



Memòria justificativa de recerca de les convocatòries BCC, BDH, BE, BP, CTP-AIRE, DEBEQ, FI, INEFC, i PIV

La memòria justificativa consta de les dues parts que venen a continuació:

- 1.- Dades bàsiques i resums
- 2.- Memòria del treball (informe científic)

Tots els camps són obligatoris

1.- Dades bàsiques i resums

Nom de la convocatòria

BP

Llegenda per a les convocatòries:

BCC	Convocatòria de beques per a joves membres de comunitats catalanes a l'exterior
BDH	Beques i ajuts postdoctorals del Programa DGR-Henkel KGaA
BE	Beques per a estades per a la recerca fora de Catalunya
BP	Convocatòria d'ajuts postdoctorals dins del programa Beatriu de Pinós
CTP-AIRE	Ajuts per accions de cooperació en el marc de la comunitat de treball dels Pirineus. Ajuts de mobilitat de personal investigador.
DEBEQ (Modalitat A3)	Beques de Cooperació Internacional i Desenvolupament
FI	Beques predoctorals per a la formació de personal investigador
INEFC	Beques predoctorals i de col·laboració, dins de l'àmbit de l'educació física i l'esport i les ciències aplicades a l'esport
PIV	Beques de recerca per a professors i investigadors visitants a Catalunya

Títol del projecte: ha de sintetitzar la temàtica científica del vostre document.

Impacte de la variabilitat climàtica ràpida de l'últim període glacial sobre la vegetació del sud-est de Nord Amèrica

Dades de l'investigador o beneficiari

Nom Cognoms
Constància López Martínez

Correu electrònic
conslopez33@gmail.com

Dades del centre d'origen

UMR-CNRS 5805 EPOC, Université Bordeaux 1, EPHE
Avenue des Facultes 33405 Talence cedex FRANCE
Tel: +33 540008469
Fax: +33 556840848

Nom i cognoms i signatura
del/de la investigador/a

Vist i plau del/de la responsable de la
sol·licitud





Número d'expedient

2006BP-A 10050

Paraules clau: cal que esmenteu cinc conceptes que defineixin el contingut de la vostra memòria.

paleoclimatologia, palinologia, últim període glacial, canvis climàtics ràpids, paleovegetació nord-americana

Data de presentació de la justificació

12-05-2010



Resum del projecte: cal adjuntar dos resums del document, l'un en anglès i l'altre en la llengua del document, on s'esmenti la durada de l'acció

Resum en la llengua del projecte (màxim 300 paraules)

Els canvis climàtics ràpids de l'últim període glacial (cicles Dansgaard/Oeschger i Heinrich Stadials-HS), han estat documentats en testimonis marins, de gel i dipòsits continentals, generalment de l'hemisferi nord. Mentre que la majoria dels estudis paleoclimàtics i paleoceanogràfics de l'Atlàntic Nord sobre l'últim període glacial s'han centrat en la part nord i est, les latituds mitjanes de la part occidental han estat menys estudiades. Particularment, els canvis de la vegetació de l'est de Nord Amèrica durant l'últim glacial es coneixen molt poc degut a la manca de seqüències pol·líniques llargues en aquesta regió. Només dues seqüències de pol·len del llac Tulane (Florida) mostren canvis de la vegetació significatius i interessants durant l'últim glacial, que suggereixen HS càlids i humits, que contrasta amb el que s'observa a l'altre costat de l'Atlàntic Nord. El treball realitzat al UMR-CNRS 5805 EPOC, Université Bordeaux 1, EPHE, des del 23 d'abril 2007 al 22 d'abril 2009, gràcies a la beca Beatriu de Pinós, implica una reconstrucció a alta resolució dels canvis de la vegetació a partir de l'anàlisi d'un testimoni marí, localitzat a l'oest de l'Atlàntic Nord subtropical (MD99-2203, 34°58'N, 75°12'W), durant l'Estadi Isotòpic Marí 3 (MIS 3). Les dades pal·linològiques del testimoni mostren una alternança entre *Picea* i *Quercus*. En general, les associacions pol·líniques indiquen que les variacions de la vegetació segueixen un patró bosc boreal/temperat durant l'últim glacial. El model d'edat preliminar basat en edats radiomètriques suggereix un augment del bosc temperat acompanyat d'una reducció del boreal entre el H4 i el H3. La comparació amb registres pol·línics marins d'alta resolució de la regió est subtropical, a latituds similars, mostren, per primer cop, que els canvis en les formacions forestals associats als canvis climàtics ràpids de l'últim glacial van ser menys intensos al sud-est de Nord Amèrica que a la Península Ibèrica

Resum en anglès (màxim 300 paraules)

Last glacial abrupt climate changes, defined as Dansgaard/Oeschger cycles (D/O) and Heinrich Stadials (HS), have been documented in ice cores, marine sediments and continental deposits, generally from the Northern Hemisphere. While most North Atlantic paleoceanographic and paleoclimatic studies covering the last glacial period are centred in the northern and eastern part, less attention has been paid to the western mid-latitudes. In particular last glacial eastern North American vegetation changes remain poorly known due to a lack of long continuous pollen records in this region. So far, only two pollen sequences from Lake Tulane (Florida) show significant and interesting vegetation changes during the last glacial period which suggests warm and humid HS, contrasting with what is observed in the adjacent continent of the eastern part of the North Atlantic. The work developed at the UMR-CNRS 5805 EPOC, Université Bordeaux 1, EPHE, from 23rd April 2007 to 22nd April 2009, thanks to the Beatriu de Pinós fellowship, involved a high resolution reconstruction of the vegetation changes derived from the analysis of a pollen-rich marine core, located in the subtropical western North Atlantic (MD99-2203, 34°58'N, 75°12'W), during Marine Isotope Stage 3 (MIS 3). A clear alternation between *Picea* and *Quercus* is showed by pollen data from core MD99-2203.



Resum en anglès (màxim 300 paraules) – continuació -.

In general, pollen assemblages indicate last glacial vegetation variations following a boreal forest/mesic-Quercus forest pattern. A preliminary age model based on radiocarbon ages suggests an increase of temperate forest accompanied by a reduction of the boreal forest between H4 and H3. Comparison with published high resolution marine pollen records from the eastern subtropical region, at similar latitudes, shows, for the first time, that changes in forest formations associated with last glacial abrupt climate changes were smoother in south-eastern North America than in the Iberian Peninsula

2.- Memòria del treball (informe científic sense limitació de paraules). Pot incloure altres fitxers de qualsevol mena, no més grans de 10 MB cadascun d'ells.

Impacte de la variabilitat climàtica ràpida de l'últim període glacial sobre la vegetació del sud-est de Nord Amèrica

Memòria final de l'activitat de recerca desenvolupada durant els dos anys de l'ajut postdoctoral
Beatriu de Pinós

Constancia López Martínez

SUMARI

1. Introducció	2
2. Material i mètodes	3
2.1. Preparació i tractament de mostres	4
2.2. Comptatge de làmines	4
2.3. Càlculs de percentatges, concentracions i construcció dels diagrames pol·línics	5
2.4. Model d'edat	5
3. Resultats	6
3.1. Vegetació del sud-est de Nord Amèrica: taxa identificada	6
3.2. Diagrames pol·línics	6
4. Discussió	8
5. Objectius assolits i presentació de resultats	10
6. Agraïments	11
7. Referències bibliogràfiques	11
Annex	15

1. Introducció

Existeix un consens científic sobre la implicació de les activitats humanes en el canvi climàtic actual degut al considerable augment en les emissions de gasos d'efecte hivernacle [IPCC, 2001; IPCC 2007]. Els efectes del present canvi climàtic s'han observat, per exemple, en les temperatures mitjanes globals, els gels dels pols, la flora, la fauna [IPCC, 2001; IPCC 2007], així com en les temperatures mitjanes de la baixa troposfera [Karl *et al.*, 2006]. Respecte als canvis en la vegetació, treballs recents han mostrat una migració cap al nord de diferents espècies meridionals [Parmesan & Yohe, 2003], així com un avançament en la floració d'algunes plantes [Peñuelas & Filella, 2001]. Un major coneixement sobre la variabilitat de la vegetació associada als canvis climàtics en el passat resultaria d'una gran rellevància per a predir el tipus de resposta i inèrcia d'aquesta al canvi climàtic actual així com per a comprendre el seu paper com a mecanisme de retroacció en el sistema climàtic actual. Això últim permetria millorar les prediccions sobre l'evolució del clima global. En aquest sentit, el projecte desenvolupat s'emmarca dintre de la Paleoclimatologia i, en concret, es centra en l'estudi de la resposta de la vegetació als canvis climàtics ràpids que van succeir en el passat.

