son interminables.

- ¿Es posible identificar la vegetación del entorno en el espectro polínico identificado?
- ¿Es posible cuantificar y definir el sesgo en las asociaciones polínicas identificadas?
- ¿Es posible detectar variaciones polínicas estacionales en los excrementos?
- ¿Es posible identificar la presencia de diferentes aportes polínicos en capas quemadas en base a su diferente grado de alteración?
- ¿A qué responde la presencia de polen en facies de calcinación?
- ¿Es posible definir el contenido diferencial de polen y palinomorfos en cada una de las facies de cremación?
- ¿Es posible detectar alteraciones en el polen y las esporas asociadas al grado de alteración de la facies sedimentaria que lo contiene?

- ¿Corresponden las asociaciones de microfósiles no polínicos con los resultados esperables para este tipo de rellenos arqueológicos?
- ¿Es posible caracterizar los conjuntos fúngicos propios de depósitos de *fumier*?
- ¿Es posible distinguir los procesos de remoción tafonómica, claves en este tipo de conjuntos?

Hasta el momento, con el objetivo de captar la complejidad del registro en microrrestos vegetales del nivel de ocupación del corral y su representatividad en relación al entorno, se ha venido realizando un muestreo sistemático de excrementos de los diferentes sectores (establo cubierto, establo descubierto, exterior descubierto y perímetro), previamente al amontonamiento y la quema (Fig. 8.7). Además del muestreo en extensión se han tomado muestras en vertical en las que se ha intentado recoger el total de la potencia acumulada durante cada fase de ocupación del corral con la intención de observar las posibles diferencias estacionales existentes en el registro palinológico (Fig. 8.8). Asimismo, se han recogido cada año un total de tres trampas polínicas colocadas estratégicamente en el recinto interior, el recinto exterior y la pared de roca a la que se adosa el corral (Fig. 8.9).

Tras el muestreo de excrementos no quemados, se han realizado cuatro quemaduras de los excrementos acumulados en los años 2014, 2015, 2016 y 2018. Para ello, además de amontonar los excrementos en diversos puntos del corral, se recogió leña de las inmediaciones y, previo su pesado e identificación taxonómica, se repartió en los diferentes montones (Fig. 8.10). Posteriormente a la quema, excepto en el caso

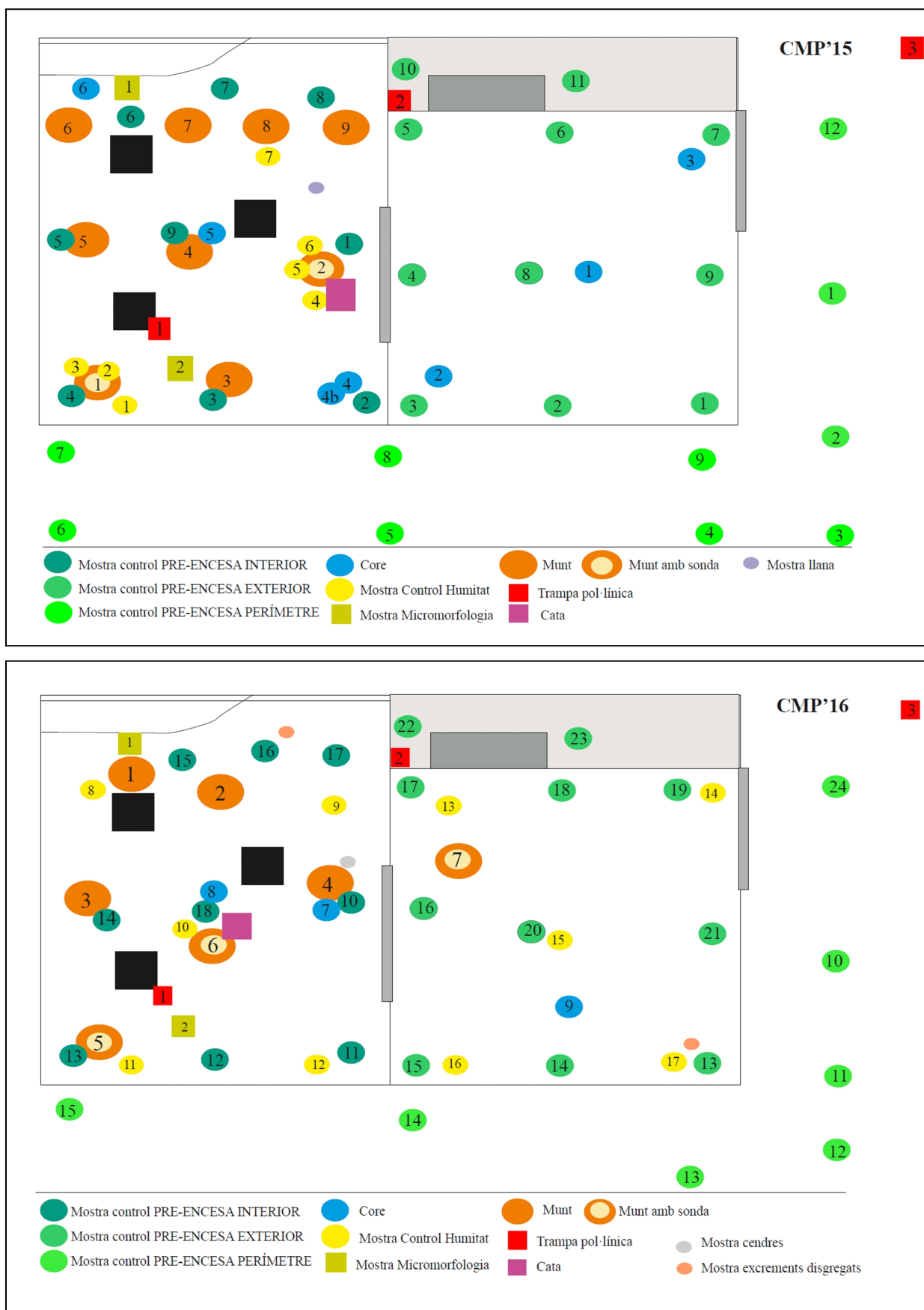


Figura 8.7. Fichas de trabajo en las que se muestra la planificación del muestreo arqueobotánico de las campañas 2015 y 2016.



Figura 8.8. Testigo recogido durante la campaña 2014 y muestra de micromorfología de la campaña 2016.

de la realizada en el año 2014, donde diversos problemas truncaron la experimentación en el

momento posterior a la quema, se han realizado muestreos sistemáticos de los montones quemados. El principal criterio de muestreo ha sido reflejar la variabilidad de facies de cremación generadas por el fuego. También se ha muestreado verticalmente la potencia de uno de los montones controlados térmicamente, en el que se ha realizado un pequeño sondeo para conocer la sucesión de facies generada por la combustión.



Figura 8.9. Trampa polínica en campo correspondiente a la campaña de 2014.



Figura 8.10. Imagen de la recogida y pesado de leña en la campaña 2016.

Con el objetivo de documentar las especies que forman parte de la alimentación del rebaño, se ha realizado un seguimiento del ganado en el que se realizó el inventario

botánico de las especies vegetales presentes y consumidas por las cabras y ovejas, se tomaron muestras de referencia de diversas plantas herbáceas, arbóreas y arbustivas y se recogieron heces diferenciando la especie productora (Fig. 8.11).



Figura 8.11. Imagen del seguimiento del ganado en las zonas de pasto.

8.4.1 Primeros resultados

La primera fase completa del experimento se realizó en la campaña del 2015 y consistió en el muestreo de los excrementos acumulados desde la primavera del 2014 a febrero del 2015 (Fig. 8.12). Posteriormente se llevó a cabo el amontonamiento (Fig. 8.13) y la quema del estiércol y se muestrearon los excrementos quemados intentando recoger toda la variabilidad de facies de cremación (Fig. 8.14). Como ya se ha comentado, el experimento ha implicado, además, la toma de datos antes y después de la combustión con respecto de algunas de las variables controladas referentes a la ratio de excremento acumulado, el volumen perdido tras la quema, la

temperatura alcanzada por los excrementos amontonados o la humedad previa del sustrato. Algunos de estos resultados preliminares del proyecto han sido ya publicados en Vergès *et al.* (2016).

Con el objetivo de controlar la temperatura alcanzada durante la cremación, se colocaron dos sondas de temperatura en dos de los montones, una en la base, en contacto con la capa compacta y otra en el centro. Los datos aportados por las sondas indican que las temperaturas máximas no llegaron a alcanzar los 600°C. Estos rangos máximos, que se alcanzan siempre de manera gradual,



Figura 8.12. Muestreo de excrementos no quemados en el Corral durante la campaña 2015.

coinciden con algunos datos experimentales disponibles, que señalan que los excrementos no degradados con estructuras laminadas compactas que no facilitan la circulación del aire, como en el caso de los excrementos del corral, alcanzan entre los 500°C y los 650°C durante la cremación (Vergès, 2011).



Figura 8.13. Imagen de los excrementos amontonados durante la campaña 2016.

El objetivo fundamental de esta primera aproximación era estudiar el contenido en polen y NPPs de las muestras de excrementos y caracterizar el contenido en microrrestos vegetales de las facies sedimentarias generadas por el fuego. Para ello, se llevó a cabo un estudio multidisciplinar que incluye también los datos de fitolitos, esferolitos, carbones y otros restos vegetales. Los resultados muestran la importancia de la comprensión de las evidencias presentes en el registro palinológico de los procesos los factores bioestratinómicos y diagenéticos que han afectado a la acumulación de excrementos, así como a la correcta interpretación de las prácticas ganaderas prehistóricas (Burguet-Coca y Expósito, 2017).

La diversidad de agentes y procesos tafonómicos implicados en la formación del depósito experimental, con una especial mención a la incidencia del fuego, ha puesto de manifiesto la necesidad de analizar meticulosamente estos procesos cuando se

afronta el estudio de cualquier conjunto arqueológico. De hecho, pasar por alto la dinámica tafonómica del depósito puede llevarnos a interpretaciones erróneas en lo referente a la composición del ganado, la dieta, la estacionalidad, el contexto vegetal existente o la gestión del rebaño.

La gran ventaja del estudio de la muestra experimental generada en un corral actual radica en lo factible del conocimiento de condicionantes esenciales en lo que respecta al registro palinológico conservado, como la vegetación del entorno, el uso del suelo realizado por las poblaciones cercanas, la evolución de la vegetación, la introducción de



Figura 8.14. Imagen del muestreo de excrementos quemados en el Corral durante la campaña 2015.

especies vegetales destinadas a la repoblación, los incendios forestales acontecidos, la alimentación del ganado, las zonas de pasto frecuentadas por los animales, etc. (Panadès Blas *et al.*, 2016). Todos estos elementos de los que tenemos noticia gracias a los testimonios

del pastor, a la observación directa del entorno y a la documentación existente, proporcionan una base inmejorable para la interpretación del conjunto palinológico recuperado.

El estudio de este tipo de contextos es excepcional, además, porque la conservación de excrementos en contextos templados o semi-áridos no es demasiado frecuente (Carrión *et al.*, 2001b, 2001d; Djamali *et al.*, 2011; Scott 1987). Los excrementos suelen descomponerse rápidamente en este tipo de entornos a causa de la combinación de las altas temperaturas y la humedad ambiental, aunque se conservan en mayor medida en contextos de cueva o abrigo, donde las condiciones son algo más frescas y estables (Delhon *et al.*, 2008; Mercuri *et al.*, 2010; Shahack-Gross 2011).

En la primera aproximación de análisis palinológico se analizaron un total de 16 muestras recogidas antes y después de la quema. Las 11 muestras recogidas tras el proceso de combustión provienen del Montón 2 (Fig. 8.15) (Tabla 8.1) (Vergès *et al.*, 2016). Tres de ellas se tomaron de una pequeña área en la que se realizó un sondeo con el objetivo de muestrear la potencia total del montón después de la quema.

Las muestras de polen se trataron en base al protocolo de Goeury y Beaulieu (1979) modificado por Burjachs *et al.* (2003). El proceso de extracción es el empleado convencionalmente en las muestras de sedimentos arqueológicos (ver capítulo 3) e incluye la eliminación de carbonatos, seguida de la digestión de materia orgánica y ácidos húmicos, la flotación del residuo palinológico en licor denso y la eliminación de silicatos. Se acometió la identificación de polen y palinomorfos no polínicos (NPP) a 600× aumentos (Jarzen y Elsik, 1986; van Geel *et al.*, 1986; Moore *et al.*, 1991) y se elaboraron diversos gráficos en los que los valores de polen y NPP se expresan en concentraciones (partículas / g de sedimento seco) (Loublier, 1978). Los mínimos de conteo con validez estadística para los NPP se fijaron en base a los establecidos para el polen (mínimo de 100-150 pólenes).

El análisis palinológico ha posibilitado la identificación de al menos 18 taxones polínicos. Los valores de la concentración palinológica son especialmente altos en las muestras no quemadas y en los sedimentos procedentes del fondo del sondeo (Fig. 8.16).



Figura 8.15. Vista interior de los amontonamientos de estiércol quemados de la campaña de 2015. A la derecha está el montón número 2.

Muestra	Fase	Condición	Color	Referencia Munsell	Contexto
NB1	Pre-quema	No quemado	-	-	Montón
NB2			-	-	
NB3			-	-	
NB4			-	-	Superficie
NB5			-	-	
B1b	Post-quema	Quemado	Negro	10YR 3/2	Superficie
B2g			Gris	2,5Y 6/1	
B3b			Negro	10YR 5/4	
B4o			Ocre	10YR 8/2	
B5g			Gris	N4	
B6g			Gris	10YR 7/1	
B7g			Gris	10YR 8/2	
B8o			Ocre	2.5Y 6/1	
B9g			Gris	N2.5	Sondeo
B10b			Negro	N4	
B11b			Negro	10YR 2/1	

Tabla 8.1. Descripción de las muestras analizadas y su contexto.

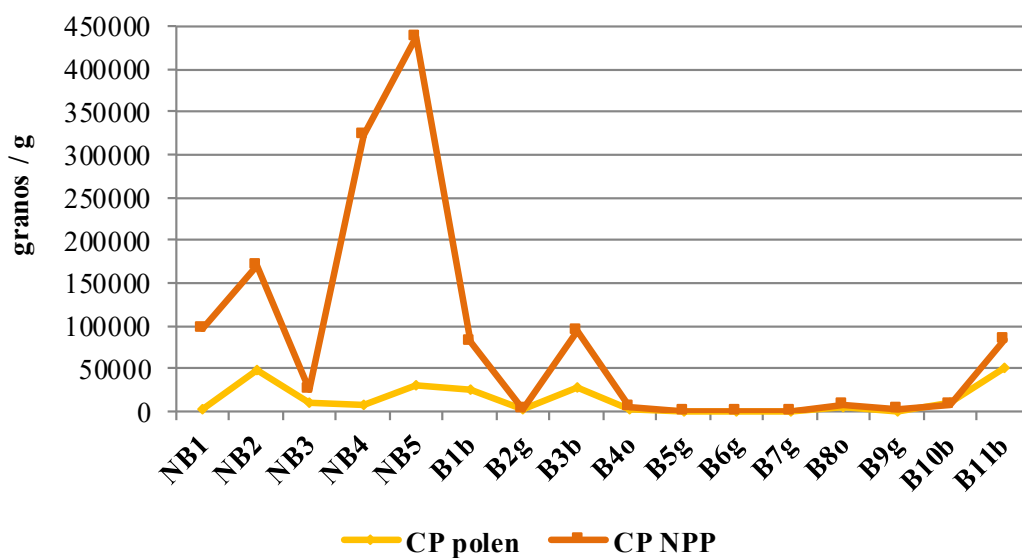


Figura 8.16. Valores de la concentración (granos por gramo de sedimento seco) de los taxones de polen y NPP identificados en el montón 2 de CMP'15.

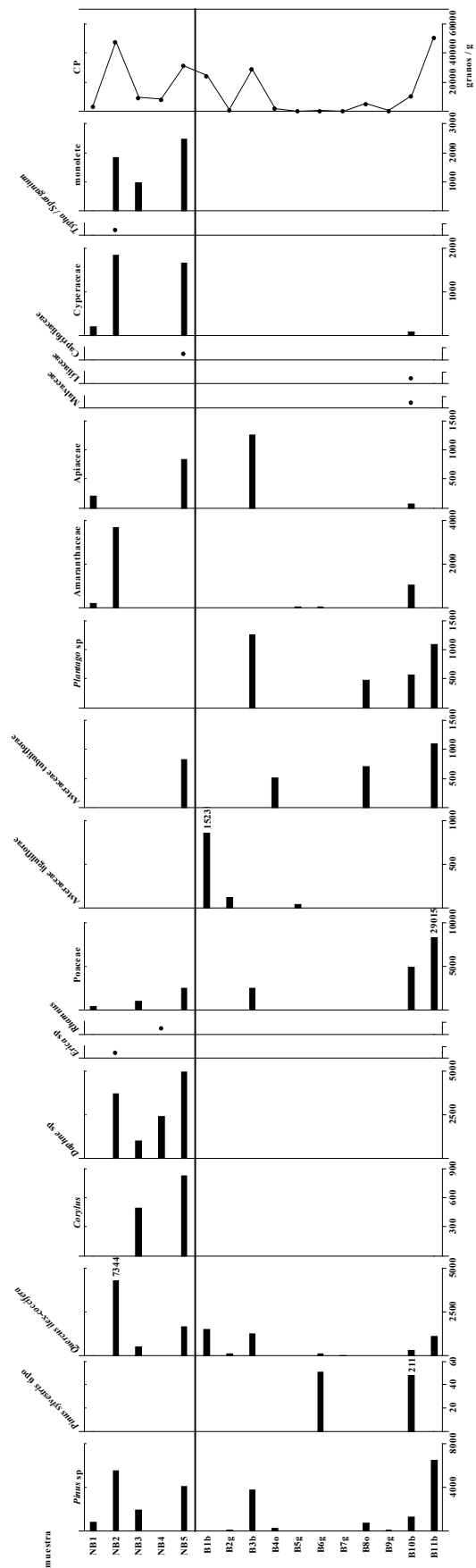


Figura 8.17. Diagrama de los resultados polínicos preliminares de los excrementos quemados y no quemados del montón 2 de CMP'15.

El espectro polínico refleja bastante fielmente el mosaico de especies que pueblan el entorno del corral, tanto en lo referente al estrato arbóreo y arbustivo (*Pinus* sp., *Pinus sylvestris* tipo, *Quercus ilex-coccifera*, *Erica* sp., *Daphne*

(*Gloeotrichia*, *Zygnema* y *Rivularia*) son poco diversas taxonómicamente y los zoorestos, restos vegetales y esporas de Pteridofitos aparecen de forma muy puntual, en términos generales (Fig. 8.18).

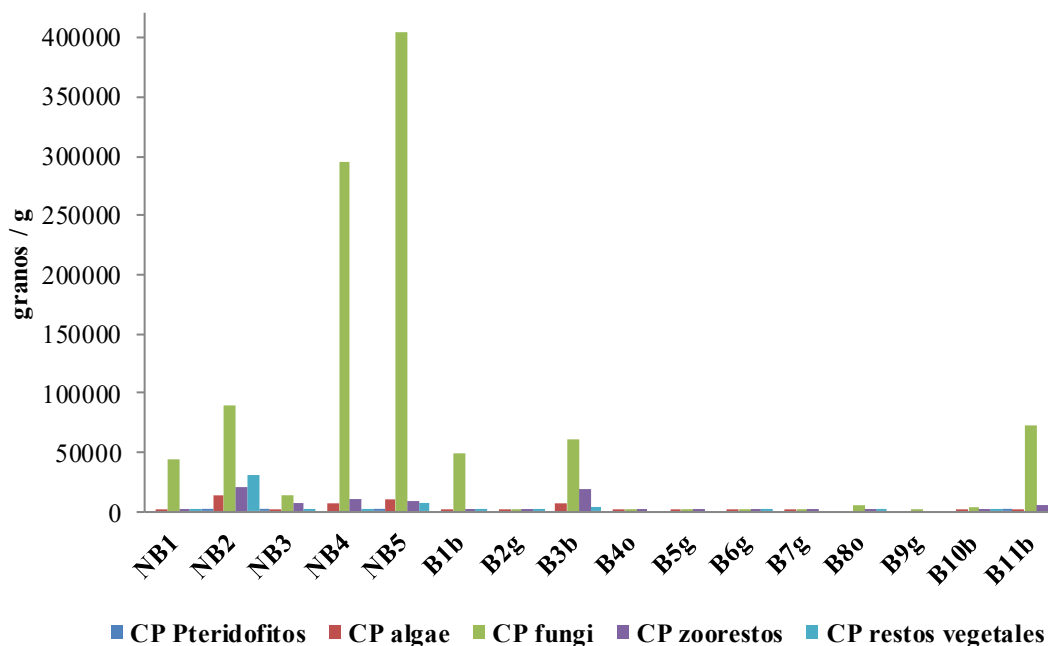


Figura 8.18. Frecuencias absolutas de los principales grupos de palinomorfos no polínicos identificados (NPPs) en el montón 2 de CMP'15.

sp. y *Rhamnus*), como a las plantas herbáceas (*Asteraceae*, *Amaranthaceae*, *Plantago* sp., *Apiaceae*, *Cyperaceae*, etc.) (Fig. 8.17).

A su vez, un total de 36 NPP han sido identificados incluyendo 19 tipos de esporas fúngicas, 4 géneros algales y 5 morfotipos de restos quitinosos de insectos, entre otros. Los hongos predominan e incluyen especies coprófilas (*Polyporisorites*, *Chaetomium*, *Sporormiella* y *Bombardioidea*), hongos lignícolas (HdV 96A y HdV 117), y otras formas fúngicas asociadas tradicionalmente a la presencia de materia orgánica en descomposición. Las microalgas identificadas

En lo que respecta al residuo polínico, en términos generales, los resultados muestran la consabida conservación deficiente en contextos termoalterados, dada la escasa perdurabilidad del polen en altas temperaturas (Campbell, 1999). El espectro polínico identificado está formado mayoritariamente por pólenes de especies anemófilas, lo que parece no responder a lo tradicionalmente documentado en depósitos formados por excrementos (tanto en acumulaciones fósiles como subactuales), que tienden a caracterizarse por una mejor representación del polen entomófilo (Fig. 8.19).

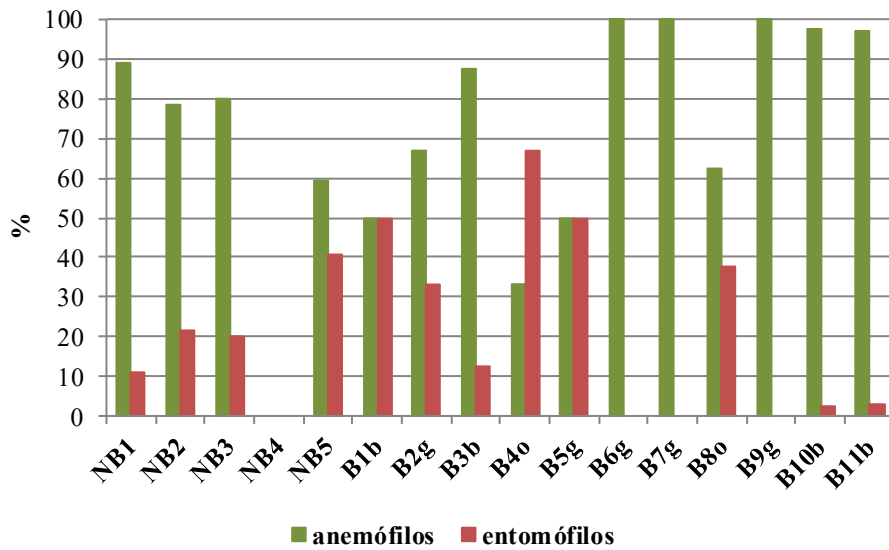


Figura 8.19. Frecuencias relativas de la representación de taxones anemófilos y entomófilos identificados en el montón 2 de CMP'15.

En lo referente a los NPP, no se ha observado una gran variabilidad taxonómica y, tal como cabría esperar, el grupo de esporas fúngicas, especialmente el de hongos coprófilos, es el más representado.

Finalmente, debemos insistir en que los resultados son preliminares siendo necesario

analizar un mayor número de muestras e incluir los datos procedentes de las sondas de temperatura, que nos informarán de los grados alcanzados en el interior del fuego y permitirán conocer el impacto de la combustión en la acumulación.

9 DISCUSIÓN

La distribución de esta tesis doctoral se organiza en torno a cuatro artículos que vertebran la mayor parte del discurso desarrollado. Esta configuración lleva implícita que en cada uno de los capítulos que anteceden a las publicaciones se tratan las problemáticas y objetivos particulares de cada una de ellas y se discute, aunque sea parcialmente, los resultados obtenidos y su adecuación a los objetivos planteados inicialmente. La organización del manuscrito tiene, sin duda, la desventaja de plantear, en ocasiones, numerosas reiteraciones de conceptos que transitan hacia temas comunes.

El objetivo fundamental fue desde el principio, y a pesar de lo circular del discurso en ocasiones, que cada uno de los capítulos aportara nuevos aspectos al debate en torno a los objetivos de la palinología arqueológica, reforzando el sentido general de esta tesis que no es otro que la exploración de la huella antrópica en los paisajes pretéritos.

La disertación que conforma este apartado de discusión va a ahondar en la percepción de las modificaciones antropogénicas del paisaje, en ocasiones extraordinariamente complejas de detectar. A pesar de no haber atendido al orden cronológico en anteriores apartados,

más centrados en el desarrollo de la disciplina palinológica y en su progresiva incorporación de nuevas metodologías de análisis, en los párrafos que conforman este capítulo era necesario describir, desde los registros más antiguos a los más recientes, el cambio en la percepción de la significación del componente vegetal del ecosistema que rodeó las actividades humanas a lo largo del tiempo. También constituye una parte fundamental de este capítulo el intentar interceder por la percepción del paisaje como una parte fundamental del contexto en el que se han desarrollado los grupos humanos y su cultura.

9.1 El espacio y el lugar

Durante los últimos 30 años, el análisis de NPP ha asumido un papel cada vez más destacado en la reconstrucción paleoecológica. Aunque hasta la década de 1990, la mayor parte de la investigación se concentró en Europa (Kuhry, 1985; van Smeerdijk, 1989; López-Sáez *et al.*, 1998; Carrión y Navarro, 2002), actualmente este tipo de aproximación paleoambiental se ha extendido a numerosos ámbitos y áreas geográficas (Hawksworth y Yip, 1981; Carrión *et al.*, 2000; Burney *et al.*, 2003; Lejju *et al.*, 2005; Berrío *et al.*, 2006; Graf y Chmura, 2006; Ledru *et al.*, 2006; Limaye *et al.*, 2007; van Geel *et al.*, 2007; Mumbi *et al.*, 2008; Rull *et al.*, 2008; van Geel *et al.*, 2008; Montoya *et al.*, 2010; Cook *et al.*, 2011; Gelorini *et al.*, 2011, 2012).

Con el paso del tiempo, los depósitos arqueológicos han sido también considerados susceptibles de ser analizados (van Geel *et al.*, 2003; Zong *et al.*, 2007; Cugny *et al.*, 2010; Gauthier *et al.*, 2010; McAndrews y Turton, 2010). Así, la que fue una subdisciplina de la

palinología ha acabado por desarrollar una entidad propia (van Geel, 2006; Haas, 2010). La principal aportación del trabajo realizado en las secuencias de la Sierra de Atapuerca, en el capítulo 5, radica en la aplicación del análisis de palinomorfos no polínicos a tres secuencias arqueopaleontológicas en cueva, sin que los NPPs actúen de manera subsidiaria a los datos aportados por el polen, sino como una herramienta de análisis autónoma.

Los estudios de registros paleoambientales disponibles para los depósitos de Pleistoceno Inferior y Medio de la Sierra de Atapuerca, fundamentalmente vinculados a los datos proporcionados por la paleontología de microvertebrados, han ayudado a la reconstrucción de la evolución diacrónica del ecosistema durante este periodo. La información aportada por los NPPs presentes en el registro sedimentario de estos depósitos mejoran la documentación de la variabilidad paleoambiental existente y proporcionan un registro fiable acerca de la dinámica del sistema kárstico de la Sierra.