Els estudis paleoclimàtics i paleoceanogràfics realitzats a alta resolució temporal, principalment des dels anys 90, han evidenciat que el clima va variar de forma molt ràpida durant l'últim període glacial (entre 74,000 i 15,000 anys abans del present) [Bond *et al.*, 1993, Wolff *et al.*, in press]. Aquests episodis climàtics ràpids s'ha vist que són de dos tipus: els denominats cicles *Dansgaard/Oeschger* (D/O), caracteritzats per un escalfament ràpid seguit d'un refredament més o menys gradual, i els esdeveniments de *Heinrich* o *Heinrich Stadials* (HS), episodis freds associats a grans descàrregues de material detrític arrossegat pels icebergs (*ice rafted debris*, IRD) a l'Atlàntic Nord [Heinrich, 1988, Sánchez Goñi & Harrison, in press]. Aquesta variabilitat climàtica ràpida ha estat documentada gràcies a registres paleoclimàtics obtinguts en testimonis de gel, sediments marins i dipòsits continentals [Voelker & participants, 2002]. Alguns d'aquests canvis van resultar d'una magnitud similar als que s'estan succeïnt actualment, en termes de graus centígrads per dècada [Karl *et al.*, 2006; Martrat *et al.*, 2004]. No obstant, els mecanismes implicats i els impactes climàtics associats a aquests canvis en el passat encara no es coneixen bé, entre d'altres raons, perquè la quantitat d'informació disponible sobre les diferents àrees del planeta és molt desigual. S'han proposat diferents mecanismes per a explicar els D/O i HS, com la inestabilitat dels casquets de gel [MacAyeal, 1993], reorganitzacions de la circulació general oceànica [Broecker *et al.*, 1990], de la circulació atmosfèrica [Naughton *et al.*, 2009] o forçaments climàtics [Bond *et al.*, 1997]. Així mateix, alguns autors han suggerit que la variabilitat climàtica observada en latituds baixes pot influir significativament en les latituds altes [Cane, 1998]. En aquest respecte, els tròpics i subtòpics han estat bastant menys estudiats que les latituds polars i subpolars. Per tant, un millor coneixement d'aquestes mitjanes i baixes latituds ajudaria a clarificar els patrons de connexió latitudinals.

Els registres de temperatura superficial del mar (TSM) han evidenciat diferències longitudinals entre ambdós costats de l'Atlàntic Nord subtropical, mostrant que els refredaments durant els HS van ser més intensos a la regió oriental que a la occidental [Cacho *et al.*, 1999; de Abreu *et al.*, 2003; Martrat *et al.*, 2004; Martrat *et al.*, 2007; Vautravers *et al.*, 2004]. D'acord amb aquestes diferències, dades geoquímiques i palinològiques també han revelat diferències espacials respecte a l'expressió dels canvis climàtics ràpids. El clima continental durant els episodis freds, en particular els HS, sembla que va ser temperat i sec a l'Àfrica equatorial, fred i sec al sud de la Península Ibèrica i càlid i humit a la costa est de Brasil [Broecker & Hemming, 2001]. Els models climàtics també han mostrat diferents respostes dels ambients continentals als canvis climàtics abruptes [Hostetler *et al.*, 1999]. Per exemple, els models de productivitat primària neta de la vegetació han evidenciat condicions molt més fredes i seques sobre Euràsia, en comparació amb l'augment de la humitat al sud de Nord Amèrica, durant un episodi de fred extrem [Vellinga & Wood, 2002].

Val a dir que la majoria d'estudis paleoclimàtics i paleoceanogràfics sobre l'últim període glacial s'han centrat en la part nord i est de l'Atlàntic Nord i continents adjacents, mentre que la part occidental ha estat menys estudiada, especialment les latituds mitjanes [López-Martínez *et al.*, 2006; Vautravers *et al.*, 2004]. En particular, la variació de la vegetació de l'est nord-americà durant l'últim període glacial es coneix molt poc degut a la manca de seqüències pol·líniques llargues en aquesta regió [Jiménez-Moreno *et al.*, in press]. Al respecte, només dues seqüències pol·líniques del *Lake Tulane* (Florida) mostren canvis interessants i significatius en la vegetació durant l'últim període glacial [Grimm *et al.*, 1993 i 2006]. Aquests canvis suggereixen uns HS càlids i humits a la regió de Florida que contrasten amb lo que s'observa a la part est de l'Atlàntic Nord [Sánchez Goñi *et al.*, 2002].

En aquest context, doncs, els objectius principals que s'han plantejat al projecte són:

- a) Generar un registre a alta resolució dels canvis de la vegetació del sud-est de Nord Amèrica durant l'últim període glacial
- b) Obtenir una imatge detallada dels canvis de la vegetació i del clima dels continents adjacents a l'Atlàntic Nord subtropical que van succeir durant l'últim període glacial, per testar el contrast climàtic que suggereixen alguns estudis

Per aconseguir aquests objectius s'ha analitzat el pol·len fòssil d'un testimoni sedimentari marí obtingut a l'Atlàntic Nord occidental, constituint el primer registre a alta resolució de l'evolució de la vegetació de la costa sud-est nord-americana durant l'últim període glacial (concretament el període o estadi isotòpic marí 3 o *Marine Isotope Stage* (MIS) 3, aproximadament entre 25,000 i 60,000 anys abans del present). Posteriorment, el registre americà s'ha comparat amb dades palinològiques del sud de la Península Ibèrica, obtingudes a una latitud similar, per avaluar la resposta de la vegetació als canvis climàtics ràpids a ambdós costats de l'Atlàntic Nord subtropical.

2. Material i mètodes

La majoria d'estudis sobre canvis climàtics de la vegetació en el passat s'han basat en registres de pol·len de dipòsits continentals, com llacs i torberes [Tzedakis *et al.*, 2003]. No obstant, els registres continentals són fragmentaris, degut a la deposició intermitent i a la activitat erosiva que sol prevaler a la majoria d'ambients sedimentaris continentals, i estan limitats temporal i espacialment [Heusser, 1987]. Per altra part, les cronologies no són suficientment precises degut als errors inherents a qualsevol tipus de datació radiomètrica [Tzedakis *et al.*, 2003; Grimm *et al.*, 2009]. L'anàlisi de sediments marins rics en pol·len, com el desenvolupat en aquest projecte, ha aconseguit solventar, en gran part, aquest inconvenients, ja que es poden aconseguir, per un costat, registres continus llargs dels canvis de la vegetació i, per l'altre, correlacionar aquests canvis directament amb els canvis oceànics i de la criosfera detectats en les mateixes mostres pol·líniques. D'aquesta manera es poden estimar de manera fiable els possibles desfases temporals de la resposta dels ecosistemes marins i continentals a un canvi climàtic donat [Sánchez Goñi *et al.*, 2002; Sánchez Goñi *et al.*, 1999]. Diversos estudis experimentals han demostrat que les associacions de pol·len dipositat en sediments marins reflexen el conjunt de la vegetació a nivell regional i que, per tant, també proporcionen informació sobre el clima de la regió [Turon, 1984].

Inicialment, en aquest projecte s'havia proposat un estudi a alta resolució del pol·len present en els sediments marins del marge ibèric occidental (testimoni MD04-2815, 40°35'N, 9°51'W) i de la costa sud-est nord-americana (ODP-1060, 30°46'N 74°28'W, *Blake Outer Ridge*; ODP-1006, 24°24'N 79°28'W, *Great Bahama Bank*). Però de l'ODP-1060 no s'han pogut aconseguir les mostres per qüestions tècniques i a l'ODP-1006 no s'ha trobat pol·len

suficient per a un bon anàlisi. Respecte al testimoni MD04-2815, existeixen ja bons registres a alta resolució de la paleovegetació glacial de la Península Ibèrica [Fletcher *et al.*, in press] i, per tant, s'ha decidit dedicar els esforços al marge sud-est nord-americà, on no hi ha pràcticament registres d'aquest tipus [Jiménez-Moreno *et al.*, in press]

Així doncs, s'ha decidit estudiar el testimoni MD99-2203 (34°58'N 75°12'W), situat a la costa sud-est nord-americana, concretament enfront del *Cape Hatteras (North Carolina)* (Fig. 1). Aquest testimoni té una taxa de sedimentació molt més alta que els anteriors, que ha permès analitzar més numero de mostres i aconseguir un estudi més detallat de l'evolució de la vegetació en aquesta zona. El testimoni MD99-2203 ha estat obtingut durant la campanya MD114/IMAGES V, amb el vaixell oceanogràfic *Marion Dufresne II*, en el context del programa IMAGES (*International Marine Past Global Changes Study*).