En términos generales, los datos palinológicos dividen la Sima de Elefante en dos grandes conjuntos (de TE7 a TE17 y de TE18 a TE19) que coinciden casi plenamente con el cambio en la polaridad magnética Matuyama-Brunhes, identificado en la base de la unidad TE17. Las evidencias arqueológicas recuperadas a lo largo de la secuencia indican que la ocupación de la Sima del Elefante fue de baja intensidad y se desarrolló generalmente en el área próxima a la entrada de la cavidad (Rosas *et al.*, 2001, 2006; Huguet *et al.*, 2007). Los NPPs han permitido evidenciar que la dinámica sedimentaria en los niveles del Pleistoceno Inferior podría estar relacionada con la existencia de unas

condiciones húmedas que alternan con pequeñas fases de aridez. La sucesión de estas variaciones, y la génesis algo abrupta de estas unidades, comportarían la existencia de cambios importantes en la cubierta vegetal del entorno inmediato a la cavidad, cuyo componente arbóreo o arbustivo retrocedería en las fases de aridez y se reinstalaría en las fases de recuperación, removiendo y desestabilizando necesariamente los suelos (van Geel *et al.*, 1989; Pantaleón-Cano *et al.*, 1996; López-Sáez y López-García, 2003). En el inicio de la segunda fase, que se inicia en torno a los 0,8 Ma, las especies faunísticas típicas del Pleistoceno Inferior dan lugar a un conjunto típico de Pleistoceno Medio (Rodríguez *et al.*, 2011). La gran variabilidad de los palinomorfos algales identificados en este tramo indican un aumento de la humedad ambiental, probablemente a causa del incremento generalizado de las precipitaciones. Este hecho, que correlaciona con la detección de fenómenos erosivos vinculados con la actividad hídrica en los sedimentos de las unidades TE18 y TE19 (Rosas *et al.*, 2006) implica, además de la presencia de zonas encharcadas, el enriquecimiento orgánico de los suelos, asociado habitualmente a fases de pluviometría alta que favorecerían la erosión y la removilización de los nutrientes del sustrato (van Geel *et al.*, 1989; Pantaleón-Cano *et al.*, 1996; López-Sáez y López-García, 2003). Así, en diversos momentos a lo largo de la secuencia los palinomorfos no polínicos evidencian la existencia de unas condiciones ambientales inestables en la cavidad, que, muy probablemente, influyeron negativamente en sus condiciones de habitabilidad.

En el caso de la secuencia de Gran Dolina, el límite Matuyama-Brunhes, documentado a techo de la unidad TD7, coincide con la división de la secuencia en dos grandes conjuntos establecida en base a los datos polínicos y de microvertebrados (Parés y Pérez-González, 1999; Cuenca-Bescós *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2011). Al contrario de lo que ocurre con los niveles de la parte baja de Sima del Elefante, parece que las unidades inferiores de Gran Dolina se formaron en un lapso largo de tiempo, de 1,18 Ma a 0,9 Ma aproximadamente, lo que podría justificar las diferencias entre los distintos niveles con respecto al conjunto de palinomorfos identificados. En cualquier caso, el protagonismo en la parte baja de la secuencia, como en el caso de la Sima del Elefante, es para los palinomorfos algales, lo que indica la existencia de humedad, al menos a nivel local. El cambio hacia unas condiciones climáticas más mediterráneas queda reflejado en el registro polínico de TD6 (Rodríguez *et al.*, 2011). Este hecho, junto con el descenso en los indicadores de humedad local en el nivel TD6-2 habría favorecido la ocupación intensa de la cavidad hacia los 0,78 Ma, momento en el que se documentan los restos canibalizados de *Homo antecessor*, en lo que se considera el primer campamento de Atapuerca (Rodríguez *et al.*, 2011; Saladié *et al.*, 2011, 2012). En la transición de esta unidad al TD8-9 se da la sustitución drástica de especies faunísticas típicas del Pleistoceno Inferior por las características del Pleistoceno Medio. A partir de este momento y hacia el techo de la secuencia se suceden los episodios de proliferación de esporas de hongos coprófilos, propias de contextos ricos en materia fecal. Este es el caso de caso de TD8 o TD9, pero también el de la base de TD10-1, donde este

tipo de esporas debieron proliferar en la materia fecal derivada del procesamiento de carcasas de herbívoros (Davis, 1987; van Geel *et al.*, 2003; Davis y Shafer, 2006).

En el depósito de Galería se han documentado evidencias de ocupaciones esporádicas, asociadas con su funcionamiento como trampa natural (Huguet *et al.*, 2001; Cáceres, 2002; Ollé *et al.*, 2005). En la parte media de la secuencia se ha identificado la variabilidad más alta de NPPs que incluye la presencia de hongos coprófilos y saprofitos, lo que podría estar relacionado con una mayor presencia de materia orgánica en descomposición en la base de nivel GIIIa, coincidiendo con el mayor grado de antropización de la cavidad. En cualquier caso, los resultados son extremadamente pobres en Galería, lo que podría estar asociado con condicionantes como la morfología de la cueva, que presenta dos entradas, una de ellas con una morfología totalmente vertical, así como con los procesos postdeposicionales como las fases de humedad / desecación, que podrían haber contribuido a la destrucción de la exina polínica.

La reconstrucción paleoambiental de horizontes arqueológicos pleistocenos a través del análisis palinológico implica, en muchas ocasiones, el enfrentar registros de escasa resolución. Este es el caso de los resultados procedentes de las secuencias de la Sierra de Atapuerca, que nos han aportado un registro polínico fragmentado y escaso, excepto raras excepciones. El análisis de los palinomorfos no polínicos nos proporcionaba la oportunidad de aproximarnos, al menos, a la reconstrucción de las condiciones medioambientales existentes en las cavidades que conforman el sistema kárstico y que fueron frecuentadas por los grupos humanos

desde el Pleistoceno Inferior. En términos generales, los resultados obtenidos indican que los registros palinológicos procedentes de sedimentos arqueológicos son archivos muy apropiados para el estudio de palinomorfos no polínicos fósiles. La información generada en base al análisis de las variaciones en la representación de esporas fúngicas, microalgas y otros palinomorfos ha permitido inferir cuestiones derivadas de las condiciones paleoambientales en el interior y el exterior del sistema kárstico. Así, la reconstrucción facilitada por estos microrrestos ha contribuido a suplir los hiatos en la información polínica y ha enriquecido la contextualización paleoecológica de las ocupaciones humanas documentadas.

Naturalmente, y dado que el trabajo realizado enfrenta al análisis de unos rellenos con un marcado carácter antrópico, se ha prestado especial atención a la información derivada de las interacciones clima-humano-ecosistema, así como a la detección de la huella que los grupos humanos y sus actividades dejaron en cada una de las unidades en las que se ha documentado su presencia. En términos generales, los NPPs han permitido establecer algunas correlaciones en lo referente a las ocupaciones registradas con respecto a la presencia de palinomorfos fúngicos que indicarían la proliferación de materia orgánica en descomposición. En esta misma dirección, el descenso en la representación de algas también ha permitido establecer inferencias acerca de la existencia de unas condiciones aceptables de habitabilidad de las cavidades.

Así, el trabajo realizado a partir del análisis de los palinomorfos NPP de las secuencias Pleistocenas de la Sierra ha permitido establecer la variabilidad taxonómica de los

NPPs y contrastar la información paleoecológica aportada por el conjunto de palinomorfos identificados en cada uno de los depósitos. Evidentemente, y aunque los datos asociados a los palinomorfos no polínicos tienen una connotación local, la comparación de la información aportada por los NPPs con los datos polínicos y de microvertebrados ya publicados ha verificado su resolución en términos de caracterización estratigráfica de las unidades y ha facilitado la comprensión de las variaciones ambientales existentes para cada una de las secuencias estudiadas. También en muchos casos, se han detectado coincidencias remarcables entre los NPPs y los diferentes proxis disponibles en lo que respecta a las condiciones paleoambientales inferidas para el entorno de la Sierra durante la ocupación antrópica del sistema kárstico a lo largo del Pleistoceno.

Como ya se ha comentado con anterioridad, la detección de la huella antrópica en el medio, más allá de la reconstrucción del entorno físico o *matriz medioambiental* (Shackley, 1981; Holliday, 1992) en estas cronologías es especialmente dificultosa. La causa fundamental debe buscarse probablemente en el tipo de interacción de los grupos humanos con el medio en estas cronologías que, como afirma Vicent (1991) implica la búsqueda de recursos en la naturaleza “sin que el trabajo social empleado sobre ella sobrepase el estrictamente necesario para su extracción”. Así, las poblaciones de cazadores-recolectores han sido situadas tradicionalmente por la antropología y la ecología en un rol neutral, más cercano al *funcionamiento mecánico* de la naturaleza. Sin embargo, Ingold (2009) considera que tratar como *naturaleza* al medio de los cazadores-recolectores, desde la concepción del paisaje como un marco físico

de carácter pasivo, con el que no existe relación de reciprocidad, es bastante poco realista (Criado Boado, 1993; Vaquer y Gordillo, 2013). Ingold (2009) afirma que, en base a la relación establecida por estas comunidades con el nicho en el que habitan, el mundo que les rodea no puede ser considerado simple “naturaleza” si no que debe ser descrito como su *entorno*. Parece lógico pensar que los grupos humanos que *habitaron* la Sierra durante el Pleistoceno Inferior y el Pleistoceno Medio no solo fueron espectadores en manos de la naturaleza y se rigieron por impulsos biológicos, sino que es posible que establecieran una relación activa, dinámica y sistémica, con su entorno contribuyendo a su construcción, aunque fuera de manera fragmentaria y discreta. En definitiva, considerando el entorno desde la percepción consciente de estas comunidades, el espacio como entidad abstracta se transforma en el espacio conocido y dotado de valor: el lugar (Tuan, 1977; Hirsh, 1995)

9.2 Los constructores del paisaje

Esta concepción de Tuan, que implica la contradicción entre espacio abstracto y lugar significativo, es matizada más adelante por Ingold (2009) y Thomas (2001) que consideran que todos los espacios son lugares, ya que tomamos contacto con ellos por medio de la experiencia. El paisaje es considerado, entonces, un entramado de lugares referenciales, fundamental en la constitución de la identidad social (Thomas, 2001; Tilley, 2008). Desde este paisaje creado por los individuos y que cumple su función como entorno social (Vicent, 1991), llegamos al paisaje como entidad simbólica que *legitima* la

apropiación humana de la naturaleza (Ingold, 1986).

El enfoque de tipo ecológico y sistémico de la Nueva Arqueología, que integró disciplinas como la arqueobotánica, arqueozoología o geoarqueología, enraizadas en las ciencias naturales, contribuyó a la creación de un corpus metodológico y técnico especialmente idóneo para acometer la reconstrucción paleoambiental. Así, la arqueobotánica contribuye a la detección del proceso de humanización del paisaje vegetal que implica la transformación antrópica del paisaje cuando las condiciones climáticas así lo permiten. Los paisajes transformados en *paisajes culturales* aglutinan, a modo de palimpsesto, los legados de los grupos humanos que allí habitaron, con las continuidades, las rupturas y transformaciones que se han sucedido en el tiempo, por lo que su análisis permite abordar también la relación con el pasado de estas comunidades (González Bernáldez, 1981; Criado Boado, 1993, 1999; Tello, 1999; Vaquer y Gordillo, 2013).

Esta apropiación del medio y los recursos naturales propia de esta etapa de *construcción del paisaje* (Williams, 2001) se materializa en su transformación a través de la explotación de los recursos disponibles. La manipulación y transformación del paisaje está en el origen del término *antropización*, que implica la convergencia de distintas señales de alteración del medio (Galop, 1998). Este concepto es en esencia complejo, ya que se podría considerar, por ejemplo, que las actividades de caza, o la disminución de la cobertura arbórea detectada en algunos yacimientos durante el Mesolítico, constituyen una forma de antropización. Aunque es posible que se llevaran a cabo quemadas intencionadas durante este período,

esta actividad tendría una incidencia mínima en el medio y, en el caso de evidenciarse la disminución de la cobertura arbórea, sería difícilmente detectable el origen antrópico o climático de la alteración. El matiz fundamental es que la antropización del medio requiere de la convergencia de distintos indicios como la deforestación, el desarrollo de una maquia o de etapas degradativas, la detección de señales de incendio, incremento de heliófilos y plantas típicas de zonas abiertas, la presencia de pólenes de plantas ruderales o cultivos, etc. (López García *et al.*, 1997). Además, los cambios en la composición de la vegetación pueden reflejar la expansión de especies pioneras cuando el bosque desaparece y deja espacios abiertos, la desaparición de taxones de requerimientos ecológicos estrictos a causa de los cambios en sus biótopos o la deforestación en zonas montañosas a causa del pastoreo intensivo o los incendios recurrentes (Riera *et al.*, 1994; Carrión, 2002b; Riera, 2006)

En cualquier caso, la problemática relacionada con la domesticación de las plantas y las primeras prácticas agrícolas ha generado un debate intenso en los últimos años (Chapman, 1994; Smith, 2001; Zvelebil, 2001; López Sáez y López Merino, 2005; Pinhasi *et al.*, 2005; Fuller, 2007). Desgraciadamente, no se ha contado con la información aportada por el registro arqueobotánico en muchos casos (López-Sáez y Núñez de la Fuente, 2017), a pesar de la resolución aportada por las reconstrucciones paleoambientales con respecto a la valoración de la presión antrópica en el medio o en lo referente a la periodización de la adopción de los sistemas agrícola y ganadero (Riera *et al.*, 2004; Zapata-Peña *et al.*, 2004). La transición Mesolítico-Neolítico en la Península Ibérica

continúa siendo una fase desconocida de la que se ignoran los principales rasgos de la evolución de los nuevos sistemas económicos implantados, así como la velocidad de su implantación, los tipos de subsistencia desarrollados o el tiempo y las circunstancias en las que se produjo dicha transición (Boserup, 1965; Séfériadès, 1993).

En ese sentido, el Neolítico implica cambios muy relevantes en la relación entre las comunidades humanas y el medio. Probablemente, tal y como afirma Atkins, no hay ningún otro fenómeno en la historia que haya tenido un efecto tan indiscutible en el paisaje como la domesticación de plantas y animales que constituye la base de los cambios auspiciados por el proceso de neolitización (Atkins *et al.*, 1998). Estas transformaciones, que se inician en la Península Ibérica hacia la primera mitad del octavo milenio, se extienden desde el litoral mediterráneo hacia el interior a través de las vías de comunicación trazadas por los cauces de los grandes ríos (Bernabeu-Aubán *et al.*, 2014). Sin embargo, en los datos palinológicos derivados del estudio de depósitos naturales, la incidencia de las modificaciones antrópicas en el ecosistema no resulta manifiestamente evidente hasta cronologías más recientes, casi coincidiendo con la aparición de los primeros signos claros de deforestación. Así, en los depósitos procedentes del área atlántica de la Península Ibérica, los máximos arbóreos constatados en el postglacial (6.000 y 3.000 años BP) disminuyen únicamente a partir de este momento (Ramil-Rego *et al.*, 1998). En el litoral del cantábrico, se registra una reducción generalizada de la cobertura arbórea y un incremento de arbustos y plantas antropógenas solo al final del Holoceno (Muñoz Sobrino *et al.*, 2001; Uzquiano *et al.*,

2016). En lo referente al este y sur de la península la alteración antrópica del paisaje se data también en torno al 4.000 cal. BP, aunque la deforestación más evidente se da en torno a los 1.900-1.600 años cal. BP (Carrión *et al.*, 2001a; Carrión *et al.*, 2007; Aranbarri *et al.*, 2014, Ramos-Román *et al.*, 2018). En el oeste peninsular sucede algo similar, con un primer impacto antrópico en torno a los 4.000 y un descenso drástico del componente arbóreo de la vegetación en torno a los 2.000-1.000 cal BP (Jansen, 1994; Fuentes *et al.*, 2007). Únicamente en las montañas del norte peninsular, en un contexto próximo a la Sierra de Atapuerca, las primeras evidencias de antropización aparecen en torno a 6.800 cal. BP, aunque el impacto antrópico más agudo se da en torno al 4.000 cal. BP (García-Ruiz *et al.*, 2016; Pérez-Díaz *et al.*, 2018) con una disminución drástica del componente arbóreo de la vegetación en torno al 2.000-1.000 cal. BP.

Según estos registros, los signos de presión antrópica, que se ha considerado la causa principal del cambio en la vegetación de la Península Ibérica de los últimos 4.500 años, no aparecen de forma uniforme en la Península Ibérica y, en ocasiones, resulta difícil discriminar sus efectos de los producidos por las oscilaciones climáticas. Aun así, parece existir un cierto consenso en que la actividad humana tiende a acentuar los efectos de las crisis de aridez que se suceden a partir del Holoceno medio (*ca.* 5.200 cal. BP) y que, en algunos casos, esta inferencia antrópica es la responsable única de los cambios en la vegetación (Carrión *et al.*, 2001a).

Los datos palinológicos procedentes de depósitos arqueológicos hacen que el rastro de las actividades antrópicas y su incidencia en el

medio sea más visible. Así, el estudio de la columna sedimentaria procedente de la Cueva de El Mirador que se presenta tras el capítulo 4, ha permitido, además de la reconstrucción del entorno vegetal del asentamiento durante el Neolítico y la Edad del Bronce, evidenciar la existencia de un importante grado de antropización del medio, que se inicia ya en torno al 7000 cal. BP y se intensifica progresivamente hacia el techo de la secuencia. De hecho, y en cuanto a las características de las comunidades vegetales identificadas a lo largo de la secuencia, además de la presencia de un entorno relativamente arbolado, con connotaciones típicamente mediterráneas, se ha constatado que las plantas con una mayor representación son aquellas relacionadas con la actividad agrícola y ganadera, lo que confirma la implantación del sistema económico de producción agrícola en el seno de estas comunidades. En lo que respecta a la aportación de los palinomorfos no polínicos, la baja variabilidad de tipos fúngicos coprófilos y carbonícolos, indica que las quemaduras periódicas del área del redil contribuían, además de a la reducción del volumen de excrementos acumulados, a la inhibición de la acción de hongos e insectos, lo que también constituye una evidencia decisiva de transformación antrópica, en este caso, del entorno más inmediato en el que se desarrollaron las actividades vinculadas a la estabulación y gestión del rebaño.

9.3 La relatividad del sesgo

Como se ha explicado anteriormente, los excrementos fósiles procedentes de contextos arqueológicos se han empleado con éxito en la restitución paleoambiental (p. ej. Scott, 1987; Carrión *et al.*, 2001a, 2005; González-Sampériz

et al., 2003; Cabanes *et al.*, 2009; Pineda *et al.*, 2017). Esto es posible debido a que microrrestos y macrorrestos vegetales sobreviven al tracto intestinal y se preservan como consecuencia de la desecación, la mineralización o a la concurrencia de ambos procesos. De hecho, el análisis del contenido polínico de coprolitos de carnívoros ha permitido la reconstrucción del entorno paleoambiental y los cambios climáticos acontecidos durante el Pleistoceno en algunas regiones (Scott *et al.*, 2003; Djamali *et al.*, 2011). Yendo incluso más lejos, el estudio de heces fosilizadas de herbívoros en contextos más recientes, ha proporcionado incluso datos valiosos acerca, por ejemplo, de la implantación de la agricultura (Linseele *et al.*, 2010, 2013; Wallace y Charles, 2013; Shahack-Gross *et al.*, 2014; Schepers y Van Haaster, 2015).

Así, los palinomorfos fúngicos de naturaleza coprófila contenidos en los depósitos conformados por acumulaciones de excrementos proporcionan datos fundamentales para el conocimiento de las condiciones paleoambientales locales, dado su limitada dispersión en el espacio, especialmente cuando proceden de depósitos en cueva o abrigo (van Geel *et al.*, 2003). Además, contribuyen a conocer las dinámicas de estabulación, la intensidad de estas actividades, o el abandono de los lugares de habitación.

Numerosos trabajos establecen que las acumulaciones de material fecal representan uno de los archivos palinológicos de mayor resolución con respecto a los depósitos sedimentarios procedentes de rellenos paleontológicos o arqueológicos en cueva (Carrión, 2002a). Habiendo cumplimentado

con creces la reconstrucción del paisaje durante la Edad del Bronce en la Sierra de Atapuerca, las singularidades observadas en las muestras procedentes de El Mirador suscitaron numerosos interrogantes que derivaron en el trabajo que culmina el capítulo 7 dedicado al análisis de los procesos postdeposicionales que han afectado al conjunto del espectro palinológico recuperado (Carrión *et al.*, 2009). De hecho, las particularidades sedimentarias de las muestras procedentes del *fumier* documentado en el nivel Mir4 ya habían sido observadas de visu y, tras una primera aproximación, la complejidad de los datos obtenidos motivó el desarrollo del análisis tafonómico de las alteraciones observadas en el espectro polínico, que ha permitido caracterizar la representatividad de las asociaciones de polen y NPPs en cuanto a su conservación y preservación, inferir alguno de los factores de alteración presentes e hipotetizar sobre el posible origen del conjunto (Fernández-López, 2000).

El análisis palinológico del nivel Mir 4 ha evidenciado la importancia de las modificaciones de carácter antrópico en el depósito y ha puesto de manifiesto el posible origen antropogénico de las irregularidades observadas en el espectro recuperado en cuanto a la abundancia y variabilidad de palinomorfos identificada, así como en lo referente a la conservación y grado de alteración del residuo polínico en algunas de las facies que presentaban alteración térmica. De hecho, la modificación del espacio por parte de las comunidades que frecuentaron la cavidad, que implicó la removilización de las capas que conformaron el redil, su amontonamiento y la posterior quema de los excrementos, generaron un depósito

conformado por facies con un grado de alteración distinto, que afectaba inevitablemente a la conservabilidad del conjunto recuperado (Vergès *et al.*, 2008, 2016).

Los trabajos incluidos en esta tesis doctoral han evidenciado que la investigación palinológica en depósitos arqueológicos necesita de un enfoque actualista que contribuya a esclarecer los numerosos interrogantes que han suscitado algunos de los rasgos de los conjuntos palinológicos analizados. En muchos casos, tanto la conservación diferencial, como los estigmas de alteración observados, deben guardar necesariamente relación con las dinámicas biostratinómicas y postdeposicionales acontecidas. En el caso de los depósitos antropogénicos, la influencia de la actividad antrópica debe considerarse como uno de los agentes de alteración principales. Este no es un aspecto nuevo, algunos autores ya han publicado algunos trabajos acerca de la representatividad y conservabilidad de los espectros polínicos en depósitos arqueológicos, fundamentalmente con respecto a los condicionantes que actúan en el momento de la deposición y la inclusión del residuo polínico en la matriz sedimentaria de cuevas y abrigos (Birks y Birks, 1980; Havinga, 1984; Tipping, 1987; Bryant, 1988; Bryant y Holloway, 1996; Richard, 1999; Jones *et al.*, 2007). En este caso, y dadas las particularidades de El Mirador, se ha considerado necesario abordar la modificación antrópica del medio documentada desde la perspectiva de la tafonomía positiva o *actuotafonomía* (Spicer, 1989, 1991; Greenwood, 1991; Traverse, 1988). Este punto de partida experimental, que contribuye a la descripción de las relaciones causa-efecto entre procesos tafonómicos y caracteres tafonómicos

observables en el registro, para el estudio pormenorizado de sus efectos en el registro palinológico fósil y el desarrollo de planteamientos experimentales que contribuyan a la replicación de los condicionantes que han dado lugar a la asociación conservada.

9.4 El *entre-tejido* del contexto mediterráneo

Quizás la mejor manera de entender la antropización sería en un sentido diacrónico, considerando la duración del proceso a largo plazo (Galop, 1998), en una dinámica de sucesión de fenómenos derivados de una mayor presión antrópica sobre el medio, de tal manera que cada uno de ellos va condicionando la estructura de un paisaje manipulado y transformado por las comunidades antrópicas, a veces tan intensamente que no permite su regeneración (Berglund, 2003). De hecho, existe un claro vínculo entre los cambios documentados en el territorio destinado a la agricultura y el pastoreo con las fluctuaciones de las poblaciones humanas, que con el aumento demográfico y a pesar de la recuperación puntual de la vegetación, reducen drásticamente la extensión de la superficie boscosa (Thirgood, 1981).

La explotación humana del suelo hace retroceder la sucesión natural de un determinado biotopo que, sin la intervención antrópica tendería a estadios de mayor complejidad y organización en los que la biomasa almacenada sería mayor, pero también menor la biomasa producida (González Bernáldez, 1981). El retroceso en esta sucesión natural supone un “rejuvenecimiento” de los ecosistemas que se

ven antrópicamente conducidos hacia estadios de mayor biomasa y mayor producción consumible directa o indirectamente por la población humana. El precio de ese retroceso sucesional hacia compuestos más productivos es que el ecosistema tiende a ser más vulnerable, menos resistente a las fluctuaciones imprevistas y, a la vez, más dependiente de la regulación de las propias comunidades humanas, que deben intervenir continuamente para contrarrestar las amenazas generadas por su gestión del entorno.

En cualquier caso, la intervención antrópica en el paisaje no siempre implica una pérdida de diversidad, también puede convertirse en un estímulo para el desarrollo de otras formas de diversidad, esta vez orientadas a satisfacer las necesidades de las comunidades humanas. De todos modos, la inferencia antrópica en el medio tiende a inducir al desequilibrio de la naturaleza, que siempre se manifiesta como una batalla entre la continuidad y el cambio, y que pone a prueba la capacidad de resiliencia de cualquier sistema siconatural. La capacidad de los ecosistemas de mantener ciertas cotas de equilibrio tras una transición abrupta se revela fundamentalmente en las etapas de transición, que suponen la modificación de las pautas de interrelación entre la sociedad y el medioambiente. Precisamente la mayor diversidad biológica suele darse en zonas de transición, como por ejemplo en las zonas abiertas en medio de un área boscosa o en los bordes de un campo cultivado, donde la sucesión ecológica no se interrumpe por completo, aunque se vea sometida a modificaciones externas (González Bernáldez, 1981).

La diversidad es precisamente uno de los rasgos que definen al entorno mediterráneo. La organización biogeográfica actual de la vegetación, en forma de mosaico, es el resultado de la adaptación necesaria del contexto vegetal a la variabilidad de las precipitaciones y de la profundidad de los suelos, que además están expuestos a altos niveles de erosión. Las características edafoclimáticas del mediterráneo alteran desigualmente la hidrología y la constitución de los suelos, lo que genera una estructuración del territorio en forma de células o mosaicos diversos, a los que se ha adaptado la flora y la fauna autóctonas (González Bernáldez, 1981). Esta formación característica se ve intensificada por las dinámicas de explotación y conservación del territorio, lo que convierte al ecosistema mediterráneo en una realidad muy compleja. Así, cada uno de los paisajes que conforman el ámbito mediterráneo es el resultado de una larga historia de selección y adaptación, a través de la interacción entre sus condicionantes naturales y de la incidencia extremadamente prolongada de la presión antrópica.

En este contexto de extrema diversidad, el ecosistema mediterráneo ha sido definido como una zona de ecotonía, refugio y “fondo de saco para la vida” (Díaz Pineda *et al.*, 2002). En este contexto, que se caracteriza por el desarrollo de las llamadas *perturbaciones intermedias*, que contribuyen a la regeneración del ecosistema a partir de la convivencia de especies y el desarrollo de la diversidad biológica en las zonas de transición, el fuego ha contribuido, como una forma de perturbación intermedia más, al mantenimiento e incremento de la diversidad del ecosistema mediterráneo (Connell, 1978).

El análisis de las secuencias del litoral mediterráneo incluidas en el artículo que completa el capítulo 6 de esta tesis doctoral ha permitido ratificar la importancia de los eventos de incendio en la formación y evolución del componente arbustivo y las maquias en el este de la Península Ibérica. A pesar de la resiliencia de la comunidad vegetal documentada en el entorno Mediterráneo durante la primera mitad del Holoceno, a partir del evento de aridez de 4,2, la comunidad vegetal se modifica sustancialmente a causa de la confluencia del empeoramiento de las condiciones climáticas, el agotamiento de la cobertura vegetal y la intensificación de la acción antrópica.