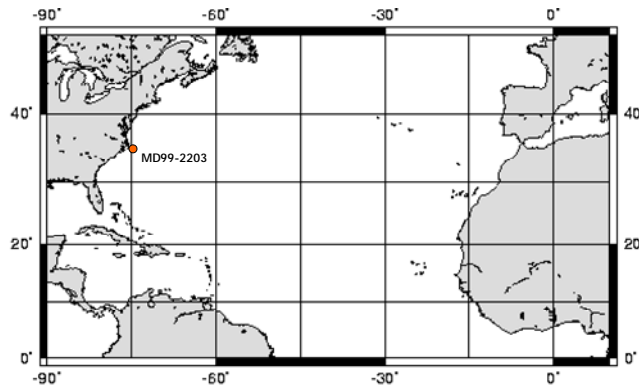


Figura 1. Localització del testimoni marí estudiat

2.1. Preparació i tractament de mostres

El tractament de les mostres de sediment per l'estudi pol·línic consisteix, bàsicament, en concentrar els palinomorfs i destruir la part mineralitzada de la mostra, afavorint així la seva observació al microscopi òptic.

El procediment analític seguit és el descrit a [de Vernal *et al.*, 1996], amb lleugeres modificacions realitzades al laboratori del UMR-CNRS 5805 EPOC de la Universitat de Burdeus 1. S'agafen entre 3 i 5 cm³ de sediment sec i s'afegeix un número conegut d'espores de *Lycopodium*, (37166 en aquestes mostres), per poder estimar posteriorment la concentració de palinomorfs per cm³. Les mostres es tracten químicament, primer amb àcid clorhídric al 10%, 25% i 50% successivament, i després amb àcid fluorhídric al 40% i 70%, per eliminar la fracció mineralitzada. Posteriorment, les mostres es tamisen a través d'una malla de 10µm de llum. El residu final de pol·len es munta en glicerina bidestil·lada per permetre la mobilitat dels grans de pol·len i millorar així la seva identificació. És a partir d'aquest moment que comença l'anàlisi pol·línic, a través de la observació, la identificació i el comptatge de les preparacions al microscopi.

2.2. Comptatge de làmines

Els palinomorfs s'han comptat utilitzant un microscopi òptic *Zeiss AXIO Imager A1*, per rastreig de línies horitzontals, a 400 augments i a 1000 amb oli d'immersió. Perquè la mostra sigui representativa, s'han hagut de comptar un mínim de 100 grans de pol·len, excloent *Pinus* i espores, 20 taxa, excloent espores, i més de 100 grans del *Lycopodium* afegit. Cal dir que s'exclou el *Pinus* degut a que, normalment, en els sediments marins es troba sobrerrepresentat [Turon, 1984].

La identificació i determinació pol·línica es basa en les característiques morfològiques que presenten els pol·lens i espores que permeten distingir els diferents *taxa* pol·línics. Aquests *taxa* comprenen famílies, gèneres i tipus (*type*) pol·línics (grups d'espècies o gèneres amb característiques morfològiques semblants). La determinació taxonòmica dels pol·lens s'ha realitzat amb l'ajuda d'una col·lecció de referència que existeix al UMR-CNRS 5805 EPOC, de diversos atlas pol·línics i claus d'identificació [Reille, 1992, Willard *et al.*, 2004, Finkelstein *et al.*, 2006, Moore *et al.*, 1991] i la col·laboració de la Dra S. Desprat, investigadora post-doctoral al *Woods Hole Oceanographic Institution* (MA, USA), experta en pol·len nord-americà.

2.3. Càlculs de percentatges, concentracions i construcció dels diagrames pol·línics

El percentatge de cada *taxon* s'ha calculat en relació a la suma de base (*main sum*), que exclou *Pinus*, plantes aquàtiques, espores, indeterminats i desconeguts, mentre que el percentatge de tots aquests palinomorfs s'ha fet en relació a la suma total. El percentatge de *taxa* arbòria (AP, *arboreal pollen*) correspon a la suma dels arbres i arbusts, excloent *Pinus*, mentre que el percentatge d'herbàcies (NAP, *non arboreal pollen*) s'ha calculat restant la *taxa* arbòria a la suma de base.

Les concentracions de cada *taxon* s'han calculat a partir de la fórmula següent:

$$C = (N \times L) / (V \times I) \quad \text{on}$$

C és la concentració de palinomorfs (nº d'individus / cc de sediment sec)

N és el nº de palinomorfs comptats a la làmina estudiada

L és el nº d'espores exòtiques (*Lycopodium*) afegides al sediment al principi del tractament

V és el volum de mostra seca (cc)

I és el nº d'espores de *Lycopodium* comptades per N palinomorfs

Un cop obtinguts els percentatges de cada *taxon*, expressats en freqüències relatives, per a cada nivell estudiat (cm) del testimoni sedimentari, s'ha procedit a construir els espectres pol·línics (freqüència relativa dels *taxa* per cada nivell). El diagrama pol·línic constitueix la representació successiva i vertical de tots els espectres pol·línics, que permet una millor visualització de la variació d'aquests espectres a les seqüències sedimentàries. Per l'elaboració dels diagrames pol·línics s'ha utilitzat el programa *Psimpoll* (Bennett, 1992), amb el programa CONISS [Grimm, 1987] (diagrames 1a i 1b de l'annex). Al diagrama es troben representades:

a) variacions verticals:

- profunditats (en cm), a l'extrem esquerra del diagrama
- variacions espectrals de cada *taxon*, en percentatge

b) variacions horitzontals:

- zones pol·líniques

Una zona pol·línica es defineix com una part de la seqüència sedimentària que es caracteritza per la presència d'un contingut esporo-pol·línic coherent i homogeni, diferent de la zona pol·línica següent (Birks & Birks, 1980).

2.4. Model d'edat

A partir de mostres de foraminífers del testimoni MD99-2203 s'han pogut obtenir dues datacions radiomètriques AMS (*accelerator mass spectrometry*) ^{14}C : als 2110 cm ($31,510 \pm 210$ ^{14}C yr) i als 2830 cm ($37,660 \pm 380$ ^{14}C yr). Això suggereix que les mostres analitzades (entre 1350 i 3800 cm) pertanyen a l'últim període glacial, concretament el MIS

3. Per transformar les edats radiomètriques a edats de calendari s'ha utilitzat la calibració de Bard *et al.* [2004] basada en la comparació amb el registre isotòpic de gel GISP2. Posteriorment, les edats resultants s'han passat a l'escala d'edat de Shackleton *et al.* [2004], amb la modificació de Shackleton [2005], obtenint-ne les edats finals de 36,436 i 42,374 anys de calendari (*calendar years*) per als cm 2110 i 2830, respectivament.

Els errors de les datacions ^{14}C resultants són relativament petits i les edats de calendari resultants són pràcticament idèntiques a les obtenides amb la calibració de Fairbanks *et al.* [2005, <http://radiocarbon.ldeo.columbia.edu/research/radcarbcal.htm>]: 36,473 i 42,359 anys de calendari. Tot i això, donat que es troben en el rang en que les datacions radiomètriques tenen més error i no es disposa de la corba d'isòtops de foraminífers del testimoni, a alta resolució, que permeti construir un model d'edat acurat, s'ha preferit només assenyalar aquestes edats a les gràfiques per situar temporalment els registres.

3. Resultats

3.1. Vegetació del sud-est de Nord Amèrica: taxa identificada

La vegetació actual de la regió estudiada va des del bosc "mescla" del sud (*southern mixed forest*) o bosc perenne del sud-est (*southeastern evergreen forest*) a la plana costanera, fins al bosc *Quercus-Carya-Pinus* (*oak-hickory-pine forest*) a la base de les muntanyes, i el bosc *Picea-Abies* del sud-est (*southeastern spruce-fir forest*) i el bosc de *Quercus* de les *Appalachian mountains* a altituds elevades. Les espècies de *Pinus* dominen ambdues comunitats xèrica i mèsica de la plana costanera, mentre que les espècies de *Quercus*, la vegetació marítima i les terres altes més seques. Els components del bosc boreal, *Picea* i *Tsuga*, es troben a altituds intermèdies i elevades [Christensen, 1988; Grellier, 1988].

A l'annex es mostren fotos dels grans de pol·len d'algunes taxa identificats al testimoni MD99-2203, que es poden trobar a les formacions boscoses típiques de l'est dels Estats Units. Les fotos han estat obtingudes amb una camera *Nikon-Coolpix* instal·lada al microscopi i mostren l'aspecte del gra de pol·len a 1000 augments.