De hecho, la antropización del paisaje mediterráneo se remonta a muchos milenios atrás y resulta extremadamente difícil estimar la importancia de la alteración antrópica en un contexto como el mediterráneo. Los estudios de ecología del paisaje mediterráneo han puesto de relevancia que en esta bioregión resulta imposible valorar la incidencia de la presión antrópica en el medio a causa de que no existen referentes de lo que podrían llamarse los espacios *naturales* o el *paisaje originario*, que no contengan evidencias de alteración antrópica y constituyan una referencia de cuál habría sido la cubierta vegetal del territorio en ausencia de la intervención humana (Vitousek *et al.*, 1986). De hecho, el carácter antropogénico del bioma de la región mediterránea de la península ibérica, junto a otros biomas antropogénicos ampliamente estudiados, han generado la necesidad de virar el enfoque de los estudios ecológicos, siempre centrados en los ecosistemas considerados *naturales*, hacia los entornos antropizados en los que se desarrolla la interacción de los grupos humanos con el

medio y que constituyen el 75% de los biomas terrestres (Ellis y Ramankutty, 2008).

Aun así, la detección del impacto de las actividades antrópicas en el medio no se aprecia de forma uniforme e inequívoca en las secuencias naturales estudiadas, probablemente a causa de la variabilidad de los entornos medioambientales reflejados en los testimonios analizados. El entorno cambiante y fragmentario del área mediterránea probablemente generó respuestas distintas y no sincrónicas de las comunidades humanas, que emprendieron la asimilación de los nuevos modelos económicos en base a entornos diversos y, muy probablemente, de acuerdo con diferentes concepciones del paisaje.

En cualquier caso, la gran diversidad del ecosistema mediterráneo, se convierte en el marco idóneo para la instalación de las innovaciones propias del Holoceno medio

desde la concepción del paisaje como un escenario natural condicionado por una realidad cambiante y en base a la percepción subjetiva del *contexto* en un giro hacia el origen de su concepción etimológica: *contextere*, *con-textere*, tejer-con, entre-tejer. Como apuntó Gibson (1979), el entorno mediterráneo es más que ningún otro ecosistema una forma de materialización de la interrelación productiva, cambiante y de transformación recíproca de las comunidades y el medio.

Precisamente y aunque la antropización se ha hecho más evidente en el alto grado de artificialidad del medio en la historia reciente, el entramado de vínculos que dan lugar al denominado paisaje social (Moscovici, 1975), no es fruto de la complejidad actual, si no que define como rasgo distintivo de las comunidades humanas desde el inicio de los tiempos y refleja la naturaleza de la relación compleja de los grupos humanos con su entorno.

10 CONCLUSIONES

Los resultados derivados de los artículos incluidos en este trabajo nos permiten afirmar, en la línea de lo ya aportado por otros autores, que la palinología arqueológica resulta una buena herramienta para la reconstrucción paleoambiental. Del mismo modo, el análisis palinológico aplicado a depósitos arqueológicos ha demostrado ser útil en la detección de los cambios antropogénicos de la vegetación, así como de su evolución en base a la incidencia y al cambio en la intensidad de las actividades antrópicas.

El estudio diacrónico de la secuencia del depósito holoceno de la Cueva de El Mirador ha permitido reconstruir las características

más importantes del paisaje existente durante las ocupaciones de la cavidad a lo largo del Neolítico y la Edad del Bronce, contribuyendo a constatar la deforestación progresiva del paisaje como consecuencia de la repercusión de la actividad antrópica. De hecho, y en lo referente a las características de las comunidades vegetales identificadas, además de la presencia de un entorno relativamente arbolado, con connotaciones típicamente mediterráneas, se ha constatado que las plantas con una mayor representación son aquellas relacionadas con el desarrollo de la actividad agrícola y ganadera. Este protagonismo de cultivos, plantas pratenses y

nitrófilas confirma el desarrollo de este tipo de actividades por parte de estas comunidades y refrenda la influencia del sistema agropecuario en la transformación del entorno más inmediato al asentamiento. En lo que respecta a la aportación de los palinomorfos no polínicos, la baja variabilidad de tipos fúngicos coprófilos y carbonícolas, indica que las quemadas periódicas del área del redil contribuían, además de a reducir el volumen de excrementos acumulados, a inhibir la acción de hongos e insectos.

El análisis de los palinomorfos no polínicos, menos conocidos en el campo de la reconstrucción paleoecológica, ha contribuido a la descripción del paleoambiente de las secuencias Pleistocenas de la Sierra de Atapuerca, permitiendo incluso inferir cuestiones acerca del grado de antropización de las cavidades del sistema kárstico y sus dinámicas de funcionamiento. Además, la buena correlación de las asociaciones de palinomorfos con las unidades estratigráficas ya establecidas ratifica la viabilidad del empleo de este tipo de análisis en lo que atañe a la restitución de los cambios medioambientales reflejados en las singularidades de la sucesión sedimentaria. Sin embargo, la comparación entre los resultados de las tres secuencias no ha permitido establecer paralelismos entre la evolución del ambiente específico de cada una de las cavidades, probablemente a causa del carácter local de la mayoría de los palinomorfos identificados. Aun así, el espectro identificado ha generado alguna analogía puntual, como la coincidencia en cuanto a la existencia de unas condiciones eminentemente húmedas en la parte baja de Sima del Elefante y Gran Dolina.

El estudio encaminado a la detección de la modificación antrópica del ecosistema mediterráneo por medio del fuego ha permitido establecer paralelismos entre las curvas de microcarbón y las crisis de aridez que afectaron al área mediterránea durante el Holoceno medio. Paralelamente, la comparación de los resultados de las secuencias estudiadas ha contribuido a catalogar la intervención de la presión antrópica como un elemento agravante en la incidencia de dichos eventos climáticos en el ecosistema. De otro lado, el análisis del polen y de los datos cuantitativos de los microcarbones de las secuencias sedimentarias estudiadas ha evidenciado la resiliencia de la comunidad vegetal en el entorno Mediterráneo en la primera mitad del Holoceno y su inevitable perturbación a partir del evento 4.2, a causa del incremento de la aridez y la intensificación de la antropización. A pesar de los rasgos comunes evidenciados, no existe una correlación estricta de los episodios de incendio entre las secuencias estudiadas, probablemente a causa de la existencia de eventos de alcance desigual (local o regional), así como de la inferencia de la acción antrópica.

Finalmente, en una apuesta algo más arriesgada, el análisis de la conservación diferencial de polen y palinomorfos, así como de las alteraciones observadas en la superficie del polen de muestras procedentes del nivel Mir4, ha permitido realizar una aproximación a la caracterización de algunas de las facies sedimentarias documentadas en la Cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca). Este enfoque tafonómico, que ha supuesto además la implementación de una metodología propia, ha permitido constatar la existencia de diferentes eventos de deposición polínica en

una misma muestra, evidenciados por la presencia de pólenes con grados de alteración radicalmente distintos y que, por tanto, presentan una historia bioestratinómica y fosildiagenética no homogénea. Este hecho, junto a la presencia de palinomorfos no polínicos indicadores de eventos erosivos, nos induce a pensar en la existencia de removilizaciones sedimentarias, probablemente vinculadas con la propia dinámica de formación del depósito que implica la remoción de los excrementos, ya

sea por el pisoteo de los propios animales, o por el amontonamiento de desechos previo a la quema. En cualquier caso, y a pesar de la incidencia de las alteraciones tafonómicas observadas, el análisis de muestras sedimentarias con diferente grado de cremación ha revelado la viabilidad de los resultados palinológicos, ya que el espectro polínico obtenido se ajusta a las características de la vegetación identificadas en el análisis del nivel Mir4, llevado a cabo en anteriores trabajos.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI

APROXIMACIONES METODOLÓGICAS DESDE LA ARQUEOPALINOLOGÍA A CONTEXTOS ANTROPOGÉNICOS DE LA SIERRA DE
ATAPUERCA (BURGOS) Y A SECUENCIAS NATURALES DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Isabel Expósito Barea

II PROPUESTAS DE FUTURO

Como ya se ha explicado, la implementación de los diferentes enfoques desarrollados en los trabajos que incluye esta tesis doctoral redundan en la dificultad inherente al análisis palinológico en depósitos arqueológicos. Esta dificultad ha favorecido el desarrollo de todo tipo de argucias metodológicas destinadas a desentrañar el reflejo del paisaje y de la modificación antrópica de la vegetación en nuestro registro.

De hecho, y con el propósito de optimizar la obtención de datos palinológicos resolutivos en las secuencias sedimentarias pleistocenas de la Sierra de Atapuerca, especialmente problemáticas en lo referente a la

conservación polínica, pretendemos continuar con la implementación de las metodologías de extracción y con el desarrollo de planteamientos de análisis alternativos que contribuyan a la restitución paleoecológica.

En este sentido, el desarrollo del análisis polínico desde una perspectiva netamente tafonómica ha abierto nuevas posibilidades en cuanto a la detección de los signos de antropización y ha contribuido a transformar el residuo polínico en otro de los elementos explicativos de la dinámica de formación de los depósitos estudiados.

En cualquier caso, algunos de los itinerarios recorridos en esta tesis doctoral, como el

estudio de los palinomorfos no polínicos o la aplicación de una perspectiva tafonómica al análisis palinológico se han iniciado hace relativamente poco tiempo y distan mucho de ser consideradas alternativas consolidadas al análisis convencional.

Es por esta razón que resulta del todo necesario desarrollar estudios de carácter experimental, que contribuyan a replicar contextos arqueológicos conocidos y a la posterior aplicación de los resultados al registro fósil.

El propósito a realizar de manera más inmediata es el desarrollo del programa experimental ya iniciado en el Corral del Mas del Pepet, lo que implica continuar con los muestreos sistemáticos del corral y el análisis de las muestras obtenidas. Del mismo modo, en un futuro próximo se llevará a cabo la excavación de un sondeo en el interior del corral en el que se muestrearán la sección y la superficie de las unidades identificadas con el objetivo de comparar los resultados obtenidos con los procedentes del muestreo general.

Por otro lado, está previsto desarrollar nuevos proyectos experimentales, en este caso priorizando los experimentos con variables controladas en laboratorio.

Los trabajos realizados en el corral, así como las peculiaridades tafonómicas de algunos de los depósitos arqueológicos estudiados han generado numerosas incógnitas que requieren del diseño de programas experimentales que ahonden en cuestiones específicas como la incidencia de la oxidación o la alteración mecánica en la conservación del polen, la alteración de los palinomorfos fúngicos y algales por efecto de la humedad / desecación, o los vestigios de la termoalteración en las esporas fúngicas.

Finalmente, otra cuestión fundamental a tratar a partir de los trabajos experimentales a realizar es la aproximación a conjuntos actuales de palinomorfos no polínicos. Esto nos permitirá completar los datos, todavía escasos, acerca de sus requerimientos ecológicos, ambientes de proliferación, condicionantes que afectan a su conservación, etc. Así, además de caracterizar las poblaciones fúngicas de contextos como el del corral, el propósito final sería la creación de una colección de referencia de palinomorfos no polínicos actuales asociados, fundamentalmente, a depósitos de materia fecal.

12 BIBLIOGRAFÍA

A

Allué, E., Cáceres, I., Expósito, I., Canals, A., Rodríguez, A., Rosell, J., Bermúdez de Castro, J. M., Carbonell, E. (2015). Celtis remains from the Lower Pleistocene of Gran Dolina, Atapuerca (Burgos, Spain). *Journal of Archaeological Science*, 53, 570-577.

Almeida-Lenero, L., Hooghiemstra, H., Cleef, A. M., van Geel, B. (2005). Holocene climatic and environmental change from pollen records of lakes Zempoala and Quila, central Mexican highlands. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 136: 63-92.

Alperson-Afil, N., Goren-Inbar, N. (2010). *The Acheulian site of Gesher Benot Ya'aqov volume II: ancient flames and controlled use of fire* (Springer). New York.

Ammerman, A. J., Cavalli-Sforza, L. L. (1971). Measuring the rate of spread of early farming in Europe. *Man*, 6, 674-688.

Ammerman, A. J., Cavalli-Sforza, L. L. (1984). *The Neolithic transition and the genetics of population in Europe*. Princenton: Princenton University Press.

Anderson, R. S. Homola, R. L., Davis, R. B., Jacobsen Jr, G. L. (1984). Fossil remains of the mycorrhizal fungal *Glomus fasciculatum* complex in postglacial lake sediments from Maine. *Canadian Journal of Botany* 62: 2325-2328.

Anderson, R. Y. (1955). Pollen analysis, a research tool for the study of cave deposits. *American Antiquity* 21: 84-85.

Angelucci, D. E. (2003). A partir da terra: a contribuição da Geoarqueologia. Paleoeologia Humana e Arqueociências. En: Mateus, J. y Moreno-García, M. (Eds.). *Um programa multidisciplinar para a Arqueologia sob a tutela da cultura*. IPA (Trabalhos de Arqueologia, 29): 35-84. Lisboa.

Angelucci, D., Boschian, G., Fontanals, M., Pedrotti, A., Vergès, J. M. (2009). Shepherds and karst: The use of caves and rock-shelters in the Mediterranean region during the Neolithic. *World Archaeology* 41, 191-214.

Aranbarri, J., González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B., Moreno, A., Gil-Romera, G., Sevilla-Callejo, M., García-Prieto, E., Di Rita, F., Mata, M. P., Morellón, M., Magri, D., Rodríguez-Lázaro, J., Carrión, J. S. (2014). Rapid climatic changes and resilient vegetation during the Lateglacial and Holocene in a continental region of south-western Europe. *Global and Planetary Change*, 114, 50-65.

Argant, J. (2001). What is the meaning of the high percentages of fern spores in archaeological sediment palynological analyses? En: Goodman, D. K. y Clarke, R. K. (Eds.). *Proceedings of the IX International Palynological Congress*, Houston, Texas, U.S.A., 1996. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas, Texas: 339-345.

Armstrong, J. I., Calvert, J., Ingold, C. T. (1930). The ecology of the mountains of Mourne with special to Slieve Donard. *Proc. R. Ir. Acad.* 39B: 440-452.

Arobba, D. (1976). Analisi pollinica di una resina fossile rinvenuta in un dolio romano. *Pollen et Spores* 18 (3): 385-393.

Arsuaga, J. L., Gracia, A., Lorenzo, C., Martínez, I., Pérez, P. J. (1999). Resto craneal humano de Galería / Cueva de los Zarpazos (Sierra de Atapuerca). En: Carbonell, E., Rosas, A., Díez, J. C. (Eds.). *Atapuerca: Ocupaciones Humanas y Paleoeología del Yacimiento de Galería*. Memorias 7, pp: 233-236. Junta de Castilla y León. Consejería de Educación y Cultura, Zamora.

Ascough, P. L., Bird, M. I., Scott, A. C., Collinson, M. E., Cohen-Ofri, I., Snape, C. E., Le Manquais, K. (2010). Charcoal reflectance measurements: Implications for structural characterization and assessment of diagenetic alteration. *Journal of Archaeological Science* 37 (7), 1590-1599.

Asher, R. (1961a). Experimental Archaeology. *American Anthropologist* 63, 793-816.

Asher, R. (1961b). Analogy in archaeological interpretation. *Southwestern Journal of Archaeology* 17, 317-325.

Assarson, G., Granlund, E. (1924). En metod för pollen analys av minerogena jordarter. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 46: 76-82.

Asselin, H., Payette, S. (2005). Detecting local-scale fire episodes on pollen slides. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 137 (1-2), 31-40.

Atkins, P., Roberts, B. K., Simmons, I. G. (1998). *People, Land and Time: An Historical Introduction to the Relations between Landscape, Culture and Environment*. Arnold, London.

Auer, V. (1927). Botany of the interglacial peat beds of Moose River Basin. *Geol. Sur. Can. Sum. Rpt. for 1926, Part C: 45-47*.

B

Bakker, R., van Smeerdijk, D. G. (1981). *EEn palaeoecologische studie van het Ilperveld over de laatste 5000 jaar*. Interne Rapporten van het Hugo de Vries Laboratorium. Universiteit Amsterdam, p. 100.

Bakker, R., van Smeerdijk, D. G. (1982). A palaeoecological study of a Late Holocene section from 'Het Ilperveld' W. Netherlands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 36, 95-163.

Barbero, M., Bonin, G., Loisel, R., Quézel, P. (1990). Changes and Disturbances of Forest

Ecosystems Caused by Human Activities in the Western Part of the Mediterranean Basin. *Vegetatio*, 87(2), 151-173.

Barbier, D., Burnouf, J., Visset, L. (2001). Les diagrammes société /végétation: un outil de dialogue interdisciplinaire pour la compréhension des interactions homme /milieu. *Quaternaire* 12 (1-2): 103-108.

Barker, B., Gamble, C., Maltby, J. M., Cribb, R., Jones, M., Fleming, A., Zvevibel, M., Milis, N., Lewthwaite, J., Randsborg, K., Barker, G., Gamble, C. (1985). *Beyond Domestication in Prehistoric Europa. Investigations in Subsistence Archaeology and Social Complexity. Studies in Archaeology*. London: Academic Press INC.

Barton, C. M., Villaverde, V., Zilhao, J., Aura, J. E., García, O. (2013). In glacial environments beyond glacial terrains: humans eco-dynamics in late Pleistocene Mediterranean Iberia. *Quaternary International* 318, 53-68.

Bastin, B. (1982). Premier bilan de l'analyse pollinique de stalagmites holocènes en provenance de grottes belges. *Revue Belge de Géographie* 106 (1): 87-97.

Bastin, B., Dupuis, C., Quinif, Y. (1982). Étude microstratigraphique et palynologique d'une croûte stalagmitique de la Grotte de la Vilaine Source (Arbre, Belgique): méthodologie et résultats. *Revue Belge de Géographie* 106 (1): 109-120.

Bates, C. D., Coxon, P., Gibbard, P. L. (1978). A new method for the preparation of clay-rich sediment samples for palynological investigation. *New Phytologist* 81: 459-463.

Behre, K. E. (1981). The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen et Spores*, 23(2), 225-245.

Behre, K. E. (1986). *Anthropogenic indicators in pollen diagrams*. Rotterdam: A.A. Balkema.

Behre, K. E. (1988). The role of man in European vegetation history. En: B. Huntley

y T. Webb III (Eds.). *Vegetation History*. Kluwer Academic Publishers: 633-672. Dordrecht.

Behrensmeier, A. K., Hook, R. W. (1992). Paleoenvironmental contexts and taphonomic modes in the terrestrial fossil record. In: Behrensmeier, A. K., Damuth, J. D., DiMichele, W. A., Potts, R., Sues, H.-D. y Wing, S. L. (Eds.). *Terrestrial Ecosystems Through Time. Evolutionary palaeoecology of terrestrial plants and animals*. University of Chicago Press, Chicago, 15-138.

Bender, B. (2002). Time and Landscape. *Current Anthropology*, 43(S4), S103-S112.

Berger, G. W., Pérez-González, A., Carbonell, E., Arsuaga, J. L., Bermúdez de Castro, J.-M., Ku, T.-L. (2008). Luminescence chronology of cave sediments at the Atapuerca paleoanthropological site, Spain. *Journal of Human Evolution* 55, 300-311.

Berger, J. F., Guilaine, J. (2009). The 8200 cal BP abrupt environmental change and the Neolithic transition: A Mediterranean perspective. *Quaternary International* 200, 31-49.

Berglund, B. E. (1969). Vegetation and human influence in South Scandinavia during prehistoric time. *Oikos Supplement* 12: 9-28.

Berglund, B. E. (2001). Cultural landscapes in NW Europe. Is there a link to climate changes? *Terra Nostra* 3: 68-95.

Berglund, B. E. (2003). Human impact and climate changes—synchronous events and a causal link? *Quaternary International* 105, 7-12.

Bermúdez de Castro, J. M., Martín-Torres, M. (2013). A new model for the evolution of the human Pleistocene populations of Europe. *Quaternary International* 295, 102-112.

Bermúdez de Castro, J. M., Rosas, A. (1992). A human mandibular fragment from the Atapuerca Trench (Burgos, Spain). *Journal of Human Evolution* 22, 41-46.

- Bermúdez de Castro, J. M., Arsuaga, J. L., Carbonell, E., Rosas, A., Martínez, I., Mosquera, M. (1997). A hominid from the Lower Pleistocene of Atapuerca, Spain: possible ancestor to Neanderthals and modern humans. *Science* 276, 1392-1395.
- Bermúdez de Castro, J. M., Martínón-Torres, M., Gómez-Robles, A., Prado-Simón, L., Martín-Francés, L., Lapresa, M., Olejniczak, A., Carbonell, E. (2011). Early Pleistocene human mandible from Sima del Elefante (TE) cave site in Sierra de Atapuerca (Spain): a comparative morphological study. *Journal of Human Evolution* 61, 1-11.
- Bermúdez de Castro, J. M., Pérez-González, A., Martínón-Torres, M., Gómez-Robles, A., Rosell, J., Prado, L., Sarmiento, S., Carbonell, E. (2008). A new early Pleistocene hominin mandible from Atapuerca-TD6, Spain. *Journal of Human Evolution* 55, 729-735.
- Bernabeu Aubán, J. (1996). Indigenismo y migracionismo. Aspectos de la neolitización en la fachada oriental de la Península Ibérica. *Trabajos de Prehistoria* 53, 37-54.
- Bernabeu Aubán, J. (2002). The social and symbolic context of Neolithization. *SAGVNTUM: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valencia, Extra* 5, 209-233.
- Bernabeu Aubán, J., Aura, J. E., Badal, E. (1993). *Al oeste del Edén. Las primeras sociedades agrícolas en la Europa mediterránea*, Ed. Síntesis, Madrid.
- Bernabeu Aubán, J., García-Puchol, O., Pardo, S., Barton, M., McClure, S. B. (2014). Socioecological dynamics at the time of Neolithic transition in Iberia. *Environmental Archaeology*, 19(3), 214-225.
- Berrio, J. C., Hooghiemstra, H., van Geel, B., Ludlow-Wiegers, B. (2006). Environmental history of the dry forest biome of Guerrero, Mexico, and human impact during the last c. 2700 years. *The Holocene* 16, 63-80.
- Binford, L. R. (1968). *New perspectives in archaeology*. Binford, S. R. y Binford, L. R. (Eds.). Aldine Publishing Company, Chicago, 373 pp.
- Birks, H. J. B. (1970). Inwashed pollen spectra at Loch Fada, Isle of Skye. *New Phytologist* 69, 807-820.
- Birks, H. J. B., Birks, H. H. (1980). *Quaternary Palaeoecology*. Edward Arnold. London.
- Birks, H. J. B., Line, J. M. (1992). The use of rarefaction analysis for estimating palynological richness from Quaternary pollen-analytical data. *The Holocene*, 2, 1-10.
- Birks, H. H., Birks, H. J. B., Kaland, P. E., Moe, D. (Eds.) (1988). *The cultural landscape - past, present and future*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Blackford, J. J., Innes, J. B., Hatton, J. J., Caseldine, C. J. (2006). Mid-Holocene environmental change at Black Ridge Brook, Dartmoor, SW England: A new appraisal based on fungal spore analysis. *Review of Palaeobotany and Palynology* 141, 189-201.
- Blackmore, S., Ferguson, I. K. (Eds.) (1986). *Pollen and spores: Form and Function*. Academic Press, London.
- Blain, H. A., Bailon, S., Cuenca-Bescós, G. (2008). The Early-Middle Pleistocene palaeoenvironmental change based on the squamate reptile and amphibian proxies at the Gran Dolina site, Atapuerca, Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 261, 177-192.
- Blain, H. A., Cuenca-Bescós, G., Burjachs, F., López-García, J. M., Lozano-Fernández, I., Rosell, J. (2013). Early Pleistocene palaeoenvironments at the time of the Homo antecessor settlement in the Gran Dolina cave (Atapuerca, Spain). *Journal of Quaternary Science*, 28(3), 311-319.
- Blain, H. A., Cuenca-Bescós, G., Lozano-Fernández, I., López-García, J. M., Ollé, A., Rosell, J., Rodríguez, J. (2012). Investigating the Mid-Brunhes Event in the Spanish terrestrial sequence. *Geology* 40, 1051-1054.

- Blondel, J., Aronson, J. (1999). *Biology and wildlife of the mediterranean region*. Oxford University Press, Oxford.
- Boavida L. C., Becker J. D., Feijó J. A. (2005). The making of gametes in higher plants. *Int. J. Dev. Biol.* 49: 595-614.
- Bocquet-Appel, J.-P. (2002). Paleoanthropological traces of a Neolithic demographic transition. *Current Anthropology* 43: 637-650.
- Bocquet-Appel, J.-P. (2009). The Demographic Impact of the Agricultural System in Human History. *Current Anthropology* 50 (5), 657-660.
- Bogaard, A. (2004). *Neolithic Farming in Central Europe*. Routledge, London.
- Bogaard, A., Stien, H.-C., Krause, R. (2011). Towards a social geography of cultivation and plant use in an early farming community: Vaihingen an der Enz, south-west Germany. *Antiquity*, 85(328), 395-416.
- Bogaard, A., Fraser, R., Heaton, T. H. E., Wallace, M., Vaiglova, P., Charles, M., Jones, G., Evershed, R. P., Styring, A. K., Andersen, N. H., Arbogast, R.-M., Bartosiewicz, L., Gardeisen, A., Kanstrup, M., Maier, U., Marinova, E., Ninov, L., Schafer, M., Stephan, E. (2013). Crop manuring and intensive land management by Europe's first farmers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31), 12589-12594.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., deMenocal, P. B., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I., Bonani, G. (1997). A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and Glacial climates. *Science* 278, 1257-1265.
- Bonnefille, R., Riollet, G. (1980). *Pollens des savanes d'Afrique orientale*. Editions du C. N. R. S. Paris.
- Boserup, E. (1965). *The Conditions of Agricultural Growth*. Allen and Unwin, London.
- Bottema, S. (1975). The interpretation of pollen spectra from prehistoric settlements (with special attention to liguliflorae). *Palaeohistoria* 17: 17-35.
- Bottema, S., Woldring, H. (1994). Bronze Age and Byzantine pollen of the Kestel tin-mine (Turkey) and its possible origin: practical and experimental pollen analysis in archaeological context. En: Davis, O. K. (Ed.). *Aspects of archaeological palynology: methodology and applications*. AASP Contribution Series 29: 7-15.
- Bousman, C. B., Scott, L. (1994). Climate or overgrazing? The palynological evidence for vegetation change in the eastern Karoo. *South African Journal of Science* 90: 575-578.
- Bowman, D. M., Balch, J., Artaxo, P., Bond, W. J., Cochrane, M. A., D'antonio, C. M., Kull, C. A. (2011). The human dimension of fire regimes on Earth. *Journal of Biogeography*, 38 (12), 2223-2236.
- Boyer-Klein, A. (1976). Análisis polínico de la Cueva de Tito Bustillo (Asturias). En: *Excavaciones en la Cueva de Tito Bustillo (Asturias)*. Instituto de Estudios Asturianos: 199- 206. Oviedo.
- Boyer-Klein, A. (1980). Nouveaux résultats palynologiques de sites solutréens et magdaléniens cantabriques. *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 77 (4): 103-107.
- Boyer-Klein, A. (1982). Cadre climatique du Magdalénien Cantabrique. Essai de reconstitution par la Palynologie. *Cahiers du Centre de Recherches Préhistoriques* 8: 91-98.
- Boyer-Klein, A. (1989). Análisis polínico de la cueva de Zatoya. En: Barandiarán, I. y Cava, A. (Eds.). *El yacimiento prehistórico de Zatoya (Navarra)*, Suplementos de *Trabajos de Arqueología* 8, 231-35.
- Braadbaart, F. I., Poole, I., Brussel, A. A. (2009). Preservation potential of charcoal in alkaline environments: An experimental approach and implications for the archaeological record. *Journal of Archaeological Science* 36 (8), 1672-1679.

- Bradbury, J. P. (1996). Charcoal deposition and redeposition in Elk Lake, Minnesota, USA. *The Holocene* 6 (3), 339-344.
- Brochier, J. E., Villa, P., Giacomarra, M. (1992). Shepherds and sediments: Geoethnoarchaeology of pastoral sites. *Journal of Anthropological Archaeology* 11: 47-102.
- Brochier, J. E. (2002). *Les sédiments anthropiques: méthodes d'étude et perspectives*. In *Géologie de la Préhistoire: méthodes, techniques, applications*, 2nd edn. J.-C. Miskovswi (Ed.). Paris, Geopré: 453-477.
- Brook, G. A., Keferl, E. P., Nickmann, R. J. (1987). Palaeoenvironmental data for NW Georgia, USA, from fossils in cave speleothems. *International Journal of Speleology* 16: 69-78.
- Brook, G. A., Burney, D. A., Cowart, J. B. (1990). Palaeoenvironmental data for Ituri, Zaire, from sediments in Matupi Cave, Mt. Hoyo. *Virginia Museum of Natural History Memoir* 1: 49-70.
- Brooks, J., Elsik, W. C. (1974). Chemical oxidation (using ozone) of the spore wall of *Lycopodium clavatum*. *Grana* 14, 85-91.
- Brooks, J., Shaw, G. (1972). Geochemistry of sporopollenin. *Chemical Geology* 10, 69-87.
- Brooks, J., Shaw, G. (1978). Sporopollenin: a review of its chemistry, palaeochemistry and geochemistry. *Grana*, 17, 91-97.
- Brown, A. G., Carpenter, R. G., Walling, D. E. (2007). Monitoring fluvial pollen transport, its relationship to catchment vegetation and implications for palaeoenvironmental studies. *Review of Palaeobotany and Palynology* 147, 60-76.
- Brubaker, L. B., Higuera, P. E., Rupp, T. S., Olson, M. A., Anderson, P. M., Hu, F. S. (2009). Linking sediment-charcoal records and ecological modeling to understand causes of fire-regime change in boreal forests. *Ecology* 90 (7): 1788-1801.
- Bryant, V. M. (1969). Late fullglacial and postglacial pollen analysis of Texas sediments. Ph. D. Thesis dissertation on file, University of Texas Library, Austin.
- Bryant, V. M. (1974). The role of coprolite analysis in archeology. *Bulletin of the Texas Archaeological Society* 45: 1-48.
- Bryant, V. M. (1978). Palynology: a useful method for determining palaeoenvironments. *Texas Journal of Science* 30: 25-42.
- Bryant, V. M. (1988). Preservation of biological remains from archaeological sites". En: Mathewson, C. (Ed.). *Interdisciplinary Workshop on the Physical-Chemical-Biological processes affecting archaeological sites*. US Army Corp of Engineers Waterways Experiment Station. Vicksburg. Mississippi: 85-115.
- Bryant, V. M., Hall, S. A. (1993). Archaeological palynology in the United States: a critique. *American Antiquity* 58 (2): 277-286.
- Bryant, V. M., Holloway, R. G. (1983). The role of palynology in archaeology. *Advances in Archaeological Method and Theory* 6: 191-224.
- Bryant, V. M., Holloway, R. G. (1996). Chapter 23A. New frontiers in Palynology. En: Jansonius, J. y McGreggor, D. C. (Eds.). *Archaeological Palynology. Palynology: principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation. 3: 913-917. Salt Lake City, Utah.
- Bryant, V. M., Holloway, R. G., Jones, J. G., Carlson, D. L. (1994). Pollen preservation in alkaline soils of the American Southwest. En: Traverse, A. (Ed.), *Sedimentation of organic particles*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 47-58.
- Bui-Thi-Mai (1974). Contribution à l'étude du transport et de la sédimentation des pluies polliniques dans un abr i sous-roche. L'abri Vaufrey (Dordogne). Thèse, Université de Bordeaux, Bordeaux.

Bui-Thi-Mai (1985). Conservation des pollens et leur interprétation en milieu archéologique. En: Renault-Miskovvky, J., Bui-Thi, M. y Girard, M. (Eds.). *Palynologie Archéologique. Notes et monographies techniques*, 17. Éditions du CNRS. Paris: 23-37.

Bui-Thi-Mai, Girard, M. (1988). Apports actuels et anciens de pollens dans la grotte de Foissac (Aveyron, France). *Institut français Pondichéry, travaux sections sciences et techniques* 25: 43-53.

Bui-Thi-Mai, Girard, M. (2002). L'Archaéopalynologie, discipline aux multiples facettes! En: Piazzola, A. (Eds.). *Manieres de faire... Manieres de voir. De l'objet à l'interprétation. XI^e Rencontres Culturelles Interdisciplinaires, Hommage à Noël Pinzuti*. 85-102. Ajaccio.

Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., McCormick, M., Frank, D., Trouet, V., Kaplna, J. O., Herzih, F., Heussner, K. U., Wannera, H., Luterbacher, J., Esper, J. (2011). 2500 years of European climate variability and human susceptibility. *Science* 331, 578-582.

Bunting, M. J. (2003). Pollen-vegetation relationships in non-arboreal moorland taxa. *Review of Palaeobotany and Palynology* 125, 285-298.

Bunting, M. J., Tipping, R. (2000). Sorting dross from data: possible indicators of postdepositional assemblage biasing in archaeological palynology. En: Bailey, G., Charles, R., Winder, N. (Eds.), *Human Ecodynamics. Symposia of the Association for Environmental Archaeology* 19. Oxbow Books, Oxford, pp. 63-69.

Burguet-Coca, A., Expósito, I. (2017). Building a *fumier*: following the trail of the vegetal microremains. *V International Congress of Experimental Archeology*, Tarragona.

Burjachs, F. (1984). Anàlisi pol·línica del poblament ibèric de La Palomera (La Garrotxa). *Revista de Girona* 106: 38.

Burjachs, F. (1985). Aplicació de l'anàlisi pol·línica al jaciment arqueològic de la Cova 120 (Alta Garrotxa, Catalunya). *Facultat de Lletres. Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra*.

Burjachs, F. (1988). Anàlisi polínic de los niveles cerámicos de la cova 120 (Alta Garrotxa, Catalunya). *Acta Salmanticensia* 65: 285-290.

Burjachs, F. (1990). Palinologia dels dòlmens de l'Alt Empordà i dels dipòsits quaternaris de la cova de l'Arbreda (Serinyà, Pla de l'Estany) i del Pla de l'Estany (Olot, Garrotxa). Evolució del paisatge vegetal i del clima des de fa més de 140.000 anys al N. E de la Península Ibèrica. Departament de Biologia Vegetal, Biologia Animal i Ecologia. Universitat Autònoma de Barcelona, 324. Bellaterra.

Burjachs, F. (2003). Paisatges i climes medievals de la façana ibèrica nord-occidental. En: Rueda, J. M., Tura, J. (Eds.), *Els castells medievals a la Mediterrània Nord-Occidental. Museu Etnològic del Montseny*, Arbúcies, pp. 231-246.

Burjachs, F. (2006). Palinología y restitución palinológica. *Ecosistemas - Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente (on Line)*, XV(enero-abril).

Burjachs, F., Julià, R. (1994). Abrupt climatic changes during the last glaciation based on pollen analysis of the abric romani, Catalonia, Spain. *Quaternary Research*.

Burjachs, F., López Sáez, J. A. (2003). Anàlisi paleopalinològic del yacimiento arqueològic de Fuente Lirio (Muñopepe, Àvila). *Numantia. Arqueología en Castilla y León* 8 (1997 / 1998): 51-54.

Burjachs, F., Riera, S. (1996). Canvis vegetals i climàtics durant el neolític a la façana mediterrània ibèrica. *Rubricatum* 1 (I), 21-27.

Burjachs, F., Schulte, L. (2003). El paisatge vegetal del Penedès entre la Prehistòria i el Món Antic. En: Guitart, J., Palet, J. M., Prevosti, M. (Eds.), *Territoris antics a la*

Mediterrània i a la Cossetània oriental.
Departament de Cultura, Generalitat de
Catalunya, Barcelona, pp. 249-254.

Burjachs, F., Giralt, S., Roca, J. R., Seret, G.,
Julià, R. (1997). Palinología holocénica y
desertización en el Mediterráneo Occidental.
En: Ibáñez, J. J., Valero, B. L. y Machado, C.
(Eds.). *El paisaje mediterráneo a través del espacio y
del tiempo. Implicaciones en la desertificación*.
Geofoma: 379-394. Logroño.

Burjachs, F., López Sáez, J. A., Iriarte, M. J.
(2003). Metodología arqueopalínológica. En:
Buxó, R. y Piqué, R. (Eds.). *La recogida de
muestras en arqueobotánica: objetivos y propuestas
metodológicas*. Museu d'Arqueologia de
Catalunya: 11-18. Barcelona.

Burjachs, F., Bach, J., Buxó, R., Llàcer, P.,
McGlade, J., Picazo, M., Piqué, R., Ros, M. T.
(2005). El territori d'Emporion i les seves
dades paleoambientals. *Empúries* 54, 21-28.

Burney, D. A., Burney, L. P. (1993). Modern
pollen deposition in cave sites, experimental
results from New York State, *New Phytologist*
124, 523-35.

Burney, D. A., Robinson, G. S., Pigott
Burney, L. (2003). *Sporormiella* and the late
Holocene extinctions in Madagascar.
Proceedings of the National Academies of Sciences
100, 10800-10805.

Buxó, R. (1997). *Arqueología de las plantas: la
explotación económica de las semillas y los frutos
en el marco mediterráneo de la Península Ibérica*.
Barcelona. Ed. Crítica.

C

Cabanes, D., Burjachs, F., Expósito, I.,
Rodríguez, A., Allué, E., Euba, I., Vergès, J.
M. (2009). Formation processes through
archaeobotanical remains: The case of the
Bronze Age levels in El Mirador cave, Sierra
de Atapuerca, Spain. *Quaternary International*,
193(1-2), 160-173.

Cáceres, I. (2002). Tafonomía de yacimientos
antrópicos en karst. Complejo Galería (Sierra

de Atapuerca, Burgos), Vanguard Cave
(Gibraltar) y Abric Romaní (Capellades)
(Tesis Doctoral). Universitat Rovira i Virgili,
Tarragona, Spain.

Cáceres, I., Huguet, R., Rosell, J., Esteban
Nadal, M., Saladié, P., Díez, J. C., Ollé, A.,
Vallverdú, J., García, P., Carbonell, E. (2010).
El yacimiento de Galería (Sierra de
Atapuerca, Burgos, España): un enclave para
la obtención de recursos cárnicos en el
Pleistoceno Medio. En: *1ª Reunión de científicos
sobre cubiles de hiena (y otros otros grandes
carnívoros) en los yacimientos arqueológicos de la
Península Ibérica*, Alcalá de Henares, pp. 157-
165.

Cáceres, I., Lozano-Ruiz, M., Saladié, P.
(2007). Evidence for Bronze Age Cannibalism
in El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca,
Burgos, Spain). *American Journal of Physical
Anthropology*, 133, 899-917.

Campbell, I. D. (1991). Experimental
mechanical destruction of pollen grains.
Palyology 15, 29-33.

Campbell, I. D. (1999). Quaternary pollen
taphonomy: examples of differential
redeposition and differential preservation.
*Palaeogeography, Palaeoclimatology,
Palaeoecology* 149, 245-256.

Campbell, I. D., Campbell, S. (1994). Pollen
preservation: experimental wet-dry cycles
insaline and desalinated sediments. *Palyology*
18, 5-10.

Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J. M.,
Arsuaga, J. L., Díez, J. C., Rosas, A., Cuenca-
Bescós, G., Sala, R., Mosquera, M., Rodríguez,
X. P. (1995). Lower Pleistocene hominids and
artifacts from Atapuerca TD6 (Spain). *Science*
269, 826-830.

Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J. M.,
Arsuaga, J. L., Allue, E., Bastir, M., Benito,
A., Cáceres, I., Canals, T., Díez, J. C., Van
der Made, J., Mosquera, M., Ollé, A., Pérez-
González, A., Rodríguez, J., Rodríguez, X. P.,
Rosas, A., Rosell, J., Sala, R., Vallverdú, J.,
Vergés, J. M. (2005). An Early Pleistocene

hominin mandible from Atapuerca-TD6, Spain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102, 5674-5678.

Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J. M., Parés, J. M., Pérez-González, A., Cuenca-Bescós, G., Olle, A., Mosquera, M., Huguet, R., van der Made, J., Rosas, A., Sala, R., Vallverdú, J., García, N., Granger, D. E., Martínón-Torres, M., Rodríguez, X. P., Stock, G. M., Vergès, J. M., Allué, E., Burjachs, F., Cáceres, I., Canals, A., Benito, A., Díez, C., Lozano, M., Mateos, A., Navazo, M., Rodríguez, J., Rosell, J., Arsuaga, J. L. (2008). The first hominin of Europe. *Nature* 452, 465-470.

Carbonell, E., Cáceres, I., Lozano, M., Saladié, P., Rosell, J., Lorenzo, C., Vallverdú, J., Huguet, R., Canals, A., Bermúdez de Castro, J. M. (2010). Cultural cannibalism as a paleoeconomic system in the European lower Pleistocene. *Current Anthropology* 51, 539-549.

Carcaillet, C., Thion, M. (1996). Pedoanthracological contribution to the study of the evolution of the upper treeline in the Maurienne valley (north french Alps): Methodology and preliminary data. *Review of Palaeobotany and Palynology* 91 (1-4), 399-416.

Carcaillet, C., Bouvier, M., Fréchette, B., Larouche, A. C., Richard, P. J. H. (2001). Comparison of pollen-slide and sieving methods in lacustrine charcoal analyses for local and regional fire history. *The Holocene* 11 (4): 467- 476.

Carrancho, A., Villalaín, J. J., Pavón-Carrasco, F. J., Osete, M. L., Straus, L. G., Vergès, J. M., Carretero, J. M., Angelucci, D. E., González-Morales, M. R., Arsuaga, J. L., Bermúdez de Castro, J. M., Carbonell, E. (2013). First directional European palaeosecular variation curve for the Neolithic based on archaeomagnetic data. *Earth and Planetary Science Letters* 380, 124-137.

Carrancho, A., Villalaín, J. J., Vergès, J. M., Vallverdú, J. (2012). Assessing post-depositional processes in archaeological cave

fires through the analysis of archaeomagnetic vectors. *Quaternary International* 275, 14-22.

Carrión, J. S. (1992). Late Quaternary pollen sequence from Carihuela Cave, southeastern Spain. *Review of Palaeobotany and Palynology* 71: 37-77.

Carrión, J. S. (2002a). A taphonomic study of modern pollen assemblages from dung and surface sediments in arid environments of Spain. *Review of Palaeobotany and Palynology* 120: 217-232.

Carrión, J. S. (2002b). Patterns and processes of Late Quaternary environmental change in a montane region of southwestern Europe. *Quaternary Science Reviews*, 21, 2047-2066.

Carrión, J. S. (2012). *Paleoflora y Paleovegetación de la Península Ibérica e Islas Baleares: Plioceno-Cuaternario*. (J. S. Carrión, S. Fernández, E. Fierro, L. López-Merino, M. Munuera, Eds.). Murcia.

Carrión, J. S., Navarro, C. (2002). Cryptogam spores and other non-pollen microfossils as sources of palaeoecological information: case-studies from Spain. *Ann. Bot. Fennici* 39: 1-14.

Carrión, J. S., Scott, L. (1999). The challenge of pollen analysis in palaeoenvironment studies of hominid beds: the record from Sterkfontein caves. *Journal of Human Evolution* 36: 401-408.

Carrión, J. S., van Geel, B. (1999). Fine-resolution Upper Weichselian and Holocene palynological record from Navarrés (Valencia, Spain) and a discussion about factors of Mediterranean forest succession. *Review of Palaeobotany and Palynology* 106 (3-4): 209-236.

Carrión, J. S., Andrade Olalla, A., Bennett, K. D., Navarro, C., Munuera, M. (2001a). Crossing forest thresholds: Inertia and collapse in a Holocene sequence from south-central Spain. *Holocene*, 11(6), 635-653.

Carrión, J. S., Fernández, S., González-Sampérez, P., Leroy, S. A. G., Bailey, G. N.,

- López-Sáez, J. A., Burjachs, F., Gil-Romera, G., García-Antón, M., Gil-García, M. J., Parra, I., Santos, L., López-García, P., Yll, E. I., Dupré, M. (2009). Quaternary pollen analysis in the Iberian Peninsula: the value of negative results. *Internet Archaeology*, 25, 1-48.
- Carrión, J. S., Fernández, S., González-Sampériz, P., Gil-Romera, G., Badal, E., Carrión Marco, Y., López-Merino, L., López-Sáez, J. A., Fierro, E., Burjachs, F. (2010). Expected trends and surprises in the Lateglacial and Holocene vegetation history of the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 162(3), 458-475.
- Carrión, J. S., Fuentes, N., González-Sampériz, P., Sánchez Quirante, L., Finlayson, J. C., Fernández, S., Andrade Olalla, A. (2007). Holocene environmental change in a montane region of southern Europe with a long history of human settlement. *Quaternary Science Reviews*, 26(11-12), 1455-1475.
- Carrión, J. S., Gil, G., Rodríguez, E., Fuentes, N., García-Antón, M., Arribas, A. (2005). Palynology of badger coprolites from central Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 226(3-4), 259-271.
- Carrión, J. S., Munuera, M., Dupré, M. (1995). Estudios de palinología arqueológica en el Sureste ibérico semiárido. *Cuaternario y Geomorfología* 9 (3-4): 17-31.
- Carrión, J. S., Munuera, M., Navarro, C., Burjachs, F., Dupré, M., Walker, M. J. (1999a). The palaeoecological potential of pollen records in caves: the case of Mediterranean Spain. *Quaternary Science Reviews* 18: 1061-1073.
- Carrión, J. S., Munuera, M., Navarro, C., Sáez, F. (2000a). Paleoclimas e historia de la vegetación cuaternaria en España a través del análisis polínico. Viejas falacias y nuevos paradigmas. *Complutum* 11: 115-142.
- Carrión, J. S., Navarro, C., Navarro, J., Munuera, M. (2000b). The interpretation of cluster pine (*Pinus pinaster*) in floristic-phytosociological classifications from a palaeoecological perspective. *The Holocene* 10: 243-252.
- Carrión, J. S., Parra, I., Navarro, C., Munuera, M. (2000c). The past distribution and ecology of the cork oak (*Quercus suber*) in the Iberian Peninsula: a pollen-analytical approach. *Diversity and Distributions* 6: 29-44.
- Carrión, J. S., Riquelme, J. A., Navarro, C., Munuera, M. (2001b). Pollen in hyaena coprolites reflects late glacial landscape in southern Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 176, 193-205.
- Carrion, J. S., Scott, L., Huffman, T., Dreyer, C. (2000d). Pollen analysis of Iron Age cow dung in southern Africa. *Vegetation History and Archaeobotany* 9, 239-249.
- Carrión, J. S., van Geel, B., Munuera, M., Navarro, C. (1999b). Palaeoecological evidence of pollen sequence in eastern Spain challenges existing concepts of vegetation change. *South African Journal of Sciences* 95: 44-46.
- Cattani, L., Renault-Miskovsky, J. (1989). La réponse des végétations aux variations climatiques quaternaires autour des sites archéologiques du Sud de la France et du Nord-Est de l'Italie. *Il Quaternario* 2 (2): 147-170.
- Cauvin, J. (2000). *The Origins of Agriculture in the Near East: A Symbolic Interpretation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Chapman, J. (1994). The Origins of Farming in South East Europe. *Préhistoire Européenne*, 6: 133-156.
- Childe, V. G. (1925). *The dawn of European civilisation*. Routledge & Kegan Paul, Londres.
- Christopher, R. A. (1976). Morphology and taxonomic status of *Pseudoschizaea* Thiergart and Frantz ex R. Potonie emend. *Micropaleontology* 22 (2): 143-150.

- Clark, J. S. (1988a). Particle motion and the theory of charcoal analysis: Source area, transport, deposition, and sampling. *Quaternary Research* 30 (1), 67-80.
- Clark, J. S. (1988b). Stratigraphic charcoal analysis on petrographic thin sections: Application to fire history in northwestern Minnesota. *Quaternary Research* 30 (1), 81-91.
- Clark, J. S. (1990). Fire and climate change during the last 750 years in northwestern Minnesota. *Ecological Monographs* 60, 135-159.
- Clark, R. L. (1982). Point count estimation of charcoal in pollen preparations and thin sections of sediments. *Pollen et spores* 24, 523-535.
- Clark, R. L. (1984). Effects on charcoal of pollen preparation procedures. *Pollen et Spores* 26, 559-576.
- Coil, J., Korstanje, M. A., Archer, S., Hastorf, C. A. (2003). Laboratory goals and considerations for multiple microfossil extraction in archaeology. *Journal of Archaeological Science*, 30: 991-1008.
- Coles, G. M., Gilbertson, D. D., Hunt, C. O., Jenkinson, R. D. S. (1989). Taphonomy and the palynology of cave deposits. *Cave Science* 16: 83-89.
- Coles, G. M., Gilbertson, D. D. (1994). The airfall-pollen Budget of archaeologically important caves: Creswell Crags, England. *Journal of Archaeological Science* 21: 735-755.
- Coles, J. M. (1979). *Experimental Archaeology*. Academic Press, London.
- Combaz, A. (1964). Les palynofaciès. *Revue de Micropaléontologie* 7 (3): 205-218.
- Connell, J. H. (1978). Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science*, 199, 1302-1310.
- Cook, E. J., van Geel, B., van der Kaars, S., van Arkel, J. (2011). A review of the use of non-pollen palynomorphs in palaeoecology with examples from Australia. *Palynology* 2, 155-178.
- Cour, P. (1974). Nouvelles techniques de détection des flux et des retombées polliniques: étude de la sédimentation des pollens et des spores à la surface du sol. *Pollen et Spores*, XVI (1), 103-141.
- Coûteaux, M. (1977). A propos de l'interprétation des analyses polliniques de sédiments minéraux, principalement archéologiques. En: Laville, H. y Renault-Miskovsky, J. (Eds.). *Approche écologique de l'homme fossile, Supplément du Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire* 47. 259-76.
- Criado Boado, F. (1993). Límites y posibilidades de la Arqueología del Paisaje. *SPAL: Revista de Prehistoria y Arqueología de La Universidad de Sevilla*, 2255-3924
- Criado Boado, F. (1999). *Del terreno al espacio: planteamientos y perspectivas para la arqueología del paisaje*. CAPA, *Criterios y convenciones en Arqueología del Paisaje*. Vol. 6, 123-136.
- Crisman, T. L. (1978). Algal remains in Minnesota lake types: a comparison of modern and late-glacial distributions. *Verh. International. Verein. Limnol.* 20: 445-451.
- Cuenca Bescós, G., García, N. (2007). Biostratigraphic succession of the Early and Middle Pleistocene mammal faunas of the Atapuerca cave sites (Burgos, Spain). *Cour. Forsch.- Inst. Senckenberg* 259, 99- 110.
- Cuenca-Bescós, G., Rofes, J., López-García, J. M., Blain, H.-A., De Marfà, R., Galindo-Pellicena, M. A., Bennàsar-Serra, M. Ll., Melero-Rubio, M., Arsuaga, J. L., Bermúdez de Castro, J. M., Carbonell, E. (2010). Biochronology of Spanish Quaternary small vertebrate faunas. *Quaternary International* 121, 109-119.
- Cuenca-Bescós, G., Blain, H. A., Rofes, J., Lozano-Fernández, I., López-García, J. M., Duval, M., Galán, J., Núñez-Lahuerta, C. (2015). Comparing two different Early

Pleistocene microfaunal sequences from the caves of Atapuerca, Sima del Elefante and Gran Dolina (Spain): Biochronological implications and significance of the Jaramillo subchron. *Quaternary International*, 389, 148–158.

Cugny, C., Mazier, F., Galop, D. (2010). Modern and fossil non-pollen palynomorphs from the Basque mountains (western Pyrenees, France): the use of coprophilous fungi to reconstruct pastoral activity. *Vegetation History and Archaeobotany* 19, 391–408.

Cushing, E. J. (1967). Evidence for differential pollen preservation in Late Quaternary sediments in Minnesota. *Review of Palaeobotany and Palynology* 4, 87–101.

D

Damblon, F. (1974). Observations palynologiques dans la grotte de Remouchamps. *Bulletin Société Royale Belge d'Anthropologie Préhistorique* 85: 131–155.

Daniau, A.-L., Sánchez-Goñi, M. F., Beaufort, L., Laggoun-Defarge, F., Loutre, M.-F., Duprat, J. (2007). Dansgaard-Oeschger climatic variability revealed by fire emissions in southwestern Iberia. *Quaternary Science Reviews* 26 (9–10), 1369–1383.

Davidson, I. (1976). Seasonality in Spain. *Zephyrus* 26–27: 167–173.

Davis, B. A. S. (1994). Paleolimnology of Holocene environmental change from endorheic lakes in the Ebro basin, NorthEast Spain, PhD Thesis, University of Newcastle-upon-Tyne.

Davis, B. A. S., Brewer, S., Stevenson, A. C., Guiot, J., Allen, J., Almqvist-Jacobson, H., Ammann, B., Andreev, A. A., Argant, J., Atanassova, J., Balwierz, Z., Barnosky, C. D., Bartley, D. D., De Beaulieu, J. L., Beckett, S. C., Behre, K. E., Bennett, K. D., Berglund, B. E. B., Beug, H. J., Bezusko, L., Binka, K., Birks, H. H., Birks, H. J. B., Björck, S., Bliakhartchouk, T., Bogdel, I., Bonatti, E.,

Bottema, S., Bozilova, E., Bradshaw, R. H. W., Brown, A. P., Brugiapaglia, E., Carrión, J. S., Chernavskaya, M., Clerc, J., Clet, M., Coüteaux, M., Craig, A. J., Cserny, T., Cwynar, L. C., Dambach, K., De Valk, E. J., Digerfeldt, G., Diot, M. F., Eastwood, W., Elina, G., Filimonova, L., Filipovitch, L., Gaillard-Lemdhal, M. J., Gauthier, A., Göransson, H., Guenet, P., Gunova, V., Hall, V. A. H., Harmata, K., Hicks, S., Huckerby, E., Huntley, B., Huttunen, A., Hyvärinen, H., Ilves, E., Jacobson, G. L., Jahns, S., Jankovská, V., Jóhansen, J., Kabailiene, M., Kelly, M. G., Khomutova, V. I., Königsson, L. K., Kremenetski, C., Kremenetskii, K. V., Krisai, I., Krisai, R., Kvavadze, E., Lamb, H., Lazarova, M. A., Litt, T., Lotter, A. F., Lowe, J. J., Magyari, E., Makohonienko, M., Mamakowa, K., Mangerud, J., Mariscal, B., Markgraf, V., McKeever, M., Mitchell, F. J. G., Munuera, M., Nicol-Pichard, S., Noryskiewicz, B., Odgaard, B. V., Panova, N. K., Pantaleón-Cano, J., Paus, A. A., Pavel, T., Peglar, S. M., Penalba, M. C., Pennington, W., Pérez-Obiol, R., Pushenko, M., Ralska-Jasiewiczowa, M., Ramfjord, H., Regnéll, J., Rybnickova, E., Rybnickova, M., Saarse, L., Sanchez Gomez, M. F., Sarmaja-Korjonen, K., Sarv, A., Seppä, H., Sivertsen, S., Smith, A. G., Spiridonova, E. A., Stancikaite, M., Stefanova, J., Stewart, D. A., Suc, J. P., Svobodova, H., Szczepanek, K., Tarasov, P., Tobolski, K., Tonkov, S. P., Turner, J., Van der Knaap, W. O., Van Leeuwen, J. F. N., Vasari, A., Vasari, Y., Verbruggen, C., Vergne, V., Veski, S., Visset, L., Vuorela, I., Wacnik, A., Walker, M. J. C., Waller, M. P., Watson, C. S., Watts, W. A., Whittington, G., Willis, K. J., Willutzki, H., Yelovicheva, Y., Yll, E. I., Zelikson, E. M., Zernitskaya, V. P. (2003). The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. *Quaternary Science Reviews*, 22(15–17), 1701–1716.