3.2. Diagrames pol·línics

Durant aquests dos anys de projecte s'han analitzat 129 mostres del testimoni MD99-2203, agafades cada 10-40 cm. La resolució temporal, basada en les datacions obtingudes, és alta: entre 82 i 330 anys. Les primeres 40 mostres, entre els cm 1350 i 1740, s'han fet a molt alta resolució (cada 10 cm). Els resultats es van presentar a un workshop i diversos congressos [López-Martínez *et al.*, 2008a, 2008b i 2009]. Aquest primer estudi a molt alta resolució va mostrar que les variacions de la vegetació del sud-est nord-americà eren d'una magnitud relativament petita. Per tant, es va decidir baixar la resolució de l'estudi essent, tot i així, elevada.

Als diagrames 1a i 1b de l'annex es mostren tots els taxa identificats al testimoni MD99-2203, utilitzant el programa *Psimpoll*. Al diagrama 1a de l'annex s'han inclòs totes les mostres analitzades. No obstant, s'han tret algunes mostres dels primers cm analitzats (1350-1740) per obtenir una resolució més baixa, coherent amb la resta de la seqüència (diagrama 1b de l'annex). Amb el programa *Psimpoll* s'ha pogut realitzar una primera zonificació pol·línica, agrupant els taxa en funció de la seva freqüència a cada mostra analitzada. Després s'ha modificat una mica aquesta primera zonificació en funció de les variacions dels taxa principals trobats (*Pinus*, *Picea*, *Carya*, *Quercus*, *Aster type*, *Cyperaceae*, *Poaceae*), especialment *Picea* i *Quercus*, com indicadors de bosc boreal i bosc mèsic-humit respectivament.

Als diagrames 2a i 2b de l'annex es mostren els percentatges dels taxa agrupats per arbres i arbusts (diagrama 2a) i herbàcies, aquàtiques i espores juntament amb la concentració total de pol·len (diagrama 2b). Cal dir que els eixos de les x (percentatges) tenen escales diferents per veure millor les variacions dels diferents taxa. A aquests diagrames es poden observar els taxa més freqüents, que apareixen a gairebé totes les mostres, com *Pinus*, *Picea*, *Tsuga*, *Alnus*, *Carpinus-Ostrya*, *Carya*, *Fagus*, *Liquidambar*, *Nyssa*, *Quercus*, *Ulmus*, *Cupressaceae*, *Ericales*, *Myrica*, *Ambrosia type*, *Aster type*, *Cyperaceae*, *Poaceae* i *Thalictrum* (figura 2)

A la figura 2 es troben representats els percentatges dels taxa més importants per la seva freqüència, així com les variacions de pol·len arbori (arbres i arbusts) i no arbori (herbàcies). La figura 3 mostra de forma resumida les variacions de les formacions boscoses, bàsicament del bosc boreal, essent *Picea* el taxon "indicador", i el bosc caducifoli, més temperat. En ambdós diagrames es mostren les zones pol·líniques o "biozones", numerades de més a menys profunditat, amb el prefix MD- del testimoni estudiat.

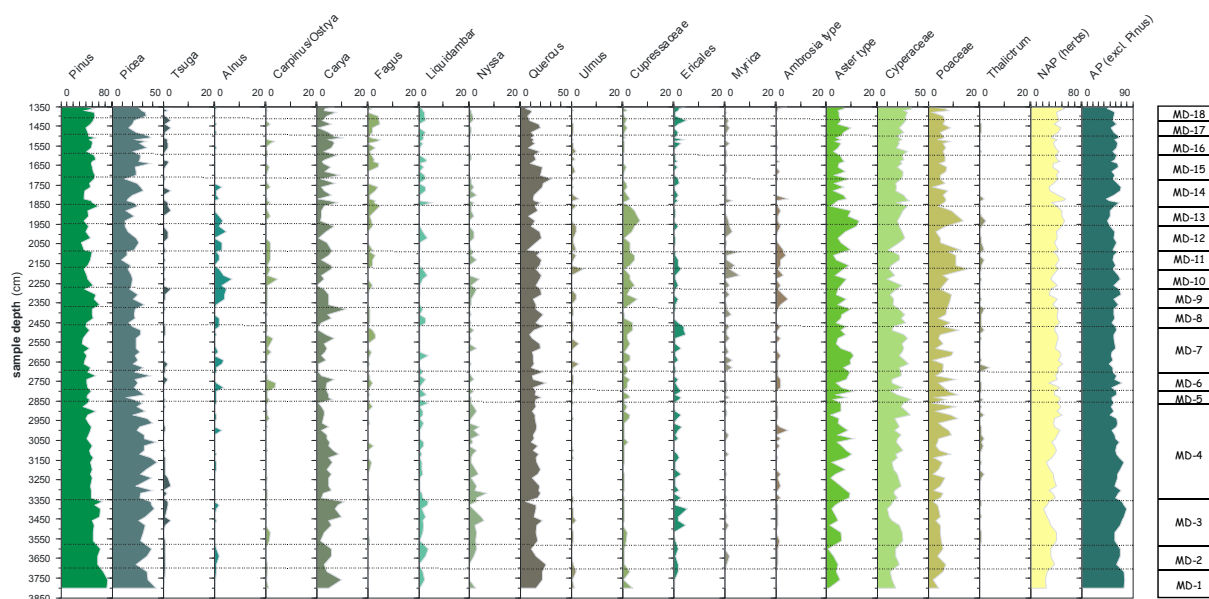


Figura 2. Diagrama pol·línic amb els percentatges dels taxa més importants trobats al testimoni MD99-2203. També s'indiquen els percentatges totals de pol·len arbori (AP: arbres i arbusts) i de pol·len no arbori (NAP: herbàcies). A la dreta es mostren les biozones definides. Atenció als eixos de les X que tenen escales diferents per millorar la observació de les variacions.

Del conjunt de resultats es destacaria una clara alternança entre els taxa "indicadors" *Picea* i *Quercus* amb diferents variacions com, per exemple, l'augment en l'abundància d'*Alnus* i Cupressaceae que s'observa entre les zones MD-9 i MD-13, i que suggereix, en aquest cas, condicions relativament més humides (Fig. 2). En general, les associacions pol·líniques suggereixen un patró de variació de la vegetació glacial entre el bosc boreal i un tipus de bosc més humit i temperat (*mesic-Quercus forest*) (Fig. 2 i 3). La magnitud d'aquests canvis entre diferents tipus de bosc, però, és relativament petita (al voltant de 10-15%).

Per altra part, dintre del període estudiat es podrien diferenciar tres subperíodes: el primer en el que dominaria el bosc boreal (entre les zones MD-1 i MD-6), en el següent sembla que dominaria el bosc temperat-caducifoli (entre MD-7 i MD-12) per augmentar, posteriorment, el component boreal (entre MD13 i MD-18).

Finalment, la comparació amb l'espècie de foraminífer planctònic *Globigerina ruber alba*, indicatiu d'aigües relativament càlides, no indica una variació paral·lela de les formacions vegetals amb les condicions oceàniques (Fig. 3).

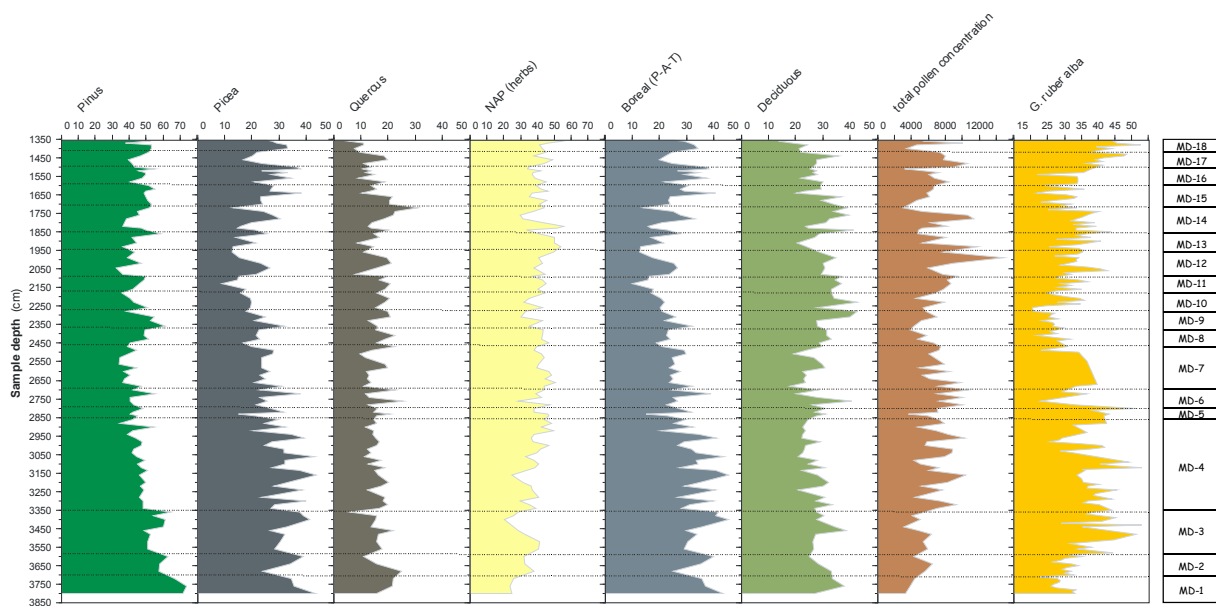


Figura 3. Diagrama pol·línic amb els percentatges dels taxa "indicadors" trobats al testimoni MD99-2203, les variacions de bosc boreal (*Picea-Abies-Tsuga*) i de bosc caducifoli (temperat). També s'indiquen el percentatge total de pol·len no arbori (NAP: herbàcies) i la concentració total de pol·len (nº de grans de pol·len/cc de sediment sec), així com el registre de l'abundància (%) del foraminífer planctònic *G. ruber alba* (dades cedides per Linda Rossignol, del UMR CNRS 5805 EPOC). A la dreta es mostren les biozones definides