Davis, M. B. (1965). A method for determination of absolute pollen frequency. En: Kummel, B., Raup, D. (Eds.). *Handbook of Paleontological Techniques*. W. H. Freeman, San Francisco: 674–686.

Davis, M. B. (1966). Determination of absolute pollen frequency. *Ecology* 47: 310–311.

Davis, O. K. (1987). Spores of the dung fungus *Sporormiella*: increased abundance in historic sediments and before Pleistocene megafaunal extinction. *Quaternary Research* 28: 290-294.

Davis, O. K. (1990). Caves as sources of biotic remains in arid western North America. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 76: 331-348.

Davis, O. K. (1994). Introduction. En: Davis O. K. (Ed.). *Aspects of archaeological palynology: Methodology and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists. Contributions Series 29. Houston. Texas: 1-5.

Davis, O. K., Buchmann, S. L. (1994). Insect sources of pollen clumps in archaeological sites in southwestern U.S.A.: ground-nesting bees and mites. *AASP Contribution Series* 29, 63-74.

Davis, O. K., Shafer, D. S. (2006). *Sporormiella* fungal spores, a palynological means of detecting herbivore density. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 237: 40-50.

Davis, O. K., Agenbroad, L. D., Martin, P. S., Mead, J. I. (1984). The Pleistocene dung blanket of Bechan Cave, Utah. En: Genoways, H. H. y Dawson, M. R. (Eds.). *Contributions in Quaternary Vertebrate Palaeontology*. Carnegie Museum of Natural History Spec. Publications, Tucson: 267-282.

Davis, O. K., Minckley, T., Moutoux, T., Jull, T., Kalin, B. (2002). The transformation of Sonoran Desert wetlands following the historic decrease of burning. *Journal of Arid Environments* 50: 393-412.

De Beaulieu, J. L., Miras, Y., Andrieu-Ponel, V., Guiter, F. (2005). Vegetation dynamics in north-western Mediterranean regions: instability of the Mediterranean bioclimate. *Plant Biosystems* 139 (2): 114-126.

Dean, W. E., Forester, R. M., Bradbury, J. P. (2002). Early Holocene change in atmospheric circulation in the Northern Great Plains: an

upstream view of the 8.2 ka cold event. *Quaternary Science Reviews*, 21, 1763-1775.

Delcourt, P. A., Delcourt, H. R. (1980). Pollen preservation and Quaternary environmental history in the southeastern United States. *Palynology* 4, 215-231.

Delhon, C., Martin, L., Argant, J., Thiébaud S. (2008). Shepherds and plants in the Alps: multi-proxy archaeobotanical analysis of Neolithic dung from 'La Grande Rivoire' (Isère, France). *Journal of Archaeological Science* 35, 2937-52.

Demuro, M., Arnold, L. J., Parés, J. M., Pérez-González, A., Ortega, A. I., Arsuaga, J. L., Carbonell, E. (2014). New Luminescence Ages for the Galería Complex Archaeological Site: Resolving Chronological Uncertainties on the Acheulean Record of the Sierra de Atapuerca, Northern Spain. *Plos One* 9 (10), 1-24.

Denys, C. (2002). Taphonomy and experimentation. *Archaeometry* 44:469-484.

Dennell, R. (1985). The hunter-gatherer/agricultural frontier in temperate Europe. En: S.W. Green y S.M. Perlman (Eds.), pp 113-140.

Di Pasquale, G., Marziano, M., Impagliazzo, S., Lubritto, C., De Natale, A., Bader, M. Y. (2008). The Holocene treeline in the northern Andes (Ecuador): First evidence from soil charcoal. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 259 (1): 17-34.

Díaz-Laviada, T. (1989). Variabilidad del grano de polen en especies ibéricas del género *Pinus*. Tesis Doctoral, E. T. S. I. M., Universidad Politécnica, Madrid.

Díaz Pineda, F., De Miguel, J. M., Casado, M. A., Montalvo, J. (2002). *La diversidad biológica en España*. Madrid: Prentice Hall.

Dimbleby, G. W. (1957). Pollen analysis of terrestrial soils. *New Phytologist* 56, 12-28.

Dimbleby, G. W. (1960). Pollen analysis of a mesolithic site at addington, Kent. *Grana Palynologica*. 4:140-148.

Dimbleby, G. W. (1985). *The palynology of archaeological sites*. Academic Press. London.

Diot, M.-F. (1984/1985). Aspects particuliers de la démarche palynologique 2. La palynologie des époques historiques en France. *Nouv. Archéol.* 18, 23-26.

Diot, M.-F. (1991a). Le palynofaciès en Archéologie: intérêt de son étude. *Revue d'Archéométrie* 15: 54-62.

Diot, M.-F. (1991b). Apport et conservation sporo-pollinique dans les grottes: relation avec la fréquentation humaine et animale. En: *Archeologie Experimentale. Tome 2 e La Terre*. Editions Errance, Paris, pp. 236-245.

Djamali, M., Biglari, F., Abdi, K., Andrieu-Ponel, V., De Beaulieu, J. L., Mashkour, M., Ponel, P. (2011). Pollen analysis of coprolites from a late Pleistocene-Holocene cave deposit (Wezmeh Cave, west Iran): insights into the late Pleistocene and late Holocene vegetation and flora of the central Zagros Mountains. *Journal of Archaeological Science* 38, 3394-3401.

Donner, J. J., Kurten, B. (1958). The floral and faunal succession of "Cueva del Toll", Spain. *Eiszeitalter und Gegenwart* 9: 72- 82.

Dupré, M. (1979). *Breve manual de análisis polínico y su aplicación a sedimentos arqueológicos*. Instituto Juan Sebastián Elcano (CSIC). Departamento de Geografía Universidad de Valencia. Valencia.

Dupré, M. (1986). Contribution de l'analyse pollinique à la connaissance du paléoenvironnement en Espagne. *L'Anthropologie* 90 (3): 589-591.

Dupré, M. (1988). *Palinología y Paleoambiente. Nuevos datos españoles*. Referencias. Servicio de Investigación Prehistórica. Diputación Provincial de Valencia. Valencia.

Dupré, M. (1992). Palinología. *Cuadernos técnicos de la SEG* 5, 1-33.

E

Edmonds, R. L., Benninhoff, W. S. (1973). Aerobiology and its modern applications. *US/IPB Aerobiology Report* nº 3. Botany Department, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan: 1-18.

Edwards, K. J., MacDonald, G. M. (1991). Holocene palynology: II Human influence and vegetation change. *Prog. Phys. Geogr.* 15, 364-391.

Edwards, K. J., Fyfe, R. M., Hunt, C. O., Schofield, J. E. (2015). Moving forwards? Palynology and the human dimension. *Journal of Archaeological Science* 56: 117-132.

Efremov, J. A. (1940). Taphonomy: new branch of paleontology. *Pan-American Geologist*, 74: 81-93.

Ellis, E. C., Ramankutty, N. (2008). Putting people in the map: Anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(8), 439-447.

Elsik, W. C. (1966). Biologic degradation of fossil pollen grains and spores. *Micropaleontology* 12, 515-518.

Elsik, W. C. (1971). Microbiological degradation of Sporopollenin. En: J. Brooks, Muir, M., van Gijzel, P., Shaw, G. (Eds.) *Sporopollenin*, pp. 480-509. New York: Academic Press.

Emery-Barbier, A. (1995). Pollen Analysis: Environmental and Climatic Implications. En: Henry, D. O. (Ed.). *Prehistoric Cultural Ecology and Evolution. Insights from Southern Jordan*. Plenum Press: 375- 384. New York & London.

Erdtman, G. (1948). Did Dicotyledoneus plants exist in early Jurassic times? *Geol. Foun. Stockh. Forh.* 70: 265-271.

Erdtman, G. (1965). *Pollen and Spore Morphology / Plant taxonomy. Gymnospermae, Bryophyta* (Text). Almqvist & Wiksell. Stockholm.

Erdtman, G. (1971). *Pollen Morphology and Plant Taxonomy*. Hafner Publishing Co. New York.

Esteban Amat, A. (1995). Evolución del paisaje durante los últimos 10000 años en las montañas del Mediterráneo occidental: ejemplos del Pirineo oriental y Sierra Nevada. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona. Publicacions i Edicions, 453 pp.

Euba, I., Allué, E., Burjachs, F. (2016). Wood uses at El Mirador cave (Atapuerca, Burgos) based on anthracology and dendrology. *Quaternary International* 414, 285-293.

F

Fægri, K. (1944). On the introduction of agriculture in Western Norway. *Geol. Foren. Stock.* 66, 449-462.

Fægri, K. (1956). Recent trends in palynology. *The Botanical Review* 22, 9: 639-664.

Fægri, K., Iversen, J. (1950). *Text-book of modern pollen analysis*. Ejnar Munksgaard. Copenhagen.

Fægri, K., Iversen, J. (1989). *Textbook of Pollen Analysis*. (K. Fægri, P. E. Kaland, K. Krzywinski, Eds.) (Fourth). Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd.

Falguères, C., Bahain, J. J., Yokoyama, Y., Arsuaga, J. L., Bermúdez de Castro, J. M., Carbonell, E., Bischoff, J. L., Dolo, J. M. (1999). Earliest humans in Europe: the age of TD6 Gran Dolina, Atapuerca, Spain. *Journal of Human Evolution* 33, 343-352.

Falguères, C., Bahain, J. J., Bischoff, J. L., Pérez-González, A., Ortega, A. I., Ollé, A., Quiles, A., Ghaleb, B., Moreno, D., Dolo, J. M., Shao, Q. S., Vallverdú, J., Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J. M., Arsuaga, J. L.

(2013). Combined ESR/U-series chronology of Acheulian hominid-bearing layers at Trinchera Galería site, Atapuerca, Spain. *Journal of Human Evolution* 65 (2), 168-184.

Fernández, S., Ochando, J., Munuera, M., Amorós, G., Carrión, J. S. (2018). Bosques en movimiento. Casuísticas en la Península Ibérica durante el Cuaternario tardío. *Metodologías y Estrategias Del Análisis Palinológico Del Cuaternario Tardío. Publicación Electrónica de La Asociación Paleontológica Argentina* 18, 18(2), 171-197.

Fernández Eraso, J. (2002). Abrigo de los Husos II. *Arkeoikuska*, '01, 73-78.

Fernández-Eraso, J., Polo-Díaz, A. (2008). Establos en abrigos bajo roca de la Prehistoria Reciente: su formación, caracterización y proceso de estudio. Los casos de Los Husos y de San Cristóbal. *Krei* 10, 39-51.

Fernández-Jalvo, Y., Díez, J. C., Bermúdez de Castro, J. M., Carbonell, E., Arsuaga, J. L. (1996). Evidence of early cannibalism. *Science* 271, 277-278.

Fernández-Jalvo, Y., Scott, L., Denys, C. (1996). Pollen composition in owl pellets and their environmental implications. *Comptes Rendus Académie Sciences Paris* 323: 259-265.

Fernández-Jalvo, Y., Scott, L., Denys, C. (1999). Taphonomy of pollen associated with predation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 149(1-4), 271-282.

Fernández-Jalvo, Y., Díez, J. C., Cáceres, I., Rosell, J. (1999). Human cannibalism in the Early Pleistocene of Europe (Gran Dolina, Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Journal of Human Evolution* 37: 591- 622.

Fernández-López, S. (1988). La Tafonomía: un subsistema conceptual de la Paleontología. *Coloquios de Paleontología* 41, 9-34.

Fernández-López, S. R. (1995). Taphonomie et interprétation des paléoenvironnements. *Geobios, mémoire spécial* 18, 137-154.

Fernández-López, S. R. (2000). *Temas de Tafonomía*. Departamento de Paleontología, Universidad Complutense de Madrid. 167 pp.

Fernández-López, S. R. (2001). *Tafonomía, fosilización y yacimientos fósiles: modelos alternativos*. Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra 9, 116-120.

Fernández-López, S. R., Fernández-Jalvo, Y. (2002). The limit between biostratigraphy and fossilization. *Current Topics on Taphonomy and Fossilization* 27-37.

Fiacconi, M., Hunt, C. O. (2015). Pollen taphonomy at Shanidar Cave (Kurdish Iraq): An initial evaluation. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 223, 87-93.

Fiacconi, M., Hunt, C. O. (2017). Palynology of surface sediments from caves in the Zagros Mountains (Kurdish Iraq): Patterns and processes. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 239(January), 66-76.

Finlayson, C., Giles Pacheco, F., Rodríguez Vidal, J., Fa, D. A., Gutiérrez López, J. M., Santiago Pérez, A., Finlayson, G., Allué, E., Baena Preysler, J., Cáceres, I., Carrión, J. S., Fernández Jalvo, Y., Gleed-Owen, Ch. P., Jiménez Espejo, F. J., López García, P., López Sáez, J. A., Riquelme Cantal, J. A., Sánchez Marco, A., Giles Guzmán, F., Brown, K., Fuentes, N., Valarino, C. A., Villalpando, A., Stringer, Ch. B., Martínez Ruiz, F., Sakamoto, T. (2006). Late survival of Neanderthals at the southernmost extreme of Europe. *Nature* 443: 850-853.

Finsinger, W., Tinner, W. (2005). Minimum count sums for charcoal-concentration estimates in pollen slides: Accuracy and potential errors. *Holocene* 15 (2), 293-297.

Firbas, F. (1934). Über die Bestimmung der Walddichte und der Vegetation walddloser Gebiete mit Hilfe der Pollenanalyse (Ibtd, vol. 22).

Frenzel, B. (1964). Zur Pollenanalyse von Lössen. Untersuchungen der Lössprofile von Oberfellabrunn und Stillfried

(Niederösterreich). *Eiszeitalter und Gegenwart* 15: 5-39.

Fuentes, N., Carrión, J. S., Fernández, S., Nocete, F., Lizcano Prestel, R., Pérez Bareas, C. (2007). Análisis polínico de los yacimientos arqueológicos Cerro del Alcázar de Baeza y Eras del Alcázar de Úbeda (Jaén). *Anales de Biología*, (29), 85-93.

Fuller, D. Q. (2007). Contrasting patterns in crop domestication and domestication rates: Recent archaeobotanical insights from the old world. *Annals of Botany*, 100(5), 903-924.

G

Galop, D. (1998). La forêt, l'homme et le troupeau dans les Pyrénées. 6000 ans d'histoire de l'environnement entre Garonne et Méditerranée. Geode, Laboratoire d'Ecologie Terrestre, FRAMESPA. Toulouse.

Galop, D., López Sáez, J. A. (2002). Histoire agraire et paléoenvironnement: les apports de la palynologie et des microfossiles non-polliniques. *Trabalhos de Antropologia e Etnologia* 42 (1-2): 161-164.

Gamble, C., Davies, W., Pettitt, P., Richards, M. (2004). Climate change and evolving human diversity in Europe during the last glacial. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, B359 243-254.

García, N., Arsuaga, J. L., Bermúdez de Castro, J. M., Carbonell, E., Rosas, A., Huguet, R. (2008). The Epivillafranchian carnivore *Pannonictis* (Mammalia, Mustelidae) from Sima del Elefante (Sierra de Atapuerca, Spain) and a revision of the Eurasian occurrences from a taxonomic perspective, *Quaternary International* 179, 42-52.

García-Antón, M., Sainz-Ollero, H. (1991). Pollen record from the middle Pleistocene Atapuerca site (Burgos, Spain). *Palaeoclimatology, Palaeogeography, Palaeoecology* 85, 199-206.

García-Martínez de Lagrán, I. (2018). Review of the archaeological contexts and theoretical models of the Neolithisation of Spain: The North Meseta, The Ebro Valley and Catalonia as a case study. *Quaternary International* 472, 172-194.

García Medrano, P., Cáceres, I., Ollé, A., Carbonell, E. (2017). The occupational pattern of the Galería site (Atapuerca, Spain): A technological perspective. *Quaternary International* 433, 363-378.

García Puchol, O., Molina Balaguer, L., Aura Tortosa, J. E., Bernabeu Aubán, J. (2009). From the Mesolithic to the Neolithic on the Mediterranean Coast of the Iberian Peninsula. *Journal of Anthropological Research*, 65(2), 237-251.

García-Ruiz, J. M., Sanjuán, Y., Gil-Romera, G., González-Sampériz, P., Beguería, S., Arnáez, J., Coba-Pérez, P., Gómez-Villar, A., Álvarez-Martínez, J., Lana-Renault, N., Pérez-Cardiel, E., López de Calle, C. (2016). Mid and late Holocene forest fires and deforestation in the subalpine belt of the Iberian range, northern Spain. *Journal of Mountain Science*, 13(10), 1760-1772.

Gastaldo, R. A. (1988). Conspectus of phytotaphonomy. En: *Methods and Applications of Plant Paleoecology* (Eds. DiMichele, W.A. y Wing, S.L.). The Paleontological Association Special Publication, London, 3, 14-28.

Gatta, M., Sinopoli, G., Giardini, M., Giaccio, B., Hajdas, I., Pandolfi, L., Bailey, G., Spikins, P., Rolfo, M. F., Sadori, L. (2016). Pollen from Late Pleistocene hyena (*Crocota crocuta spelaea*) coprolites: An interdisciplinary approach from two Italian sites. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 233, 56-66.

Gauthier, E., Bichet, V., Massa, C., Petit, C., Vanniere, B., Richard, H. (2010). Pollen and non-pollen palynomorph evidence of medieval farming activities in southwestern Greenland. *Vegetation History and Archaeobotany* 19, 427-438.

GEE (1981). *Kaite. Estudios de Espeleología Burgalesa*. Biblioteca Espeleológica Burgalesa. Caja de Ahorros Municipal de Burgos, Burgos.

Gelorini, V., Verbeken, A., van Geel, B., Cocquyt, C., Verschuren, D. (2011). Modern non-pollen palynomorphs from East African lake sediments. *Review of Palaeobotany and Palynology* 164, 143-173.

Gelorini, V., Ssemmanda, I., Verschuren, D. (2012). Validation of non-pollen palynomorphs as paleoenvironmental indicators in tropical Africa: Contrasting ~200-year paleolimnological records of climate change and human impact. *Review of Palaeobotany and Palynology* 186, 90-101.

Genty, D., Diot, M. F., O'Yl, W. (2001). Sources of pollen in stalactite drip water in two caves in southwest France. *Cave Karst Sci.* 28, 59-66.

Gerbault, P., Allaby, R. G., Boivin, N., Rudzinski, A., Grimaldi, I. M., Pires, J. C., Climer Vigueira, C., Dobney, K., Gremillion, K. J., Barton, L., Arroyo-Kalin, M., Purugganan, M. D., Rubio de Casas, R., Bollongino, R., Burger, J., Fuller, D. Q., Bradley, D. G., Balding, D. J., Richerson, P. J., Gilbert, M. T. P., Larson, G., Thomas, M. G. (2014). Storytelling and story testing in domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(17), 6159-6164.

Ghosh, R., D'Rozario, A., Bera, S. (2006). Can palynomorphs occur in burnt ancient potsherds? An experimental proof. *Journal of Archaeological Science* 33: 1445-1451.

Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.

Gil, E., Hoyos, M. (1987). Contexto estratigráfico. En: Aguirre, E., Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J. M. (Eds.). *El hombre fósil de Ibeas y el Pleistoceno de la Sierra de Atapuerca*. Junta de Castilla y León, Consejería de Cultura y Bienestar Social, Valladolid, pp. 47-55.

- Gill, J. L., Williams, J. W., Jackson, S. T., Lininger, K. B., Robinson, G. S. (2009). Pleistocene megafaunal collapse, novel plant communities, and enhanced fire regimes in North America. *Science* 326: 1100-1103.
- Girard, M. (1975). Prélèvements d'échantillons en grotte et station de terrain sec en vue de l'analyse pollinique. *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 72 (5): 158-160.
- Girard, M., Renault-Miskovsky, J. (1969). Nouvelles techniques de préparation en Palynologie appliqués à trois sédiments du Quaternaire final de l'Abri Cornille (Istres - Bouches du Rhône). *Bulletin AFEQ* 4: 275-284.
- Goeury, C., de Beaulieu, J. L. (1979). À propos de la concentration du pollen à l'aide de la liqueur de Thoulet dans les sédiments minéraux. *Pollen et Spores* XXI (1-2): 239-251.
- Goldberg, P., Macphail, R. I. (2006). *Practical and Theoretical Geoarchaeology*. Oxford: Blackwell Science.
- Goldstein, S. (1960). Degradation of pollen by phycomyces. *Ecology* 41, 543-545.
- González-Bernáldez, F. (1981). *Ecología y Paisaje*. Blume, Barcelona.
- González Sáinz, C. (1994). Sobre la cronoestratigrafía del Magdaleniense y Aziliense en la región cantábrica. *Munibe. Antropología y Arqueología* 46: 53-68.
- González-Sampériz, P. (1998). Estudio palinológico de la Cueva de En Pardo (Planes, Alicante). Primeros resultados. *Cuaternario y Geomorfología* 12 (1-2): 45-61.
- González-Sampériz, P., Montes, L., Utrilla, P. (2003). Pollen in hyena coprolites from Gabasa Cave (northern Spain). *Review of Palaeobotany and Palynology* 126: 7-15.
- González-Sampériz, P., Leroy, S. A. G., Carrión, J. S., Fernández, S., García-Antón, M., Gil-García, M. J., Uzquiano, P., Valero-Garcés, B., Figueiral, I. (2010). Steppes, savannahs, forests and phytodiversity reservoirs during the Pleistocene in the Iberian Peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 162(3), 427-457.
- González Sampériz, P., Utrilla, P., Mazo, C., Valero Garcés, B., Sopena, M. C., Morellón, M., Sebastián, M., Moreno, A., Martínez, M. (2009). Patterns of human occupation during the early Holocene in the Central Ebro Basin (NE Spain) in response to the 8.2 ka climatic event. *Quaternary Research* 71, 121-132.
- Graf, M. T., Chmura, G. L. (2006). Development of modern analogues for natural, mowed and grazed grasslands using pollen assemblages and coprophilous fungi. *Review of Palaeobotany and Palynology* 141: 139-149.
- Greig, J. R. A. (1981). The interpretation of pollen spectra from urban archaeological deposits. En: Hall, R. A., Kenward, H. K. (Eds.). *Environmental Archaeology in the Urban Context*, pp. 47-65. Council for British Archaeology Research Report 43, London.
- Grimm, E. C. (1983). Chronology and dynamics of vegetation change in the prairie-woodland region of southern Minnesota, U.S.A. *New Phytologist*, 93, 311-350.
- Grimm, E. C. (1991-2011). Tilia, Tilia-graph and TGView. Illinois State Museum, Springfield.
<http://museum.state.il.us/pub/grimm/tilia/>.
- Gritchouk, V. P. (1940). Les méthodes de traitement des séries sédimentaires, pauvres en débris organiques, en vue de l'analyse pollinique. *Publ. géog. phys.* 8.
- Gros, R. (1984). Contrôle de la validité des analyses sporo-polliniques. *Revue de Paléobiologie volume spécial*: 85-95.
- Grün, R., Aguirre, E. (1987). Datación por ESR y por la serie del U, en los depósitos cársticos de Atapuerca. En: Aguirre, E., Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J. M. (Eds.), *El hombre fósil de Ibeas y el Pleistoceno de*

la Sierra de Atapuerca. Junta de Castilla y León, Valladolid, pp. 201-204.

Guglietta, D., Conedera, M., Mazzoleni, S., Ricotta, C. (2011). Mapping fire ignition risk in a complex anthropogenic landscape. *Remote Sensing Letters* 2 (3), 213-219.

Guilford W. J., Schneider D. M., Labovitz J., Opella S. J. (1988). High-Resolution Solid-State C-13 NMR-Spectroscopy of Sporopollenins from Different Plant Taxa. *Plant Physiology* 86 (1): 134-136.

Guillet, B., Planchais, N. (1969). Note sur une technique d'extraction des pollens des sols par une solution dense. *Pollen et Spores* 11 (1): 141-145.

Gutiérrez Bustillo, M. (1994). Bibliografía palinológica española. Años 1988-92 y adiciones. *Lazaroa*, 14: 139-165.

H

Haas, J. N. (Ed.) (2010). Fresh insights into the palaeoecological and palaeoclimatological value of Quaternary non-pollen palynomorphs. *Vegetation History and Archaeobotany* 19, 389-389.

Hall, S. A. (1981). Deteriorated pollen grains and the interpretation of Quaternary pollen diagrams. *Review of Palaeobotany and Palynology* 32, 193-206.

Hall, S. (1991). Progressive deterioration of pollen grains in south-central US rockshelters. *Journal of Palynology*, 159-164.

Halstead, P. (1989). The beginnings of agriculture. *British Archaeological Reports*, 496, 23-53.

Hanes, T. L. (1971). Succession after fire in the chaparral of southern California. *Ecological Monographs* 41 (1), 27-52.

Harley, M., Ubara, J. (Eds.) (2012). Spermatophyte pollen: evolution, phylogeny, and systematics. *Grana* 44, 252-232.

Havinga, A. J. (1964). Investigation into the differential susceptibility of pollen and spores. *Pollen et Spores* 6, 621-635.

Havinga, A. (1967). Palynology and pollen preservation. *Review of Palaeobotany and Palynology* 2: 81-98.

Havinga, A. (1971). An experimental investigation into the decay of pollen and spores in various soil types. En: Brooks, L. (Ed.). *Sporopollenin*. Academic Press. New York: 446-479.

Havinga, A. J. (1984). A 20-year experimental investigation into the differential corrosion susceptibility of pollen and spores in various soil types. *Pollen et Spores* 26, 541-558.

Hawksworth, D. L., Yip, H. Y. (1981). *Coniochaeta angustispora* sp. nov. from roots in Australia, with a key to the species known in culture. *Australian Journal of Botany* 29, 377-384.

Hawksworth, D. L., Kirk, P. M., Sutton, B. C., Pegler, D. N. (1995). *Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi International & International Mycological Institute*. U.K.

Heim, J. (1970). Les relations entre les spectres polliniques et la végétation actuelle en Europe occidentale. Laboratoire de Palynologie et de Phytosociologie. Université de Louvain. Louvain.

Hicks, S. (1988). The representation of different farming practices in pollen diagrams from northern Finland. In H. H. Birks, H. J. B. Birks, P. E. Kaland *et al.*, (Eds.), *The Cultural Landscape. Past, Present and Future* (pp. 189-207). Cambridge: Cambridge University Press.

Hicks, S. (1993). Pollen evidence of localized impact on the vegetation of northernmost Finland by hunter-gatherers. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2, 137-144.