4. Discussió

La reconstrucció dels biomes nord-americans actuals i de l'últim màxim glacial (*Last Glacial Maximum*, LGM) a partir de models suggereix una reducció i una migració vers al sud dels cinturons de vegetació durant l'època glacial [Whitmore *et al.*, 2005]. Donat que la placa de gel que cobria el nord de Nord Amèrica a les èpoques glacials (*Laurentide ice sheet*) era menys extensa durant el MIS 3 que al LGM [Clark *et al.*, 1993], els cinturons de vegetació es situaven més al nord durant el període estudiat. Així doncs, la localització del testimoni MD99-2203 permet, probablement, registrar el desplaçament del límit entre els boscos més freds (boreals) i els més temperats.

Per altra part, estudis palinològics de testimonis marins prop de la costa nord-americana mostren que els grans de pol·len són transportats principalment pels rius [Balsam & Heusser, 1976; Heusser, 1985], tot i que podrien haver altres mecanismes de transport (vent, corrents,...). D'acord amb la localització del testimoni MD99-2203 (Fig. 1), el pol·len trobat en els sediments estudiats va ser transportat principalment pels rius que arriben al sistema estuari d'*Albermale-Pamlico*, i que provenen del sud de les muntanyes *Appalachian*, el *Piedmont* i la *Coastal Plain* representant, per tant, la vegetació d'aquesta regió (sobretot sud de Virginia, Carolina del Nord i del Sud). Aquest mecanisme de transport va resultar més important durant les èpoques glacials, ja que la localització del testimoni estava més a prop de la línia de costa degut a la disminució del nivell del mar.

La figura 4 mostra les variacions del bosc boreal i del bosc temperat (*mesic-Quercus*) de la regió estudiada comparades amb el registre $\delta^{18}\text{O}$ del gel de Groenlàndia, indicatiu de la variació de la temperatura atmosfèrica al pol nord, durant l'últim període glacial (MIS 3). Aquestes variacions podrien estar associades a la variabilitat climàtica dels *Dansgaard-Oeschger* i *Heinrich Stadials* però de moment no es pot assegurar fins que no es tingui la corba isotòpica de foraminífers a alta resolució, que permeti la construcció d'un model d'edat acurat. No obstant, els registres suggereixen un augment del bosc boreal entre el *Heinrich*

Stadial 5 i el 4, i una dominància del bosc temperat a partir del H4 fins al H3. A partir del H3 sembla que tornaria a dominar el bosc boreal (Fig. 4).

Per avaluar l'impacte dels canvis climàtics ràpids de l'últim període glacial en els boscos temperats subtropicals a ambdós costats de l'Atlàntic Nord, s'ha comparat el registre del testimoni estudiat amb les variacions del bosc mediterrani (Fig. 4). Les dades palinològiques mediterrànies, ja publicades [Sánchez-Goñi *et al.*, 2002], s'han obtingut a partir d'un testimoni marí localitzat al Mar d'Alboran, a una latitud similar (MD95-2043, 36°08'N 2°37'W). El bosc temperat nord-americà inclou els arbres caducifolis (*Quercus*, *Carya*, *Alnus*, *Ulmus*, *Betula*, *Carpinus/Ostrya*, *Liquidambar*, entre d'altres) i el bosc mediterrani, *Quercus* (caducifoli i perennifoli), i arbres i arbusts mediterranis (*Olea*, *Phillyrea*, *Pistacia* i *Cistus*) principalment.

La comparació mostra poca diferència en la coberta forestal màxima (un 40% al costat americà i fins un 30% al sud de la Península Ibèrica), mentre que hi ha una gran diferència en la coberta mínima (fins un 19% al sud-est de Nord Amèrica i al voltant d'un 3% al bosc mediterrani) durant el MIS 3 (Fig. 4). A més a més, la comparació suggereix que les variacions de la vegetació del sud-est nord-americà van ser menys intenses que les de la vegetació del sud de la Península Ibèrica (fins a 27%) durant l'últim període glacial. Tot i que aquestes diferències longitudinals estarien essencialment associades a la influència directa dels canvis en la intensitat de la corrent del Golf (*Gulf Stream*), relacionats amb la variabilitat del transport de calor des de les baixes latituds, no es poden descartar altres mecanismes, com l'atmosfèric.

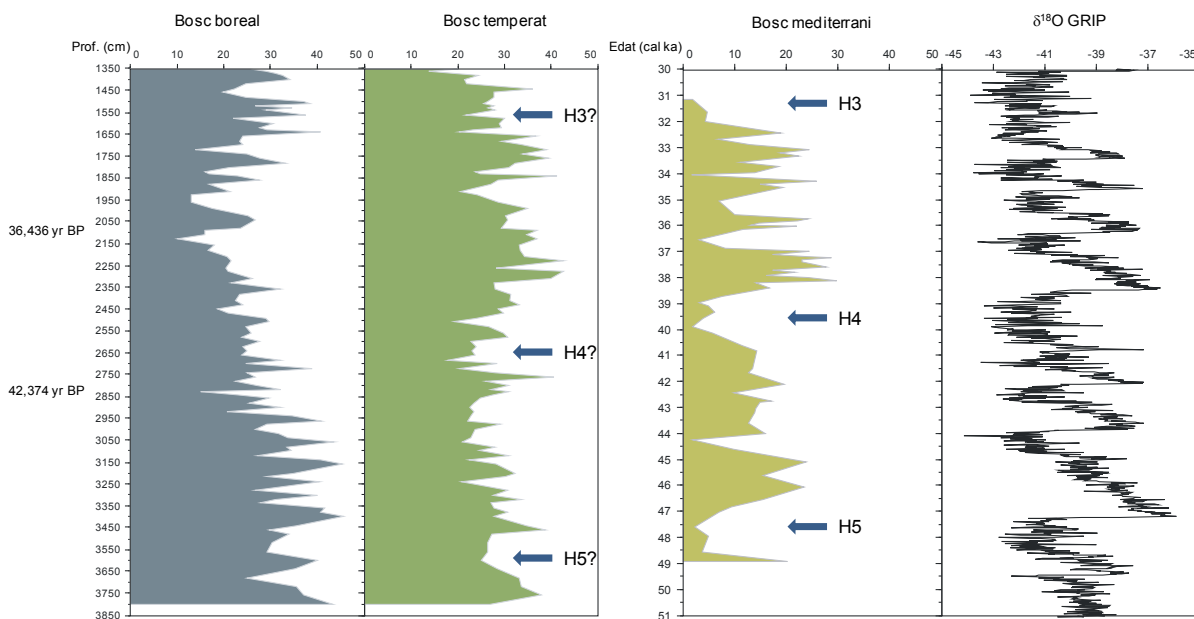


Figura 4. Variacions de bosc boreal (*Picea-Abies-Tsuga*) i de bosc caducifoli (temperat) del testimoni MD99-2203. A l'esquerra de l'eix de profunditat s'indiquen les dues datacions en edat de calendari (*years before present*, yr BP). A la part dreta de la figura es mostra el registre de bosc mediterrani obtingut del testimoni MD95-2043 [Sánchez-Goñi *et al.*, 2002] i la corba $\delta^{18}\text{O}$ del testimoni de gel GRIP de Groenlàndia [Shackleton *et al.*, 2004] en edat de calendari (cal ka). Les fletxes blaves indiquen els *Heinrich Stadials*

5. Objectius assolits i presentació de resultats

Objectius assolits:

- El treball d'investigació realitzat durant l'estada postdoctoral ha permès obtenir el primer registre de vegetació, a alta resolució, de la regió costanera del sud-est de Nord Amèrica, per a l'últim període glacial, concretament el MIS 3. Aquestes dades palinològiques del testimoni MD99-2203 representen una important contribució a les bases de dades del Quaternari tardà ja que els canvis de la vegetació del sud-est nord-americà durant les èpoques glacials no es coneixen bé.
- La seqüència pol·línica del testimoni MD99-2203 ha mostrat, per primer cop, que els canvis en les formacions forestals associats als canvis climàtics ràpids de l'últim període glacial van ser menys intensos al sud-est de Nord Amèrica que a la Península Ibèrica, a latituds similars. Els biomes forestals van caracteritzar tant els períodes més freds com els més càlids dels cicles *Dansgaard/Oeschger* i els *Heinrich Stadials*.