- Higuera, P. E., Peters, M. E., Brubaker, L. B. (2007). Understanding the origin and analysis of sediment-charcoal records with a simulation model. *Quaternary Science Reviews* 26 (13-14), 1790-1809.
- Higuera, P. E., Brubaker, L. B., Anderson, P. M., Hu, F. S., Brown, T. A. (2009). Vegetation mediated the impacts of post-glacial climate change on fire regimes in the south-central Brooks Range, Alaska. *Ecological Monographs* 79, 201-219. doi:10.1890/07-2019.1
- Higuera, P. E., Gavin, D. G., Bartlein, P. J., Hallett, D. J. (2010). Peak detection in sediment - charcoal records: impacts of alternative data analysis methods on fire-history interpretations. *International Journal of Wildland Fire* 19 (8), 996-1014.
- Hirsch, E., O'Hanlon, M. (eds.) (1995). *The Archaeology of Landscape: Perspectives on Place and Space*, Clarendon Press, Oxford.
- Hochuli, P. A., Feist-Burkhardt, S. (2013). Angiosperm-like pollen and Afropollis from the Middle Triassic (Anisian) of the Germanic Basin (Northern Switzerland). *Frontiers in Plant Science*, 4 (October), 1-14.
- Hodder, I. (1990). *The Domestication of Europe. Structures and Contingency in Neolithic Societies*. Basil Blackwell, Oxford.
- Holliday, V. T. (1992). *Soils in Archaeology. Landscape evolution and human occupation*. Washington: Smithsonian Institution Press.
- Holloway, R. G. (1981). Preservation and experimental diagenesis of pollen exine. Ph.D. Thesis dissertation on file, University of Texas Library, Austin.
- Holloway, R. G. (1989). Experimental mechanical pollen degradation and its application to Quaternary age deposits. *Tex. J. Sci.* 41, 131-145.
- Horn, S. P., Horn, R. D., Byrne, R. (1992). An automated charcoal scanner for paleoecological studies. *Palynology* 16 (1), 7-12.
- Horowitz, A. (1992). *Palynology of Arid Lands*. Elsevier. Amsterdam.
- Huguet, R. (2007). Primeras ocupaciones humanas en la Península Ibérica: Paleo-economía en la Sierra de Atapuerca (Burgos) y la cuenca de Guadix-Baza (Granada) durante el Pleistoceno inferior. Tesis Doctoral. Universitat Rovira i Virgili. Tarragona
- Huguet, R., Díez Fernández-Lomana, J. C., Rossell, J., Cáceres, I., Moreno Lara, V., Ibáñez, N., Saladié, P. (2001). Le gisement de Galería (Sierra de Atapuerca, Burgos, Espagne): un modèle archéozoologique de gestion du territoire durant le Pléistocène. *L'Anthropologie* 105, 237-258.
- Huguet, R., Saladié, P., Cáceres, I., Díez, C., Rosell, J., Bennásar, M., Blasco, R., Esteban-Nadal, M., Gabucio, M. J., Rodríguez-Hidalgo, A., Carbonell, E. (2013). Successful subsistence strategies of the first humans in south-western Europe. *Quaternary International* 295, 168-182.
- Huguet, R., Vallverdú, J., Rodríguez, X. P., Terradillos-Bernal, M., Bargalló, A., Lombera-Hermida, A., Menéndez, L., Modesto-Mata, M., Van der Made, J., Soto, M., Blain, H.-A., García, N., Cuenca-Bescós, G., Gómez-Merino, G., Pérez-Martínez, R., Expósito, I., Allué, E., Rofes, J., Burjachs, F., Canals, A., Bennásar, M., Nuñez-Lahuerta, C., Bermúdez de Castro, J. M., Carbonell, E. (2017). Level TE9c of Sima del Elefante (Sierra de Atapuerca, Spain): A comprehensive approach. *Quaternary International* 433, 278-295.
- Hunt, C. O., Fiacconi, M. (2018). Pollen taphonomy of cave sediments: What does the pollen record in caves tell us about external environments and how do we assess its reliability? *Quaternary International* 485, 68-75.
- Hunt, C. O., Rushworth, G. (2005). Pollen taphonomy and airfall sedimentation in a tropical cave: The West Mouth of The Great Cave of Niah in Sarawak, Malaysian Borneo. *Journal of Archaeological Science*, 32(3), 465-473.

Hunt, C. O., Gilbertson, D. D., Hill, E. A., Simpson, D. (2015). Sedimentation, re-sedimentation and chronologies in archaeologically-important caves: problems and prospects. *Journal of Archaeological Science* 56: 109-116.

Hyde, H. A. (1969). Aeropalynology in Britain-an outline. *New Phytologist* 68, 579-590.

I

Ingersoll, D., Yellen, J. E., Macdonald, W. (1977) *Experimental Archaeology*. Columbia University Press, New York.

Ingold, T. (1986). *The appropriation of Nature. Essays of human ecology and social relations*. Manchester University Press.

Ingold, T. (2009). The Perception of the Environment: Essays in livelihood, dwelling and skill. *AIBR. Revista de Antropología Iberoamericana*, 4, 142-158.

Isern, N., Zilhão, J., Fort, J., Ammerman, A. J. (2017). Modeling the role of voyaging in the coastal spread of the Early Neolithic in the West Mediterranean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(5), 897-902.

Iversen, J. (1941). Land occupation in Denmark's Stone Age. (Landnam in Denmark's Stone Age). *Danmarks Geol. Unders.* 66 (Raekke 2): 1-68.

Iversen, J. (1949). The influence of Prehistoric Man on Vegetation. *Danm. Geol. Unders. Raekke* 4, Bol. 3, no 6: 1-25.

Iversen, J. (1975). *La deforestación en la Edad de Piedra*. En: Blume (Eds.). *El hombre y la ecosfera. Selecciones de Scientific American* 30-36. Madrid.

J

Jackson, S. T., Lyford, M. E. (1999). Pollen dispersal models in Quaternary plant ecology: assumptions, parameters and prescriptions. *The Botanical Review* 65, 39-75.

Jalut, G., Esteban, A., Bonnet, L., Gauquelin, T., Fontugne, M. (2000). Holocene climatic changes in the Western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 160, 255-290.

Jankovska, V., Komarek, J. (2000). Indicative value of *Pediastrum* and other coccal green algae in palaeoecology. *Folia Geobotanica* 35, 59-82.

Janssen, C. (1981). Contemporary pollen assemblages from the Vosges (France). *Review of Palaeobotany and Palynology* 33: 183-313.

Janssen, C.R. (1994) Palynological indications for the extent of the impact of man during Roman times in the western part of the Iberian Peninsula. Evaluation of land surfaces cleared from forests in the Mediterranean region during the time of the Roman empire. En: B. Frenzel (Ed.). *Palaeoclimate Research* 10. Gustav Fischer, Stuttgart, 15-22.

Jarzen, D. M., Elsik, W. C. (1986). Fungal palynomorphs recovered from recent river deposits, Luangwa valley, Zambia. *Palynology* 10: 35-60.

Jennings, D. H., Lysek, G. (1996). *Fungal Biology: Understanding the fungal lifestyle*. Biddles Ltd. Guildford.

Jennings, J. D. (1957). Danger Cave. *Soc. Am. Archeol. Mem.* 14: 1-328.

Jennings, J. D. (1980). Cowboy Cave. *Univ. Utah. Anthropol. Pap.* 104: 224.

Jessen, K. (1935). Archaeological dating in the history of North Jutland's vegetation. *Acta Arch.* 5: 185-214.

Joffre, R., Rambal, S. (2002). Mediterranean ecosystems. En: Nature Publishing Group (Ed.) *Encyclopedia of life sciences*. Macmillan Publishers Ltd, London.

Jones, G. D., Bryant, V. M. (1992). Melissopalynology in the United States: a review and critique. *Palynology* 16, 63-71.

Jones, J., Tinsley, H., Brunning, R. (2007). Methodologies for assessment of the state of preservation of pollen and plant macrofossil remains in waterlogged deposits. *Environmental Archaeology* 12 (1), 71-86.

Jouy-Avantin, F., Debenath, A., Moigne, A. M., Moné, H. (2003). A standardized method for the description and the study of coprolites. *Journal of Archaeological Science* 30: 367-372.

Julià, R., Riera, S. Burjachs, F. (2001). Holocene short events in the Iberian Peninsula based on pollen records. *Terra Nostra* 2001/2: 42-49

Juvigne, E. (1973). Une méthode de séparation des pollens applicable aux sédiments minéraux. *Ann. Soc. Géol. Belg.* 96: 253- 262.

K

Karavani, A., Boer, M. M., Baudena, M., Colinas, C., Díaz-Sierra, R., Pemán, J., de Luis, M., Enríquez-de-Salamanca, Á., Resco de Dios, V. (2018). Fire-induced deforestation in drought-prone Mediterranean forests: Drivers and unknowns from leaves to communities. *Ecological Monographs*, (January).

Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire* 18:116-126

Keeley, J. E., Bond, W. J., Bradstock, R. A., Pausas, J. G., Rundel, P. W. (2012). *Fire in Mediterranean ecosystems—ecology, evolution and management*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Kelly, R. F., Higuera, P. E., Barrett, C. M., Hu, F. S. (2011). A signal-to-noise index to quantify the potential for peak detection in sediment-charcoal records. *Quaternary Research*, 75(1), 11-17.

King, J. E., Klippel, W. E., Duffield, R. (1975). Pollen preservation and archaeology in Eastern North America. *American Antiquity* 40: 180-190.

Krug, J. C., Benny, G. L., Keller, H. W. (2004). Coprophilous Fungi. En: Mueller, G. M., Bills, G. F., Foster, M. S. (Eds.). *Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods*. Elsevier Academic Press, USA, 467-499.

Kuhry, P. (1985). Transgression of a raised bog across a coversand ridge originally covered with an oak-lime forest. Paleoeological study of a Middle Holocene local vegetational succession in the Amtsven (northwest Germany). *Review of Palaeobotany and Palynology* 44, 303-353.

Kuhry, P. (1997). The palaeoecology of a treed bog in western boreal Canada: a study based on microfossils, macrofossils and physico-chemical properties. *Review of Palaeobotany and Palynology* 96: 183-224.

L

Lacey, J. (1996). Spore dispersal-its role in ecology and disease: the British contribution to fungal aerobiology. *Mycological Research* 100: 41-60.

Lacey, M. E., West, J. S. (2006). *The Air Spora: a manual for catching and identifying airborne biological particles*. Springer, Dordrecht.

Laurie, M. (1970). Objectives of landscape evaluation. Landscape Research Group, Conf. II, American Elsevier Publishing Company, New York.

Lebreton, V., Messenger, E., Marquer, L.,

- Renault-Miskovsky, J. (2010). A neotaphonomic experiment in pollen oxidation and its implications for archaeopalynology. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 29-38.
- Lebreton, V., Bertini, A., Russo Ermolli, E., Stirparo, C., Orain, R., Vivarelli, M., Combourieu-Nebout, N., Peretto, C., Arzarello, M. (2018). Tracing Fire in Early European Prehistory: Microcharcoal Quantification in Geological and Archaeological Records from Molise (Southern Italy). *Journal of Archaeological Method and Theory*, 1-29.
- Ledru, M. P., Ceccantini, G., Gouveia, S. E. M., López-Sáez, J. A., Pessenda, L. C. R., Ribeiro, A. S. (2006). Millennial-scale climatic and vegetation changes in a northern Cerrado (Northeast Brazil) since the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews* 25, 1110-1126.
- Lejju, B. J., Taylor, D., Robertshaw, P. (2005). Late-Holocene environmental variability at Munsu archaeological site, Uganda: a multicore, multiproxy approach. *The Holocene* 15, 1044-1061.
- Lentfer, C. J., Boyd, W. E. (2000). Simultaneous extraction of phytoliths, pollen and spores from sediments. *Journal of Archaeological Science* 27: 363-372.
- Leroi-Gourhan, A. (1973). Analyses polliniques. Préhistoire et variations climatiques quaternaires. En: *Colloques Internationaux du CNRS* 219. *Les méthodes quantitatives d'étude des variations du climat au cours du Pléistocène*: 61-66.
- Limaye, R. B., Kumaran, K. P. N., Nair, K. M., Padmalal, D. (2007). Non-pollen palynomorphs as potential palaeoenvironmental indicators in the Late Quaternary sediments of the west coast of India. *Current Science* 92, 1370-1382.
- Lindskoug, H. B. (2010). Tras las huellas del fuego. Aportes del análisis de microcarbones a la arqueología del valle de Ambato (Catamarca). En: *Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Argentina*. Tomo IV: 1405-1410. Facultad de Filosofía y Letras-Universidad Nacional de Cuyo y Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales-CCT Conicet, Mendoza.
- Lindskoug, H. B. (2014). In pursuit of the fire: Contributions of microcharcoal analysis to the archaeology of the Ambato valley (Catamarca). En: Kligmann, D. M., Morales, M. R. (Eds.). *Physical, Chemical and Biological Markers in Argentine Archaeology. Theory, Methods and Applications*, pp: 117-130. British Archaeological Reports International Series 2678. Archaeopress, Oxford.
- Lindskoug, H. B., Marconetto, M. B. (2014). Paleotología de fuegos en el Valle de Ambato (Catamarca). *Intervenciones en Antropología* 15 (1), 23-37.
- Linseele, V., Marinova, E., Van Neer, W., Vermeersch, P. M. (2010). Sites with Holocene dung deposits in the Eastern Desert of Egypt: Visited by herders? *Journal of Arid Environments*, 74(7), 818-828.
- Linseele, V., Riemer, H., Baeten, J., De Vos, D., Marinova, E., Ottoni, C. (2013). Species identification of archaeological dung remains: A critical review of potential methods. *Environmental Archaeology* 18, 5-17.
- Lobo, J. M., Veiga, C. M. (1990). Interés ecológico y económico de la fauna coprófaga en pastos de uso ganadero. *Ecología* 4: 313-331.
- López-García, J. M., Blain, H. A., Marfà, R., De García, A., Bennàsar, M., Cuenca-Bescós, G. (2011). Small mammals from the middle Pleistocene layers of the Sima del Elefante (Sierra de Atapuerca Burgos northwestern Spain). *Geologica Acta* 9 (1), 29-43.
- López García, P. (1977a). El Neolítico en la Península Ibérica. Perspectivas actuales de su estudio. Tesis Doctoral. Universidad Complutense. Madrid.

- López García, P. (1977b). Análisis polínico de Verdelpino (Cuenca). *Trabajos de Prehistoria* 34: 31-83.
- López García, P. (1978). Resultados polínicos del Holoceno en la Península Ibérica. *Trabajos de Prehistoria* 35: 9-44.
- López García, P. (1982). Polen para arqueólogos. *Revista de Arqueología* 21: 8-13.
- López García, P. (1984). Aplicaciones de la Palinología a la Prehistoria: métodos utilizados y resultados. En: *Actas Primeras Jornadas de Metodología de Investigación Prehistórica*. Soria, 1981. Dirección General de Bellas Artes y Archivos, Ministerio de Cultura. I: 309-317. Madrid.
- López García, P. (1985). Resultados de análisis polínicos del Holoceno en la Meseta española procedentes de yacimientos arqueológicos. *Anales de la Asociación de Palinólogos de Lengua Española* 2: 283-288.
- López García, P. (1986). Estudio palinológico del Holoceno español a través del análisis de yacimientos arqueológicos. *Trabajos de Prehistoria* 43: 143-158.
- López García, P., Uzquiano, P., Arnanz, A. M. (1997). La arqueobotánica como medio de aproximación al conocimiento del papel del hombre en el proceso de cambio de vegetación en la cuenca mediterránea. En: Ibáñez, J. J., Valero, B. L. y Machado, C. (Eds.). *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación*. Geoforma Ediciones: 363-378. Logroño.
- López García, P., López Sáez, J. A., Macías Rosado, R. (2002). La Paleopalínología en el Laboratorio de Arqueobotánica del Departamento de Prehistoria, Instituto de Historia, CSIC: 1977-2002. *Trabajos de Prehistoria* 59: 143-156.
- López-Merino, L., López-Sáez, J. A., Alba-Sánchez, F., Pérez-Díaz, S., Abel-Schaad, D., Guerra-Doce, E. (2009). Estudio polínico de una laguna endorreica en Almenara de Adaja (Valladolid, Meseta Norte): cambios ambientales y actividad humana durante los últimos 2.800 años. *Revista Española de Micropaleontología*, 41(3), 333-347.
- López-Sáez, J. A., López García, P. (1992). Dinámica del paisaje: un modelo de interpretación a través de la Paleopalínología. En: Martín Duque, J. F. (Eds.). *V Jornadas sobre el Paisaje: Transformaciones del Paisaje en áreas de influencia de grandes núcleos urbanos*: 375-385. Segovia.
- López-Sáez, J. A., López-García, P. (2003). Pollen analysis from Early and Middle Holocene archaeological sites in the Blue Nile area, Central Sudan. *Complutum*, 14, 397-400.
- López-Sáez, J. A., Blanco González, A. (2004). El paisaje de una comunidad agraria en el borde de la Cuenca del Duero: análisis paleopalínológico del yacimiento Protocogotas de la Gravera de Puente Viejo (Mingorría, Ávila, España). *Zephyrus* 57: 195-219.
- López-Sáez, J. A., López-Merino, L. (2005). Precisiones metodológicas acerca de los indicios paleopalínológicos de agricultura en la Prehistoria de la Península Ibérica. *Portugalia*, XXVI, 53-64.
- López-Sáez, J. A., López-Merino, L. (2007). Coprophilous fungi as a source of information of anthropic activities during the Prehistory in the Amblés Valley (Ávila, Spain): the archaeopalynological record. *Revista Española de Micropaleontología* 39: 103-116.
- López-Sáez, J. A., Núñez de la Fuente, S. (2017). El proceso de neolitización desde una perspectiva paleoambiental. En: Pérez-Díaz, S., Ruiz-Fernández, J., López-Sáez, J. A., García-Hernández, C. (Eds.). *Cambio Climático Y Cultural En La Península Ibérica*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo.
- López-Sáez, J. A., Díaz Fernández, P. M., Sánchez Villapadierna, J. J. (1991). La Criptogamia: Ciencia complemento de la Arqueología. *Trabajos de Prehistoria* 48: 383-393.

López-Sáez, J. A., van Geel, B., Farbos-Texier, S., Diot, M. F. (1998). Remarques paléocologiques à propos de quelques palynomorphes non-polliniques provenant de sédiments quaternaires en France. *Revue de Paléobiologie, Genève* 17 (2): 445-459.

López-Sáez, J. A., van Geel, B., Martín Sánchez, M. (2000). Aplicación de los microfósiles no polínicos en Palinología Arqueológica. En: Oliveira Jorge, V. (Ed.). *Contributos das Ciências e das Tecnologias para a Arqueologia da Península Ibérica. Actas 3º Congresso de Arqueologia Peninsular*. Adecap, Porto. IX: 11-20. Vila-Real, Portugal, setembro de 1999.

López-Sáez, J. A., Dorado Valiño, M., Burjachs, F., Ruiz Zapata, M. B., López García, P., Fabián, F. (2003a). Paleoambiente y paleoeconomía durante la Prehistoria en el Valle de Amblés (Ávila). XIV *Simposio de la APLE*, Salamanca, septiembre 2002.

López-Sáez, J. A., López García, P., Burjachs, F. (2003b). Arqueopalinología: Síntesis Crítica. *Polen* 12: 5- 35.

López-Sáez, J. A., López Merino, L., Cugny, C., Galop, D. (2005). Paleoecología de medios húmedos: el aporte de los microfósiles no polínicos. *Nuestra Tierra* 3: 13-15.

López-Sáez, J. A., Burjachs, F., López García, P., López Merino, L. (2006). Algunas precisiones sobre el muestreo en arqueopalinología. *Polen* 15: 17-29.

López-Sáez, J. A., Abel-Schaad, A., Pérez-Díaz, S., Blanco-González, A., Alba-Sánchez, F., Dorado, M., Ruiz-Zapata, B., Gil-García, M. J., Gómez-González, C., Franco-Múgica, F. (2014). Vegetation history, climate and human impact in Spanish Central System over the last 9000 years. *Quaternary International* 353: 98- 122.

Loublier, I. (1978). Application de l'analyse pollinique à l'étude du paleoenvironnement du remplissage Würmien de la grotte de L'Arbreda (Espagne) (Unpublished Thèse 3^{ème}

cycle). Académie de Montpellier, U. S. T. Ls, Montpellier.

Lowe, J. J. (1982). Three Flandrian pollen profiles from the Teith Valley, Perthshire, Scotland. II. Analysis of deteriorated pollen. *New Phytologist* 90, 371-385.

Lukes, A., Zvelebil, M. (2008). Inter-generational transmission of culture and LBK origins: some indications from eastern-central Europe. En: D. Bailey, A. Whittle y D. Hofmann (Eds.). *Living well together? Settlement and materiality in the Neolithic of south-east and central Europe*, Oxford, Oxbow Books, 129-150.

Lyell, Ch. (1830-1833). *Principles of Geology, first edition*. 1990-1991. University of Chicago Press. 864 pp.

Lynch, J. A., Clark, J. S., Stocks, B. J. (2004). Charcoal production, dispersal, and deposition from the fort providence experimental fire: interpreting fire regimes from charcoal records in boreal forests. *Can. J. For. Res.* 34, 1642-1656.

M

Marinova, E. (2007). Archaeobotanical data from the early Neolithic of Bulgaria. *The Origins and Spread of Domestic Plants in Southwest Asia and Europe*, 93-109.

Marinova, E., Tonkov, S., Bozilova, E., Vajsov, I. (2012). Holocene anthropogenic landscapes in the Balkans: The palaeobotanical evidence from southwestern Bulgaria. *Vegetation History and Archaeobotany*, 21(4-5), 413-427.

Marlon, J., Bartlein, P. J., Whitlock, C. (2006). Fire-fuel-climate linkages in the northwestern USA during the Holocene. *The Holocene* 16 (8), 1059-1071.

Marlon, J. R., Bartlein, P. J., Carcaillet, C., Gavin, D. G., Harrison, S. P., Higuera, P. E., Joos, F., Power, M. J., Prentice, I. C. (2008).

Climate and human influences on global biomass burning over the past two millennia. *Nature Geoscience* 1, 607-702.

Martín, P. (2015). *Caracterización zooarqueológica de las cuevas redil en la Prehistoria de la Meseta Norte: el caso de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos)*. Universitat Rovira i Virgili.

Martín, P., Rosell, J., Vergès, J. M. (2009). La gestión de los recursos faunísticos durante el Neolítico en la Sierra de Atapuerca (Burgos): los niveles 19 y 20 de la Cueva del Mirador. *Trabajos de Prehistoria*, 66(2), 77-92.

Martín, P., García-González, R., Nadal, J., Vergès, J. M. (2016). Perinatal ovicaprine remains and evidence of shepherding activities in Early Holocene enclosure caves: El Mirador (Sierra De Atapuerca, Spain). *Quaternary International*, 414, 316-329.

Martin, P. S. (1963). The last thousand years, a fossil pollen of the American Southwest. University of Arizona, Tucson.

Martin, P. S., Sharrock, F. W. (1964) Pollen analysis of prehistoric human feces: a new approach to ethnobotany. *American Antiquity* 30: 168-180.

Martín-Closas, C., Gómez, B. (2004). La Tafonomía vegetal: una herramienta para la reconstrucción de la vegetación del pasado. En: *Aportaciones Recientes En El Conocimiento de La Historia de La Vida*. Trabajos Del VI Curso de Paleontología En Cuenca. Fundación de Cultura. Ciudad de Cuenca, Cuenca, pp. 45-70.

Martín Sánchez, M., López-Sáez, J. A. (2002). Paleoecología del fuego: una aproximación a partir de microfósiles no polínicos. En: Rojo Guerra, M. A. y Kunst, M. (Eds.). *Sobre el significado del fuego en los rituales funerarios del Neolítico*. Studia Archaeologica 91 Universidad de Valladolid, Valladolid: 147-154.

Martínez Atienza, F. (1999). Bibliografía (1945-1998) paleopolínica del Holoceno

Ibérico. *Boletín de la Real Sociedad de Historia Natural (Sección Biología)* 95 (1-2): 5-30.

Mathieu, J. R. (Ed.) (2002). *Experimental Archaeology: Replicating Past Objects, Behaviours and Processes*. B. A. R., *International Series* 1035. Archaeopress, Oxford.

McAndrews, J. H., King, J. E. (1976). Pollen of the North American Quaternary: the top twenty. *Geoscience and Man* 15: 41-49.

McAndrews, J. H., Turton, C. L. (2010). Fungal spores record Iroquoian and Canadian agriculture in 2nd millennium A.D. sediment of Cawford Lake, Ontario, Canada. *Vegetation History and Archaeobotany* 19, 495-501.

McBrearty, S., Bishop, L., Plummer, T., Dewar, R., Conard, N. (1998). Tools Underfoot: Human Trampling as an Agent of Lithic Artifact Edge Modification. *American Antiquity* 63 (1): 108-116.

McDonnell, M. J., Pickett, S. T. A. (1993). *Humans as components of ecosystems: the ecology of subtle human effects and populated areas*. Springer Verlag, New York.

Medeanic, S. (2006). Freshwater algal palynomorph records from Holocene deposits in the coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 141: 83-101.

Menéndez Amor, J., Florschütz, F. (1963). Sur les éléments steppiques dans la végétation Quaternaire de l'Espagne. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (sección Geología)* 61: 121-133.

Mercuri, A. M. (2010). Editorial: Archaeobotany for cultural landscape and human impact reconstructions. *Plant Biosystems* 144(4), 860-864.

Millsaugh, S. H., Whitlock, C. (1995). A 750-year fire history based on lake sediment records in central Yellowstone National Park, USA. *The Holocene* 5 (3): 283-292.

- Minckley, T. A., Davis, O. K., Eastoe, C., Blinn, D. W. (1997). Analysis of environmental indicators from a mastodon site in the Prescott National Forest, Yavapai County, Arizona. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science* 1: 23-29.
- Miola, A. (2012). Tools for Non-Pollen Palynomorphs (NPPs) analysis: A list of Quaternary NPP types and reference literature in English language (1972-2011). *Review of Palaeobotany and Palynology* 186, 142-161.
- Miola, A., Bondesan, A., Corain, L., Favaretto, S., Mozzi, P., Piovan, S., Sostizzo, I. (2006). Wetlands in the Venetian Po Plain (northeastern Italy) during the Last Glacial Maximum: Interplay between vegetation, hydrology and sedimentary environment. *Review of Palaeobotany and Palynology* 141 (1-2): 53-81.
- Montoya E., Rull V., van Geel, B. (2010). Non-pollen palynomorphs from surface sediments along an altitudinal transect of the Venezuelan Andes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 297: 169-183.
- Moore, J. A. (1985). *Forager/Farmer interactions: information, social organisation and the frontier*. En: S.W. Green y S.M. Perlman (Eds.), pp 93-112.
- Moore, P. D., Webb, J. A., Collinson, M. E. (1991). *Pollen Analysis*. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Moral del Hoyo, S., Rodríguez Marcos, J. A., Díez Fernández-Lomana, C. (2003-2004). Las cerámicas de la Cueva del Mirador (Ibeas de Juarros, Burgos) en el contexto del Bronce Medio de la Submeseta norte. *Boletín del Seminario de Estudios de Arte*: BSAA 60-70: 57-74.
- Morales Molino, C., García-Antón, M., Postigo-Mijarra, J. M., Morla-Juaristi, C. (2013). Holocene vegetation, fire and climate interactions on the westernmost fringe of the Mediterranean Basin. *Quaternary Science Reviews*, 59, 5-17.
- Morin, E. (1984). *Ciencia con consciencia*. Anthropos. Madrid.
- Morzadec-Kerfourn, M. T. (1977). Remarques concernant la corrosion des grains de pollen dans les sédiments soumis à l'altération. En: Laville, H. y Renault-Miskovsky, J. (Eds.). *Approche écologique de l'homme fossile. Supplément du Bulletin de l'Association française pour l'Etude du Quaternaire*, 47: 51-52.
- Moscovici, S. (1975). *Sociedad contra Natura*. México: Siglo XXI (París: Union Générale d'éditions, 1972).
- Moulton, S. (Ed.) (1942). *Aerobiology*. American Association of Advanced Science, Washington 17: 1-289.
- Mudie, P. J., Marret, F., Rochon, A., Aksu, A. E. (2010). Non-pollen palynomorphs in the Black Sea corridor. *Vegetation History and Archaeobotany* 19: 531-544.
- Muller, J. (1959). Palynology of recent Orinoco delta and shelf sediments. *Micropaleontology* 5, 1-32.
- Müller, A. H. (1963). *Lehrbuch der Paläozoologie*. 1. Allgemeine Grundlagen. C. Die Fossilisationslehre. Fischer, Jena: 17-134.
- Müller, A. H. (1979). Fossilization (Taphonomy). En: R. A. Robinson y C. Teichert (Eds.). *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part A, Introduction*. Geological Society of America & University of Kansas Press, Boulder, Colorado: A2-A78.
- Mumbi, C. T., Marchant, R., Hooghiemstra, H., Wooller, M. J. (2008). Late Quaternary vegetation reconstruction from the Eastern Arc Mountains, Tanzania. *Quaternary Research* 69, 326-341.
- Muñoz-Sobrino, C., Ramil-Rego, P., Rodríguez Guitián, M. A. (2001). Vegetation in the mountains of northwest Iberia during the last glacial-interglacial transition. *Vegetation History and Archaeobotany*, 10, 7-21.

Muñoz Sobrino, C., Ramil-Rego, P., Gómez-Orellana, L., Díaz Varela, R. A. (2005). Palynological data on major Holocene climatic events in NW Iberia. *Boreas*, 34(3), 381-400.

N

Navarro, C. (2000). Potencial analítico de los registros polínicos en cuevas. Tafonomía y paleoecología. Tesis Doctoral, Universidad de Murcia, Murcia.

Navarro, C., Carrión, J. S., Navarro, J., Munuera, M., Prieto, A. R. (2000). An experimental approach to the palynology of cave deposits. *Journal of Quaternary Science* 15 (6): 603-619.

Navarro, C., Carrión, J. S., Munuera, M. (2001a). Tafonomía polínica en la Cueva del Ardacho (Albacete, España). *Cuaternalario y Geomorfología* 15 (1-2): 61-74.

Navarro, C., Carrión, J. S., Munuera, M., Prieto, A. R. (2001b). Sedimentación y distribución superficial de palinomorfos en cuevas del SE ibérico. Implicaciones en paleoecología. *Anales de Biología* 23: 103-132.

Navarro, C., Carrión, J. S., Munuera, M., Prieto, A. R. (2001c). Cave surface pollen and the palynological potential of karstic cave sediments in palaeoecology. *Review of Palaeobotany and Palynology* 117: 245-265.

O

Olive, A., Ramírez Merino, J. L., Ortega, L. I. (1990). Mapa Geológico de España E. 1:50000 (Belorado, 201). *Madrid: I.T.G.E.*

Ollé, A., Cáceres, I., Vergès, J. M. (2005). Human occupations at Galeria site (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain) after the technological and taphonomical data. En: Molines, N., Moncel, M.-H., Monnier, J.-L.

(Eds.). *Les premiers peuplements en Europe. Colloque international: Données récentes sur les modalités de peuplement et sur le cadre chronostratigraphique, géologique et paléogéographique des industries du Paléolithique ancien et moyen en Europe*, British Archaeological Series, International Series, S1364. John and Erika Hedges Ltd, Oxford, 269-280.

Ollé, A., Hugué, R. (1999). Secuencia arqueostratigráfica del yacimiento de Galería, Atapuerca. En: Carbonell, E., Rosas, A., Díez, C. (Eds.). *Atapuerca: Ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*. Junta de Castilla y León, 55-62.

Ollé, A., Mosquera, M., Rodríguez-Alvarez, X.-P., Lombera-Hermida, A., García-Antón, M. D., García-Medrano, P., Peña, L., Menéndez, L., Navazo, M., Bernal, M., Bargalló, A., Marquez, B., Sala Ramos, R., Carbonell, E. (2013). The early and Middle Pleistocene Technological Record from Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain), *Quaternary International* 295: 138-167.

Oms, F. X., Marsal, R., Moral, S., Vergès, J. M., Fontanals, M. (2014). Vessels of the shepherds: the Neolithic pottery sequence at El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain) C.6300-4760 BP. En: *XVII UISPP World Congress. Abstracts*: 766.

O'Rourke, M. K., Mead, J. I. (1985). Late Pleistocene and Holocene pollen records from two caves in the Grand Canyon of Arizona, USA. En: Jacobs, B. F., Fall, P. L. y Davis, O. K. (Eds.). *Late Quaternary Vegetation and Climates of the American Southwest*. AASP *Contribution Series* 16: 169-186.

Ortega, A. I. (2009). Evolución geomorfológica del Karst de la Sierra de Atapuerca (Burgos) y su relación con los yacimientos pleistocenos que contiene. Tesis Doctoral, Universidad de Burgos, 627 pp.

Ortega, A. I., Martín, M. A. (2012). *Cuevas de Atapuerca. Una visión de la mano del Grupo espeleológico Edelweiss*. Burgos: Publicaciones de la Excma, Diputación Provincial de Burgos y del Grupo espeleológico Edelweiss.

Ortega, A. I., Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Carbonell, C., Bermúdez de Castro, J. M., Arsuaga, J. L. (2014). Atapuerca Karst and its Palaeoanthropological Sites. En: Gutiérrez, F., Gutiérrez, M. (Eds.). *Landscapes and Landforms of Spain*. Springer, Dordrecht, pp. 101-110.

Ortega, A. I., Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Martín-Merino, M. A., Pérez-Martínez, R., Parés, J. M., Aramburu, A., Arsuaga, J. L., Bermúdez de Castro, J. M., Carbonell, E. (2013). Evolution of multilevel caves in the Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain) and its relation to human occupation. *Geomorphology* 196, 122-137.

P

Pals, J. P., van Geel, B., Delfos, A. (1980). Palaeoecological studies in the Klokkeweel Bog near Hoogkarspel (Province of Noord-Holland). *Review of Palaeobotany and Palynology* 30: 371-418.

Panadès Blas, X., Bartolomé Filella, J., Strömberg, C., Soriano Tomás, I., Buckland, P., Serieysson, K. K., Bach, J., Arillo Aranda, A., Lozar, F., Stevenson, T., Chamorro Lorenzo, L., Ditchfield, P. (2017). The utility of livestock dung for reconstructing recent ethnological and environmental histories. *Environmental Archaeology*, 22(2), 128-146.

Pantaleón Cano, J., Pérez-Obiol, R., Yll, E. I., Roure, J. M. (1996). Significado de *Pseudoschizaea* en las secuencias sedimentarias de la vertiente mediterránea de la Península Ibérica e Islas Baleares. En: Ruiz Zapata, M. B. (Eds.). *Estudios palinológicos*. Universidad de Alcalá: 101-105. Alcalá de Henares.

Parés, J. M., Pérez-González, A. (1995). Paleomagnetic age for hominid fossils at Atapuerca Archaeological site, Spain. *Science* 269, 830-832.

Parés, J. M., Pérez-González, A. (1999). Magnetochronology and stratigraphy at Gran

Dolina section, Atapuerca (Burgos, Spain). *Journal of Human Evolution* 37, 325-342.

Parés, J. M., Pérez González, A., Rosas, A., Benito, A., Bermúdez de Castro, J. M., Carbonell, E., Huguet, R. (2006). Matuyama-age lithic tools from the Sima del Elefante site, Atapuerca (northern Spain). *Journal of Human Evolution* 50, 163-169.

Patterson, W. A., Edwards, K. J., Maguire, D. J. (1987). Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire. *Quaternary Science Reviews* 6 (1), 3-23.

Pausas, J. G. (2004). Changes in Fire and Climate in the Eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin). *Climatic Change* 63 (3), 337-350.

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 Burg i a la Vallferrera. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, 581 pp.

Pèlachs, A., Soriano, J. M., Nadal, J., Esteban, A. (2007). Holocene environmental history and human impact in the Pyrenees. *Contributions to Science* 3, 421-429.

Pèlachs, A., Julià, R., Pérez-Obiol, R., Soriano, J. M., Bal, M. C., Cunill, R., Catalán, 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.

Peña-Chocarro, L., Zapata-Peña, L. (2012). Las transformaciones económicas del Neolítico en la Península Ibérica: la agricultura. En: Rojo Guerra, M., Garrido Pena, R., García Martínez de Lagrán, I. (Eds.). *El Neolítico En La Península Ibérica y Su Contexto Europeo*. Cátedra, Madrid, pp. 95-106.

Peña-Chocarro, L., Zapata-Peña, L., Iriarte-Chiapusso, M. J., González-Morales, M., Guy Straus, L. (2005). The oldest agriculture in

northern Atlantic Spain: New evidence from El Mirón Cave (Ramales de la Victoria, Cantabria). *Journal of Archaeological Science*, 32(4), 579–587.

Peñalba, M. C. (1994). The history of Holocene vegetation in northern Spain from pollen analysis. *Journal of Ecology* 82: 815–832.

Pérez-Díaz, S., López-Sáez, J. A. (2012). Paleopaisaje y dinámica antrópica durante la Protohistoria alavesa. Una perspectiva paleoambiental. *Cuadernos de Arqueología. Universidad de Navarra*, 20, 153–183.

Pérez-Díaz, S., López-Merino, L., López-Sáez, J. A. (2007). Paleovegetación durante la Edad del Bronce en La Rioja alavesa: Análisis palinológico del yacimiento de Peña Parda (La Guardia, Álava). *Cuadernos de Arqueología Universidad de Navarra*, 15, 177–192.

Pérez-Díaz, S., López-Sáez, J. A., Lestón Gómez, M. (2016). Paisajes y Megalitismo. Paleambiente y Antropización en el entorno del conjunto arqueológico de Dombate (A Coruña). *ARPI*, 05(415), 27–46.

Pérez-Díaz, S., López-Sáez, J. A., Núñez de la Fuente, S., Ruiz-Alonso, M. (2018). Early farmers, megalithic builders and the shaping of the cultural landscapes during the Holocene in Northern Iberian mountains. A palaeoenvironmental perspective. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 18(January), 463–474.

Pérez-Díaz, S., Ruiz-Fernández, J., López-Sáez, J. A., García-Hernández, C. (Eds.) (2017). *Cambio Climático Y Cultural En La Península Ibérica*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo.

Pérez-González, A., Parés, J. M., Aleixandre, T., Ortega, A. I., Pinilla, A. (1999). Geología y estratigrafía del relleno de Galería de la Sierra de Atapuerca (Burgos). En: Carbonell Roura, E., Rosas, A. y Díez, J. C. (Eds.). *Atapuerca: Ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*. Junta de Castilla y León, Consejería de Educación y Cultura. 7: 31–42. Zamora.

Pérez-González, A., Parés, J. M., Carbonell, E., Aleixandre, T., Ortega, A. I., Benito, A., Martín Merino, M. A. (2001). Géologie de la Sierra de Atapuerca et stratigraphie des remplissages karstiques de Galería et Dolina (Burgos, Espagne). *L'Anthropologie* 105, 27–43.

Pérez-Obiol, R., Julià, R. (1994). Climatic change on the Iberian Peninsula recorded in a 30000-yr pollen record from Lake Banyoles. *Quaternary Research*, 41: 91–98.

Peters, M. E., Higuera, P. E. (2007). Quantifying the source area of macroscopic charcoal with a particle dispersal model. *Quaternary Research* 67 (2), 304–310.

Pineda, A., Arce, J. M. (1993). Mapa Geológico de España E. 1:50000 (Burgos, 200). *Madrid: I.T.G.E.*

Pineda, A., Saladié, P., Expósito, I., Rodríguez-Hidalgo, A., Cáceres, I., Huguet, R., Rosas, A.; López-Polín, L.; Estalrich, A.; García-Taberner, A.; Vallverdú, J. (2017). Characterizing hyena coprolites from two latrines of the Iberian Peninsula during the Early Pleistocene: Gran Dolina (Sierra de Atapuerca, Burgos) and la Mina (Barranc de la Boella, Tarragona). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 480, 1–17.

Pinhasi, R., Pluciennik, M. (2004). A regional biological approach to the spread of farming in Europe: Anatolia, the Levant, South-Eastern Europe, and the Mediterranean. *Current Anthropology* 45, 59–82.

Polo-Díaz, A. (2009). Evidence of successive stabling episodes during Neolithic by microstratigraphy and micromorphology: the rockshelter of Los Husos II (Upper Ebro Basin, Spain). *Frankfurter Geowiss. Arbeiten*. Band 30, 99 – 109.

Pons, A., Reille, M. (1986). Nouvelles recherches pollenanalytiques à Padul (Granada): La fin du dernier Glaciaire et l'Holocène. En: López-Vera, F. (Ed.). *Quaternary Climate in Western Mediterranean*. Universidad Autónoma de Madrid: 405–420. Madrid.

Power, M. J., Marlon, J., Ortiz, N., Bartlein, P. J., Harrison, S. P., Mayle, F. E., Ballouche, A., Bradshaw, R. H. W., Carcaillet, C., Cordova, C., Mooney, S., Moreno, P. I., Prentice, I. C., Thonicke, K., Tinner, W., Whitlock, C., Zhang, Y., Zhao, Y., Ali, A. A., Anderson, R. S., Beer, R., Behling, H., Briles, C., Brown, K. J., Brunelle, A., Bush, M., Camill, P., Chu, G. Q., Clark, J., Colombaroli, D., Connor, S., Daniau, A.-L., Daniels, M., Dodson, J., Doughty, E., Edwards, M. E., Finsinger, W., Foster, D., Frechette, J., Gaillard, M.-J., Gavin, D. G., Gobet, E., Haberle, S., Hallett, D. J., Higuera, P., Hope, G., Horn, S., Inoue, J., Kaltenrieder, P., Kennedy, L., Kong, Z. C., Larsen, C., Long, C. J., Lynch, J., Lynch, E. A., McGlone, M., Meeks, S., Mensing, S., Meyer, G., Minckley, T., Mohr, J., Nelson, D. M., New, J., Newnham, R., Noti, R., Oswald, W., Pierce, J., Richard, P. J. H., Rowe, C., Sanchez Goñi, M. F., Shuman, B. N., Takahara, H., Toney, J., Turney, C., Urrego-Sanchez, D. H., Umbanhowar, C., Vandergoes, M., Vanniére, B., Vescovi, E., Walsh, M., Wang, X., Williams, N., Wilmshurst, J., Zhang, J. H. (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, (7-8), 887-907.

Prentice, I. C. (1985). Pollen representation, source area and basin size: towards a unified theory of pollen analysis. *Quaternary Research* 23, 76-86.

Prieto, A. R., Carrión, J. S. (1999). Tafonomía Polínica: sesgos bióticos y abióticos del registro polínico en cuevas. *X Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología*.

Prigogine, I., Stengers, I. (1990). *La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia*. Alianza Editorial. Madrid.

Puertas, O. (1997). Évolution de la végétation depuis le Dryas récent dans la plaine littorale de Montpellier (Hérault, France) à partir de l'analyse pollinique. Dynamique naturelle et anthropisation du milieu. Laboratoire de Chrono-Écologie. C. N. R. S., UMR 6565. Besançon.

R

Ramil Rego, P. (1992). *La vegetación cuaternaria de las Sierras Septentrionales de Lugo a través del análisis polínico*. Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.

Ramil Rego, P. (1993). Evolución climática e historia de la vegetación durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno en las regiones montañosas del Noroeste Ibérico. En A. Pérez Alberti, L. Guitián Rivera y P. Ramil Rego (eds.). *La evolución del paisaje en las montañas del entorno de los Caminos Jacobeos*. Xunta de Galicia, A Coruña: 25-60.

Ramil Rego, P.; Muñoz Sobrino, C.; Rodríguez Guitián, M., Gómez Orellana, L. (1998). Differences in the vegetation of the North Iberian Peninsula during the last 16,000 years. *Plant Ecology* 138: 41-62.

Ramos-Román, M. J., Jiménez-Moreno, G., Camuera, J., García-Alix, A., Anderson, R. S., Jiménez-Espejo, F. J., Carrión, J. S. (2018). Holocene climate aridification trend and human impact interrupted by millennial- and centennial-scale climate fluctuations from a new sedimentary record from Padul (Sierra Nevada, southern Iberian Peninsula). *Climate of the Past*, 14(1), 117-137.

Ralska-Jasiewiczowa, M., van Geel, B. (1992). Early human disturbance of the natural environment recorded in annually laminated sediments of Lake Gościaż, central Poland. *Vegetation History and Archaeobotany* 1, 33-42.

Redman, C. L. (1999). *Human Impact on Ancient Environments*. Tucson: The University of Arizona Press.

Reille, M. (1990). *Leçons de Palynologie et d'analyse pollinique*. Editions du C. N. R. S. Paris.

Reille, M. (1992). *Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du nord*. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie. Marseille.

- Reille, M. (1995). *Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du Nord* (Supplément 1). Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, C. N. R. S. Marseille.
- Reinhard, K. J., Bryant, V. M. (1992). Coprolite analysis. En: Schiffer, M. B. (Ed.). *Archaeological Method and Theory*. The University of Arizona Press, Tucson y London: 245-288.
- Renault-Miskovsky, J., Girard, M., Trouin, M. (1976). Observations de quelques pollens d'Oléacées au microscope électronique à balayage. *Bulletin de l'Association française pour l'Étude du Quaternaire* 1976 (2): 71-86.
- Renault-Miskovsky, J., Leroi-Gourhan, A. (1981). Palynologie et Archéologie: Nouveaux résultats, du Paléolithique supérieur au mésolithique. *Bulletin AFEQ* 7-8 (3-4): 121-128.
- Renault-Miskovsky, J., Texier, P. J. (1980). Intérêt de l'analyse pollinique détaillée dans les concrétions de grotte. Application à l'Abri Pié-Lombard (Tourettes-sur-Loup, Alpes-Maritimes). *Bulletin de l'Association française pour l'Étude du Quaternaire* 3: 129-134.
- Renfrew, A. C. (1973). *Before Civilisation, the Radiocarbon Revolution and Prehistoric Europe*, London: Pimlico.
- Revelles, J. (2017). Archaeoecology of Neolithisation. Human-environment interactions in the NE Iberian Peninsula during the Early Neolithic. *Journal of Archaeological Science: Reports* 15, 437-445.
- Revelles, J., van Geel, B. (2016). Human impact and ecological changes in lakeshore environments. The contribution of non-pollen palynomorphs in Lake Banyoles (NE Iberia). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 232 (June), 81-97.
- Revelles, J., Burjachs, F., van Geel, B. (2016). Pollen and non-pollen palynomorphs from the Early Neolithic settlement of La Draga (Girona, Spain). *Review of Palaeobotany and Palynology* 225: 1-20.
- Reynolds, P. J. (1979). *Iron Age Farm: The Butser Experiment*. British Museum Publication. London.
- Reynolds, P. J. (1988). *Arqueología experimental. Una perspectiva de futur*. Eumo Editorial, Barcelona.
- Rhode, D. (2003). Coprolites from Hidden Cave, revisited: evidence for site occupation history, diet and sex of occupants. *Journal of Archaeological Science*, 30(7), 909-922.
- Rhodes, A. N. (1998). A method for the preparation and quantification of microscopic charcoal from terrestrial and lacustrine sediment cores. *The Holocene* 8 (1), 113-117.
- Richard, H. (1985). Un exemple de pollution anthropique dans les analyses polliniques: les habitats néolithiques du Grand Lac de Clairvaux (Jura). En: Renault-Miskovwky, J., Bui-Thi, M., Girard, M. (Eds.). *Palynologie Archéologique. Notes et monographies techniques* 17. Éditions du C. N. R. S. Paris: 279-297.
- Richard, H. (1991). Perception palynologique de l'évolution de la végétation riveraine des lacs jurassiens: réalité ou fiction? En Congrès national des Sociétés sav., Chambéry, Préprotohistoire. Éditions du CTHS. Paris: 149-159.
- Richard, H. (1993). Palynological Micro-Analysis in Neolithic Lake Dwellings. *Journal of Archaeological Science* 20: 241-262.
- Richard, H. (1994b). Évaluation de l'impact de l'homme sur la végétation: apport de la palynologie. *Histoire & Mesure* 9 (3-4): 305-316.
- Richard, H. (1999). La palynologie. En: Ferdière, A. D. (Ed.). *La Botanique*. Éditions Errance. Collection "Arquéologiques": 9-42. Paris.
- Riera, S. (1995). Evolució del paisatge vegetal holocè al Pla de Barcelona, a partir de les dades pol·líniques. Tesis doctoral. Facultat de Geografia i Història, Universitat de Barcelona, Catalonia, Spain.

Riera, S. (2006). Cambios vegetales holocenos en la región mediterránea de la Península Ibérica. *Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 15(1), 17-30.

Riera, S., Esteban, A. (1994). Vegetation history and human activity during the last 6000 years on the central Catalan coast (northeastern Iberian Peninsula). *Vegetation History and Archaeobotany* 3, 7-23.

Riera, S., Esteban, A. (1997). Relations homme-milieu végétal pendant les cinq derniers millénaires dans la Plaine du Penedès (Nord-est de la Péninsule Ibérique). *Vie et Milieu* 47 (1), 53-68.

Riera, S., Julià, R. (2002). Holocene environmental vulnerability in the Iberian Peninsula from pollen records: atlantic and mediterranean patterns. En: S. Leroy y I. Stewart (eds.), *Environmental catastrophes and recovery in the Holocene*. Abstracts volume. Brunel University: 70-71.

Riera, S., Palet, J. M. (2005). Aportaciones de la Palinología a la historia del paisaje mediterráneo: estudio de los sistemas de terrazas en las Sierras Litorales Catalanas desde la perspectiva de la Arqueología Ambiental y del Paisaje. En: Riera, S., Julià, R. (Eds.), *Transdisciplinary approach to a 8,000 yr history of land uses*. I Workshop of Catalan Network for the Study of Cultural Landscapes and Environmental History. Serie Monografías del SERP 5, Barcelona, pp 55-74.

Riera, S., Palet, J. M. (2008). Una aproximación transdisciplinar a la historia del paisaje mediterráneo: la evolución de los sistemas de terrazas con muros de piedra seca en la sierra de Marina (Badalona, Llano de Barcelona). En: Garrabou, R., Naredo, J. M. (Eds.), *El paisaje en perspectiva histórica. Formación y transformación del paisaje en el mundo mediterráneo*. Monografía de Historia rural 6, Sociedad Española de Historia Agraria, Prensas universitarias de Zaragoza, pp 47-90.

Riera, S., Esteban, A., Gómez, A. (1994). El depósito turboso de la Cañada Larga del Cerro del Sotillo (1890 m, Sierra de Baza-Filabres).

Estudio polínico y geomorfológico: avance preliminar. En: *Actas de la III Reunião do Quaternário Ibérico* 2, pp. 491-497. Coimbra.

Riera, S., López-Sáez, J. A., Bosch Argilagós, J. (2004). Premières traces d'anthropisation au long du littoral méditerranéen ibérique, la vallée de l'Ebre et les Îles Baléares. En: H. Richard (dir.), *Néolithisation précoce. Premières traces d'anthropisation du couvert végétal à partir des données polliniques*. Collection Annales Littéraires 777, Série Environnement, sociétés et archéologie 7: 195-219. Presses Universitaires de Franche. Comté, Ministère de Culture, CNRS. Besançon.

Rhode, D. (2003). Coprolites from Hidden Cave, revisited: evidence for site occupation history, diet and sex of occupants. *Journal of Archaeological Science*, 30(7), 909-922.

Rodríguez, A., Allué, E., Buxó, R. (2016). Agriculture and livestock economy among prehistoric herders based on plant macroremains from El Mirador (Atapuerca, Burgos). *Quaternary International* 414, 272-284.

Rodríguez, J., Burjachs, F., Cuenca-Bescós, G., García, N., Van der Made, J., Pérez-González, A., Blain, H.-A., Expósito, I., López-García, J. M., García-Antón, M., Allué, E., Cáceres, I., Huguet, R., Mosquera, M., Ollé, A., Rosell, J., Parés, J. M., Rodríguez-Álvarez, X. P., Díez, C., Rofes, J., Sala, R., Saladié, P., Vallverdú, J., Bennàsar, M. L., Blasco, R., Bermúdez de Castro, J. M., Carbonell, E. (2011). One million years of cultural evolution in a stable environment at Atapuerca (Burgos, Spain). *Quaternary Science Reviews*, 30(11-12).

Rodríguez-Hidalgo, A., Rivals, F., Saladié, P., Carbonell, E. (2016). Season of bison mortality in TD10.2 bone bed at Gran Dolina site (Atapuerca): Integrating tooth eruption, wear, and microwear methods. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 6, 780-789.

Rodríguez-Hidalgo, A., Saladié, P., Ollé, A., Arsuaga, J. L., Bermúdez de Castro, J. M., Carbonell, E. (2017). Human predatory behavior and the social implications of communal hunting based on evidence from the TD10.2 bison bone bed at Gran Dolina

(Atapuerca, Spain). *Journal of Human Evolution*, 105, 89–122.

Rosas, A., Huguet, R., Pérez-González, A., Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J. M., Vallverdú, J., Van der Made, J., Allué, E., García, N., Martínez-Pérez, R., Sala, R., Saladié, P., Benito, A., Martínez-Maza, C., Bastir, M., Sánchez, A., Parés, J. M. (2006). The “sima del Elefante” cave site at Atapuerca (Spain). *Estudios Geológicos* 62, 327–348.

Rosas, A., Pérez-González, A., Carbonell, E., van der Made, J., Sánchez, A., Laplana, C., Cuenca-Bescós, G., Parés, J. M., Huguet Pàmies, R. (2001). Le gisement pléistocène de la “Sima del Elefante” (Sierra de Atapuerca, Espagne). *L’Anthropologie* 105, 301–312.

Rosas, A., Huguet, R., Pérez-González, A., Carbonell, E., Vallverdú, J., van der Made, J., Allué, E., García, N., Martínez-Pérez, R., Rodríguez, J., Sala, R., Saladié, P., Simón, G., Martínez-Maza, C., Bastir, M., Sánchez, A., Parés, J. M. (2004). Initial approach to the site formation and Paleoeology of the “Sima del Elefante”: a Pleistocene karst locality at Atapuerca Hill. En: *Zona Arqueológica. Miscelánea en homenaje a Emiliano Aguirre*. Geología. Alcalá de Henares: Museo Arqueológico Regional, 135–155.

Rosell, J., Blasco, R. (2009). No cutmarks, no toothmarks. The anatomical connections at the Gran Dolina site. *Journal of Taphonomy* 7, 53–54.

Ruiz Zapata, B., Andrade, A., Dorado, M., Gil, M. J., Franco, F., López, P., López Sáez, J. A., Aranz, A. M., Uzquiano, P. (1997). Paleobotánica: concepto, métodos. En: López, P. (Eds.). *El paisaje vegetal de la Comunidad de Madrid durante el Holoceno Final*. Consejería de Educación y Cultura de la Comunidad de Madrid. 5: 61–93. Madrid.

Rull, V., Lopez-Saez, J. A., Vegas-Villarubia, T. (2008). Contribution of non-pollen palynomorphs to the paleolimnological study of a high-altitude Andean lake (Laguna Verde Alta, Venezuela). *Journal of Paleolimnology* 40, 399–411.

S

Sáenz de Rivas, C. (1978). *Polen y Esporas. Introducción a la Palinología y vocabulario palinológico*. Blume. Madrid.

Sáenz Laín, C. (2004). Glosario de términos palinológicos. *Lazaroa*, 25, 93–112.

Sáenz Laín, C., Gutiérrez Bustillo, M. (1991). Bibliografía palinológica española (1932–1988). *Lazaroa* 12: 69–119.

Saladié, P. (2009). Mordiscos de omnívoros. Aproximación experimental y aplicación zooarqueológica en la Sierra de Atapuerca. Tesis Doctoral. Universitat Rovira i Virgili, Tarragona.

Saladié, P., Huguet, R., Díez, C., Rodríguez-Hidalgo, A., Cáceres, I., Vallverdú, J., Rosell, J., Bermúdez De Castro, J. M., Carbonell, E. (2011). Carcass transport decisions in Homo antecessor subsistence strategies. *Journal of Human Evolution*, 61(4), 425–446.

Saladié, P., Huguet, R., Rodríguez-Hidalgo, A., Cáceres, I., Esteban, M., Arsuaga, J. L., Bermúdez de Castro, J. M., Carbonell, E. (2012). Intergroup cannibalism in the European Early Pleistocene: The range expansion and imbalance of power hypotheses. *Journal of Human Evolution* 63 (5): 682–695.

Saladié, P., Rodríguez-Hidalgo, A., Huguet, R., Cáceres, I., Díez, C., Vallverdú, J., Canals, A., Soto, M., Santander, B., Bermúdez de Castro, J. M., Arsuaga, J. L., Carbonell, E. (2014). The role of carnivores and their relationship to hominin settlements in the TD6-2 level from Gran Dolina (Sierra de Atapuerca, Spain). *Quaternary Science Reviews* 93: 47–66.

Salas, L. (1995). Los estudios polínicos en España, utilizados en la reconstrucción climática de los últimos 10.000 años. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 20: 67–98.

Sánchez Goñi, M. F. (1993). Criterios de base tafonómica para la interpretación de análisis

palinológicos en cueva: el ejemplo de la región cantábrica. En: Fumanal, M. P. y Bernabeu, J. (Eds.). *Estudios sobre el Cuaternario. Medios sedimentarios. Cambios ambientales. Hábitat humano*. Universitat de València: 117-130. València.