Els resultats que s'han anat obtenint durant els dos anys de l'ajut s'han presentat a un *workshop* i diversos congressos:

López-Martínez, C.; Sánchez Goñi, M.F.; Desprat, S.; Rossignol, L. (2008). Rapid climate variability in the eastern United States and the subtropical North Atlantic during the last glacial period revealed by direct correlation between pollen and marine proxies from core MD99-2203. Workshop "*High-Resolution Pollen Records and Reconstruction of Vegetation Changes during Dansgaard-Oeschger events*" (Bordeaux, França). Ponent convidat

López-Martínez, C.; Sánchez Goñi, M.F.; Desprat, S.; Rossignol, L. (2008). Millennial-scale climate variability in the eastern United States and the subtropical North Atlantic during the last glacial period revealed by pollen and planktonic foraminifera analyses. *12th International Palynological Congress (ICP XII)* (Bonn, Alemanya). Oral

López-Martínez, C.; Sánchez Goñi, M.F., Desprat, S., Rossignol, L. (2009). Millennial-scale climate variability in the south-eastern North America and the subtropical North Atlantic during the last glacial period: a land-sea correlation derived from the pollen rich marine core MD99-2203. *EGU General Assembly* (Viena, Àustria). Pòster

El treball fet es recull en una publicació, dintre d'un número especial de la revista *Quaternary Science Reviews*, i un manuscrit en preparació:

Jiménez-Moreno, G., Anderson, R.S., Desprat, S., Grigg, L.D., Grimm, E.C., Heusser, L.E., Jacobs, B.F., **López-Martínez, C.**, Whitlock, C.L., Willard, D.A. Millennial-scale variability during the last glacial in vegetation records from North America, *Quaternary Science Reviews*, en premsa

López-Martínez C., Sánchez Goñi, M.F., Desprat, S., Rossignol, L. Millennial-scale climate variability in the south-eastern North America and the subtropical North Atlantic during the last glacial period revealed by pollen and planktonic foraminifera analyses, en preparació

6. Agraïments

Agraeixo molt a la professora María Fernanda Sánchez Goñi el seu suport i ajuda durant la realització del projecte al UMR-CNRS 5805 EPOC, Université Bordeaux I, EPHE. També a Filipa Naughton, Stéphanie Desprat i William Fletcher per la seva ajuda en la identificació dels pol·lens “difícils”, així com a M.-H. Castera i M. Georget per la preparació de les mostres, i a Linda Rossignol per cedir-me les dades de foraminífers del testimoni estudiat. També vull donar les gràcies a la resta del laboratori de paleoclimatologia per fer-me sentir “com a casa”. I, finalment, agrair al programa IMAGES l'accés a les mostres del testimoni MD99-2203, i a la Generalitat de Catalunya, la concessió de la beca postdoctoral Beatriu de Pinós, via l'AGAUR.

7. Referències bibliogràfiques

- Balsam, W.L., Heusser L.E., (1976) Direct correlation of sea surface paleotemperatures, deep circulation, and terrestrial paleoclimates: foraminiferal and palynological evidence from two cores off Chesapeake Bay. *Marine Geology*, 21, 121-147.
- Bard, E., Rostek, F., Ménot-Combes, G., (2004) Radiocarbon calibration beyond 20,000 ¹⁴C yr B.P. by means of planktonic foraminifera of the Iberian Margin. *Quaternary Research*, 61, 204-214.
- Bennett, K.D. 1992. PSIMPOLL – a QuickBasic program that generates Post-script page description files of pollen diagrams. Newsletter (INQUA commission for the study of the holocene: Working group on data-handling methods), 8, 11-12.
- Birks, H. J. B; Birks, H. H. 1980. Paleoecology, Quaternary Paleoecologie, Vol Tom 2: London, Edward Arnold Limited, pp. 157-230.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., de Menocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I., Bonani, G., (1997) A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 278, 1257-1266.
- Bond, G.C., Broecker, W.S., Johnsen, S., McManus, J.F., Labeyrie, L.D., Jouzel, J., Bonani, G., (1993) Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice. *Nature*, 365, 143-147.
- Broecker, W.S., Bond, G., Klas, M., Bonani, G., Wolfli, W., (1990) A salt oscillator in the Glacial Atlantic? 1. The concept. *Paleoceanography*, 5, 469-477.
- Broecker, W.S., Hemming, S., (2001) Climate swings come into focus. *Science*, 294, 2308-2309.
- Cacho, I., Grimalt, J.O., Pelejero, C., Canals, M., Sierro, F.J., Flores, J.A., Shackleton, N., (1999) Dansgaard-Oeschger and Heinrich event imprints in Alboran Sea paleotemperatures. *Paleoceanography*, 14(6), 698-705.
- Cane, M.A., (1998) A role for the tropical Pacific. *Science*, 282, 59-61.
- Christensen, N. (1988) Vegetation of the southeastern coastal plain. Barbour, M., Billings, W. (eds.). North American Terrestrial Vegetation, Cambridge University Press, Cambridge, 317-364.
- Clark, P.U., Clague, J.J., Curry, B.B., Dreimanis, A., Hicock, S.R., Miller, G.H., Berger, G.W., Eyles, N., Lamothe, M., Miller, B.B., Mott, R.J., Oldale, R.N., Stea, R.R., Szabo, J.P., Thorleifson, L.H. Vincent, J.-S. (1993) Initiation and development of the Laurentide and Cordilleran Ice Sheets following the last interglaciation. *Quaternary Science Reviews*, 12(2), 79-114.
- de Abreu, L., Shackleton, N.J., Schönfeld, J., Hall, M., Chapman, M., (2003) Millennial-scale oceanic climate variability off the Western Iberian margin during the last two glacial periods. *Marine Geology*, 196, 1-20.
- de Vernal, A., Henry, M., Bilodeau, G., (1996) Techniques de préparation et d'analyse en micropaléontologie. *Le cahiers du GEOTOP*, 3, 16-27.
- Fairbanks, R.G., Mortlock, R.A., Chiu, T.-C., Cao, L., Kaplan, A., Guilderson, T.P., Fairbanks, T.W., Bloom, A.L., Grootes, P.M., Nadeau, M.-J., (2005) Radiocarbon calibration curve spanning 0 to 50,000 years BP based on paired ²³⁰Th/²³⁴U/²³⁸U and ¹⁴C dates on pristine corals. *Quaternary Science Reviews*, 24, 1781-1796
- Finkelstein, S.A., Gajewski, K., Viau, A.E. (2006) Improved resolution of pollen taxonomy allows better biogeographical interpretation of post-glacial forest development: analyses from the North American Pollen Database. *Journal of Ecology*, 94, 415-430.
- Fletcher, W., Huntley, B., Sanchez Goñi, M.F., Allen, J.R.M., Cheddadi, R., Lawson, I., Londeix, L., Combourieu Nebout, N., Magri, D., Margari, V., Müller, U., Naughton, F., Novenko, E.,