Sánchez Goñi, M. F. (1994a). The identification of European upper palaeolithic interstadials from cave sequences. *AASP Contributions Series* 29: 161-182.

Sánchez Goñi, M. F. (1994b). L'environnement de l'homme préhistorique dans la région Cantabrique d'après la taphonomie pollinique des grottes. *L'Anthropologie* 98 (2-3): 379-417.

Sánchez Goñi, M. F. (1996). Les changements climatiques du Paléolithique Supérieur. Enquête sur le rapport entre paléoclimatologie et préhistoire. *Zephyrus* 49: 3-36.

Sangster, A. G., Dale, H. M. (1961). A preliminary study of differential pollen grain preservation. *Canadian Journal of Botany* 39: 35-43.

Sangster, A. G., Dale, H. M. (1964). Pollen grain preservation of underrepresented species in fossil spectra. *Canadian Journal of Botany* 42, 437-449.

Schelvis, J., van Geel, B. (1989). A palaeoecological study of the mites (Acari) from a Lateglacial deposit at Usselo (The Netherlands). *Boreas*, 18, 237-243.

Schepers, M. y van Haaster, H. (2015). Dung matters: an experimental study into the effectiveness of using dung from hay-fed livestock to reconstruct local vegetation. *Environmental Archaeology* 20 (1), 66-81.

Schmidt, I., Bradtmöeller, M., Kehl, M., Pastoors, A., Tafelmaier, Y., Weninger, B., Weninger, G. C. (2012). Rapid climate change and variability of settlement patterns in Iberia during the Late Pleistocene. *Quaternary International* 274, 179-204.

Schofield, J. E., Edwards, K. J., McMullen, J. A. (2007). Modern pollen-vegetation relationships in subarctic southern Greenland and the interpretation of fossil pollen data from the Norse landnám. *Journal of Biogeography* 34, 473-488.

Scott, A. C. (2010). Charcoal recognition, taphonomy and uses in palaeoenvironmental analysis. *Palaeogeography, palaeoclimatology, Palaeoecology* 291 (1-2): 11-39.

Scott, A. C., Damblon, F. (2010). Charcoal: Taphonomy and significance in geology, botany and archaeology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 291 (1-2), 1-10.

Scott, L. (1987). Pollen analysis of hyena coprolites and sediments from Equus Cave, Taung, Southern Kalahari (South Africa). *Quaternary Research* 28, 144-56.

Scott, L. (1992). Environmental implications and origin of microscopic *Pseudoschizaea* Thiegart and Franz ex R. Potonié emend. in sediments. *Journal of Biogeography*, 19, 354-359.

Scott, L. (1995). Palaeoenvironmental conditions in South Africa at the Pleistocene-Holocene transition. *Quaternary Science Review* 14: 937-947.

Scott, L., Bousman, B. (1990). Palynological analysis of hyrax middens from southern Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 7: 367-379.

Scott, L., Bousman, C. B., Nyakale, M. (2005). Holocene pollen from swamp, cave and hyrax dung deposits at Blydefontein (Kikvorsberge), Karoo, South Africa. *Quaternary International*, 129, 49-59.

Scott, L., Cooremans, B. (1992). Pollen in recent *Procavia* (hyrax), *Petromus* (dassie rat) and bird dung in South Africa. *J. Biogeogr.* 19, 205-215.

Scott, L., Fernandez-Jalvo, Y., Carrión, J. S., Brink, J. (2003). Preservation and interpretation of pollen in hyaena coprolites: taphonomic observations from Spain and

southern Africa. *Palaeontologia Africana* 39, 83-91.

Sears, P. B. (1932). The archaeology of environment in eastern North America. *American Anthropology* 34: 610-622.

Séfériadès, M. L. (1993). The European Neolithisation process. *Documenta Praehistorica*, 21, 137-162.

Segerström, U. (1991). Soil Pollen Analysis- An Application for Tracing Ancient Arable Patches. *Journal of Archaeological Science*, 18, 165-175.

Sengupta, S. (1975). Experimental alterations of the spores of *Lycopodium clavatum* as related to diagenesis. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 19, 173-192.

Shackley, M. (1981). *Environmental Archaeology*. London: George Allen and Unwin.

Shahack-Gross, R. (2011). Herbivorous livestock dung: Formation, taphonomy, methods for identification, and archaeological significance. *Journal of Archaeological Science* 38(2), 205-218.

Shahack-Gross, R., Boaretto, E., Cabanes, D., Katz, O., Finkelstein, I. (2014). Subsistence economy in the Negev Highlands: The Iron Age and the Byzantine/Early Islamic Period. *Levant* 46 (1), 98-117.

Shaw, G. (1971). The chemistry of sporopollenin. En: Brooks, J., Grant, P. R., Muir, M. D., van Gijzel, P., Shaw, G. (Eds.). *Sporopollenin*. New York: Academic Press: 305-351.

Simmons, I. G. (1993). Vegetation change during the Mesolithic in the British Isles: some amplifications. En: Chambers, F. (Ed.). *Climatic change and human impact on the landscape*. Chapman and Hall, London: 109-118.

Simpson, D. J., Hunt, C. O. (2009). Scoping the past human environment: a case study of

pollen taphonomy at the Haua Fteah, Cyrenaica, Lybia. *Arch. Rev. Camb.* 24: 27-46.

Smith, B. D. (2001). Documenting plant domestication: The consilience of biological and archaeological approaches. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98, 1324-1326.

Stanley, R. G., Linskens, H. F. (1974). *Pollen biology, biochemistry and management*. New York: Springer Verlag.

Stevenson, A. C., Harrison, R. J. (1992). Ancient Forests in Spain: A Model for Land-use and Dry Forest Management in Southwest Spain from 4000 bc to 1900 ad. *Proceedings of the Prehistoric Society*, 58 (January 1992), 227-247.

Steward, J. H. (1979). Ecología cultural. En: *Enciclopedia internacional de las ciencias sociales* Ed. Aguilar. Madrid.

Still, A., Costall, A. (1991). *Against Cognitivism*. A. Still y A. Costall (Eds.). London: Harvester Wheatsheaf.

Stuessy, T. F. (2009). *Plant Taxonomy: the systematic evaluation of comparative data*. Columbia University Press. New York.

Sugita, S., Gaillard, M.-J., Broström, A. (1999). Landscape openness and pollen records: asimulation approach. *The Holocene* 9, 409-421.

T

Talon, B., Carcaillet, C., Thinin, M. (1998). Etudes pedoanthracologiques des variations de la limite superieure des arbres au cours de l'Holocene dans les Alpes françaises. *Geographie physique et Quaternaire* 52 (2), 195-208.

Tello, E. (1999). La formación histórica de los paisajes agrarios mediterráneos: una aproximación coevolutiva. *Historia Agraria*, 19 (January), 195-211.

Tello, E. (2004). La petjada ecològica del metabolisme social: una proposta metodològica per analitzar el paisatge com a humanització del territori. *Manuscripts* 22, 59-82.

Tencariu, F. (2005). Experiments in pottery manufacture. En: Dvoraková J., Dohnálková, H., Kelm, R., Paardekooper, R. (Eds.). *euroREA: (Re)construction and Experiment in Archaeology - European Platform (Hradec Králové) (SEA & EXARC)*. Volume 1-2004, 85-92.

Testart, A. (1982). The significance of food storage among hunter-gatherers; residence patterns, population densities and social inequalities. *Current Anthropology* 23, 523-537.

Tringham, R. (1978). Experimentation, Ethnoarchaeology, and leapfrogs in archaeological methodology. En: R. A. Gould (Ed.): *Explanation in Ethnoarchaeology*. SAR Advanced Seminar Series, Albuquerque: 169-200.

Théry Parisot, I. (2002). Fuel Management (Bone and Wood) During the Lower Aurignacian in the Pataud Rock Shelter (Lower Palaeolithic, Les Eyzies de Tayac, Dordogne, France). Contribution of Experimentation. *Journal of Archaeological Science* 29, 1415-1421.

Thinon, M. (1978). La pédoanthracologie: Une nouvelle méthode d'analyse phytochronologique depuis le néolithique. *Comptes Rendues de l'Académie Des Sciences, Série D* 287: 1203-1206.

Thirgood, J. V. (1981). *Man and the Mediterranean Forest*. New York: Academic Press.

Thomas, J. (2001). Archaeologies of place and landscape. En: Hodder, I. (Ed.) *Archaeological theory today*, pp.165-186, Cambridge: Polity Press.

Thompson, R. S., Van Devender, T. R., Martin, P. S., Foppe, T., Long, A. (1980). Shasta Ground Sloth (*Nothrotheriops*

shastense) at Shelter Cave, New Mexico, USA: environment diet and extinction. *Quaternary Research* 14: 360-376.

Tilley, C. (1994). *A phenomenology of landscape. Places, Paths and Monuments*. Oxford.

Tilley, C. (1996). The power of the rocks: topography and monument construction on Bodmin Moor. *Sacred Geography. World Archaeology*, 28(2), 167-175.

Tilley, C. (2008). Phenomenological Approaches in Landscape Archaeology. En: B. David, J. Thomas (Eds.), *Handbook of landscape archaeology*, pp. 271-276.

Tinner, W., Conedera, M., Ammann, B., Gäggeler, H. W., Gedye, S., Jones, R., Säggerer, B. (1998). Pollen and charcoal in lake sediments compared with historically documented forest fires in southern Switzerland since ad 1920. *The Holocene* 8, 31-42.

Tipping, R. (1987). The origins of corroded pollen grains at five early postglacial pollen sites in western Scotland. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 53, 151-161.

Tipping, R. (1995). Holocene landscape change at Carn Dubh Dubh, near Pitlochry, Perthshire. *Journal of Quaternary Science* 10, 59-75.

Tipping, R. (2000). Pollen preservation analysis as a necessity in Holocene palynology. En: Huntley, J. P., Stallibrass, S. (Eds.). *Taphonomy and Interpretation: Symposia of the Association of Environmental Archaeologists*, 14. Oxbow Books, Oxford, pp. 23-33.

Tomescu, A. M. F. (2000). Evaluation of Holocene pollen records from the Romanian Plain. *Review of Palaeobotany and Palynology* 109, 219-233.

Trabaud, L. (2002). Post-fire reconstitution of the flowering phenology in Mediterranean shrubland plants. En: L. Trabaud y R. Prodon

(Eds.), *Fire and biological processes* (pp. 99–113).
Leiden: Backhuys Publishers.

Traverse, A., Landman, N. H., Jones, D. S.
(2007). Paleogene Palynology. En:
Paleopalynology (2^a ed., pp. 391–426).
Doordrecht, The Netherlands: Springer.

Tuan, Y. (1977). *Space and Place. The
Perspective of Experience*. University of
Minnesota Press. Minneapolis.

Turner, C. (1964). The anthropogenic factor
in vegetational history. *New Phytologist* 3, 73–
89.

Turner, C. (1985). Problems and pitfalls in the
application of palynology to pleistocene
archaeological sites in Western Europe. En:
Renault-Miskovwky, J., Bui-Thi, M. y
Girard, M. (Eds.). *Palynologie Archéologique*.
(Notes et monographies techniques 17).
Éditions du CNRS. Paris: 347–373.

Turner, C., Hannon, G. E. (1988).
Vegetational evidence for late Quaternary
climatic changes in southwest Europe in
relation to the influence of the North Atlantic
Ocean, *Philosophical Transactions of the Royal
Society of London Series B* 318, 451–85.

Turner, R., Kelly, A., Roberts, N. (2008). A
critical assessment and experimental
comparision of microscopic charcoal
extraction methods. En: Fiorentino, G.,
Magri, D. (Eds.). *Charcoal from the past:
Cultural and palaeoenvironmental implications*.
Proceedings of the third international meeting
of Anthracology, Cavallino-Lecce (Italy).
Archaeopress, Oxford.

Twiddle, C. L., Bunting, M. J. (2010).
Experimental investigations into the
preservation of pollen grains: A pilot study of
four pollen types. *Review of Palaeobotany and
Palynology* 162: 621– 630.

Tweddle, J. C., Edwards, K. J. (2010). Pollen
preservation zones as an interpretative tool in
Holocene palynology. *Review of Palaeobotany
and Palynology* 161: 59–76.

U

Uzquiano, P., Ruiz-Zapata, M. B., Gil-García,
M. J., Fernández, S., Carrión, J. S. (2016). Late
Quaternary developments of Mediterranean
oaks in the Atlantic domain of the Iberian
Peninsula: The case of the Cantabrian region
(N Spain). *Quaternary Science Reviews*,
153(October), 63–77.

V

Vallverdú, J. (2002). Micromorfología de las
facies sedimentarias de la Sierra de Atapuerca
y del nivel J del Abric Romaní. Tesis
Doctoral, Universitat Rovira i Virgili,
Tarragona.

Vallverdú, J., Allué, E., Bischoff, J. L.,
Cáceres, I., Carbonell, E., Cebrià, A., García-
Antón, M. D., Huguet, R., Ibáñez, N.,
Martínez, K., Pastó, I., Rosell, J., Saladié, P.,
Vaquero, M. (2005). Short occupations in the
Middle Palaeolithic level I of the Abric
Romaní rockshelter (Capellades, Barcelona,
Spain). *Journal of Human Evolution* 48, 2: 157–
174.

van Campo, M., Leroi-Gourhan, A. (1956).
Note préliminaire á l'étude des pollens fossiles
de différents niveaux des grottes d'Arcy-sur-
Cure. *Bulletin Museum* 2 S, 28: 326–330.

van der Knaap, W. O., van Leeuwen, F. N.
(1995). Holocene vegetation succession and
degradation as responses to climatic change
and human activity in the Serra de Estrela,
Portugal. *Review of Paleobotany and Palynology*,
89, 153–211.

Schelvis, J., van Geel, B. (1989). A
palaeoecological study of the mites (Acari)
from a Lateglacial depòsit at Usselo (The
Netherlands). *Boreas*, 18, 237–243.

van Geel, B. (1972). Palynology of a section
from the raised peat bog "Wietmarscher
Moor", with special reference to fungal
remains. *Acta Botanica Neerlandica* 21: 261–284.

- van Geel, B. (1976a). Fossil spores of Zygnemataceae in ditches of a prehistoric settlement in Hoogkarspel (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology* 22: 337-374.
- van Geel, B. (1976b). A palaeoecological study of Holocene peat bog sections, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. Ph.D. Thesis, University of Amsterdam, Amsterdam.
- van Geel, B. (1978). A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and The Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. *Review of Palaeobotany and Palynology* 25: 1-120.
- van Geel, B. (1986). Application of fungal and algal remains and other microfossils in palynological analyses. En: Berglund, B. E. (Eds.). *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. John Wiley & Sons Ltd.: 497-505. Chichester.
- van Geel, B. (1992). Fungal spores as extra indicators for human impact in the past? Abstracts 8th International Palynological Congress, Aix-en-Provence.
- van Geel, B. (2001). Non-pollen palynomorphs. En: Smol, J. P., Birks, H. J. B., Last, W. M. (Eds.). *Tracking environmental change using lake sediments*. Volume 3: Terrestrial, algal and siliceous indicators. Kluwer, Dordrecht, pp. 99-119.
- van Geel, B. (Ed.). (2006). Quaternary non-pollen palynomorphs. *Review of Palaeobotany and Palynology* 141 (1-2).
- van Geel, B., Andersen, S. T. (1988). Fossil ascospores of the parasitic fungus *Ustilina deusta* in Eemian deposits in Denmark. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 56(1-2), 89-93.
- van Geel, B., Aptroot, A. (2006). Fossil ascomycetes in Quaternary deposits. *Nova Hedwigia* 82, 313-329.
- van Geel, B., van der Hammen, T. (1978). Zygnemataceae in quaternary Columbian sediments. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 25(5), 377-391.
- van Geel, B., Aptroot, A., Baittinger, C., Birks, H. H., Bull, I. D., Cross, H. B., Evershed, R. P., Gravendeel, B., Kompanje, E. J. O., Kuperus, P., Mol, D., Nierop, K. G. J., Pals, J. P., Tikhonov, A. N., van Reenen, G., van Tienderen, P. H. (2008). The ecological implications of a Yakutian mammoth's last meal. *Quaternary Research* 69, 361-376.
- van Geel, B., Bohncke, S. J. P., Dee, H. (1981). A palaeoecological study of an Upper Late Glacial and Holocene sequence from "De Borchert", The Netherlands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 31: 367-448.
- van Geel, B., Bos, J. A. A., van Huissteden, J., Pals, J. P., Schatz, H., van Mourik, J. M., van Reenen, G. B. A., Wallinga, J., van der Plicht, J. (2010). Palaeoecological study of a Weichselian wetland site in The Netherlands suggests a link with Dansgaard-Oeschger climate oscillation. *Netherlands Journal of Geosciences — Geologie en Mijnbouw* 89, 187-201.
- van Geel, B., Buurman, J., Brinkkemper, O., Schelvis, J., Aptroot, A., van Reenan, G., Hakbijl, T. (2003). Environmental reconstruction of a Roman Period settlement site in Uitgeest (The Netherlands), with special reference to coprophilous fungi. *Journal of Archaeological Science* 30, 873-883.
- van Geel, B., Coope, G. R., van der Hammen, T. (1989). Palaeoecology and stratigraphy of the Lateglacial type section at Usselo (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology* 60: 25-129.
- van Geel, B., de Lange, L., Wiegers, J. (1984). Reconstruction and interpretation of the local vegetational succession of a Lateglacial deposit from Usselo (The Netherlands), based

on the analysis of micro- and macrofossil. *Acta Botanica Neerlandica* 33: 535-546.

van Geel, B., Gelorini, V., Lyaruu, A., Aptroot, A., Rucina, S., Marchant, R., Sinnighe Damste, J. S., Verschuren, D. (2011). Diversity and ecology of tropical African fungal spores from a 25,000-year palaeoenvironmental record in southeastern Kenya. *Review of Palaeobotany and Palynology* 164, 174-190.

van Geel, B., Hallewas, D. P., Pals, J. P. (1983). A Late Holocene deposit under the Westfriese Zeedijk near Enkhuizen (Prov. of Noord-Holland, The Netherlands): Palaeoecological and archaeological aspects. *Review of Palaeobotany and Palynology* 38, 269-335.

van Geel, B., Klink, A. G., Pals, J. P., Wiegers, J. (1986). An Upper Eemian lake deposit from Twente, eastern Netherlands. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 47, 31-61.

van Geel, B., Odgaard, B. V., Ralska-Jasiewiczowa, M. (1996). Cyanobacteria as indicators of phosphate-eutrophication of lakes and pools in the past. *Pact* 50: 399-415.

van Geel, B., Zazula, G. D., Schweger, C. E. (2007). Spores of coprophilous fungi from under the Dawson tephra (25,300 ¹⁴C years BP), Yukon Territory, northwestern Canada. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 252, 481-485.

van Hofwegen, G. (1983). *De laat glaciële sectie "lattropperstraat I" Denekamp; een palynologisch onderzoek. Interne rapporten van het Hugo de Vries Laboratorium.* Universiteit Amsterdam.

Vannièrè, B., Colombaroli, D., Chapron, E., Leroux, A., Tinner, W., Magny, M. (2008). Climate versus human-driven fire regimes in Mediterranean landscapes: the Holocene record of Lago dell'Accesa (Tuscany, Italy). *Quaternary Science Review* 27, 1181-1196.

Vannièrè, B., Power, M. J., Roberts, N., Tinner, W., Carrión, J. S., Magny, M., Bartlein, P., Colombaroli, D., Daniu, A. L.,

Finsinger, W., Gil-Romera, G., Kaltenrieder, P., Pini, R., Sadori, L., Turner, R., Valsecchi, V., Vescovi, E. (2011). Circum-Mediterranean fire activity and climate changes during the mid-Holocene environmental transition (8500-2500 cal. BP). *The Holocene* 21 (1), 53-73.

van Smeerdijk, D. (1989). A paleoecological and a chemical study of a peat profile from the Assendelver polder (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology* 58, 231-288.

Vaquèr, J. M., Gordillo, I. (2013). Recorriendo los paisajes. En: I. Gordillo y J. Vaquèr (Eds.). *La especialidad en arqueología. Enfoques, métodos y aplicación.* Ed. Abya Yala. Quito.

Vergès, J. M. (2011). La combustión del estiércol: aproximación experimental a la quema en montón de los residuos de redil. En: Morgado, A., Baena, J., García, D. (Eds.). *La investigación Experimental aplicada a la Arqueología*, 325-330. Ronda.

Vergès, J. M., Morales-Hidalgo, J. I. (2016). Polished walls as indirect evidence of both the use of caves and stone enclosures as livestock folds and dung management strategies: Ethnological and archaeological example. *Quaternary International* 414, 330-336.

Vergès, J. M., Allué, E., Angelucci, D., Burjachs, F., Carrancho, A., Cebrià, A., Expósito, I., Fontanals, M., Moral, S., Rodríguez, A., Vaquero, M. (2008). Los niveles neolíticos de la cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos): nuevos datos sobre la implantación y el desarrollo de la economía agropecuaria en la submeseta norte. *Actas del IV Congreso del Neolítico en la Península Ibérica*, noviembre de 2006, Alicante.

Vergès, J. M., Allué, E., Fontanals, M., Morales Hidalgo, J. I., Martín, P., Carrancho, A., Expósito, I., Guardiola, M., Lozano-Ruiz, M., Marsal, R., Oms, X., Euba, I., Rodríguez, A. (2016). El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain): A whole perspective. *Quaternary International* 414, 236-243.

Vergès, J. M., Burguet-Coca, A., Allué, E., Expósito, I., Guardiola, M., Martín, P., Morales, J. I., Burjachs, F., Cabanes, D., Carrancho, A., Vallverdú, J. (2016). The Mas del Pepet experimental programme for the study of prehistoric livestock practices: preliminary data from dung burning. *Quaternary International* 414, 304-315.

Vicent, J. M. (1997). The insular filter hypothesis revisited. En: M. S. Balmouth, A. Gilman, L. Prados Torreira (Eds.), *Encounters and Transformations. The Archaeology of Iberia in Transition*. Sheffield: Sheffield University Press, 1-13.

Vicent García, J. (1991). Fundamentos teórico-metodológicos para un programa de investigación arqueogeográfica. En: P. López (ed.) *El cambio cultural del IV al II milenios a.C. en la comarca NW de Murcia* 1: 29-119. Madrid: CSIC.

Vitousek, P. M., Ehrlich, P. R., Matson, P. A. (1986). Human Appropriation of the Products of Photosynthesis. *BioScience*, 36(6), 368-374.

von Post, L. (1933). On improvements of the pollen-analysis technique. *Geol. Fören. Förhandl.* 55 (3).

Vuorela, I. (1992). Indicator species and human activities in pollen analysis. En: Grönlund, E. (Eds.). *The First meeting of Finnish palaeobotanists; state of the art in Finland, May 2-4, 1990. Karelian Institute, University of Joensuu* 102: 41-50. Joensuu.

W

Waddington, J. C. B. (1969). A stratigraphic record of the pollen influx to a lake in the big woods of Minnesota. *Geological Society of America. Special Paper* 1123: 263-283.

Wallace, M., Charles, M. (2013). What goes in doesn't always come out: the impact of the ruminant digestive system of sheep on plant material, and its importance for the interpretation of dung-derived

archaeobotanical assemblages. *Environmental Archaeology* 18 (1), 18-30.

Weigelt, J. (1927). Über Biostratonomie. *Der Geologe*, 42: 1069-1076.

Weinstein-Evron, M. (1981). The influence of slope direction on the pollen spectra. *Pollen et Spores* 23 (3): 381-387.

Weinstein-Evron, M. (1994). Biases in archaeological pollen assemblages. Aspects of Archeological Palynology: Methodology and Applications. O. K. Davis. *American Association of Stratigraphic Palynologists Contributions Series*. 29: 193-205.

Weninger, B., Alram-Stern, E., Bauer, E., Clare, L., Danzeglocke, U., Jöris, O., Kubatzki, C., Rollefson, G., Todorova, H., van Andel, T. (2006). Climate forcing due to the 8200 cal yr BP event observed at Early Neolithic sites in the eastern Mediterranean. *Quaternary Research* 66, 401-420.

Whewell, W. (1832). Review of vol. 2 of Charles Lyell's *Principles of Geology*. *Quarterly Review* 47, 103-132.

Whitlock, C., Larsen, C. (2002). 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*. Kluwer, Dordrecht, pp. 75-97.

Whitlock, C., Millispaug, 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.

Whittle, A., Healy, F., Bayliss, A. (2011). *Gathering Time: Dating the Early Neolithic Enclosures of Southern Britain and Ireland*. Oxbow Books, Oxford.

Wicklow, D. T. (1988). Parallels in the development of post-fire fungal and herb communities. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* 94B: 87-95.

Wicklow, D. T. (1992). The coprophilous fungal community: an experimental system, En: Carroll, G. C., Wicklow, T. (Eds.), Second edition. *The Fungal Community: Its Organization and Role in the Ecosystem*. Marcel Dekker, New York, pp. 715-728.

Williams, R. (2001). *El campo y la ciudad*. Paidós. Barcelona.

Wiltshire, P. E. J. (2016). Mycology in palaeoecology and forensic science. *Fungal Biology* 120(11), 1272-1290.

Woods, R. D. (1955). Spores and pollen — a new stratigraphic tool for the oil industry. *Micropaleontology* 1, 368-375.

Wright, H. E., Patten, H. J. (1963). The pollen sum. *Pollen et Spores* 5 (2): 445-450.

Y

Li, Y. Y., Zhou, L. P., Cui, H. T. (2008). Pollen indicators of human activity. *Chinese Science Bulletin*, 53(9), 1281-1293.

Yll, R., Burjachs, F., Expósito, I. (2009). Descobrint els paisatges del passat. En: Marí, M. (Ed.). *Vila i Ses Feixes. Els camins de l'aigua*. GEN-GOB Eivissa, Eivissa, pp: 19-40.

Yll, R., Zazo, C., Goy, J. L., Pèrez-Obiol, R., Pantaleón-Cano, J., Civis, J., Dabrio, C., González, A., Borja, F., Soler, V., Lario, J., Luque, L., Sierro, F., González-Hernández, F. M., Lezine, A. M., Deneffe, M., Roure, J. M. (2003). Quaternary palaeoenvironmental changes in South Spain. En: B. Ruiz Zapata *et al.* (eds.), *Quaternary climatic changes and environmental crises in the Mediterranean region:201-213*.

Z

Zapata-Peña, L., Peña-Chocarro, L., Pérez-Jordà, G., Stika, H. P. (2004). Early Neolithic Agriculture in the Iberian Peninsula. *Journal of World Prehistory*, 18(4), 283-325.

Zazo, C., Goy, J. L., Hoyos, M. (1983). Estudio geomorfológico de los alrededores de la Sierra de Atapuerca. *Estudios Geológicos* 39, 179-185.

Zilhão, J. (2000). From the Mesolithic to the Neolithic in the Iberian Peninsula. En: T. D. Price (Ed.), *Europe's first farmers*. Cambridge University Press, 144-182.

Zilhão, J. (2001). Radiocarbon evidence for maritime pioneer colonization at the origins of farming in west Mediterranean Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(24), 14180-14185.

Zvelebil, M. (1986). Mesolithic prelude and neolithic revolution. En: M. Zvelebil (Ed.), *Hunters in transition. Mesolithic societies of temperate Eurasia and their transition to farming*. Cambridge: Cambridge University Press, 5-15.

Zvelebil, M. (2000). The Social Context of the Agricultural Transition in Europe. En: C. Renfrew y K. Boyle (eds.), *Archaeogenetics: DNA and the Population Prehistory of Europe*. McDonald Institute Monographs, Cambridge: 57-79.

Zvelebil, M. (2001). The agricultural transition and the origins of Neolithic society in Europe. *Documanta Praehistorica*, XXVIII (4), 1-26.

Zong, Y., Chen, Z., Innes, J. B., Chen, C., Wang, Z., Wang H. (2007). Fire and flood management of coastal swamp enabled first rice paddy cultivation in east China. *Nature* 449, 459-462.