- Roucoux, K., Tzedakis, C. Millennial-scale variability during the last glacial in vegetation records from Europe, in press
- Greller, A., (1988) Deciduous forests. Barbour, M., Billings, W. (eds.). North American Terrestrial Vegetation, Cambridge University Press, Cambridge, 287-316.
- Grimm, E.C. (1987) CONISS: A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*, 13(1), 13-35
- Grimm, E.C., Jacobson Jr., G.L., Watts, W.A., Hansen, B.C.S., Maasch, K.A.A., (1993) 50,000-year record of climate oscillations from Florida and its temporal correlation with the Heinrich events. *Science* 261, 198–200.
- Grimm, E.C., Maher, L.J., Nelson, D.M. (2009) The magnitude of error in conventional bulk-sediment radiocarbon dates from central North America. *Quaternary Research*, 72 (2), 301-308.
- Grimm, E.C., Watts, W.A., Jacobson Jr., G.L., Hansen, B.C.S., Almquist, H.R., Dieffenbacher-Krall, A.C., (2006) Evidence for warm wet Heinrich events in Florida. *Quaternary Science Reviews* 25, 2195–2211.
- Heinrich, H., (1988) Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years. *Quaternary Research*, 29, 142-152.
- Heusser, L.E., (1985) Quaternary palynology of marine sediments in the Northeast Pacific, Northwest Atlantic, and Gulf of Mexico. In: V.M.B. Jr, R.G. Holloway (Eds.), *Pollen records of late Quaternary North American sediments* (Ed. by V.M.B. Jr, R.G. Holloway). pp. 385-403.
- Heusser, L.E., (1987) Pollen in marine cores: evidence of past climates. *Oceanus*, 29(4), 64-70.
- Hostetler, S.W., Clark, P.U., Bartlein, P.J., Mix, A.C., Pisias, N.J., (1999) Atmospheric transmission of North Atlantic Heinrich events. *Journal of Geophysical Research*, 104, 3947-3952.
- IPCC (2001) Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, J.T., et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 881.
- IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 996.
- Jiménez-Moreno, G., Anderson, R.S., Desprat, S., Grigg, L.D., Grimm, E.C., Heusser, L.E., Jacobs, B.F., López-Martínez, C., Whitlock, C.L., Willard, D.A. Millennial-scale variability during the last glacial in vegetation records from North America, *Quaternary Science Reviews*, in press
- Karl, T.R., Hassol, S.J., Miller, C., D., Murray, W.L., (2006) Temperature trends in the lower atmosphere: Steps for understanding and reconciling differences, A report by the Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington, D.C.
- López-Martínez C., Grimalt J.O., Hoogaker B.A.A., Gruetzner J., Vautravers M.J., McCave I.N. (2006) Abrupt wind regime changes in the north Atlantic Ocean during the past 30,000-60,000 years, *Paleoceanography*, 21, PA4215, doi:10.1029/2006PA001275
- López-Martínez, C.; Sánchez Goñi, M.F., Desprat, S., Rossignol, L. (2009). Millennial-scale climate variability in the south-eastern North America and the subtropical North Atlantic during the last glacial period: a land-sea correlation derived from the pollen rich marine core MD99-2203. *EGU General Assembly* (Viena, Austria).
- López-Martínez, C.; Sánchez Goñi, M.F.; Desprat, S.; Rossignol, L. (2008a). Rapid climate variability in the eastern United States and the subtropical North Atlantic during the last glacial period revealed by direct correlation between pollen and marine proxies from core MD99-2203. Workshop “High-Resolution Pollen Records and Reconstruction of Vegetation Changes during Dansgaard-Oeschger events” (Bordeaux, França).
- López-Martínez, C.; Sánchez Goñi, M.F.; Desprat, S.; Rossignol, L. (2008b). Millennial-scale climate variability in the eastern United States and the subtropical North Atlantic during the last glacial period revealed by pollen and planktonic foraminifera analyses. *12th International Palynological Congress (ICP XII)* (Bonn, Alemanha).
- MacAyeal, D.R., (1993) Binge/purge oscillations of the Laurentide Ice Sheet as a cause of the North Atlantic's Heinrich events. *Paleoceanography*, 8(6), 775-784.
- Martrat, B., Grimalt, J.O., López-Martínez, C., Cacho, I., Sierro, F.J., Flores, J.A., Zahn, R., Canals, M., Curtis, J., Hodell, D.A., (2004) Abrupt temperature changes in the Western Mediterranean over the past 250,000 years. *Science*, 306, 1762-1765.

- Martrat, B., Grimalt, J.O., Shackleton, N.J., de Abreu, L., Hutterli, M.A., Stocker, T.F. (2007) Four climate cycles of recurring deep and surface water destabilizations on the Iberian Margin. *Science*, 317, 502-507
- Moore, P.D., Webb, J.A., Collinson, M.E. 1991. Pollen Analysis. Blackwell Scientific Publications, Oxford (U.K.), pp. 216
- Naughton, F., Sánchez Goñi, M.F., Kageyama, M., Bard, E., Duprat, J., Cortijo, E., Desprat, S., Malaizé, B., Joly, C., Rostek, F., Turon, J.-L., (2009) Wet to dry climatic trend in north-western Iberia within Heinrich events. *Earth and Planetary Science Letters*, 284, 329-342
- Parmesan, C., Yohe, G., (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42.
- Peñuelas, J., Filella, I., (2001) Responses to a warming world. *Science*, 294, 793-795.
- Reille, 1992. Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du Nord. Marseille: Laboratoire de Botanique historique et Palynologie, 520pp.
- Sánchez Goñi, M.F., Cacho, I., Turon, J.-L., Guiot, J., Sierro, F.J., Peyrouquet, J.-P., Grimalt, J.O., Shackleton, N.J., (2002) Synchronicity between marine and terrestrial responses to millennial scale climatic variability during the last glacial period in the Mediterranean region. *Climate Dynamics*, 19, 95-105.
- Sánchez Goñi, M.F., Eynaud, F., Turon, J.L., Shackleton, N.J., (1999) High resolution palynological record off the Iberian margin: direct land-sea correlation for the Last Interglacial complex. *Earth and Planetary Science Letters*, 171, 123-137.
- Sánchez Goñi, M.F., Harrison, S.P. Millennial-scale climate variability and vegetation changes during the Last Glacial: Concepts and terminology. *Quaternary Science Reviews*, in press
- Shackleton, N.J., (2005) The absolute chronology of the last glacial. In: *Geophysical Research Abstracts*, 7, Abstract EGU05-A-05213, Vienna.
- Shackleton, N.J., Fairbanks, R.G., Chiu, T.-C., Parrenin, F., (2004) Absolute calibration of the Greenland time scale: implications for Antarctic time scales and for $\Delta^{14}\text{C}$. *Quaternary Science Reviews*, 23, 1513-1522.
- Turon, J.-L., (1984) Le palynoplancton dans l'environnement actuel de l'Atlantique nord-oriental. Evolution climatique et hydrologique depuis le dernier maximum glaciaire. Université de Bordeaux, Bordeaux, France.pp.
- Tzedakis, P.C., McManus, J.F., Hooghiemstra, H., Oppo, D.W., Wijmstra, T.A., (2003) Comparison of changes in vegetation in northeast Greece with records of climate variability on orbital and suborbital frequencies over the last 450,000 years. *Earth and Planetary Science Letters*, 212, 197-212.
- Vautravers, M., Shackleton, N.J., Lopez-Martinez, C., Grimalt, J.O., (2004) Gulf Stream variability during marine isotope stage 3. *Paleoceanography*, 19(PA2011), doi:10.1029/2003PA000966.
- Vellinga, M., Wood, R.A., (2002) Global climatic impacts of a collapse of the Atlantic thermohaline circulation. *Climatic Change*, 54, 251-267.
- Voelker, A.H.L., workshop participants, (2002) Global distribution of centennial-scale records for Marine Isotope Stage (MIS) 3: a database. *Quaternary Science Reviews*, 21, 1185-1212.
- Whitmore, J., Gajewski, K., Sawada, M., Williams, J.W., Shuman, B., Bartlein, P.J., Minckley, T., Viau, A.E., Webb III, T., Shafer, S., Anderson, P., Brubaker, L. (2005), Modern pollen data from North America and Greenland for multi-scale paleoenvironment applications, *Quaternary Science Reviews*, 24, 1828-1848
- Willard, D.A., Bernhardt, C.E., Weimer, L., Cooper, S.R., Gamez, D., Jensen, J. (2004) Atlas of pollen and spores of the Florida Everglades. *Palynology*, 28, 175-227.
- Wolff, E.W., Chapellaz, J., Blunier, T., Rasmussen, S.O., Svensson, A. Millennial-scale variability during the last glacial: The ice core record, in press

ANNEX

ARBRES

ARBUSTS

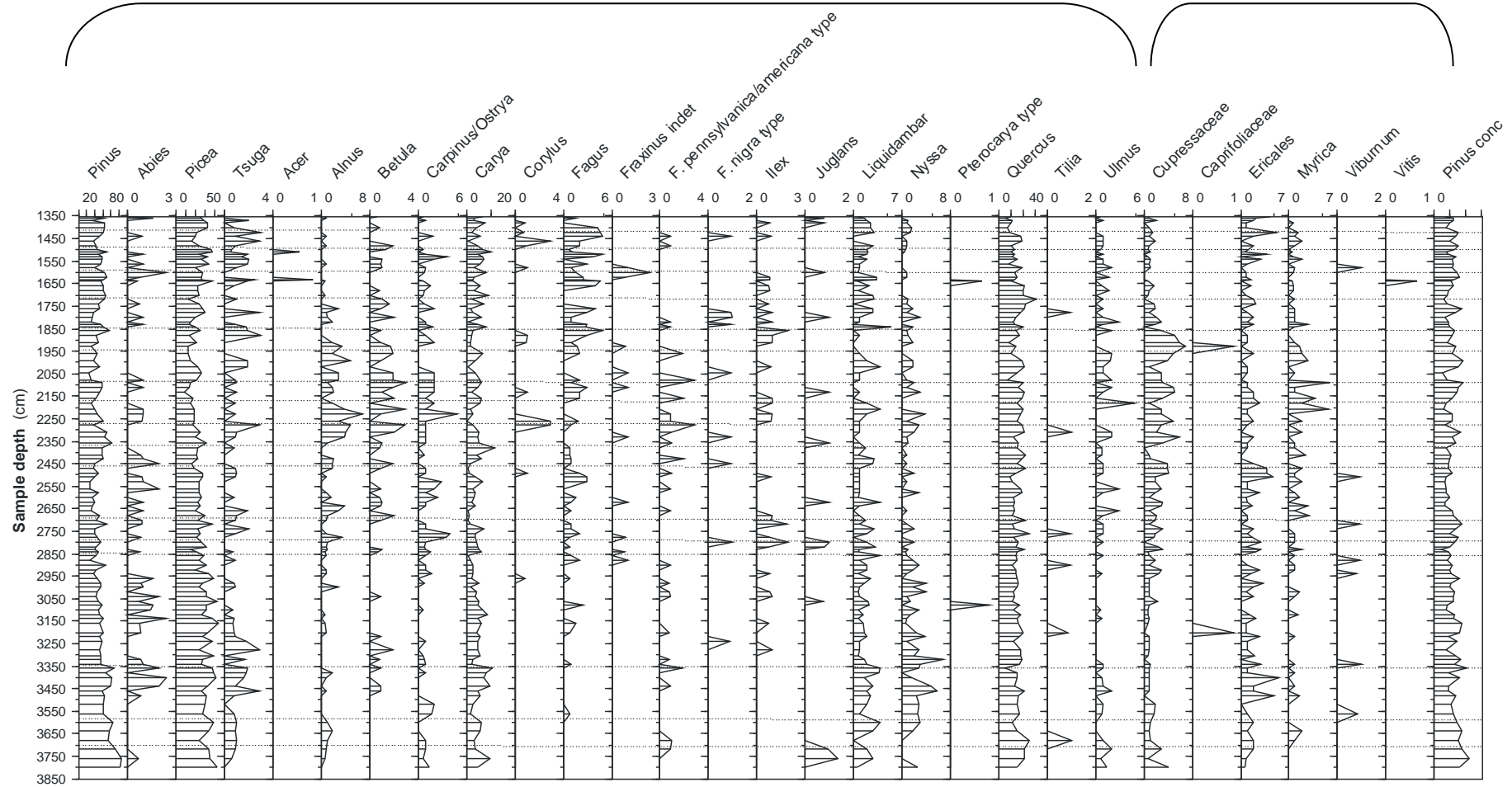


Diagrama 2a. Diagrama pol·línic amb els percentatges dels *taxa* identificats a les mostres del testimoni MD99-2203, agrupats per arbres i arbusts. A la dreta es mostra la concentració de *Pinus*. Atenció als eixos de les X que tenen escales diferents per millorar la observació de les variacions

HERBÀCIES

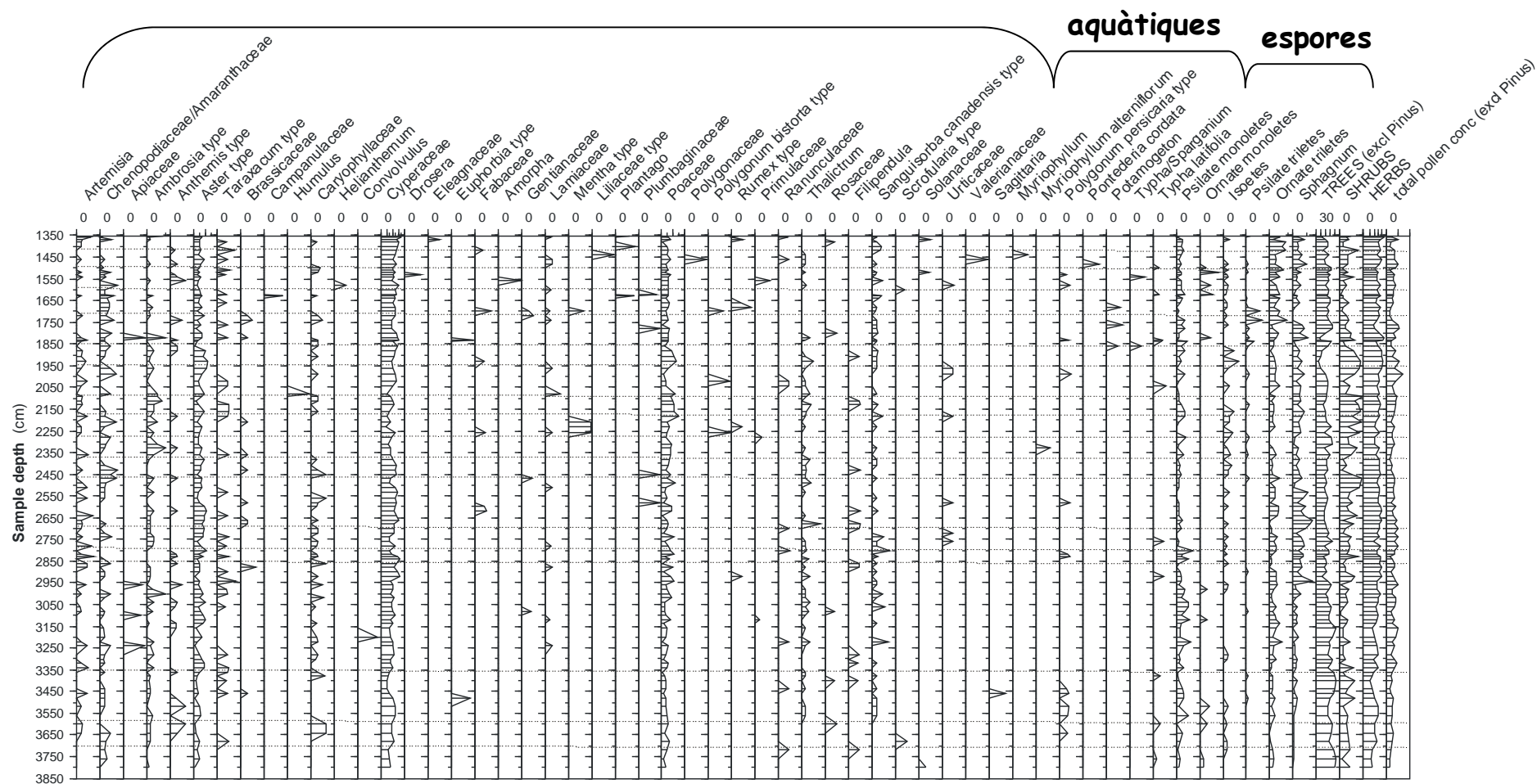
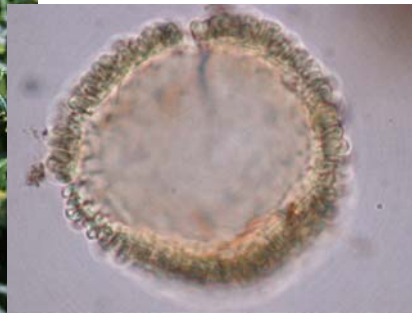


Diagrama 2b. Diagrama pol·línic amb els percentatges dels taxa identificats a les mostres del testimoni MD99-2203, agrupats per herbàcies, aquàtiques i espores. També es mostra la suma dels percentatges d'arbres, arbusts i herbàcies, així com la concentració pol·línica total

Alguna *taxa* típica de les formacions boscoses presents a l'est de Nord Amèrica



Tsuga
(Hemlock)

Tsuga canadensis
(<http://plants.usda.gov/>)



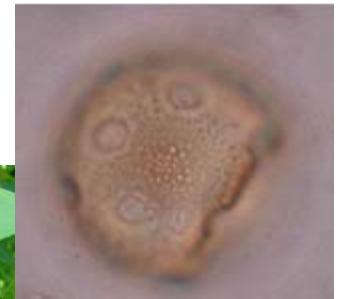
Carya
(Hickory)

Carya tomentosa
(<http://tenn.bio.utk.edu>)



Picea
(Spruce)

Picea rubens
(<http://plants.usda.gov/>)



Liquidambar
(Sweetgum)

Liquidambar styraciflua
(<http://plants.usda.gov/>)

